

ATLACOMULCO-POLOTITLÁN

2. ESTUDIOS PRELIMINARES

2.1. Estudio preliminar geológico – geotécnico

Junio de 2022

Contenido

2.1. ESTUDIO PRELIMINAR GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO	1
2.1.1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
2.1.2. INFORMACIÓN PRELIMINAR.....	2
2.1.3. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN EN DONDE SE UBICA EL PROYECTO.	2
a. Morfología	2
b. Hidrología.....	4
c. Localización.....	6
d. Clima.....	7
2.1.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO.	9
e. Topografía	9
f. Geología	9
g. Drenaje	19
2.1.5. INFORME GEOTÉCNICO O TABLA DE DATOS PARA CURVA MASA PRELIMINAR.....	20
ANEXO 1. TABLA PARA CURVA MASA	21

2.1. Estudio preliminar geológico – geotécnico

2.1.1. Antecedentes y Generalidades

La Autopista Atlacomulco-Polotitlán se ubicará en el norponiente del Estado de México, el estudio consideró 83.348 kilómetros, que se localizan entre el kilómetro cero más tres ceros (Km 0+000) y el kilómetro ochenta y tres más trescientos cuarenta y ocho (Km 83+348) y cuyas coordenadas geográficas son: Latitud 19°38'24.71"N y Longitud 99°46'57.79"O en el inicio y Latitud 20°17'24.61"N y Longitud 99°54'51.91"O en el fin.

El proyecto para la autopista Atlacomulco-Polotitlán, consiste en la construcción de una autopista de 22.0 m de ancho de corona, la cual alojará dos carriles de circulación de 3.5 m de ancho cada uno y acotamientos externos de 3.0 m e internos de 1.0 m en una longitud total de 83.348 km. Será una vía paralela a la autopista MEX 55D, en su tramo: Toluca-Atlacomulco y de la carretera federal MEX 57, en el tramo: Atlacomulco-Polotitlán, la cual cuenta con un alto volumen vehicular, además, dará conexión a los corredores México-Querétaro y México-Guadalajara.

El objetivo principal de la nueva autopista Atlacomulco-Polotitlán es proporcionar a los usuarios una vía de comunicación moderna, eficiente, segura y de alta calidad, que promueva la reducción de sus tiempos de recorrido y costos generalizados de viaje, adicionalmente la ejecución de esta obra optimizará el tránsito de largo itinerario hacia el occidente del país, evitando pasar por las zonas urbanas de la región norponiente del Estado de México; así mismo la construcción de ésta vía contribuirá con el objetivo general del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, *"Incrementar la productividad y promover un uso eficiente y responsable de los recursos para contribuir a un crecimiento económico equilibrado que garantice un desarrollo igualitario, incluyente, sostenible y a lo largo de todo el territorio"*. Además, con el objetivo 3.6 *Desarrollar de manera transparente, una red de comunicaciones y transportes accesible, segura, eficiente, sostenible, incluyente y moderna, con visión de desarrollo regional y de redes logísticas que conecte a todas las personas, facilite el traslado de bienes y servicios, y que contribuya a salvaguardar la seguridad nacional*. De igual manera, la estrategia 3.6.1 *Contar con una red carretera segura y eficiente que conecte centros de población, puertos, aeropuertos, centros logísticos y de intercambio modal, conservando su valor patrimonial*.

2.1.2. Información preliminar

Se llevó a cabo una recopilación de la información existente en cuanto a las principales características de la región, así como de la zona en estudio, en los aspectos que más interesan de acuerdo al tipo de obra que se pretende desarrollar.

Las principales fuentes consultadas obtener datos sobre la zona de estudio fueron las siguientes:

- Cartas Topográficas. - Mapas editados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y por el INEGI que contienen las condiciones topográficas y de planimetría de la región y las localidades.
- Google Earth ©. - Apoyo de ubicación y características geográficas del área de estudio.

2.1.3. Descripción de las características geográficas de la región en donde se ubica el proyecto.

a. Morfología

La superficie estatal forma parte de las provincias: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.

En el suroeste hay una sierra conformada por rocas metamórficas, (han sufrido cambios por la presión y altas temperaturas) sedimentarias, (se forman en las playas, los ríos y océanos o en donde se acumulen la arena y barro) ígneas intrusivas (formadas debajo de la superficie de la Tierra) e ígneas extrusivas o volcánicas (se forman cuando el magma o roca derretida sale de las profundidades hacia la superficie de la Tierra); con un valle ubicado entre serranías, en esta zona se encuentra la altura más baja (400 m) en el cañón que ha formado el río San Pedro.

En el centro se encuentra un lomerío con sierras de origen ígneo extrusivo o volcánico, volcanes de edad geológica cuaternaria y valles; se incluyen las depresiones que dieron origen al lago de Texcoco. Al sureste está la elevación más importante, el volcán Popocatepetl con 5 380 metros sobre el nivel del mar.

FUENTE: INEGI. Anuario Estadístico del estado de México.
INEGI. Continuo Nacional Topográfico S. II escala 1:250 000.
INEGI. Conjunto Geológico E14 escala 1:1 000 000.

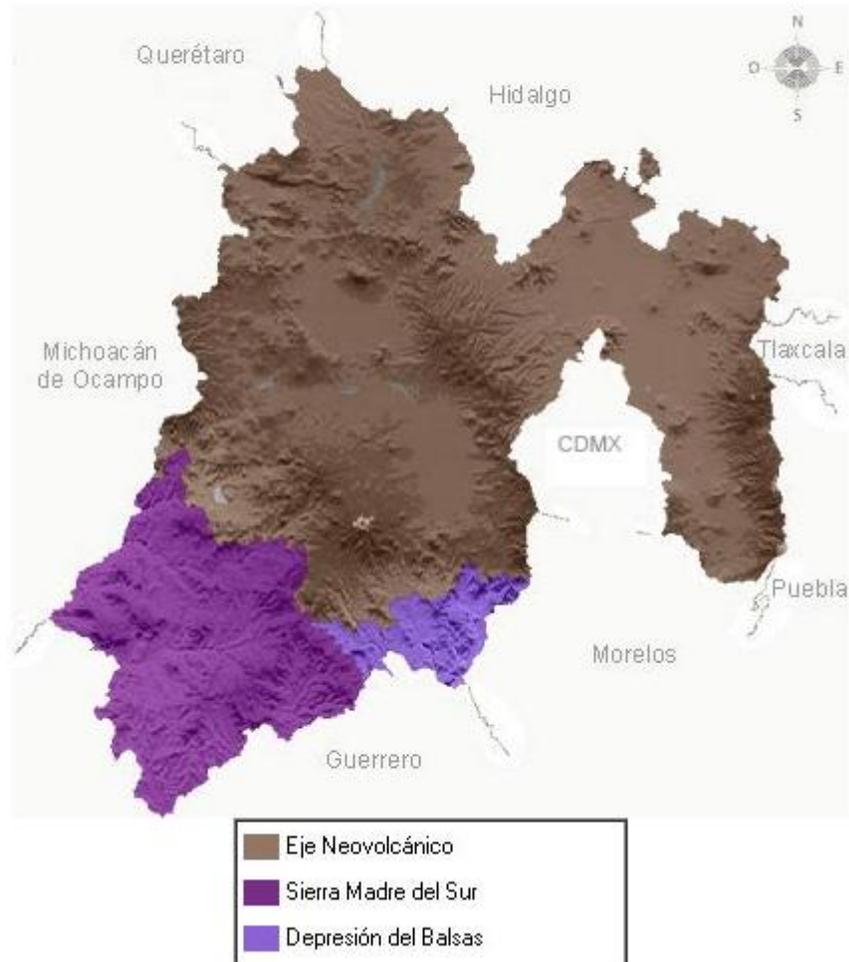


Figura 1. Morfología del Estado de México

Sus principales elevaciones son:

Nombre	Altitud (metros sobre el nivel del mar)
Volcán Popocatepetl	5 380
Volcán Iztaccíhuatl	5 203
Xinantécatl (Nevado de Toluca)	4 645
Cerro Tláloc	4 120
Cerro Telapón	4 064

FUENTE: INEGI. Carta Topográfica Escala 1:20 000, serie I.

