



**BUAP**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL ÁREA NORPONIENTE  
DE LA CIUDAD DE PUEBLA, MÉXICO**

Que para obtener el grado de  
**MAESTRO EN INGENIERÍA  
CON OPCIÓN TERMINAL EN GEOTECNIA**

Presenta:  
**JOSÉ LUIS SANTIAGO GUERRERO**

Asesor de tesis:  
M.I. Araceli Aguilar Mora

Coasesor de tesis:  
M.I. Miguel Ángel Figueras Corte

Puebla, Pue.

Noviembre 2016





**BUAP**

# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**Facultad de Ingeniería**

**Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado**

**TESIS**

**ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL ÁREA NORPONIENTE  
DE LA CIUDAD DE PUEBLA, MÉXICO.**

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN  
GEOTECNIA**

Presenta:

**JOSÉ LUIS SANTIAGO GUERRERO**

Asesor de tesis:  
M.I. Araceli Aguilar Mora

Coasesor de tesis:  
M.I. Miguel Ángel Figueras Corte

Puebla, Pue.

Noviembre 2016

## **DEDICATORIAS**

Dedico esta tesis a mis padres quienes me apoyaron todo el tiempo.

A mi hermano quien me apoyo y alentó para continuar.

A mis profesores quienes nunca desistieron al enseñarme.

A mis tutores quienes estudiaron mi tesis y la aprobaron.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

"Agradezco a mis asesores M.I. Araceli Aguilar Mora, M.I. Miguel Ángel Figueras Corte la paciencia que tuvieron y el cariño que demostraron durante la realización del presente trabajo".

“Agradezco a mi compañero de estudios y amigo Julio Misraim Cabrera Suriano por el apoyo brindado durante la ejecución de este trabajo”

"Agradezco a la empresa Ingeniería Civil en Desarrollo, S.A. de C.V. (ICD S.A. de C.V.) por brindar cordialmente los estudios geotécnicos empleados en esta tesis".

“Agradezco a Susana Arely Rendón Pérez y Manuel de Jesús Gómez Pasquett, estudiantes de esta Facultad por el apoyo brindado en la recopilación de los estudios utilizados en este trabajo”

## RESUMEN

La zonificación geotécnica del territorio ubicado en la parte norponiente del Valle de Puebla pretende dar continuidad a los trabajos realizados por Auvinet y Azomoza en 1976 y 1998 respectivamente, mismos que culminaron en la actual carta de zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla que actualmente se conoce.

Durante más de treinta años la empresa Ingeniería Civil en Desarrollo, S.A. de C.V. (ICD S.A. de C.V.) ha realizado de manera continua estudios geotécnicos a lo largo y ancho del área urbana del valle de Puebla mismos que han sido facilitados para la elaboración del presente trabajo. Los estudios utilizados en este trabajo fueron integrados en una base de datos digital para su interpretación y a partir del análisis de la información obtenida se han definido seis zonas geotécnicas principales: 1)Depósitos eólicos de origen volcánico formados principalmente por arcillas de baja plasticidad y arcillas arenosas; 2)Depósitos aluviales identificados como arenas con fragmentos de gravas, gravillas y arenas arcillosas; 3)Basaltos presentes al este y al oeste de la zona de estudio; 4)Arcillas expansivas, pequeña zona localizada al suroeste; 5)Escoria basáltica, lentes localizados cerca de la UDLAP; 6)Suelo orgánico, se identifica un área de sembradíos que simplificada es considerada como un material con alto contenido orgánico.

Como resultado final se presenta la integración de la zonificación propuesta al mapa de zonificación geotécnica de Azomoza para el área urbana del valle de Puebla.

# ÍNDICE

Dedicatorias .....	i
Agradecimientos .....	ii
Resumen.....	iii
Introducción .....	v
<i>Objetivos</i> .....	ix
<i>Alcance</i> .....	x
Capítulo 1 Antecedentes .....	1
1.1 <i>Localización</i> .....	1
1.2 <i>Topografía</i> .....	3
1.3 <i>Hidrología</i> .....	3
1.4 <i>Geología</i> .....	6
1.4.1 <i>Descripción geológica del área urbana del valle de Puebla</i> .....	7
1.4.2 <i>Principales afloramientos de la ciudad de Puebla</i> .....	9
1.5 <i>Zonificación geotécnica de la ciudad de Puebla</i> .....	11
1.6 <i>Zonificación geosísmica de la ciudad de Puebla</i> .....	15
Capítulo 2 Crecimiento urbano de la ciudad de Puebla .....	19
2.6 <i>Límites actuales de Puebla y Cholula</i> .....	19
2.7 <i>Población y urbanización</i> .....	21
2.8 <i>Crecimiento demográfico</i> .....	23
2.9 <i>Proyección de crecimiento urbano</i> .....	25
Capítulo 3 Selección y procesamiento de datos.....	28
3.1 <i>Selección del área de estudio</i> .....	29
3.2 <i>Enmallado de terreno natural</i> .....	33
3.3 <i>Enmallado de estratos</i> .....	36
3.4 <i>Cortes estratigráficos</i> .....	40
Capítulo 4 Propuesta de la zonificación geotécnica para el area de estudio.....	50
Conclusiones .....	54
Referencias.....	56
Anexos .....	58

## INTRODUCCIÓN

Efectuar la zonificación geotécnica de un sitio consiste en dividir el área de estudio en regiones relativamente homogéneas en términos de tipo, distribución de materiales, propiedades físicas y mecánicas más importantes del subsuelo que en ellas predomina, con el fin de emplearlas para su posterior análisis (Albarracín Sepúlveda, Gómez Acevedo, Viviana Alarcón, & Sandoval Castillo, 2012).

La importancia de realizar la zonificación geotécnica de un área de interés radica en que a partir de esta se deriva el proceso que conduce a la microzonificación de áreas más específicas de un territorio, siendo una de las actividades previas al análisis y modelado de diversos estudios que se desarrollan paralelamente, como por ejemplo la identificación de zonas de riesgo para trabajos de protección civil, caracterización geotécnica y obtención de la respuesta dinámica de los depósitos de suelo (zonificación sísmica), sin embargo esto no reduce la necesidad de hacer estudios geotécnicos para detectar la presencia del material existente en áreas donde ha de desarrollarse un proyecto de ingeniería, cada una de las zonas definidas debe identificarse mediante estudios geotécnicos específicos.

Los diversos trabajos de zonificación geotécnica realizados para distintos estados de nuestro país resalta la trascendencia de lo descrito anteriormente. En los siguientes párrafos se describe de manera general algunos de estos trabajos:

### *Zonificación geotécnica del municipio de Centro, Tabasco*

En ella se presenta la primera versión de la zonificación geotécnica del municipio de Centro, Tabasco, producto de la revisión de 102 estudios de mecánica de suelos así como de la ejecución de 160 sondeos directos complementarios a los primeros. El trabajo incluye un mapa con la geología local del municipio y una propuesta de microzonificación sísmica de la zona de estudio, como resultado final se amplía la zonificación de la ciudad de Villahermosa presentada por Espinoza (1976) y se subdivide el resto del municipio en regiones geotécnicas relativamente homogéneas en términos del tipo, distribución de materiales, propiedades índice, de resistencia y deformación que los distinguen, buscando

crear las primeras Normas Técnicas Complementarias que incluyan la caracterización geotécnica, geológica y microzonificación sísmicas presentes (A. de la Fuente, A. Sanchez, & E. Tenorio, 2014).

#### *Zonificación Geotécnica de Morelia, Mich.*

En este estudio se denota la existencia de la manifestación de grietas y basculamientos debidos al asentamiento diferencial y deslizamientos gravitacionales, siendo el agua un factor importante en los problemas geotécnicos, ya sea disminuyendo la resistencia al esfuerzo cortante o pérdida de presión de poro. La exploración directa e indirecta en el área de estudio ha permitido definir la estratigrafía y sus propiedades geofísicas y geomecánicas, logrando realizar la zonificación geotécnica de Morelia, diferenciando cinco zonas: Mesetas, Ladra, Acarreos, Valle o Exlago y la de Lomeríos (Manilla Aceves, Castillo Soto, Mejía Ramírez, & Jerónimo Rodríguez, 2008).

#### *Contribución a la zonificación geotécnica del valle de Toluca*

Este trabajo presenta una zonificación geotécnica del subsuelo del Valle de Toluca.

*“El estudio se basa en información proveniente de diferentes ramas de las ciencias de la tierra, así como de sondeos geotécnicos realizados en la zona. La información recabada se analizó empleando las herramientas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG)”* (Méndez Sánchez, Auvinet, & A. García, 2012,p. 171).

#### *Zonificación Geotécnica de la Zona Conurbada Veracruz (2012)*

En este trabajo se presenta la cuarta versión de la zonificación geotécnica de la ciudad de Veracruz y su zona conurbada, ZCV, basado en la revisión de 318 estudios de mecánica de suelos realizados en la zona de interés. Se incluyen en el trabajo las características demográficas, físicas y de sismicidad de los materiales del subsuelo.

