

# CAPÍTULO I

## *CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS DEL VALLE DE PUEBLA*

## **I. CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS DEL VALLE DE PUEBLA**

El arreglo geológico del estado de Puebla es muy variado y complejo, particularmente en la zona sur, ya que en este lugar se localizan materiales metamórficos con edades que van desde el Precámbrico hasta el Mesozoico y que se encuentran limitados por extensas zonas de falla. Muy probablemente el mayor cambio geológico se produjo durante el periodo Terciario, representado por grandes elevaciones, plegamientos, depresiones, fracturas y dislocaciones; que hasta la fecha siguen manifestando la inestabilidad del lugar y teniendo como consecuencia una sismicidad importante de origen tectónico (ref 10), volcánica y aún de movimientos superficiales. Las rocas que componen estos territorios han sido afectadas por diversas fases de metamorfismo y deformaciones en el tiempo geológico, y no se cuenta con información detallada que proporcione un modelo evolutivo completamente satisfactorio que describa eficientemente todas las peculiaridades que se encuentran en el sur de México. El más amplio de estos terrenos en el estado pertenece al Paleozoico Inferior, conocido con el nombre de complejo Acatlán, aflora ampliamente en toda el área de la mixteca poblana. Sobre este basamento metamórfico se encuentra una variada secuencia sedimentaria marina, que data de la era Mesozoica, y que es prueba de la invasión del océano en varios puntos de la entidad. A finales de esta era y a principios de la Cenozoica, las rocas sedimentarias que se formaron en fondos marinos fueron modificadas, fracturadas y plegadas. Posteriormente a la etapa compresiva se producen emisiones de materiales volcánicos a partir de fracturas en la corteza terrestre, esto se atestigua por los grandes volúmenes de lava y piroclastos que forman la provincia de la Faja Volcánica Mexicana o Eje Neovolcánico (ref 11).

### **I.1 Descripción geológica**

El basamento metamórfico existente en el estado aflora únicamente en su parte sur y se ubica en la zona limítrofe con el de Oaxaca; en él se puede apreciar la existencia de metamorfismo y deformaciones en diferentes grados (ref 12). Por otra parte, el sector centro-meridional del territorio estatal constituye una de las localidades fosilíferas cretácicas más importantes de América del Norte; y se localiza aproximadamente a 60 km al SE de la Ciudad de Puebla, en terrenos de la Mixteca alta.

**Geología histórica.** Esta puede abarcar desde el Cretáceo, periodo durante el cual se tiene una noción de la sedimentación de materiales calcáreos y que debido a movimientos de tipo orogénico produjo su posterior emersión. Después de esta etapa, durante el periodo Terciario y a principios del Cuaternario, se tienen emisiones de lava que dan paso a la formación de rocas basálticas y diversos depósitos de tobas arenosas producto de los últimos procesos volcánicos. Estas tobas sobreyacen a las rocas basálticas preexistentes y cubren la zona donde actualmente se ubica la ciudad, dando paso a la estratificación con sedimentos fluviolacustres. Los estratos formados más recientemente son depósitos de travertino producto de aguas termales que provienen de una falla en la zona y depósitos de tipo aluvial aportados por el Río Atoyac y sus diversas ramificaciones.

**Estratigrafía.** La estratigrafía en el Estado de Puebla es muy variada, debido a la antigüedad geológica en la zona, se han estudiado características del suelo en lugares del estado logrando obtener propiedades detalladas; las formaciones que se observan actualmente son resultado de un proceso continuo de transformaciones que han durado millones de años, a continuación se presentan algunos rasgos peculiares a lo largo de las diferentes eras geológicas.

- a) Precámbrico. En la parte sureste del estado existen pequeños cuerpos de rocas metamórficas que pertenecen al Complejo Oaxaqueño, estudios radiométricos consignan edades variables entre 1100 y 900 millones de años, estos afloran en el municipio de Caltepec en forma de ventanas geológicas de poca extensión. Las relaciones entre este complejo y los terrenos adyacentes son de tipo tectónico, y su mayor extensión se tiene hacia el estado de Oaxaca; junto con el Complejo Acatlán, constituyen el basamento sobre el cual se desarrollaron todas las secuencias litológicas posteriores.
- b) Paleozoico. Las rocas paleozoicas que afloran en el estado de Puebla se localizan principalmente en el sector sudoccidental de la entidad, en la colindancia con los estados de Oaxaca y Guerrero. De estas se distinguen dos tipos principales: una metasedimentaria y otra de origen magmático, rocas con una antigüedad de 350 millones de años se encuentran enmarcadas por las

localidades de Chiautla, Izúcar de Matamoros, Huehuetlán, Santa Inés y Ahuatempan.