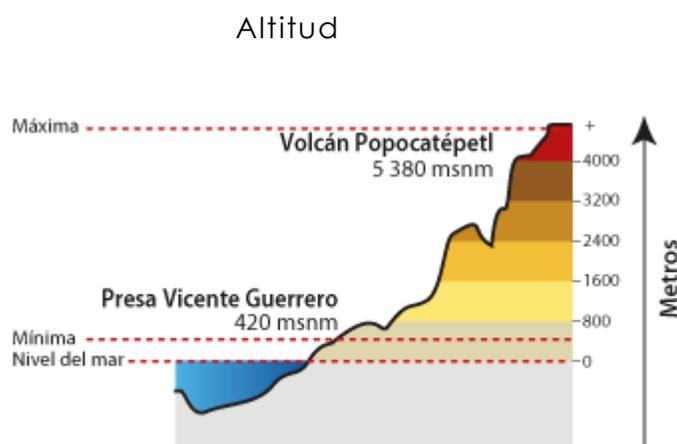


Figura 2. Elevaciones en el Estado de México.

b. Hidrología

El tramo en estudio se localiza en los municipios de Atlacomulco, Acambay, Aculco Ixtlahuaca, Jocotitlán y Polotitlán al norte del Estado de México, el cual pertenece a la mesorregión Centro-País.

El Estado de México está comprendido dentro de tres grandes cuencas, el Lerma, que ocupa el 27.3% de la superficie estatal; el Balsas 37.2% y el Pánuco 35.5%.

El río Lerma tiene una longitud aproximada de 125 kilómetros. Nace en el municipio de Almoloya del Río y desemboca en el océano Pacífico. Pasa por los municipios de: San Antonio la Isla, Tianguistenco, Texcalyacac, Santa Cruz Atizapán, Capulhuac, San Mateo Atenco, Metepec, Lerma, Toluca, Oztolotepec, Temoaya, Almoloya de Juárez, Ixtlahuaca, Jocotitlán, Atlacomulco y Temascalcingo. Por su margen derecha recibe las aguas de los ríos Tianguistenco, la ciénega de Texcaltenco, el Ocoyoacac, el Amealco, el Atarasquillo, el San Pedro, el Caparrosa, el Temoaya, el Solano, los manantiales de Jocotitlán y el Sila; y por la izquierda, el Verdiguél, el Calixtlahuaca, el Almoloya de Juárez, el Santa María del Monte y el Mineral del Oro.

Toda la región sur del estado forma parte de la cuenca del río Balsas, el Ocuilan o Chalma (con sus afluentes Malinalco, Zumpahuacán, Zempoala y Zarcas) se une al Amacuzac ya en el estado de Morelos; el río Tenango pasa de forma subterránea por las grutas de Cacahuamilpa, donde se conoce como Chontalcoatlán y llega al estado de Guerrero; el Malinaltenango se vierte en el Apetlahuacán; el Almoloya, el Sultepec e Ixtapan desembocan en el Balsas; mientras el Temascaltepec y el de La Asunción lo hacen en el Cutzamala. El de La Asunción recibe al de Valle de Bravo, al de Amealco de Becerra y al de Ixtapan del Oro.

La cuenca del río Pánuco está unido a la cuenca de México y tiene como fuentes originales las subcuencas del lago de Texcoco, que recoge las aguas de los ríos la Asunción, los Remedios, Tlalmanalco o de la Compañía, Río Frío, los Reyes y Panoaya; y la de Zumpango y Cuautitlán, que capta las corrientes de Zumpango, Coscomate, San Isidro, Aculco y Cuautitlán, que junto Taxhimay y Rosas alimentan el caudal del Tula - Moctezuma, que ayuda dar salida a las aguas negras de la ciudad de México. Aparte de las espectaculares lagunas del Sol y la Luna en el Nevado de Toluca, en el estado se encuentran las del cráter de Cerro Gordo; la de Atexcapan en Valle de Bravo; San Simón, en Donato Guerra; La que se halla entre San Pedro y la Concepción de los Baños; Tepetitlán, en San Felipe del Progreso; las cuatro de Acutzilapan al pie del cerro Jocotitlán, en Atlacomulco; El Rodeo, cerca de Xonacatlán; Xibojay y Santa Elena en Chapa de Mota, la de Huapango en Timilpan, la de Zumpango y el Lago Nabor Carrillo en Texcoco. Asimismo, existen manantiales de aguas termales en Ixtapan de la Sal, Tonicato, Apaxco, San Pedro de los Baños, Valle de Bravo, Sultepec, Temascaltepec y Tejupilco.

c. Localización

El Estado de México se ubica en el centrosur del país. Limita al norte con el Estado de Querétaro, al noreste con el Estado de Hidalgo, al este con el Estado de Tlaxcala, al sureste con el Estado de Puebla, al sur con el Estado de Morelos y Ciudad de México, al suroeste con el Estado de Guerrero y al oeste con el Estado de Michoacán. Tiene una superficie de 22,357 km² que corresponde al 1.1% de la superficie total del país. El Estado de México está constituido por 125 municipios.



Figura 3. Localización del Estado de México.

La construcción de la autopista Atlacomulco-Polotitlán se localizará en los municipios de Atlacomulco, Acambay, Aculco, Ixtlahuaca, Jocotitlán y Polotitlán al norte del Estado de México.

El municipio de Atlacomulco, México se ubica en la zona noroeste del Estado de México. Limita al norte, con los municipios de Acambay y Temascalcingo; al noreste, con el municipio de San Andrés Timilpan; al este, con los municipios de San Bartolo Morelos y San Andrés Timilpan; al sur y oeste, con el municipio de Jocotitlán; al noroeste, con los municipios de Temascalcingo y El Oro.

El municipio de Acambay se localiza en la parte noroccidental del Estado de México, limita al norte: el estado de Querétaro y el municipio de Aculco; al este: con los municipios de Aculco y Timilpan; al sur: con los municipios de Timilpan, Atlacomulco y Temascalcingo; al oeste: con el municipio de Temascalcingo y el estado de Querétaro.

El municipio de Aculco se ubica en la parte noroccidental del Estado de México, Colinda al norte con el estado de Querétaro y el municipio de Polotitlán; al sur con los municipios de Acambay y Timilpan; al este con el municipio de Jilotepec y al oeste con el estado de Querétaro.

El municipio de Ixtlahuaca se localiza en la parte noroccidental del Estado de México, sus coordenadas son: 19°28'06" al 19°44'03" latitud norte y 99°40'43" al 99°54'59" longitud oeste. Limita al norte con el municipio de Jocotitlán; al oriente con los municipios de Jiquipilco y Temoaya; al sur con Almoloya de Juárez; al poniente con los municipios de San Felipe del Progreso y Villa Victoria.

El municipio de Jocotitlán está localizado en la parte noroeste del Estado de México, se sitúa entre los paralelos 19°36'45" y 19°48'58" de latitud norte, entre los 99°39'33" y 100°00'55" de longitud oeste; limita: al norte con el municipio de Atlacomulco; al sur con los municipios de Ixtlahuaca y Jiquipilco; al este, con el municipio de San Bartolo Morelos; al oeste, con el municipio de El Oro y Temascalcingo; al suroeste con el municipio de San Felipe del Progreso.