Como resultado final del trabajo se revisa y amplían las zonificaciones presentadas por Esquivel (1976), Miranda (1979) y Páez (2001), determinando el riesgo sísmico y concluye la necesidad de la formulación de un reglamento de construcción de la ZCV, indicando que los trabajos realizados en este ámbito continúan (Capallera Cabada, Jorge, & Isidro, 2012)

A partir de las zonificaciones geotécnicas realizadas en los diversos estados de la República Mexicana se derivan estudios con la finalidad de zonificar y caracterizar geotécnicamente áreas más específicas, como ejemplo tenemos:

*Zonificación geotécnica de la Delegación Iztapalapa, México D.F.*

Este trabajo es realizado por el Centro de Evaluación del Riesgo Geológico (CERG) mismo que dio como resultado la zonificación geotécnica de la zona ubicada en la delegación Iztapalapa, México D. F. (ahora CDMX). Lo anterior es logrado gracias a la documentación continua de afectaciones a la infraestructura urbana debido a la subsidencia, el fracturamiento y fenómenos geológicos. Como parte del análisis de la información obtenida se definen cuatro zonas geotécnicas principales: Z.G. Lacustre (depósitos limo-arcillosos); Z.G. de Piedemonte Volcánico (coluvión e interdigitaciones volcánicas y fluviolacustres); Z.G. de Ladera Volcánica (coladas de lava, material piroclástico granular y rocas piroclásticas); Z.G. de Flanco Volcánico (rocas volcánicas). Se presenta la integración de esta zonificación en el mapa de riesgo geológico de la delegación Iztapalapa (Gutierrez Calderon, y otros, 2012).

*Caracterización geotécnica del subsuelo de la zona norte de la cuenca de México*

En este trabajo se presentan avances en la caracterización del subsuelo de origen lacustre de la zona norte de la cuenca de México, basado en las exploraciones geotécnicas disponibles hasta ese momento, empleando la geoestadística como herramienta para analizar la distribución espacial del contenido de agua y número de golpes en la prueba SPT así como la profundidad de los diferentes estratos del subsuelo en la zona de estudio. Se presenta como resultado un mapa actualizado de la zonificación geotécnica para la zona de estudio (Juárez, Auvinet, Hernández, & Mendez, 2012).

Realizar la zonificación geotécnica y sísmica es una práctica que también es llevada a cabo en otros países dada la cantidad de información que puede llegar a reunir un mapa de zonificación y los alcances que este puede tener para el desarrollo integral y seguro de una población, como ejemplo de lo anterior tenemos:

### *Zonificación geotécnica de la zona centro del Municipio de Sogamoso por medio de un SIG*

Este proyecto presenta; la recopilación y el análisis de la información disponible al momento basado en estudios de mecánica de suelos.

El informe describe en detalle la recopilación y análisis de estudios de mecánica de suelo empleados y los resultados encontrados para la ciudad de Sogamoso, Colombia presentando finalmente el mapa de zonificación geotécnica para éste (Albarracín Sepúlveda, Gómez Acevedo, Viviana Alarcón, & Sandoval Castillo, 2012).

### *Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Pisco*

Dada la magnitud, la destrucción y daños producidos por un sismo originado el 15 de Agosto de 2007 en la zona central costera de Perú, se tomó la determinación de realizar un estudio integral para elaborar un plan de desarrollo urbano para la reconstrucción de la ciudad. El estudio integra las características geotécnicas de los suelos de cimentación a base de realizar un compendio de información geotécnica, el desarrollo de un programa de exploración geotécnica, la realización de ensayos de laboratorio y el procesamiento y análisis de la información, concluyendo en la elaboración de un mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Pisco (Diaz Pardave & Aguilar Bardales, 2012).

Conociendo la importancia de labores previas, el presente trabajo consistió en la recolección, recopilación y procesamiento de datos de diversos estudios geotécnicos ubicados dentro del área urbana del valle de Puebla, con la finalidad de conocer las características geotécnicas del subsuelo para lograr una zonificación geotécnica de los materiales ubicados en el área norponiente de la ciudad de Puebla, finalmente se presentan las conclusiones y las recomendaciones que se obtienen del estudio elaborado.

## Objetivos

### Objetivo general

Elaborar la zonificación geotécnica del área ubicada en el norponiente de la mancha urbana del valle de Puebla, con base a las características físicas y mecánicas de los materiales.

### Objetivos particulares

Contribuir en la actualización de la zonificación geotécnica del área urbana del valle de Puebla.

Conocer las características geotécnicas más importantes del subsuelo en áreas que a la fecha no están incluidas en la zonificación geotécnica de la ciudad.

Proporcionar una fuente de información geotécnica que pueda ser utilizada como apoyo en la selección del tipo de muestro en los distintos proyectos de ingeniería que serán desplantados en la zona de estudio.

## Alcance

Se delimita el área de estudio estableciendo un marco geográfico y un marco físico de la zona de interés y se describen sus características más importantes.

Se realiza una caracterización geotécnica de la zona de estudio ubicada en el norponiente del área urbana del valle de Puebla.

Se describen las propiedades físicas y mecánicas más importantes del subsuelo de la zona de estudio.

Se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtienen del estudio realizado.

El presente trabajo se ha dividido en cuatro capítulos:

En el capítulo 1 se presenta una descripción de las características del territorio donde se ubica la zona de estudio tomando como base un marco geográfico y un marco físico. El primero nos indica la forma y las dimensiones del entorno global del territorio (información histórica, toponimia, cartografía, topografía, imágenes de satélite, fotografías aéreas, etc.) se recurre a él para delimitar los estudios realizados hasta la fecha. El marco físico aporta información concerniente a las características y rasgos de la estructura física de la corteza terrestre (geología, geofísica, hidrografía, geotecnia). La información geográfica y los aspectos físicos nos permiten conocer y resaltar algunos elementos que son de interés geotécnico que ayudaran a comprender la naturaleza de los depósitos de suelo así como las diversas formaciones geológicas de la zona de estudio (E. Méndez, 2000).

Se describen los trabajos realizados en un lapso de 38 años, que inician con la primera propuesta de zonificación en el año de 1976 (Auvinet G., 1976) continuando con una primera actualización en el año de 1998 (G. Azomoza Ponce, et al, 1998), el primero realizado con no más de 50 estudios de mecánica de suelos y el segundo con base a más de 400, se señalan brevemente los trabajos realizados en el área sísmica para el territorio

de la ciudad de Puebla, acentuando la importancia y la relevancia que tiene la zonificación geotécnica en la zonificación sísmica; el desarrollo del capítulo 2 demarca los límites territoriales de la ciudad de Puebla y analiza la tendencia del crecimiento urbano y demográfico de la misma.

El capítulo 3 muestra y describe la selección de los estudios de mecánica de suelos utilizados, de los cuales se obtuvieron las características de los suelos ubicados en el área de estudio, así mismo el método de exploración, tipo de muestreo y pruebas de laboratorio ejecutadas en las muestras para así presentar en el capítulo 4 la actualización de la zonificación geotécnica del área analizada, basada en los diferentes estudios de mecánica de suelos que se encuentran dentro del área de interés. En este capítulo se describen las formaciones geotécnico-geológicas identificadas en los estudios de mecánica de suelos.

## CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

### 1.1 Localización

El estado de Puebla representa el 1.7% de la superficie del país (Fig. 1) con una extensión de 34,306 km<sup>2</sup> lo que lo coloca en el lugar número 21 a nivel nacional y se encuentra dividido en 217 municipios.



Fig. 1 Porcentaje del estado de Puebla respecto a la superficie del país

La ciudad de Puebla, capital del estado, se encuentra ubicada en el lugar número 114, localizado en la parte centro oeste del estado de Puebla como se muestra en la Fig. 2, a una distancia de 130 km al sureste de la ciudad de México, a una altura de 2,149 m sobre nivel del mar.

### Estado de Puebla



Fig. 2 Ubicación del municipio de Puebla

Limita al norte con el estado de Tlaxcala, al sur con los municipios de Santo Domingo Huehuetlán y Teopantlán, al oriente con Amozoc, Cuautinchán y Tzicatlacoyan y al poniente con Cuautlancingo, San Andrés Cholula y Ocoyucan. La superficie de este municipio es de 561.35 km<sup>2</sup>, ubicándolo en el lugar número 5 en cuanto a tamaño con respecto a los demás municipios del estado, también conocida como “Puebla de los Ángeles” es la cuarta ciudad más grande e importante de México.

## 1.2 Topografía

El área donde se encuentra la ciudad de Puebla posee diferentes formaciones topográficas que la limitan con ella en tres de sus cuatro extremos. Al norte se localiza el Acueyametepec, hoy conocido como Loreto y Guadalupe; al este el cerro de Amalucan conocido como el Tepoxuchil que marca el extremo oeste de Tepeaca, seguido de los cerros de la Calera, las Navajas y finalmente el Chiquihuite. Al oeste el cerro Centepec hoy San Juan, al extremo sur, en suave pendiente. Se abre el valle de Atlixco y Valsequillo.