- c) Mesozoico. Las rocas mesozoicas más antiguas dentro del estado, pertenecen al periodo Triásico y están representadas por una potente secuencia de sedimentos continentales (lechos rojos) pertenecientes a la formación Huizachal. La secuencia consta de arenisca, conglomerado y algunas capas de lutita arenosa, que forman estratos masivos y delgados. Se localiza al oeste de Huauchinango, a lo largo de una gran estructura de plegamiento con orientación noroeste-sureste conocida como el Anticlinorio de Huayacocotla, en la Sierra Madre Oriental.
- d) Cenozoico. En la zona norte del estado, las rocas sedimentarias son todas de tipo clástico. Fueron depositadas de manera progradante en franjas paralelas a la costa del Golfo de México; de tal forma que afloran depósitos del Paleoceno, Eoceno y Oligoceno, formados por una interstratificación de lutitas y areniscas. Presentan huellas de pistas de organismos y sobreyace en concordancia a las unidades de caliza y lutita del Cretácico Superior. Pertenecen a la formación Chicontepepec y se sitúan entre las partes bajas de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo Norte, en los extremos norte y sureste de la entidad. Asimismo, existen afloramientos de esta unidad hacia el extremo sureste del estado.

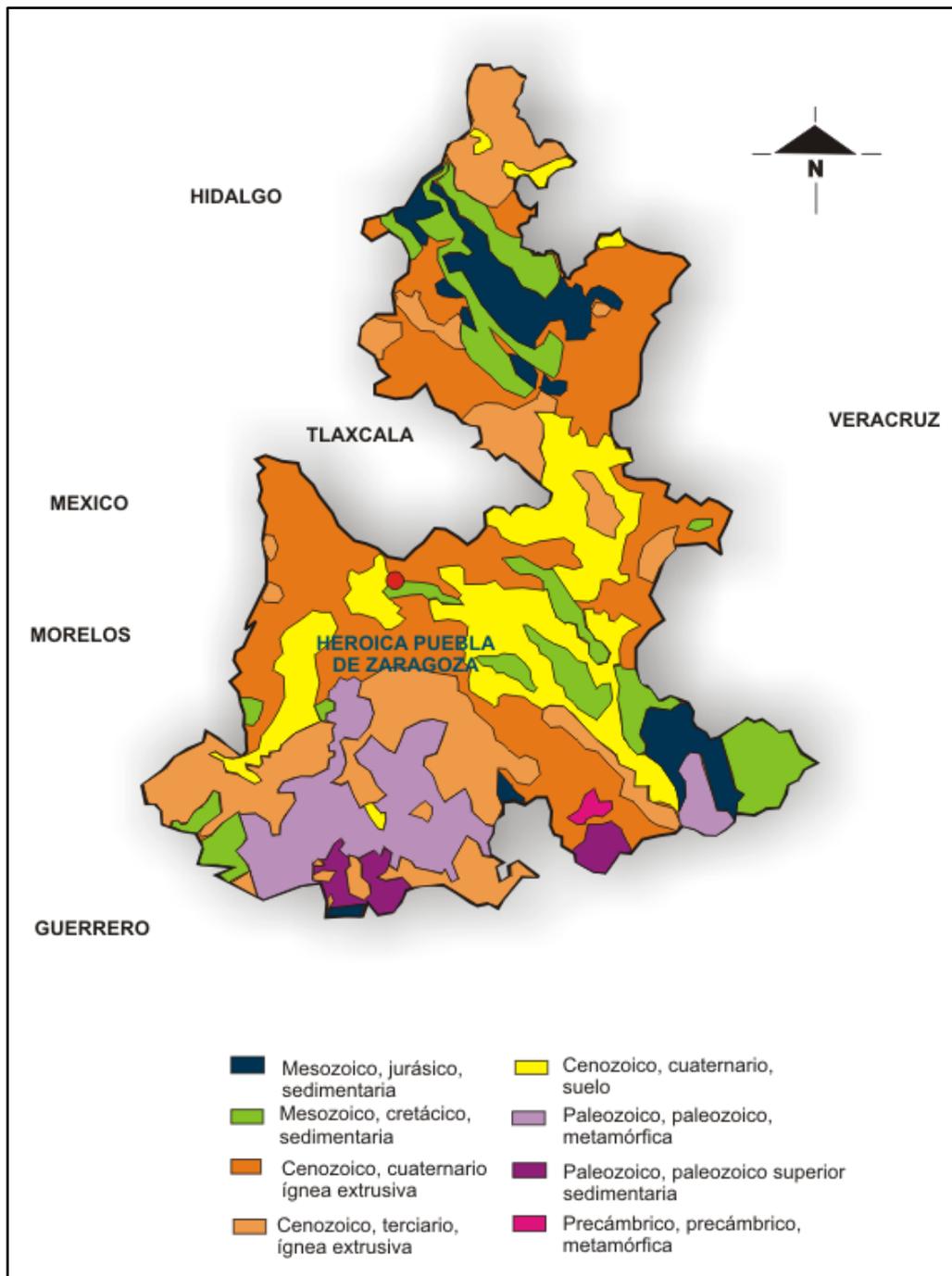


Figura I.1 Geología general del estado de Puebla (ref 13)

**Principales afloramientos.** Cerca de la Ciudad de Puebla existen afloramientos de rocas cretáceas y otras que se formaron a fines del periodo Terciario y en el Cuaternario. Las de mayor antigüedad son las calizas que afloran al oeste de la ciudad; las capas más

recientes son depósitos de relleno y materiales volcánicos. Una descripción de estos materiales se presenta a continuación (ref 14).

- a) Calizas. Esta formación se encuentra expuesta en el territorio occidental del estado, este material se ha ocupado para la fabricación de ladrillos sílicocálcicos. La roca tiene un color gris oscuro, se presenta en estratos de 20 a 30 cm de espesor y se encuentra fracturada. Las calizas en las que aun no existe un desarrollo urbano se les considera del Cretáceo. Es importante apuntar que