El municipio de Polotitlán, se localiza en el vértice noroccidental del territorio mexiquense, entre los paralelos 20°06'44" y 20°17'27" de latitud norte y los meridianos 99°41'40" y 99°56'02" de longitud oeste. Su altitud promedio es de 2,350 metros sobre el nivel del mar, limita al norte con los estados de Hidalgo y Querétaro, al sur con Aculco, al este con el estado de Hidalgo y Jilotepec, mientras que al oeste colinda con Aculco y el estado de Querétaro.

d. **Clima**

El 73% del estado presenta clima templado subhúmedo, localizado en los valles altos del norte, centro y este; el 21% es cálido subhúmedo y se encuentra hacia el suroeste, el 6% seco y semiseco, presente en el noreste, y 0.16% clima frío, localizado en las partes altas de los volcanes.

La temperatura media anual es de 14.7°C, las temperaturas más bajas se presentan en los meses de enero y febrero son alrededor de **3.0°C**. La temperatura máxima promedio se presentan en abril y mayo es alrededor de **25°C**.

Las lluvias se presentan durante el verano en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de **900 mm** anuales.

El Nevado de Toluca (Alberge, Estación de Microondas), se registra una temperatura media anual de 3.9°C, que es la más baja de todo el país.

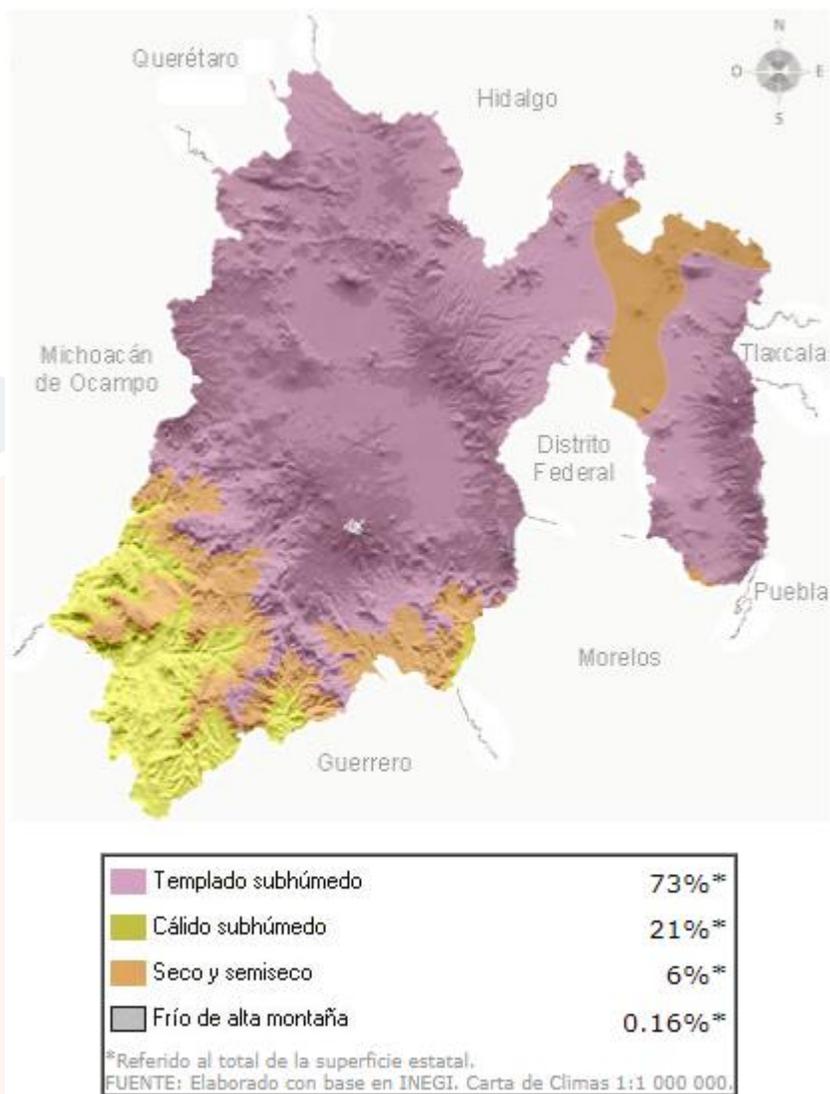


Figura 4. Climas en el Estado de México.

2.1.4. Descripción de la zona donde se desarrolla el proyecto.

e. Topografía

La zona donde se desarrolla el proyecto está conformada por lomerío suave tal y como se observa en la carta topográfica.

f. Geología

Municipio	Geología	
Atlacomulco	Periodo	Neógeno (60.16%) y Cuaternario (30.01%)
	Roca	Ígnea extrusiva: volcanoclástico (11.7%), andesita (27.63%), basalto (19.1%), brecha volcánica básica (1.19%), riolita (0.62%), toba ácida (23.29%) Sedimentaria: arenisca (1.42%), conglomerado (0.85%) Suelo: aluvial (12.81%)
Acambay	Periodo	Neógeno y Cuaternario
	Roca	Ígnea extrusiva: volcanoclástico (37.93%), andesita (16.68%), basalto (16.4%), dacita (3.1%), brecha volcánica básica (1.94%) y toba ácida (0.3%) Sedimentaria: conglomerado (1.01%) Suelo: aluvial (12.81%) Suelo aluvial: 13.28 %
Aculco	Periodo	Neógeno (94.37%) y Cuaternario (1.96%)
	Roca	Ígnea extrusiva: toba ácida (57.92%), basalto (17.53%), andesita (12.93%), volcanoclástico (4.33%), brecha volcánica básica (1.47%) y riolita (0.21%) Suelo: aluvial (1.94%).
Ixtlahuaca	Periodo	Neógeno (50.6%), Cuaternario (12.87%) y No aplica (6.95%)
	Roca	Ígnea extrusiva: Volcanoclástico (48.8%), basalto (6.97%), dacita (1.31%), brecha volcánica básica (0.46%) y andesita (0.02%) Suelo: aluvial (12.86%)
Jocotitlán	Periodo	Plioceno-Cuaternario
	Roca	Ígnea extrusiva: Volcanoclástico (68.7%), basalto (16.99%), brecha volcánica básica (2.46%) Suelo: Planosol (48.08%), Phaeozem (17.58%), Luvisol (11.1%), Andosol (10.26%), Fluvisol (4.24%) y Durisol (0.18%).
Polotitlán	Periodo	Oligoceno-Mioceno (95%) y Plioceno-Cuaternario (5%)
	Roca	Ígnea extrusiva: tobas ácidas, brechas volcánicas basálticas, basaltos y andesitas Suelo: feozem, litosol, planosol y vertisol

Fuente: elaboración propia con datos del Prontuario de información geográfica municipal INEGI, 2009.