En el horizonte como la formación topográfica y geológica más sobresaliente se encuentra el volcán de la Malinche o Matlalcuéyatl (Falda azul) es un volcán apagado y denudado; su cima tiene forma de cresta dentada con varios picos, y la del lado sur presenta una eminencia llamada Xaltonally o Arenal del sol. Tiene un altitud de 4,461 m y sus faldas se extienden sobre un gran altiplano a 134 km, a su alrededor es notable por las rocas descubiertas de su cima y está formado por desprendimientos de la Sierra Nevada. Las estribaciones suroccidentales de la Malinche así como una parte de su cumbre se localizan dentro del territorio municipal, cubriendo el noreste del mismo (INAFED, 2015).

## 1.3 Hidrología

El territorio poblano se encuentra sobre cuatro regiones hidrológicas mostradas en la Fig. 3, de las cuales la región del Balsas cubre casi dos tercios del territorio, la cuenca del río Atoyac drena una superficie equivalente al 49% de la superficie poblana y recibe sus aguas de numerosas fuentes, entre ellas el Zahuapan, el Nexapa, el Acatlan y el Mixteco, de igual manera pero con un porcentaje de drenado menor se encuentran las cuenca de los ríos Amazucan y Tlapaneco que se unen al Atoyac para dar origen al curso medio del río Balsas. El resto de la superficie se encuentra dentro de las regiones hidrológicas que desembocan en el Golfo de México. La región del Panuco representa menos del 1% de la superficie del estado, la región del Tuxpan-Nautla tiene el 23% de la superficie estatal y se encuentra dividida en cuatro cuencas que tienen sus fuentes en la Sierra Norte de Puebla. La cuenca del río Tecolutla desahoga más del 16% de la superficie poblana.

La cuarta región hidrológica llamada Papaloapan, en el sureste del estado drena alrededor de 17% de la superficie.

El acuífero del Alto Atoyac constituye la principal fuente de agua potable para la ciudad de Puebla y su zona conurbada. El acuífero lo comparten los estados de Puebla y Tlaxcala para atender la demanda de las ciudades. Son tres las principales zonas de recarga que alimentan el acuífero, una localizada en las estribaciones de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, otra en las estribaciones de La Malinche y la tercera en la parte norte del acuífero, denominada Sierra de Tlaxco.

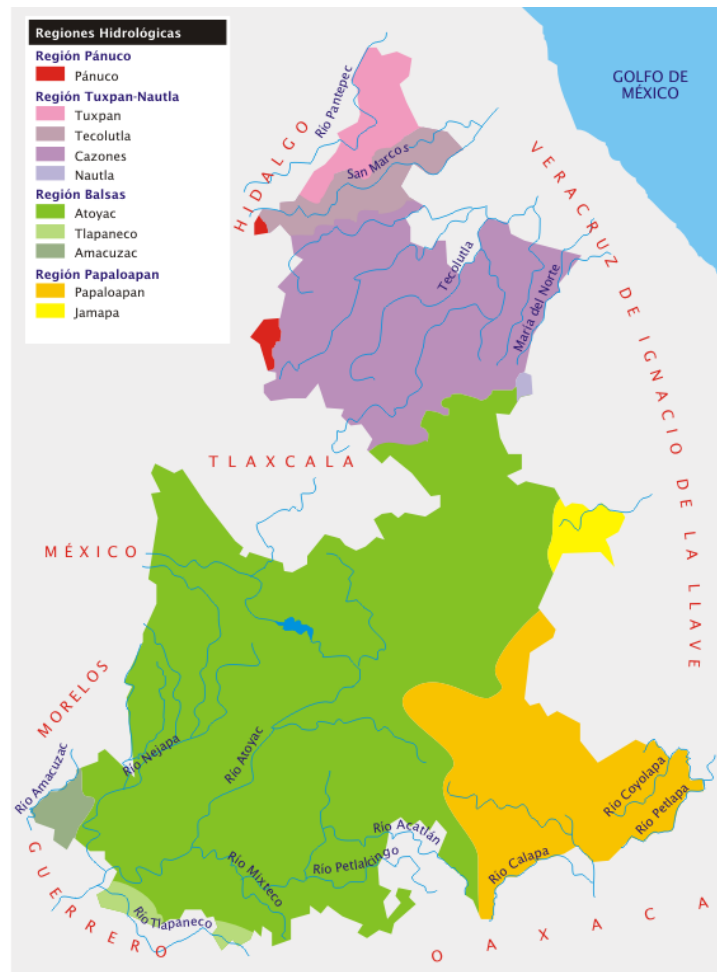


Fig. 3 Regiones hidrológicas del estado de Puebla (INEGI, 2015)

En la zona del acuífero correspondiente al estado de Puebla, se puede distinguir verticalmente un sistema de tres acuíferos denominados acuífero superior, acuífero medio y acuífero profundo.

El acuífero del valle de Puebla tiene una extensión de unos  $1,470 \text{ km}^2$ , su porción superior está compuesta por materiales aluviales no consolidados, gravas y arenas; su espesor varía entre unos cuantos metros, cerca de sus bordes y más de 200 m, en el área de la ciudad de Puebla, con valor medio de 130 m; tiene permeabilidad de media a alta, y contiene agua de buena calidad, excepto en algunos sectores, la parte inferior del acuífero está constituida por rocas ígneas extrusivas fracturadas, basaltos y andesitas; tiene espesor de varios cientos de metros y está limitada inferiormente por rocas calcáreas, consideradas como el basamento geohidrológico de la cuenca.

La parte central del Valle de Puebla se abastece básicamente de las corrientes provenientes de la Malinche, las que son divididas por el dique basáltico de Amalucan, Loreto y Guadalupe. En el valle de Puebla se distingue el acuífero formado por las infiltraciones de los escurrimientos de los deshielos del volcán Iztacíhuatl, ubicado entre las localidades de San Martín Texmelucan, Huejotzingo, San Miguel Xoxtla y San Francisco Ocotlán, este acuífero se localiza en materiales de relleno y tobas arenosas, éste ha sido sometido en los últimos años a una continua explotación que lo ha llevado a que algunos de los niveles dentro del área urbana de la ciudad presenten abatimientos en los niveles piezométricos de entre 20 y 40 m, con un valor máximo hacia el sur de 60 m, lo anterior producto de la concentración de pozos de extracción dentro del área mencionada.

## 1.4 Geología

El arreglo geológico del estado de Puebla es muy variado y complejo, principalmente en la zona sur, donde se localizan materiales metamórficos de formación en el Precámbrico hasta el Mesozoico y cuentan con extensas zonas de falla. Las elevaciones presentes en el estado fueron formadas en el periodo Terciario y se expresan por grades plegamientos, elevaciones, depresiones, fracturas y dislocaciones, que muestran incluso en la presente fecha inestabilidad en el sitio dando lugar a sismicidad importante de origen tectónico, volcánica y 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 sus peculiaridades.

La mayor parte del terreno estatal pertenece al Paleozoico inferior, conocida esta área como complejo Acatlán, en todo este basamento de origen metamórfico se encuentran diferentes capas sedimentarias de origen marina que datan de la época Mesozoica prueba de la invasión del océano al interior de la entidad. Al final de esta época y principios de la época Cenozoica, las rocas sedimentarias que se formaron en los fondos marinos fueron modificadas, fracturadas y plegadas, posteriormente una etapa de compresión produce emisiones de material volcánico a partir de las fisuras en la corteza terrestre, dando formación a grandes volúmenes de lava y material piroplástico que forman la provincia de la Faja Volcánica Mexicana o Eje Neovolcánico.

### 1.4.1 Descripción geológica del área urbana del valle de Puebla

En la Fig. 4 se puede observar que la ciudad de Puebla se encuentra localizada entre las provincias fisiográficas de la Zona Neovolcánica y de la Sierra Madre Sur, en una zona de lomeríos suaves constituidos por formaciones volcánicas y afloramientos calcáreos recientes. Se encuentra rodeada por elevaciones tales como el Popocatepetl e Iztaccíhuatl al oeste y la Malinche al noroeste (Aguilar Mora, 1999).

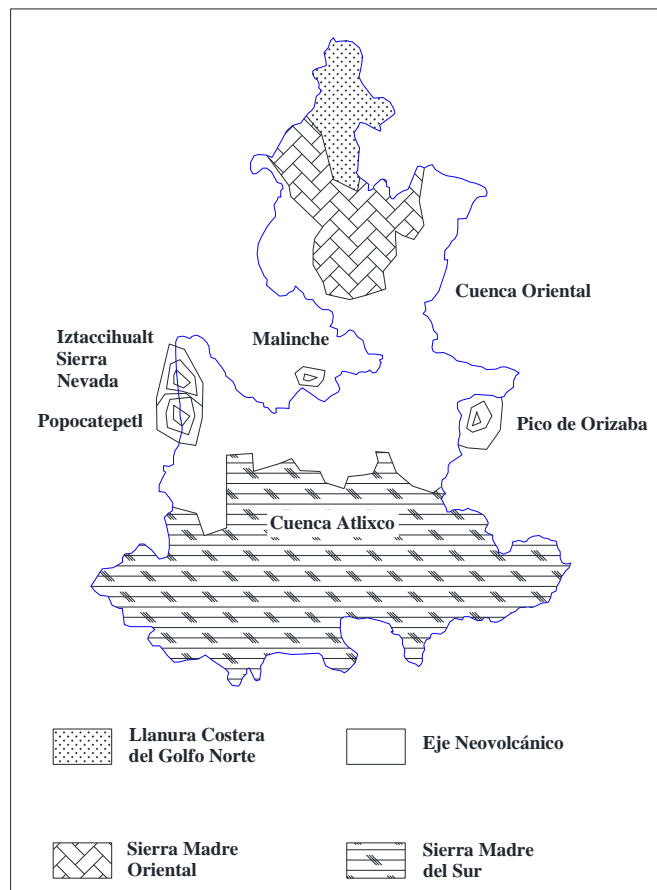


Fig. 4 Provincias geológicas del Estado de Puebla. (Aguilar Mora, 1999).