al norte de la zona de afloramientos de calizas se localiza un cerro apartado en el que hay una roca de color gris claro muy recristalizada que contiene pequeños cristales alargados de coloración oscura. Aparentemente este material es una caliza recristalizada y metamorfozada. Los materiales mencionados anteriormente no tienen mucha importancia para la mecánica de suelos porque su área de afloramiento es muy limitada, aunque es relevante para la geología estructural ya que existe la posibilidad de encontrar en el sitio una falla importante.
- b) Basaltos y tobas limosas. En los sitios que se encuentran al sur y al oeste de la ciudad, en Lomas de Loreto y Cinco de Mayo, aparece lava basáltica, la cual se encuentra recubierta por tobas limo-arenosas y arenosas de un color amarillento. Algunas lavas son de color grisáceo oscuro y presentan cristales grandes de color verde que probablemente sea olivino. Esto puede ser prueba de que se trata del frente de una colada. Recubren discordantemente a las rocas basálticas, tobas arenosas, limo-arenosas de color amarillento y generalmente compacto, estas formaciones son las últimas evidencias volcánicas que se tienen registradas en la región y se estima que estos materiales se produjeron en el Cuaternario.
- c) Escorias basálticas. En la zona oriental de la ciudad se encuentra el cerro de la Paz que es un cono volcánico formado con escorias basálticas de color rojizo, en este lugar existe desarrollo urbano y este material ha sido utilizado como base y revestimiento de carreteras.

- d) Depósitos volcánicos y fluviales. Casi en la totalidad de la ciudad de Puebla existen intercalaciones de tobas volcánicas que se encuentran depositadas en agua y sedimentos fluviales. Estas poseen las mismas características granulométricas y el mismo origen que las observadas sobre los basaltos, con la única diferencia que en este caso se encuentran interestratificadas con depósitos de origen fluvial y lacustre como arcillas o cantos rodados. Las tobas contienen minerales como plagioclasa, horblenda, cuarzo, óxidos de hierro y micas, y son parecidas al material conocido como “tepetate” en el valle de México.