CARTA GEOLÓGICA CIUDAD DE MÉXICO E14-2

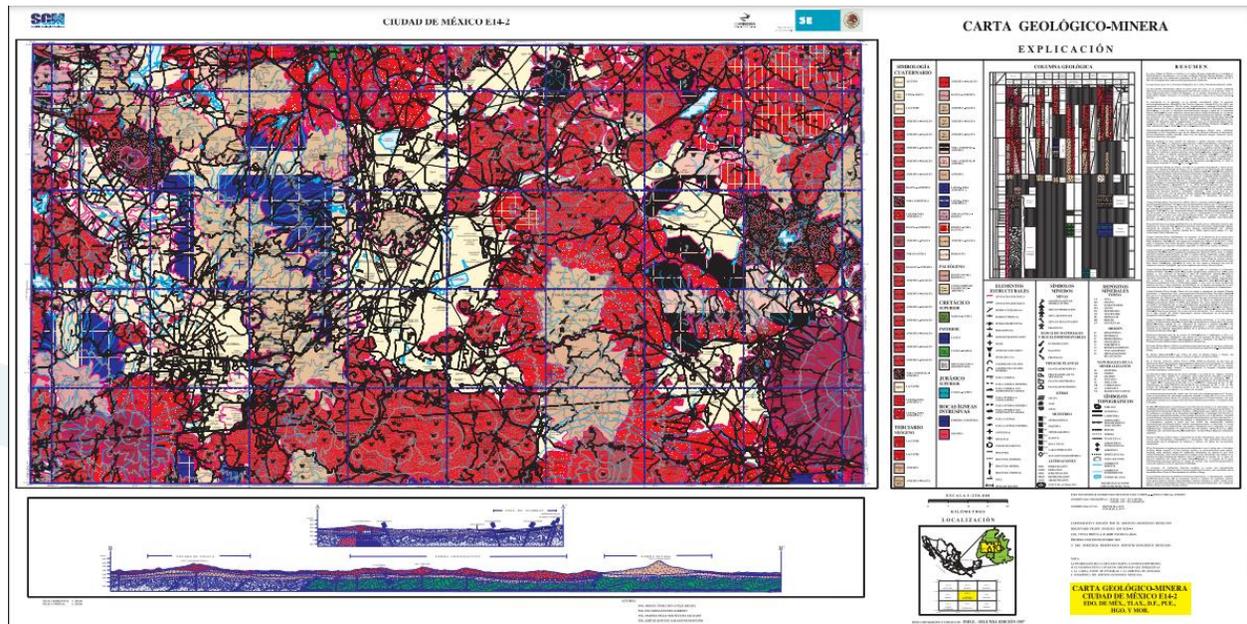


Figura 5. Carta Geológica Ciudad de México E14-2

La carta Ciudad de México se localiza en el centro del país, comprende en su totalidad al Distrito Federal y parcialmente a los estados de México, Tlaxcala, Morelos, Hidalgo y Puebla; está limitado por las coordenadas geográficas 19° 00' a 20° 00' de latitud norte y 98° 00' a 100° 00' de longitud oeste, cubre un área aproximada de 23,040 km².

La carta forma parte de la Provincia Fisiográfica de la Zona Neovolcánica (Raisz L, 1964).

Las rocas del Eje Neovolcánico cubren la mayor parte del área; en la porción occidental sobreyacen a la secuencia vulcanosedimentaria del Terreno Guerrero, en la porción norte a rocas sedimentarias de la Cuenca de Zimapán, en la porción nororiental a calizas de la Cuenca Sierra Madre Oriental y en el vértice suroriental a calizas de la Cuenca Guerrero- Morelos.

La estratigrafía es la siguiente: en la porción suroccidental aflora la secuencia metavolcanosedimentaria (KbeaMVS), del Terreno Guerrero, (Campa M. F. et al., 1983), que comprende a las formaciones Villa de Ayala, Acapetlahuaya y Amatepec. En el límite norte existen ventanas de calizas y margas del Albiano-Cenomaniano de la Formación Tamabra (KaceCz-Mg), a las que le sobreyacen discordantemente margas y lutitas de la Formación Soyatal (KcmMg-Lu); estos sedimentos forman parte de la Cuenca de Zimapán, en la porción nororiental afloran calizas y lutitas de la Formación Pimienta del Jurásico superior (JsCz-Lu), que pertenecen a la Sierra Madre Oriental; en la porción suroriental afloran calizas Albiano- Cenomaniano de la Formación Morelos (KaceCz).

Cubriendo discordantemente a las unidades del afloran conglomerados y areniscas, de la Formación Balsas (Tpae Cgp-Ar). Las riolitas y tobas riolíticas son descritas como Riolita Tlzapotla (ToR-TR), con edad radiométrica (K-Ar) de 38.2 ± 1.0 Ma (Alba-Aldave et al., 1996).

Sobreyaciendo discordantemente a todas las rocas anteriores afloran rocas volcánicas relacionadas al Eje Neovolcánico que van de edades del Mioceno al Reciente. La descripción de este vulcanismo se realizó tomando como base los diferentes campos que lo conforman dentro de esta región.

Fosa de Acambay. La base consiste de andesitas y dacitas descritas como Formación Xochitepec (TmA-Da), le sobreyacen tobas dacíticas y riolíticas del Plioceno, conocidas como Secuencia Piroclástica de Ñado (TplTDa-R) a la que le sobreyacen tobas andesíticas y andesitas también del Plioceno (TplTA-A1), así como por las Andesitas La Peña (TplA-Da1), que forman los domos de los cerros de La Peña y El Colmilludo; en el sur de la fosa afloran una serie de andesitas y basaltos descritos como Andesitas-Basaltos Octeyuca (TplA-B); en Atlacomulco, aflora la Andesita Atlacomulco y Basalto Metates (QptA-B1), el vulcanismo continuó en el reciente con el Volcán de Jocotitlán, donde se describe la unidad Pómez Jocotitlán (QhoTA) compuesta por productos piroclásticos de cenizas, tobas, brechas y aglomerados y el Domo Jocotitlán (QhoDa-A) de composición dacita andesítica, la edad se determinó por el método C^{14} de 890 ± 70 y 1270 ± 80 años.

Campo Volcánico Nevado de Toluca. Se ubica en la porción noroccidental y consta de los volcanes San Antonio y Nevado de Toluca, en el primero se han diferenciado dos unidades principales descritas como Secuencia Volcánica San Antonio (TplDa-A y TplLh-TA1) la primera forma el aparato principal y consiste de una serie de derrames y tobas; la segunda se extiende en las partes bajas del volcán, consiste de lahares y tobas, en el segundo volcán fue estudiada la Formación Zinacantepec (QptLh-TA1), también descritos como: "Conjuntos laháricos más antiguos", "Lahares de valle más jóvenes" y "Lahares pumicíticos tardíos". Conformando el aparato principal se encuentra la Formación Chontalcuatlán (QpthoDa-A), Ordóñez E. (1902) la consideró del Plioceno y Bloomfield K. et al., (1974 y 1977) consideraron que el volcán primitivo fue formado en el Pleistoceno tardío y después reventado por una erupción violenta tipo vulcaniano, De Cserna Z et al., (1981), reportan una edad K-Ar de 1.6 Ma. Sus productos volcánicos son derrames masivos y brechoides andesíticos. Como evento final de este vulcanismo ocurre una serie de derrames de tipo andesítico-basáltico (QhoA-B1), asociado a pequeños conos volcánicos, dentro de éste se engloba el vulcanismo del Volcán La Guadalupeana que es uno de los más extensos.

Campo Volcánico Sierra Las Cruces. Se edificó sobre la secuencia andesítica-dacítica descrita como Formación Xochitepec (TmA-Da), que está parcialmente cubierta por la Formación Las Cruces (TplA-Da2), así como por una serie de derrames de composición andesítico-dacítico con variación hasta riolitas, está cubierta por lahares y tobas andesíticas de la Formación Zempoala (TplLh-TA2) y por derrames de andesitas basálticas de la Formación Ajusco (QptA-B3), en la parte sur de la Sierra las Cruces,

cubren a la Formación Las Cruces del Plioceno tardío, por lo que se infiere una edad del Pleistoceno medio. Los aparatos volcánicos que presentan un vulcanismo de tipo andesítico-basáltico, fueron definidos como Formación Jumento (QhoA-B2), con edades de 0.004 a 0.01 Ma.