Las formaciones geológicas de la ciudad iniciaron en el periodo cretácico con la sedimentación de materiales calcáreos que a finales de este periodo se vieron afectados por movimientos orogénicos que constituyeron esta región, más tarde en el periodo Terciario y principios del Cuaternario, se presentaron emisiones de lava que formaron las rocas basálticas y depositaron en el área tobas arenosas producto de las últimas actividades

volcánicas de la región. Estas tobas se depositaron sobre rocas basálticas en la zona que hoy en día ocupa la ciudad de Puebla, donde se interstratifican con sedimentos fluvio - lacustres. Los últimos acontecimientos geológicos han consistido en la formación de travertinos depositados por las corrientes hidráulicas termales, que se encuentran a lo largo de las fallas, y la sedimentación de depósitos aluviales en el trayecto del río Atoyac y sus afluentes.

Estructuralmente el estado y la ciudad presentan fallas geológicas: Primarias (Fig. 5), en un sistema con direcciones este-oeste y noreste-suroeste, denominadas Zacamboxo, Clarión, Popocatepetl y Malinche y, Secundarias (Fig. 6), una en dirección este-oeste, que une entre sí los cerros de Loreto y Guadalupe, San Juan (La Paz) y Amalucan y, otra, en dirección prácticamente normal, que corre aproximadamente de los balnearios “Agua Azul” a “Rancho Colorado” (Azomoza, et al, 1998).



Fig. 5 Fallas geológicas en el Estado

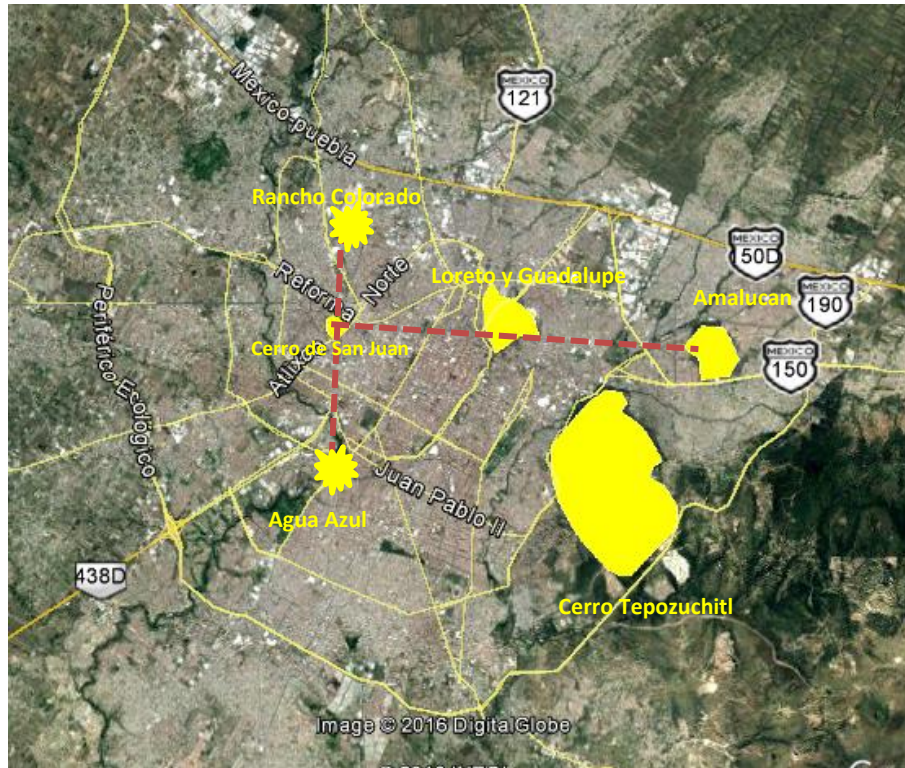


Fig. 6 Fallas geológicas en la ciudad de Puebla

#### 1.4.2 Principales afloramientos de la ciudad de Puebla

La formación de depósitos en el subsuelo cercano y en áreas circundantes de la ciudad de Puebla presenta afloramientos de rocas cretácicas y otras que se formaron a fines del periodo cenozoico terciario y en el cuaternario, siendo las de mayor antigüedad calizas que afloran al oeste de la ciudad; las capas más recientes están representadas por depósitos de relleno y materiales volcánicos (Fig. 7) los materiales que más relevancia tienen dentro de la ciudad de Puebla (Ruiz,1992) se enlistan a continuación:

- Calizas.
- Basaltos y tobas limosas.
- Escoria basáltica.
- Depósitos volcánicos y fluviales.
- Depósitos de travertinos.
- Depósitos aluviales.

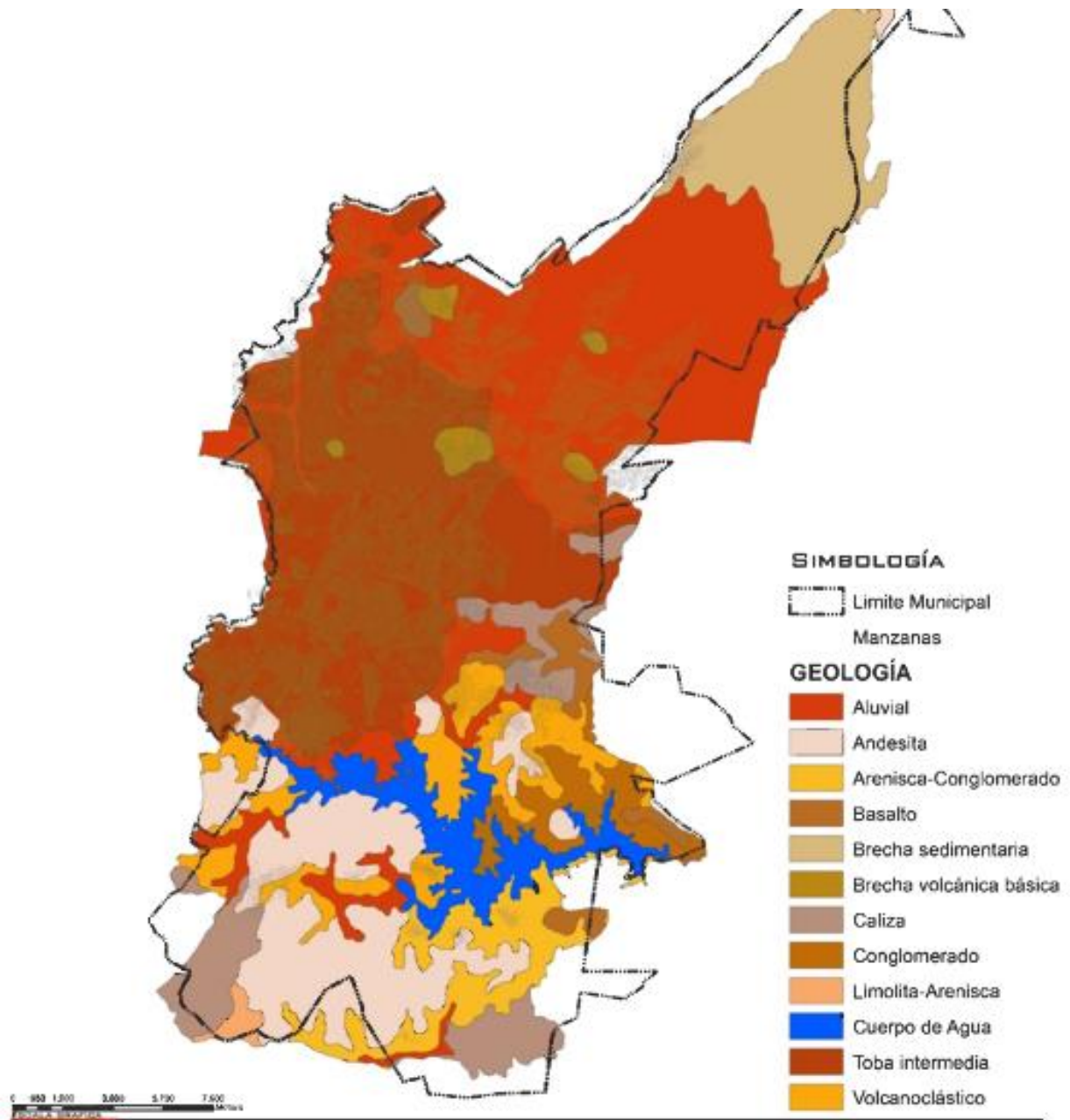


Fig. 7 División geológica del Municipio de Puebla (INEGI, 2015)

## 1.5 Zonificación geotécnica de la ciudad de Puebla

En el año de 1976 durante la VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos realizada en la ciudad de Guanajuato es expuesta la primera propuesta de zonificación geotécnica para la ciudad de Puebla, México (Fig. 8) por parte del Dr. Gabriel Auvinet G. (SMMS, Tomo II, 1976: 183-210), debido a la pequeña cantidad de estudios geotécnicos existentes en esa época (alrededor de 50) esta primera zonificación fue general y limitada; aunado al gran crecimiento de la mancha urbana en la ciudad de Puebla, a partir de esa primera propuesta fue necesaria la actualización de ésta.