Es relevante destacar que en zonas cercanas a la Ciudad de Puebla se localiza un depósito de arcilla plástica que a veces aflora y en otras ocasiones se encuentra a una profundidad de entre 3 y 4 m. El depósito de arcilla no aparece en la parte nororiental de la ciudad donde los arroyos ingresan al valle y como consecuencia arrastran materiales más gruesos.

En las formaciones producidas a causa de ríos y arroyos se pueden apreciar algunos cortes de grava empacada en material limo-arenoso, estas capas tienen una longitud limitada para después convertirse en materiales más finos. Se estima que estos depósitos se formaron en el Cuaternario, al mismo tiempo que otras emisiones volcánicas.

- e) Depósitos de travertino. Existen tres afloramientos de aguas sulfurosas templadas que se ubican, el primero en la zona denominada Rancho Colorado, el segundo cercano al cerro de la Paz y el último en el lugar llamado Agua Azul. Estos afloramientos con altos contenidos de carbonato de calcio propiciaron la sedimentación de travertino en el lugar.

El travertino es un material de origen calcáreo que usualmente tiene su formación alrededor de manantiales y géiseres y que se produce por la precipitación de materiales que se encuentran disueltos, el componente principal es el carbonato de calcio que lo contienen aguas subterráneas, este compuesto puede ser originado por un aumento en la temperatura,

disminución de presión, evaporación y por la combinación de estos factores. Este material puede localizarse en diversas zonas de la ciudad, principalmente en el centro, aunque la profundidad a la que se encuentra es muy variada al igual que sus espesores. Los travertinos son de composición dura, pero son algo porosos, con algún contenido de arena y una coloración amarillenta.

- f) Depósitos aluviales. Estos depósitos se localizan en la zona sureste de la ciudad, en los alrededores del río Alseseca, cerca de la Ciudad Universitaria, se encuentran materiales constituidos por arenas y arenas limosas, sobre los cuales se ha desarrollado una colonia popular, materiales muy similares se encuentran en la mayoría de los ríos, algunos de los cuales han sido entubados.

**Geología estructural.** Hacia la parte norte del estado se pueden encontrar estructuras en la corteza terrestre con pliegues convexos hacia arriba o abajo, que se localizan recostados hacia el noreste. Estos pliegues forman parte de una megaestructura en la zona de Huayacocotla que se extiende desde los estados colindantes como son Hidalgo y Veracruz, se encuentran orientados desde el noreste hacia el sureste y se propagan hasta intersectarse con el Eje Neovolcánico. Existen formaciones intrusivas que interrumpen la secuencia del Mesozoico que fueron inyectadas durante el periodo más activo a fines del Cretácico hasta mediados de la era Terciaria. Las fallas y fracturas de tipo normal afectan tanto a las rocas del Mesozoico como a las del Terciario, que se extienden hasta la planicie costera del Golfo del Norte, lo que dio lugar a un aspecto escalonado.

La Faja Volcánica Mexicana o Eje Neovolcánico, se formó a lo largo de una serie de fallas de tensión en diversas direcciones que dieron lugar a grandes fosas tectónicas y sistemas volcánicos. En esta región se encuentran grandes estructuras que han dividido al territorio poblano en varios cientos de kilómetros. Los principales volcanes que la entidad comparte con estados cercanos tienen grandes dimensiones como son el caso del Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, el Pico de Orizaba y la Malinche. Los dos primeros se encuentran alineados notoriamente en dirección norte-sur, el mismo caso se presenta con el Pico de Orizaba y el Cofre de Perote, estas grandes estructuras fueron formadas por materiales piroclásticos

y derrames lávicos. También existe evidencia de emisiones fisurales y numerosos conos que han tenido formación en las laderas de los grandes volcanes. Una zona que muestra actividad reciente es la llamada Caldera de los Humeros, que es otra gran estructura volcánica con cerca de 21 km de diámetro; tiene derrames lávicos, zonas de colapso y emisiones piroclásticas a gran escala. Otras estructuras relevantes son los conos cineríticos que se encuentran dispersos en toda la provincia y algunos cráteres de explosiones en la cuenca Oriental y que en un caso llega a tener un kilómetro de diámetro.