El material de estos tres campos, contribuyeron a la formación de los sedimentos lacustres que conforman la Cuenca de Toluca-Ixtlahuaca, descritos como Formación Ixtapantongo (Qptla), consistente de secuencia de tobas y rocas clásticas semiconsolidadas que incluyen conglomerados, areniscas y limolitas, Sánchez R. G., (1983) reporta cuatro edades C14, que varían desde 23180 a 1880 años b.p.

Campo Volcánico Sierra Chichinautzín. Se encuentra en la porción sur de la carta cubre parcialmente a la Sierra las Cruces, y por esa razón se considera que su base son los lahares y tobas andesíticas (TplLh-TA2), este campo fue estudiado por Mooser F. (1956, 1957 y 1961) quién le denominó como "Serie Basáltica Chichinautzin" (QpthoB-A y QhoA-B3), en la cual incluye también otros aparatos volcánicos esparcidos al norte de la Cuenca de México.

Campo Volcánico Guadalupe-Sierra La Muerta. Con base en los afloramientos de la Formación Chiquihuite (TmA-Da), que fue ampliamente estudiada por Mooser F. (1957), quien la designa como Serie Dacítica, posteriormente en 1962 le nombra Dacita Chiquihuite, siendo cubierta parcialmente por andesitas basálticas (TplA), en la Sierra La Muerta y en la Sierra Melchor Ocampo; dentro de este campo también se encuentran los restos visibles de enormes volcanes estratificados compuestos de andesitas oscuras de piroxenos y olivino, siendo denominada como Serie Santa Isabel-Peñón (QptA-B4). Al norte de este campo se encuentra una serie de sedimentos lacustres (TplQptla1), que están compuestos por arenas y limos arcillosos.

Campo Volcánico Humeros-Acocolco. La base de este campo lo constituye la Formación Andesita El Peñón (TplA-Da3 y TplTA-A2), nombre propuesto por Ledezma G.O. (1987), para designar a una secuencia de derrames y tobas de composición andesítica-dacítica; le sobreyace una secuencia riolítica (TplR-TDa) este vulcanismo está asociado a la Caldera Acocolco y es descrita por el mismo autor de manera informal como Riolita Chignahuapan, esta unidad se encuentra cubierta por andesitas-basaltos (QptA-BS, QptTA-A) del Pleistoceno, estudiada por Fries C. (1962), quien engloba a una serie de rocas producto de emisiones de lava y conos cineríticos. Se distribuyen en la porción nororiental de la carta abarcando los poblados de Cd. Sahagún, Tizayuca, Apizaco y los alrededores de Chignahuapan.

Campo Volcánico Sierra Nevada. Dentro de este campo se encuentran los volcanes Telapón, Iztaccíhuatl y Popocatepetl. Está representado por la Formación Tláloc (TM(?)Rd y TplQptA- Da), que es un conjunto de derrames riodacíticos, en la Sierra de Río Frío, están interdigitadas con sedimentos y tobas de la Formación Tarango. Se considera que esta sierra se formó en el Mioceno tardío-Pleistoceno temprano. Al sur aflora La

Andesita Iztaccíhuatl (TplQptA), descrita por Mooser F. (1962), para designar "las lavas superiores del macizo de ese nombre" mencionando que se trata principalmente, de andesitas porfídicas de piroxenos.

Las formaciones Popocatepetl (QpthoA-Da) y Tlayecac (QptLh-TA2, QhoLh-TA) forman un conjunto que se ha desarrollado en el Volcán Popocatepetl. Andesitas-Basaltos San Nicolás (QhoA-B4). Descrita por primera vez en esta carta con este nombre. Se le encuentra expuesto en la falda oriental del Volcán Popocatepetl, consiste básicamente de un derrame de composición andesítica-basáltica.

Campo Volcánico La Malinche. Se encuentra en la porción suroriental, a la base afloran andesitas no Diferenciadas (TptTA-A2y QptTA-A), que posiblemente forman parte del Campo Humeros-Acocolco, seguida de un vulcanismo de andesitas y basaltos (QptA-B7), son descritas por Castro G. R. (1999) como depósitos piroclásticos y domos relacionados a la evolución de La Malinche (QpthoTDa, QhoPA). En la periferia de este campo ha ocurrido vulcanismo holocénico (QhoA-B5).

Finalmente rellenando parte de las cuencas de Puebla-Tlaxcala y Calpulalpan se tiene a la Formación Calpulalpan (TptQptla2) que consiste de una secuencia de tobas, aglomerados, grava volcánica de origen fluvial y capas delgadas de pómez y diatomita. Con edad de C14 del Pleistoceno tardío y Holoceno que varía de 46,000 a 1420 años b.p.

El Granito Piedras Blancas (TeGr) es el principal cuerpo intrusivo que se encuentra aflorando, por el método Ar^{40} / Ar^{39} analizando biotita se le determinó una edad de 47.28 ± 0.23 Ma (Eoceno medio).

El Aluvión (Qhoal, Qholm-ar) que rellena los valles de México, Toluca y Puebla, está conformado por gravas, arenas, cenizas y arcillas, el espesor varía de 30 a 300 m.

En el Terreno Guerrero. Salinas P. J. C. (1994) definió la existencia de dos fases de deformación dúctil que generaron esquistocidades de plano axial y de crenulación. La foliación tiene una orientación $N10^{\circ}-25^{\circ}W$ y $N05^{\circ}-15^{\circ}E$ con inclinaciones al SW y SE. En las cuencas de Zimapán, Sierra Madre Oriental y Guerrero-Morelos la Orogenia Laramide originó un sistema de pliegues y fallas inversas.

Las fallas de la región indican que ha estado sometida a la acción de un régimen tectónico distensivo. Las fallas pueden ser catalogadas como fallas activas (normales), teniendo el sistema de fallas Acambay y Pastores-Santa María de Ilucan de orientación E-W, e inclinaciones al sur de 70° , Perales de rumbo $N40^{\circ}W$ con inclinación de 70° al NE, Nevado con un rumbo E-W e inclinación de 59° a 84° al S y $N45^{\circ}-60^{\circ}E$ e inclinación de 82° al SE, Chignahuapan de rumbo $N60^{\circ}W$, El Sol de $N45^{\circ}W$ con inclinación de 82° y 85° al NE; Taxcayo de rumbo E-W e inclinación de 83° al N. En la porción oriental se tiene un curvilineamiento que corresponde a la Caldera de Acocolco.

La tectónica presente nos permite sugerir que las rocas más antiguas presentes en el Terreno Guerrero son producto de vulcanismo submarino asociado al desarrollo de un arco de islas que probablemente inició a finales del Jurásico y continuó hasta el Cretácico inferior, este arco podría tener relación con la margen activa del Océano Pacífico, que involucra a las placas Kula y Farallón.

El Albiano-Cenomaniano se caracteriza por ser un intervalo de tiempo en el cual imperó una estabilidad tectónica en la región; lo que propició la precipitación de carbonatos que permitió el desarrollo de las formaciones Morelos y Tamabra, sedimentación que culmina con un cambio de carbonatos a terrígenos de la Formación Soyatal-Mezcala. A principios del Terciario se interrumpe la sedimentación debido a la fase tectónica más intensa de la Revolución Laramide caracterizada por esfuerzos compresivos; originando una deformación continua que imprime a las rocas cretácicas estructuras tales como pliegues y cabalgaduras. Casi contemporáneamente al levantamiento empieza a actuar una fase erosiva con sedimentación molásica representada por la Formación Balsas, también contemporáneamente se desarrolla el evento magmático de la Sierra Madre del Sur que pudiera relacionarse con la migración de arcos magmáticos que se distribuyen a lo largo de la costa del Pacífico (Moran Z. D. et al., 2000), evidenciado por intrusiones graníticas-granodioríticas (Granito Piedras Blancas) y vulcanismo andesítico.