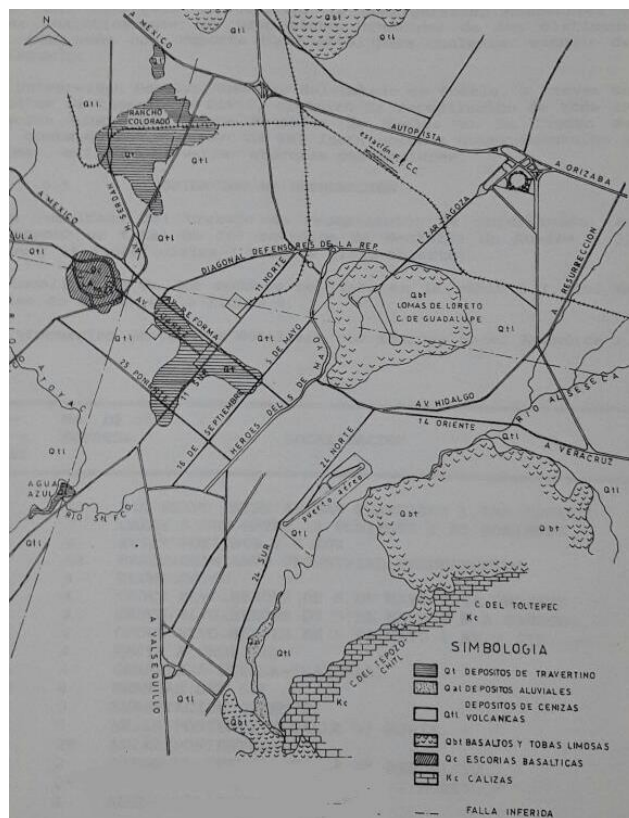


Fig. 8 Plano geológico de la ciudad de Puebla (Auvinet, 1976)

En el año de 1998, con la publicación del artículo Zonificación geotécnica para el conocimiento del subsuelo del valle de Puebla y sus áreas circundantes realizaron una recopilación de información la cual contaba con más de 400 estudios geotécnicos recabados a lo largo de 14 años, ejecutando una actualización a la primera propuesta (Fig. 9), gracias a los diversos estudios de mecánica de suelos empleados se lograron identificar los diferentes materiales de los que se compone el subsuelo del área urbana del

valle de Puebla y que en su gran mayoría se encuentran localizados en zonas donde se tiene una gran concentración urbana. Los principales depósitos identificados en la ciudad de Puebla se describen a continuación (Azomoza, et al, 1998).

#### *Depósitos eólicos de origen volcánico*

Son los principales depósitos dentro de la ciudad de Puebla donde incluso es la base sobre la que se encuentran otras formaciones existentes.

Dentro de la ciudad predominan los suelos de tipo tobáceos como capa basal, se presentan en depósitos con una extensión y espesor considerables.

#### *Depósitos aluvio-palustres-lacustre*

Estos depósitos demuestran que en tiempos antiguos en la zona de la ciudad de Puebla existían lagunas y pantanos, los cuales originaron zonas de sedimentación con materiales arcillo-limosos con presencia de descomposición de materia vegetal lo que dio cabida a la formación de grandes mantos de suelos compresibles.

#### *Depósitos hidrotermales*

En su mayoría están compuestos por travertino, el cual es una roca caliza, color café amarillento, con espesores que van desde algunos pocos centímetros hasta más de 10 m, la formación de esta roca es producto de la precipitación de carbonatos en aguas sulfurosas templadas, dentro de la ciudad de Puebla existen tres conocidos manantiales: Agua Azul, Rancho Colorado y un ex balneario sobre la avenida Juárez.

#### *Arcillas expansivas*

Se presentan en grandes depósitos ubicados al sur y poniente de la ciudad, esta capa se encuentra cubriendo total o parcialmente la formación de suelos tobáceos, son producto de la formación residual volcánica del lugar, presentan variación volumétrica presentando expansión y contracción al variar su contenido de agua.

### *Depósitos Aluviales*

Éstos se ubican al noreste de la ciudad y a lo largo de las zonas de inundación de los ríos que la atraviesan, se encuentran formaciones de origen aluvial con material de tipo arcilloso y limoso, arena, grava y boleos que principalmente forman depósitos erráticos en estratigrafía y en sus propiedades.

### *Calizas*

El principal afloramiento de este tipo de roca dentro del valle de Puebla se encuentra localizado al oriente de la ciudad, presenta un color gris y forma un lomerío suave que se encuentra actualmente habitado, cerca de una cantera de explotación de este tipo de roca.

### *Basaltos y andesitas*

Son una formación importante dentro de la ciudad de Puebla, forman los cerros de Loreto y Guadalupe, San Juan y Amalucan entre otros, se encuentran cubiertos por tobas y suelos tobáceos.

### *Escoria Basáltica*

Constituye un cono volcánico en un gran afloramiento en el cerro de San Juan (La Paz), producto de proyecciones piroplásticas, presenta predominancia de materiales gruesos del tamaño de gravas y de mayor tamaño denominadas bombas y escorias basálticas, forman depósitos aglomerados así como brechas volcánicas en presencia de la roca basal.

Dentro de la ciudad de Puebla se encuentra una concentración considerable de discontinuidades en el subsuelo, esto debido a depósitos hidrotermales. Estas discontinuidades generalmente se asocian con las cavernas que se forman con la disolución de los carbonatos de calcio debido al flujo de agua sulfurosa.

Se han detectado discontinuidades de gran tamaño al norte y al noreste de la ciudad de Puebla, por el contrario de las mencionadas anteriormente éstas se formaron de manera artificial por antiguas galerías filtrantes o minas de explotación de materiales que son empleados para la construcción.

En la Tabla 1 se muestra la distribución de los materiales presentes en el área urbana del valle de Puebla, donde en un área de 200.9 km<sup>2</sup> se tiene un claro predominio de materiales eólicos de origen volcánico derivado de la actividad volcánica regional.

Tabla 1 Distribución de los depósitos sobre el área urbana del valle de Puebla

Área ( km <sup>2</sup> )	%	Tipo de Suelos
6.85	3.4	Depósitos hidrotermales
0.59	0.29	Escoria Basáltica
107.98	53.8	Depósitos eólicos de origen volcánico
27.82	13.9	Depósitos eólicos de origen volcánico no consolidado superficialmente.
40.75	20.3	Arcillas expansivas
5.26	2.62	Calizas
11.65	5.81	Basaltos