La porción sur del estado es la que presenta mayor complejidad estructural y donde se presenta diversa actividad tectónica, las rocas más antiguas presentan varias etapas de deformación, intrusión y metamorfismo, así como evidencias de plegamientos, fallas normales e inversas, los sistemas de fracturamiento generalmente se alinean en dirección noreste-sureste (ref 15).

## **I.2 Información geotécnica**

Durante varios años se han realizado diversos estudios de mecánica de suelos, que han dado una idea general de las características geotécnicas en el valle de Puebla, dicha zona está ubicada en un lugar de mucha antigüedad geológica, lo que ha dado como resultado una composición geotécnica variada, a pesar de los estudios realizados hasta ahora aun quedan algunas interrogantes acerca del subsuelo en esta área, los depósitos que se han encontrado con frecuencia en la ciudad de Puebla podrían resumirse en los siguientes apartados (ref 16).

- a) Depósitos termales. El más característico es el travertino y se localiza en muchas regiones de la ciudad incluyendo el centro histórico, el espesor de dichos estratos varía desde unos cuantos centímetros hasta más de 10 m de espesor, algunas veces se encuentra como cementante de otros depósitos granulares, en otras ocasiones se presentan depósitos a gran profundidad en las partes centro, norte y noroeste de la ciudad. Es una constante en la zona que los depósitos de travertino se encuentren intercalados con limos y arcillas

arenosas que pueden ser de compresibilidad muy variable. Es importante señalar que en ocasiones se piensa que este material es muy competente, sin embargo en su resistencia deben considerarse diversos factores, como pueden ser la porosidad y el grado de contaminación en el suelo, es por esto que su reconocimiento requiere de un cuidado especial. El mayor peligro que existe al localizar estos depósitos de travertino, sería asumir como aceptable el material para desplantar una cimentación cuando no ha sido evaluado correctamente el espesor del estrato, por esto sería muy recomendable realizar estudios con la suficiente profundidad para obtener un perfil completo ya que los esfuerzos se verían incrementados considerablemente con el desplante de la cimentación correspondiente. Debido a que se presentan depósitos de travertino intercalados con suelos deformables, las fórmulas usuales de capacidad de carga serían un tanto dudosas por el tipo de falla que podría llegar a ocurrir llevando al extremo los factores de seguridad. Debido a la presencia de suelos compresibles el parámetro principal a considerar sería tener asentamientos en un rango aceptable, la mala consideración de estratos compresibles por debajo de los depósitos de travertino puede ocasionar problemas serios en cualquier tipo de cimentación.

- b) Depósitos arcillosos. Debido a la existencia de ríos, lagunas, pantanos y escurrimientos en años anteriores, y que algunos aun se encuentran en la actualidad, se ha propiciado la formación de estratos arcillosos de color gris oscuro o negro, que contienen mucha materia orgánica. Estos generalmente tienen poco espesor, superficiales o a poca profundidad, estas características se observan principalmente en la parte sur de la ciudad. Estos materiales arcillosos se encuentran interestratificados por depósitos aluviales granulares, depósitos eólicos de origen volcánico y depósitos termales. Los materiales arcillosos localizados por debajo del nivel freático tienen como característica general, baja resistencia y una alta compresibilidad, son fáciles de identificar por su olor y textura debido a la materia orgánica que contienen, los contenidos de agua de estos materiales generalmente son mayores al 50 por ciento e inclusive en algunos casos mayores al 100 por ciento.

- c) Depósitos eólicos de origen volcánico. Dado que el valle de Puebla está ubicado en una zona muy cercana a los volcanes de la Sierra Nevada, hay presencia de depósitos de origen volcánico en gran parte de la ciudad. Los suelos producto de erupciones volcánicas son generalmente de un color café, sin materiales orgánicos, se pueden clasificar como materiales limo-arenosos y areno-limosos. En algunas ocasiones estos depósitos son los constituyentes únicos del subsuelo y a veces se encuentran interestratificados con componentes de otro tipo de materiales, pero también se pueden encontrar combinados con suelos arcillosos y blandos, cuando esto ocurre el suelo resultante es igualmente blando y compresible, si se encuentran mezclados con depósitos termales la mezcla es resistente, poco compresible y en algunas ocasiones se encuentra fuertemente cementada.