Durante el Mioceno medio se inicia el desarrollo de El Eje Neovolcánico como una serie de eventos con características vulcanológicas y estructurales muy particulares cuyas rocas, caracterizadas por la abundancia de andesitas y dacitas, son típicas de una provincia calcoalcalina.

El Eje Neovolcánico se originó por un proceso de subducción en que la placa que se introduce en forma oblicua respecto a la fosa, presenta variantes en sus características como espesor, densidad, edad, distancia, ángulo de subducción, composición, etc, además de que otros eventos lo afectaron, como son: El choque de la antigua cresta del Pacífico que influyó en la tectónica de la parte occidental de México o como el cambio de la rotación de la placa de Cocos, la influencia del sistema de fallas Polochic-Motagua y la rotación de la placa Norteamericana, causas que generan un campo de fuerzas muy particular que permiten el ascenso de magmas a través de superficies de debilidad.

La presencia de yacimientos minerales metálicos es escasa, esta mineralización (auroargentífera) se presenta tan sólo en la parte occidental de la carta, y está constituida por las localidades Minas Viejas, El Descubrimiento, La Delfina y Bongu.

Los yacimientos minerales no metálicos revisten gran importancia, se documentaron alrededor de 400 minas de las cuales 100 se encuentran activas y consisten de materiales pétreos: arena, grava, tepetate, tezontle, calizas, diatomita, canteras volcánicas y arcilla común. Estas minas se encuentran distribuidas en 9 zonas mineras las de mayor importancia son: Ciudad de México, Toluca, Cruz Azul, Otumba y Tlaxco.

CARTA GEOLÓGICA PACHUCA F14-11

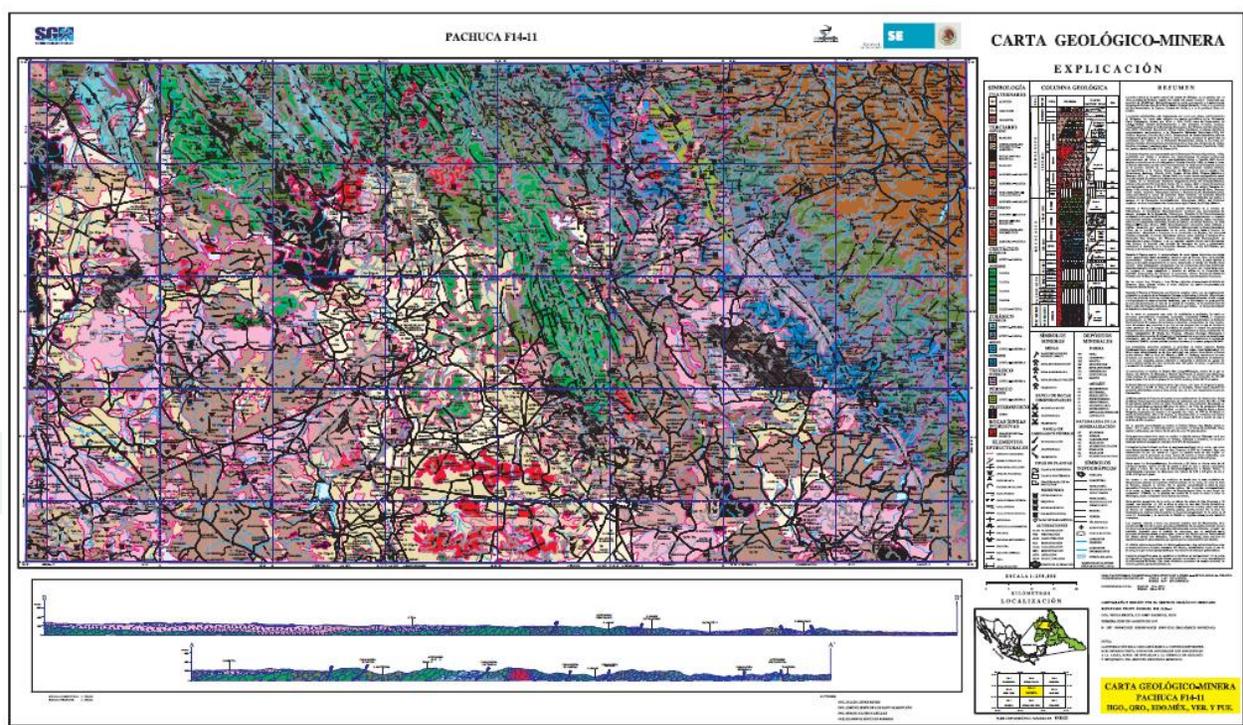


Figura 6. Carta Geológica Pachuca F14-11

La carta se ubica en la parte central del estado de Hidalgo; en su porción sur se ubica la ciudad de Pachuca, capital del estado del mismo nombre; comprende una superficie de 23,063 km². Fisiográficamente la carta corresponde a la subprovincia denominada Sierras Altas de la Sierra Madre Oriental (Raisz E., 1964), a la provincia del Eje Neovolcánico; la Llanura Costera del Golfo, y a la provincia Mesa del Centro.

La columna estratigráfica está representada por rocas con edades del Precámbrico al Holoceno; las rocas más antiguas son gneises granulíticos de la Formación Gneis Huiznopala, datada por Fries y Orta (1965), como del Proterozoico de $1,210 \pm 140$ Ma; subyace discordantemente a una secuencia de lutita, arenisca, conglomerados y calizas de la Formación Guacamaya del Pérmico Inferior (Carrillo, B.J., 1961). Cubriendo discordante afloran lutitas limolíticas, areniscas, limolitas y conglomerados pertenecientes a la Formación Huizachal (Robertson, 1925); del Triásico Superior, (Carrillo, B.J., 1961). Descansando en forma discordante, afloran terrígenos de grano grueso en la base y hacia la cima, areniscas de grano fino en alternancia con lutitas, de la Formación Huayacocotla, (Imlay et al., 1948), del Jurásico Inferior. Suprayaciendo discordantemente se tiene una alternancia de lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados, de la Formación Cahuwasas, (Carrillo B., 1965), del Jurásico Medio (Rueda 1972, Flores 1978).

El Jurásico Superior está representado por la Formación Trancas (Segerstrom, 1956), constituida por lutitas y areniscas con intercalaciones de margas y calizas con intercalaciones de tobas y lavas almohadilladas (Sutter y Carrillo, 1991), lo cual implica su relación con el Arco Magmático Tolimán (Carrillo, 1983), las tobas y lavas no fueron observadas en esta carta. Correlacionable en edad con la formación anterior en la porción oriental de la carta, aflora una alternancia calcáreo arcillosa correspondiente a la Cuenca Mesozoica de México, en la que se agrupa a las Formaciones Santiago, (Cantú, 1969), Tamán, (Heim, 1926), Chipoco, (Martínez y Hermoso, 1971), y Pimienta, (Heim, 1926). Las cuales fueron cartografiadas como una sola unidad. En forma concordante sobreyacen calizas intercaladas con grauvacas y lutitas, de la Formación Santuario (Segerstrom, 1961), del Crétacico Inferior, afloran en la porción Noroeste de la Carta. De la misma edad se tienen formaciones correlacionables entre sí: El Doctor (B., Wilson, 1954), con calizas; Tamabra (A., Heim, 1940), calizas, alternando con litoclastos y brechas calcáreas; El Abra, (Powers, 1925) calizas masivas; Tamaulipas Inferior y Superior (L.W., Stephenson, 1921), calizas con nódulos y lentes de pedernal. Estas unidades del Crétacico Inferior cambian transicionalmente hacia la cima a calizas, interestratificadas con lutitas y margas, de la Formación Soyatal-Mezcala (Segerstrom, 1961); del Crétacico Superior; en otras localidades como formaciones Agua Nueva, San Felipe, Méndez.