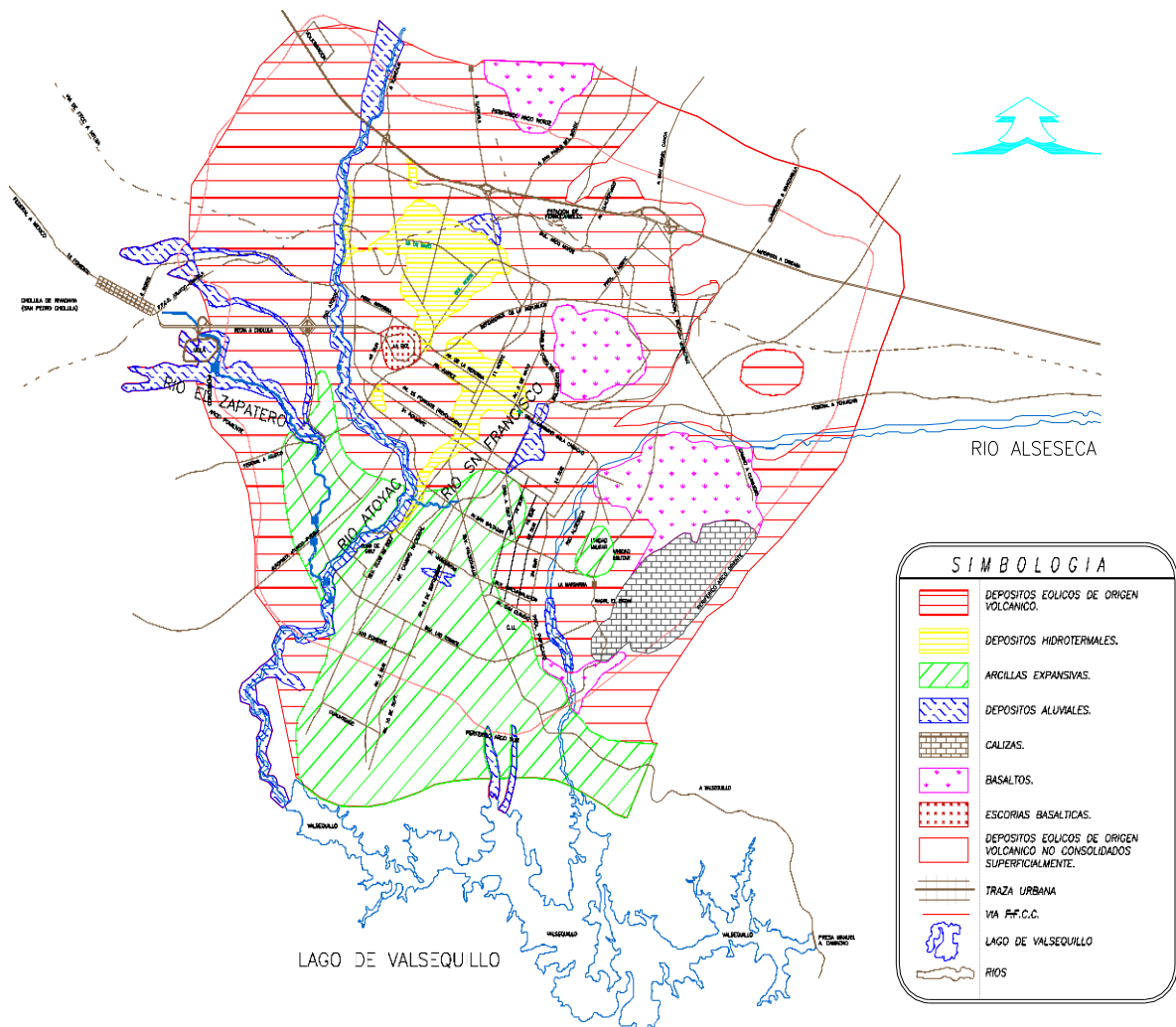


Fig. 9 Carta de zonificación geotécnica para el área urbana del Valle de Puebla (Azomoza et al, 1998)

## 1.6 Zonificación geosísmica de la ciudad de Puebla

En el año de 1992 en el trabajo de investigación llamado Características geodinámicas de la ciudad de Puebla (Ruiz , 1992) se denota la importancia de proponer una zonificación geosísmica para la ciudad de Puebla basada en la información disponible de la fecha ya que esta se ubica entre las cinco urbes de mayor importancia sísmica del país, el estudio dio como resultado el mapa de isoperiodos para la ciudad de Puebla que definen las propiedades dinámicas del suelo y que se ajusta al mapa geológico de la ciudad (Auvinet, 1976) lo que demuestra la importancia y la relación de la zonificación geotécnica con la zonificación sísmica, en el año de 1993 derivado de esta investigación se realiza el trabajo en relación a la identificación sísmica en Puebla como parte del proyecto: “Zonificación Sísmica para la Ciudad de Puebla”, en colaboración UPAEP (Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla) - UAM (Universidad Autónoma Metropolitana) donde se incluye la caracterización geodinámica de la ciudad, basada en la determinación en campo de las propiedades del terreno y la propuesta de parámetros de diseño sismo-resistente basadas en la estimación de intensidades producidas por sismos pasados (Ruiz, 1993).

El estudio dio brinda la propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Puebla (Fig.10) donde se distinguen dos zonas cada uno con características definidas para diseño sísmico.

En la Tabla 2 se indican los valores propuestos para el coeficiente sísmico  $c$  y el periodo dominante del terreno  $T_b$ , donde se distinguen dos zonas principales, por un lado se tiene el terreno firme (Zona A) coincidente con los depósitos eólicos de origen volcánico, caliza y basalto por otro lado se cuenta con terreno intermedio (Zona B) coincidente con los materiales más blandos como la arcilla expansiva, depósitos aluviales e hidrotermales de la actual carta de zonificación geotécnica del área urbana del valle de Puebla.

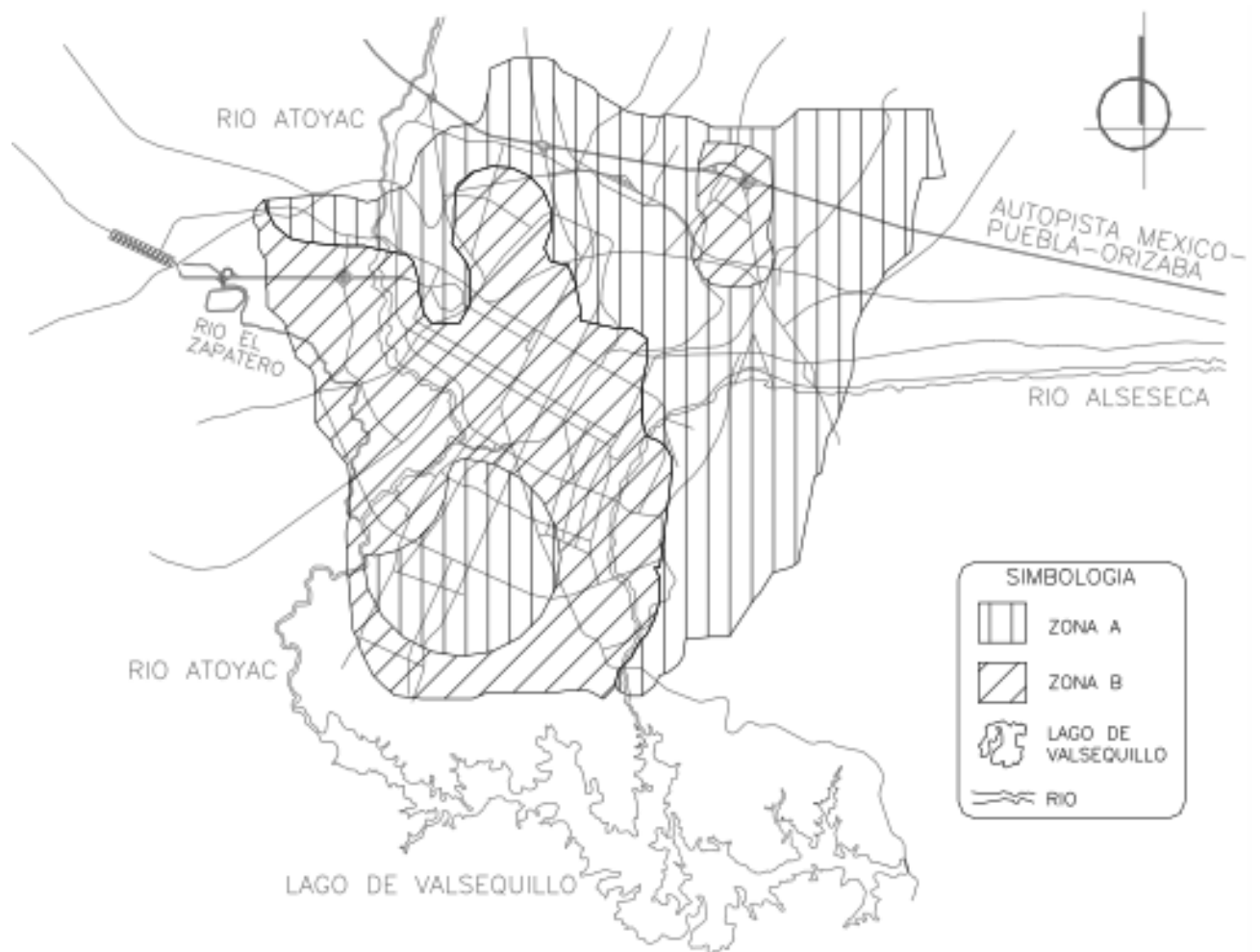


Fig. 10 Propuesta de Zonificación Sísmica (Ruiz, 1993)

Tabla 2 Espectro de diseño recomendado para la ciudad de Puebla

Zona	c	Tb
Zona A	0.24	0.6
Zona B	0.36	1

En el año 1994 Chávez García, et al, han dividido la ciudad de Puebla en distintas zonas atendiendo a sus características geológicas, geotécnicas y a su comportamiento sísmico, ubicándola en cinco zonas diferentes en función del comportamiento registrado ante la ocurrencia de sismos (Fig. 11).