Los materiales volcánicos tienen contenidos de agua que varían del 30 al 60 por ciento con una baja resistencia a la penetración estándar, variando los resultados de 5 a 15 golpes. Los materiales que se encuentran en seco dependen principalmente de su estado de compactación y de su alteración, estos materiales en general se encuentran por arriba del nivel freático con un contenido de agua entre el 15 y el 30 por ciento. En los lugares que se encuentren con poco grado de alteración y en estado compacto y cementado, como en el caso de los tepetates, generalmente sus propiedades son muy buenas, siendo la limitación principal los asentamientos diferenciales que no permiten aprovechar totalmente estas características mecánicas, por otro lado es importante considerar pequeños estratos que se encuentren entre el material con baja compacidad intercalados con materiales más resistentes, con lo que se reduce mucho la capacidad de carga.

Cuando los materiales volcánicos se encuentran alterados el contenido de arcilla es mayor, observándose una disminución considerable de las propiedades mecánicas siendo su resistencia a la penetración estándar de 5 a 20 golpes, considerada como una resistencia de baja a media, variando con la profundidad y con el contenido de arenas y gravas que contengan dichos materiales.

- d) Depósitos granulares de origen aluvial. Estos depósitos son producto de los diversos arroyos que atraviesan la ciudad, en algunos casos se han formado barrancas profundas, en las cuales se han depositado materiales de tamaños muy variables, desde arcillas hasta boleos, donde predominan los materiales granulares, estos depósitos se pueden encontrar en lugares donde existen ríos que actualmente están entubados. Una constante en estos estratos es su heterogeneidad y pueden estar constituidos por arcillas orgánicas, rellenos artificiales y depósitos termales.
  
- e) Rellenos artificiales. Han sido colocados a lo largo del tiempo, algunos de ellos desde principios del siglo pasado y otros de forma más reciente, estos depósitos varían de uno a varios metros de espesor en algunos casos, en sitios como en la parte central de la ciudad se explotaron arcillas y posteriormente se rellenaron estos lugares, obviamente estos estratos se localizan superficialmente, y en ciertos casos se tienen materiales aluviales u orgánicos sobreyaciendolos.

**Propiedades dinámicas del subsuelo en el lugar Paseo Bravo.** El sismo ocurrido el 15 de junio de 1999 con magnitud 7, y cuyo epicentro se localizó cerca de Tehuacán causó serios daños en varias estructuras de la Ciudad de Puebla, lo cual motivó a realizar una serie de exploraciones con el objetivo de conocer algunas características del subsuelo mediante pruebas realizadas en sitios de interés. Aunque en apariencia podría considerarse que se tiene una gran cantidad de información sobre el subsuelo de la ciudad aun quedan muchas zonas donde los estudios realizados son muy superficiales y se tienen incógnitas sobre la composición geotécnica de diversas zonas en el valle de Puebla

Un parámetro muy importante para el campo de la ingeniería sísmica es la distribución de velocidades de ondas de cortante, que está relacionado con otras características del material como son su masa específica y el módulo de rigidez a cortante.

En la estación de registro sísmico PBPP, ubicada en el jardín del Paseo Bravo, cerca del centro histórico se realizó un estudio que alcanzó una profundidad de 14 m. Los

resultados indicaron que se encontraban 3 estratos definidos, el primero de ellos desde la superficie hasta 3.5 m de profundidad compuesto por rellenos limo arenosos; en el segundo se localizó un travertino de muy buena calidad la cual decrece hacia su parte inferior; y finalmente, desde los 6.5 metros de profundidad y hasta el fin del sondeo se encontró un estrato de arcilla de alta plasticidad de origen lacustre, sin embargo para fines de conocer la respuesta sísmica del suelo es importante definir el espesor de dicho depósito de arcilla (ref 17).