Durante el Paleoceno-Eoceno hacia la porción Nororiental en la Cuenca de Chicontepec, se depositaron discordantemente areniscas con intercalaciones de margas arenosas de la Formación Chicontepec, (Dumble, 1918). Discordantemente se depositó la Formación El Morro (Eoceno-Oligoceno), discordantemente se depositó una sucesión volcánica, constituida por lavas, brechas volcánicas, tobas y areniscas tobáceas, de composición andesítica, dacítica y riolítica, del Grupo Pachuca, de edad Oligoceno—Plioceno, (Geyne, 1963). Discordantemente sobreyacen tobas riolíticas y riolitas, coronadas por andesitas basálticas. Sobreyaciendo en forma discordante aflora, en la porción norponiente de la carta, derrames, tobas y brechas de composición andesíticas a basálticas de la Formación Las Espinas, del Mioceno-Plioceno. Cubriendo en forma discordante afloran tobas riolíticas y dacíticas de la Formación Don Guinyo, del Plioceno (Segerstrom, 1956). Suprayaciendo en discordancia al grupo Pachuca, y en un aparente cambio lateral, con la Formación Don Guinyo, se depositó una sucesión de derrames de lavas y aglomerados andesíticos y dacíticos de la Formación Zumate, (Fries, 1963), del Plioceno, que afloran en las sierras de Pachuca y Actopan.

Durante el Plioceno ocurre el emplazamiento de rocas ígneas intrusivas, que varían desde granodiorita hasta monzonita, mientras que, en Bernal, Qro., es un pórfido cuarzolítico. Afloran en la porción norte centro de la carta, y como apófisis y diques, en la región norponiente de la carta, destacando el cuerpo El Yonthe. Estos cuerpos están íntimamente relacionados con los yacimientos minerales. Cubriendo discordantemente a la Formación Zumate, aflora en la parte sur centro de la carta, un paquete de rocas andesíticas y basaltos de olivino de la Formación San Cristóbal (Geyne, 1963), del Plioceno. Al nororiente afloran basaltos de olivino del

Plioceno con 7.1 Ma (Cartagel y Robin, 1979) conocida como formación Tlanchinol.

En los cerros Las Navajas y Las Piletas, ubicados al surponiente del distrito de Zimapán, Hgo., afloran riolitas y tobas riolíticas las cuales corresponden a la Formación Riolita Navajas.

Durante el Plioceno y Pleistoceno, se rellenaron amplios valles con un conglomerado polimíctico y areniscas de la Formación Tarango o Atotonilco el Grande, (Segerstrom, 1961). La actividad volcánica, continuó durante el Plioceno-Pleistoceno, dando origen a la depositación de rocas extrusivas basálticas, que se distribuyen en gran parte de la carta. En discordancia al este de la ciudad de Pachuca, en la ranchería Cruz de Mujer, aflora la Traquita Guajolote, del Holoceno; por último, en forma discordante se depositaron aluviones y coluviones.

En la carta se presentan una serie de anticlinales y sinclinales, los cuales se presentan generalmente recostados, isoclinales, orientación NW-SE, y vergencia predominante al NE, de varios cientos de kilómetros característicos de la Sierra Madre Oriental. En muchos de los flancos se observan cabalgaduras de bajo ángulo, cuyas direcciones son paralelas a los ejes de los pliegues por lo que se interpreta como producto de la Orogenia Laramide; de poniente a oriente las principales estructuras son: anticlinorio Tolimán, cabalgaduras El Doctor y Gatos, anticlinorio El Piñón, cabalgaduras El Fraile, La Trancas, Jiliapan, Santiago, Huiznopala y anticlinorio Huayacocotla. El fallamiento y fracturamiento se presenta en dos sistemas principales, uno de orientación NW-SE, que es el predominante; el segundo de orientación NE-SW; existen también fracturas norte—sur y en menor proporción E-W.

Los yacimientos minerales metálicos se presentan en cuatro regiones: Región Pachuca-Actopan, la cual se puede subdividir en dos zonas, zona Pachuca-Real del Monte cuya mineralización es de tipo epitermal con relleno de cavidades y fisuras; en dos sistemas N-S en Real del Monte; y E-W en Pachuca; estructuras en vetas de cuarzo, con espesores de 2.0 m y desarrollo de varios kilómetros; los minerales de mena son: argentita, galena, esfalerita y calcopirita y electrum; en ganga de cuarzo, pirita y calcita, las leyes promedio son: 250 g/ton de plata, 1.4 g/ton de oro y menos del 1 % de zinc y plomo.

Al noroccidente se localiza la Región San Joaquín-Zimapán, dentro de la que se ubican los distritos de Zimapán y Maconí (La Negra); el primero con chimeneas, vetas y mantos de reemplazamiento metasomático, con leyes promedio de 95 a 187 g/ton de plata, 1.2 a 2.4% de plomo, 2.12 a 4.82% de zinc y 2.48 a 10.7% de cobre.

El distrito Maconí la mineralización es de tipo skarn, con leyes de 90 g/ton de plata, 3% de plomo y 2.34% de zinc, así mismo se localizan, varias minas inactivas de mercurio, distribuidas en toda el área, siendo una de las más importantes la zona de Calabacillas.

Al SE del poblado de Vizarrón se localiza la zona antimonífera de Sombrerete, donde se ubican ocho prospectos con diseminación de antimonio del orden del 2%; al NE de este mismo poblado se tiene la mina Coahuila, con mineralización diseminada en una brecha

calcárea con leyes de 258 g/ton de plata y de 1.8% de antimonio. Hacia el N y SE de la Unidad El Carrizal se ubica la zona Espíritu Santo y Santa Gorgonia, la primera con mantos y la segunda con vetas. Al NW de El Monte se ubican las minas Pino Alto y El Zapote, la mineralización es vetiforme con valores de 313 a 346 g/ton de plata, de 0.40 a 0.18% de plomo, de 0.27 a 0.61% de zinc y de 0.24 a 0.38 % de cobre.

En la porción noroccidental se localiza el Distrito Minero San Martín donde se extrae oro y plata, la mineralización se presenta en forma de stockwork, vetas, mantos y chimeneas, con valores de 5.9 g/ton de oro y 73 g/ton de plata.

En la parte nororiente de la carta se localiza el distrito minero Molango, en el que se ubican las zonas manganesíferas de Otongo, Tlatzintla y Nonoalco, en las que se explotan óxidos de manganeso con leyes de 37.6% de manganeso.

La Región Jacala-Cardonal, se ubica al centro-noroccidental de la carta, con varias zonas mineralizadas como es la zona San Clemente al NW de Cardonal, Hgo., con diseminación de oro del orden de 1 g/ton. La porción norte de esta región se caracteriza por la presencia de vetas (zonas de Corcus y Cerro Colorado), con espesores de 0.8 R 1.0 m y leyes de oro de 1.1 a 3.5 g/ton y plata de 39 a 89 g/ton.

En las zonas La Pechuga-Bonanza, Providencia y El Potro, se tienen vetas de 1.5 a 2.0 m de espesor, valores de 6% de plomo y 10% de zinc y valores esporádicos de plata y cobre. En las zonas de Encarnación-Plomosas y Encino Prieto, la mineralización se presenta en chimeneas con valores de 0.50 a 5.8 g/ton de oro y de 91 a 198 g/ton de plata.