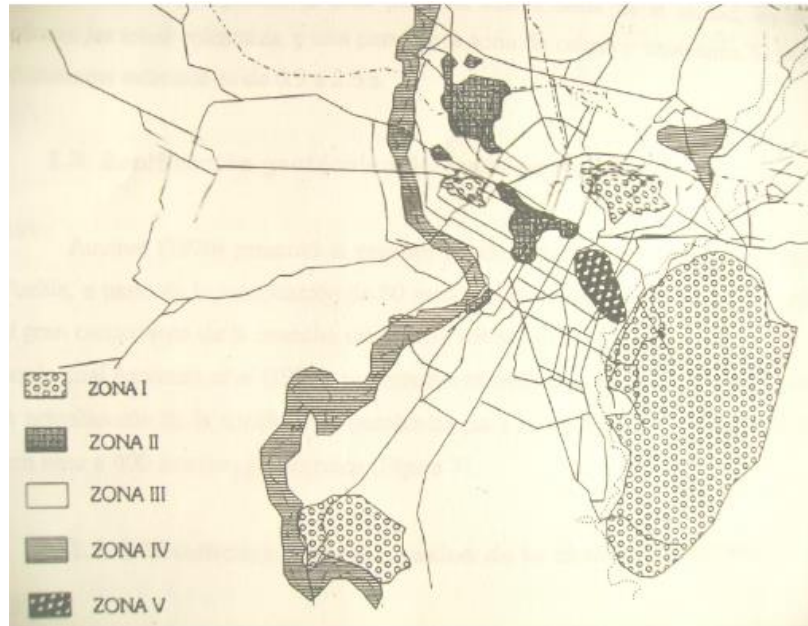


Fig. 11 Zonificación sísmica de la ciudad de Puebla (Chávez, et al, 1994)

Zona I. Suelo considerado como firme, comprende la zona de rocas calizas, al sureste de la ciudad, y el cerro de Loreto, formado por lavas basálticas. Los periodos que caracterizan a esta zona son bajos, pues varían de 0.25 a 0.30 s. También incluye el cerro de la Paz, un antiguo cono volcánico que corresponde a terreno firme.

Zona II. Comprende principalmente los afloramientos de travertino.

Zona III. Corresponde a la mayor parte de la ciudad y comprende principalmente depósitos aluviales y tobas volcánicas. Los periodos dominantes se encuentran alrededor de 0.8 s.

Zona IV. Está compuesta por dos partes de la ciudad, la del estadio Cuauhtémoc y el cauce del río Atoyac. Esta zona presenta periodos dominantes más largos, acercándose a los 2s. Zona V. Presenta características físicas muy parecidas a las de la zona III, sin embargo alcanza valores de amplificación relativa muy altos según reportes de microtemores.

Finalmente el H. Ayuntamiento del Municipio de Puebla 2008 – 2011 presenta una Microzonificación (Fig. 12) basada en los trabajos realizados por Chávez-García, et al., (1995), Ruiz et al., 1993, Azomoza, et al. y Auvinet, (1976) en esta se pueden observar cuatro zonas principales (Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales BUAP).

*Micro zona A.* Se caracteriza por tener un suelo firme de rocas calizas o flujos de lava basáltica y/o andesitas, los periodos dominantes estimados son de 0.1 a 0.3 segundos.

*Micro zona B.* Corresponde a las capas de travertinos que se distribuyen desde Agua Azul hasta Rancho Colorado.

*Micro zona C.* Tiene mayor distribución que las demás, corresponde a los suelos blandos de origen aluvial o de tobas andesíticas, los periodos dominantes estimados son de 0.8 segundos.

*Micro zona D.* Esta se localiza en el sector NE y en la zona de influencia del río Atoyac, los periodos dominantes estimados fueron de 2 a 2.5 segundos.

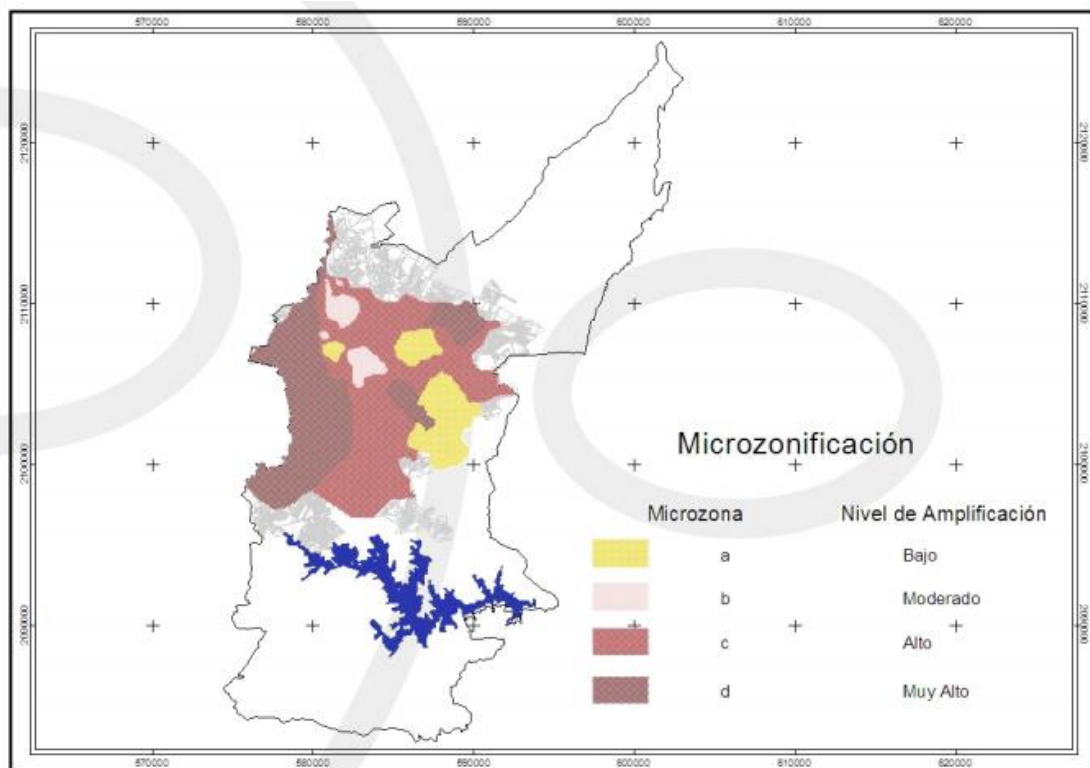


Fig. 12 Microzonificación sísmica de la ciudad de Puebla (Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales BUAP)

## CAPÍTULO 2 CRECIMIENTO URBANO DE LA CIUDAD DE PUEBLA

### 2.6 Límites actuales de Puebla y Cholula

En el año de 1962 fue realizado el decreto limítrofe entre los municipios de Puebla y San Andrés Cholula y hasta 2014 se presentó una disputa territorial entre uno y otro debido a que ambos han presentado un crecimiento poblacional y territorial simultáneo, acto que ha llevado a estos dos municipios, que se encuentran cercanos, a una disputa legal por los territorios que se ubican en la zonas colindantes.

Como resolución el Congreso local puso fin a esta disputa y determinó que una zona de 8.52 kilómetros se dividiera en 4.72 km y 23 colonias para Cholula y 3.81 km a Puebla y 16 colonias. De esta forma, Puebla capital conservará la zona comercial en la que se ubican el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Puebla, Universidad Iberoamericana, Complejo Cultural Universitario y Centro Integral de Servicios (CIS), mientras que formarán parte de Cholula una zona habitacional, donde destacan fraccionamientos residenciales como La Vista Country Club. Ambos ayuntamientos, tanto el de Cholula como el de Puebla, manifestaron estar conformes con lo decidido por el Congreso (UNIÓN Puebla, 2013).

Por lo descrito anteriormente se tomara como unidad al municipio de Puebla y Cholula como parte de esta tesis, dada la cercanía entre ambos municipios y a la existencia de un gran número de estudios geotécnicos ubicados en este municipio.



Fig. 13 División de la reserva territorial Atlixcoyotl y Quetzalcóatl entre Puebla y Cholula

## 2.7 Población y urbanización

A más de 480 años de su fundación, el crecimiento urbano de la ciudad de Puebla se ha visto rebasado ante cualquier planeación y el estado asume retos con respecto al ordenamiento territorial.

En la capital del estado cada tres o seis años las administraciones municipales y estatales reinventan los planes de desarrollo de la ciudad cuando es necesario crear uno a largo plazo, señala José Luis Peñaloza director de la carrera de arquitectura del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Puebla (Mena, 2012), bajo este punto de vista es necesario poner orden en las periferias del oriente, poniente y sur de la ciudad, lo anterior debido a que el crecimiento que presenta actualmente el Municipio y la propia ciudad de Puebla se ubica especialmente en estas zonas.

La ciudad de Puebla muestra un crecimiento urbano a gran velocidad, presentándose incluso en zonas donde las características que presenta el subsuelo son totalmente desconocidas. Las propiedades geotécnicas del suelo juegan un papel importante en cualquier proyecto de construcción que involucre edificios, carreteras o estructuras como las presas y diques. Estos proyectos usan el suelo como material de ingeniería en términos de su capacidad para llevar el peso y soportar las estructuras de apoyo. Las propiedades geotécnicas de los suelos involucran a las características físicas y mecánicas que componen el entorno de un suelo.

De acuerdo al sistema urbano nacional (2008-2011), la importancia de la ciudad de Puebla radica en que gran parte de la población se concentra en ella, además de que en esta se genera gran porcentaje de la riqueza de la entidad y de la región, pues opera un amplio mercado y un diversificado sector industrial comercial y de servicios.