En cuanto a los minerales no metálicos se cuenta con: la zona caolinífera de Huayacocotla, ubicada en la porción centrooccidental de la carta, así como la zona de Barujas, ubicada al oriente. En la porción noroccidental se ubica la zona marmolera Vizarrón, en la que se explotan calizas. En la porción centro—occidental de la carta, se tiene la zona opalífera de Tequisquiapan, Qro., es una franja de orientación NW-SE; en la porción sur oriente de la carta se ubica la zona de Huichapan, donde se explotan varios bancos de cantera.

En la porción nor-oriente de la carta, se ubican las minas de San Francisco y El Arenal, con fosforita. Al NE se ubica la mina de yeso San Nicolás Tolentino en explotación a cielo abierto. En la porción sur-poniente de la carta, existe una serie de bancos en explotación por cantera, pómez, gravas, arenas. En la zona de Ixmiquilpan se explotan vetas de calcita, en la porción sur-poniente de la carta en el cerro de Bomintzha y la rancharía de Ninthi se explotan calizas para la industria cementera.

Las regiones mineras o áreas con potencial metálico son: La Encarnación, en la porción norte-centro de la carta, presenta posibilidades de un amplio potencial minero por la presencia de granodiritas-dioritas intrusionando a rocas calcáreas, creando un ambiente favorable para el depósito de minerales, que se manifiesta con la presencia de diversas minas en esta región. Al norte del distrito minero Pachuca-Real del Monte

(áreas San Sebastián, Capulines y Mesa Chica), existe una serie de manifestaciones de mineralización, que pueden ser la continuidad de este distrito.

El distrito minero manganífero de Molango-Nonoalco, cuya mineralización se aloja en rocas jurásicas en la parte norte—este del distrito, extendiéndose hacia el sur de la carta, es lo que la hace prospectable por este mineral, así como por polimetálicos.

Las áreas prospectivas para no metálicos se localizan al norte-poniente de la carta, en Vizarrón y Chavarría, donde afloran grandes extensiones de rocas marmolizadas de la Formación El Doctor. Las rocas volcánicas presentan un amplio potencial en canteras, pómez, agregados pétreos, etc.

g. Drenaje

Drenaje dendrítico: es aquel que forma una mano extendida, siendo equivalentes los afluentes del río principal, a cada uno de los dedos de la mano. Es el tipo de drenaje fluvial más común que existe. La palabra dendrítico procede del griego “dendron”, que significa árbol, debido a la semejanza que este tipo de drenaje tiene con un árbol y sus ramas, las cuales forman sus tributarios o afluentes.

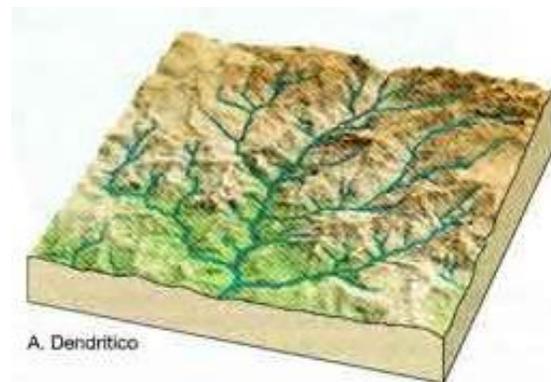


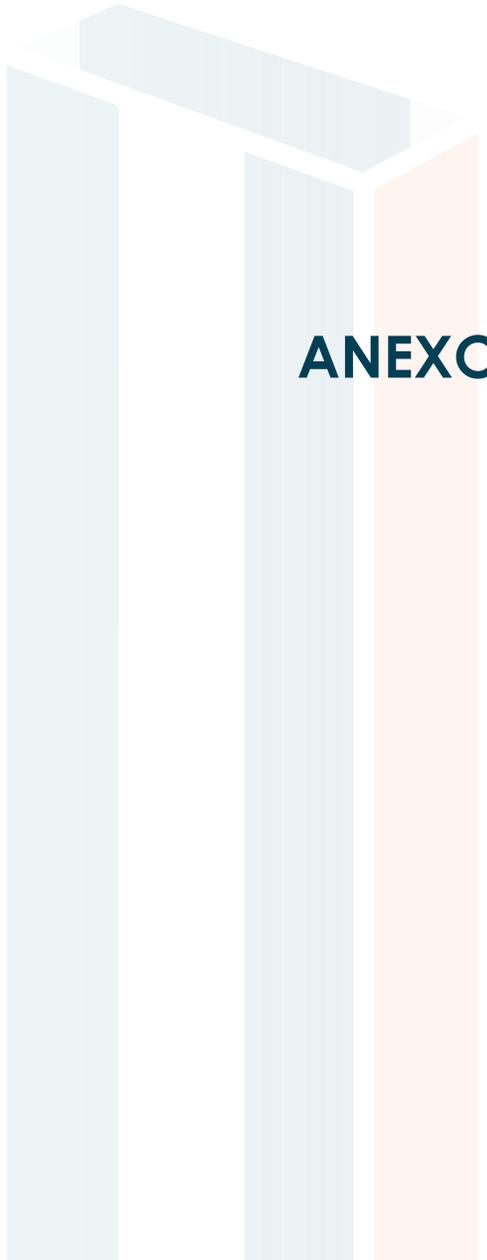
Figura 7. Drenaje dendrítico

2.1.5. Informe Geotécnico o Tabla de Datos para Curva Masa Preliminar

Con la información recabada a través de las cartas geológicas denominadas E14-2 Ciudad de México y F-11 Pachuca, del Servicio Geológico Mexicano, de las observaciones realizadas mediante Google Earth®, el recorrido de campo, así como con los perfiles y secciones transversales preliminares, se determinaron las unidades geológicas sobre las cuales se tiene el Eje de Proyecto Preliminar. Dicho informe se presenta en el Anexo 1.

Contactos geológicos observables sobre eje de proyecto

Subtramo	Unidad geológica
Km 0+000 a Km 4+200	Qptla; Lacustre
Km 4+200 a Km 4+500	Qhoal; Aluvial
Km 4+500 a Km 7+140	Qptla; Lacustre
Km 7+140 a Km 26+200	QhoTa; Toba andesítica
Km 26+200 a Km 29+100	TmA-DA; Adesita – Toba andesítica
Km 29+100 a Km 35+320	Qhoal; Aluvial
Km 35+320 a Km 48+100	Qptla; Suelo aluvial
Km 48+100 a Km 49+500	TpITr-TDa; Toba riolítica – Toba Dasítica
Km 49+500 a Km 57+100	Tpl-QB; Basalto
Km 57+100 a Km 62+400	TpITr-TDa; Toba riolítica – Toba Dasítica
Km 62+400 a Km 63+100	Tpl-QB; Basalto
Km 63+100 a Km 63+900	TpITr-TDa; Toba riolítica – Toba Dasítica
Km 63+900 a Km 64+780	Tpl-QB; Basalto
Km 64+780 a Km 66+100	TpITr-TDa; Toba riolítica – Toba Dasítica
Km 66+100 a Km 66+500	Tpl-QB; Basalto
Km 66+500 a Km 68+800	TpITr-TDa; Toba riolítica – Toba Dasítica
Km 68+800 a Km 73+200	Tpl-QB; Basalto
Km 73+200 a Km 75+020	TpITr-TDa; Toba riolítica – Toba Dasítica
Km 75+020 a Km 82+120	Tpl-QCgp-Ar; Conglomerado polimíctico-Arenisca
Km 82+120 a Km 83+040	TpITr-TDa; Toba riolítica – Toba Dasítica



ANEXO 1. TABLA PARA CURVA MASA