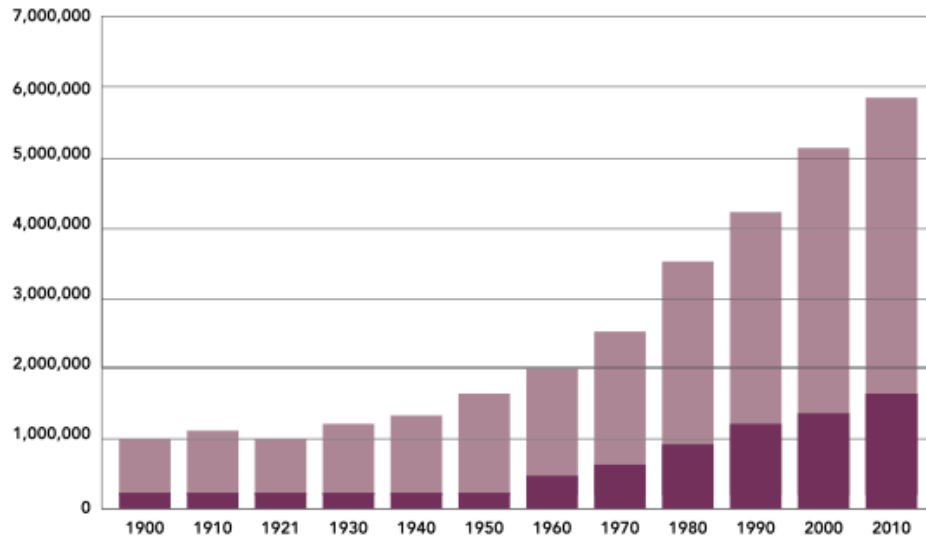


Fig. 14 Evolución de la población en el estado de Puebla y la capital de Puebla desde el año 1900 hasta el año 2010 (Plan Municipal de Desarrollo 2014-2018)

El municipio de Puebla muestra un crecimiento constante de población cada vez más representativa en el estado tal como se muestra en la Fig. 14. Este crecimiento se debe a diversos factores, entre ellos que, como capital del estado, concentra las principales actividades económicas, comerciales y financieras y, por lo tanto, es el centro de la zona metropolitana donde se alberga la mayoría de las instituciones de educación, principalmente las universidades (Gobierno del estado de Puebla, 2014).

El municipio de Puebla presenta una población al año 2010 según censo INEGI, de 805,467 habitantes de género femenino y 734,352 habitantes de género masculino teniendo una población total de 1'539,819 habitantes.

Al realizar un análisis retrospectivo se puede observar que existe un incremento de la población del año 2000 (1'346,916 habitantes) al 2010 (1'539,819 habitantes) de 192,903 personas que representa un aumento del 14.32%, situación que ha incidido en el aumento de la demanda de servicios públicos y de la ampliación del área urbana.

El Consejo Nacional de Población (CONAPO) prevé que para el año 2018 habitaran 144,860 habitantes más, lo que significara una mayor demanda de servicios públicos, educación, salud y vivienda.

## 2.8 Crecimiento demográfico

*“El municipio de Puebla ha sufrido una serie de transformaciones urbano-territoriales considerables en las últimas épocas; el crecimiento explosivo de la mancha urbana ha ejercido una presión importante sobre el entorno inmediato, mismo que constituye parte importante de los ecosistemas que le sirven de soporte a la ciudad”* (Rubí, 2008).

En la Tabla 3 se muestra el crecimiento territorial de la ciudad de Puebla en el periodo de 1930-2000.

Tabla 3 Crecimiento territorial de la ciudad de Puebla 1950-2000

Año	Superficie (km <sup>2</sup> )	Incremento en el periodo %	Tasa de crecimiento Medio anual	Tasa de crecimiento medio en los años de 1950-2000
1930	10.6	---	---	5.22
1950	14.6	38	1.61	
1965	25.8	77	3.87	
1974	59.5	131	9.73	
1982	91.5	54	5.55	
1990	128	40	4.29	
2000	209	63	6.29	

En promedio el crecimiento de la superficie ocupada por la ciudad de Puebla en el periodo antes mencionado alcanza el 5.22%, repuntando en los años de 1974, 1982 y 2000 lo que se asocia a fenómenos económicos en el municipio y con base en datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el municipio pasó de 22.83 km<sup>2</sup> de superficie urbana en 1970 a 223.94 km<sup>2</sup> en 2010, lo que representa un incremento de 9.81 veces la superficie urbana.

En la Tabla 4 se muestra la distribución de la superficie disponible de reserva territorial para el crecimiento de la ciudad (Programa de reservas urbanas, 2011).

Tabla 4 Programa de reserva urbana para el año 2011

ZONAS DE RESERVA PARA EL CRECIMIENTO		
Sector	Ubicación	Superficie (HA)
Sur	Parte sur de anillo periférico cercano a San José Chapulco	1,150
Sur-Poniente	Por la calle Las Carmelas y el límite municipal con Santa Clara Ocoyucan	150
Sur-Oriente	Colindando con la XXV Zona militar y delimitado por el nuevo trazo del anillo periférico, así como el perímetro de la junta Auxiliar de Santo Tomas Chautla y Santa Catarina y al sur de San Francisco Totimehuacan	700
Norte	Pequeñas porciones de terrenos colindando con la zona de salvaguarda	200
Total		2,200

Para entender las actuales tendencias de crecimiento urbano dentro de la ciudad de Puebla se presenta la Tabla 5, en la cual se observa que el crecimiento reside principalmente hacia el sur donde se han presentado los desarrollos habitacionales y creación de nuevas colonias esparciéndose hacia la zona poniente y norte del estado con desarrollo industrial y comercial.

Derivado de lo anterior se ha presentado para el municipio de Puebla modificación en el uso de suelo que a principios de los años noventa representaban áreas agrícolas de régimen de propiedad ejidal, privada y federal, hoy en día convertidas en áreas residenciales, industriales y comerciales.

Tabla 5 Crecimiento de la ciudad de Puebla por zonas

Período	Zona Central (km <sup>2</sup> )	%	Zona norte (km <sup>2</sup> )	%	Zona Sur (km <sup>2</sup> )	%	Zona Ote (km <sup>2</sup> )	%	Zona Pte. (km <sup>2</sup> )	%	Total (km <sup>2</sup> )
Hasta 1950	14.6	100	---	---	---	---	---	---	---	---	14.6
1950-1965	23.2	90	2.6	10	---	---	---	---	---	---	25.8
1965-1974	43.6	73	7.5	13	2.9	4	3.4	6	2.1	4	59.5
1974-1982	53.4	58	13.3	15	8.6	9	11.2	12	5	6	91.5
1982-1990	56.7	44	24.7	19	23.2	18	13.7	11	9.7	8	128
1990-2000*	Saturada		67.04	32	108.94	52	14.67	7	18.85	9	209.5

## 2.9 Proyección de crecimiento urbano

El municipio concentra el 27.6% de la población estatal, con una tasa de crecimiento del 0.7% anual y es el principal municipio de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla (ZMVP). La ZMVP está conformada por 38 municipios, 18 del estado de Puebla y 20 de la parte sur del estado de Tlaxcala.

*“La riqueza per cápita en el estado de Puebla es similar a la de República Dominicana, pues los ingresos de cada poblano se ubican ente 10 mil a 15 mil dólares”* (Reporte sobre la economía regional Mexicana, observatorio económico México ¿cómo vamos?, 2015)

Los sectores más destacados en la economía del municipio de Puebla son el manufacturero y el comercial. Otras actividades productivas de relevancia son la confección, los alimentos procesados, muebles y manufacturas. Asimismo, la industria automotriz tiene influencia en esta zona, ejemplo de esto es la presencia de la fábrica Volkswagen.

La población económicamente activa en la ciudad de Puebla es de 847,380 habitantes, de los cuales el 94.1% se encuentra ocupada.

Según el censo de 2015, Puebla cuenta con 6'168,883 habitantes y un crecimiento anual promedio de la población de 2.0%.

La ciudad de Puebla que en 1970 contaba con 410,603 habitantes, para el año 2015 de acuerdo con el último censo de población y vivienda cuenta con una población de 1'576,259 habitantes, registrando una tasa media de crecimiento anual sólo del 0.5% en la última década, tasa inferior a las de 1.9% registradas en las décadas anteriores, e inferior a la tasa de crecimiento registrada para el municipio del 0.7% y a la del estado del 2.0% (INEGI, 2015), lo que significa una desaceleración en el ritmo de crecimiento de la población en los últimos años.

En la Fig. 15 se muestra la configuración actual que presenta el Valle de Puebla y la ciudad de Puebla.



Fig. 15 Configuración del Valle de Puebla (INEGI, 2015)

Asimismo la ciudad concentra el 93.1% de la población total del municipio que fue de 1'576,259 habitantes y el 25.5% de la población total del estado que fue de seis millones 168,883 habitantes según el censo de 2015, tomando en cuenta que en 1970 en la capital se concentraba el 77% de la población del municipio y el 16% de la del estado, es evidente el creciente proceso de concentración de la población en la ciudad y su zona conurbada en las últimas décadas, pero aquella desaceleración de los últimos años en el ritmo de crecimiento, está perfilando una tendencia hacia la desconcentración de la ciudad.

En la Fig.16 se muestra una imagen cartográfica que forma parte del programa municipal de desarrollo urbano de Puebla. Se observa que las áreas de crecimiento urbano para la ciudad de Puebla están proyectadas hacia la zona sur de la misma, lugar donde a la fecha se encuentra un gran crecimiento urbano con la construcción de diferentes complejos residenciales.

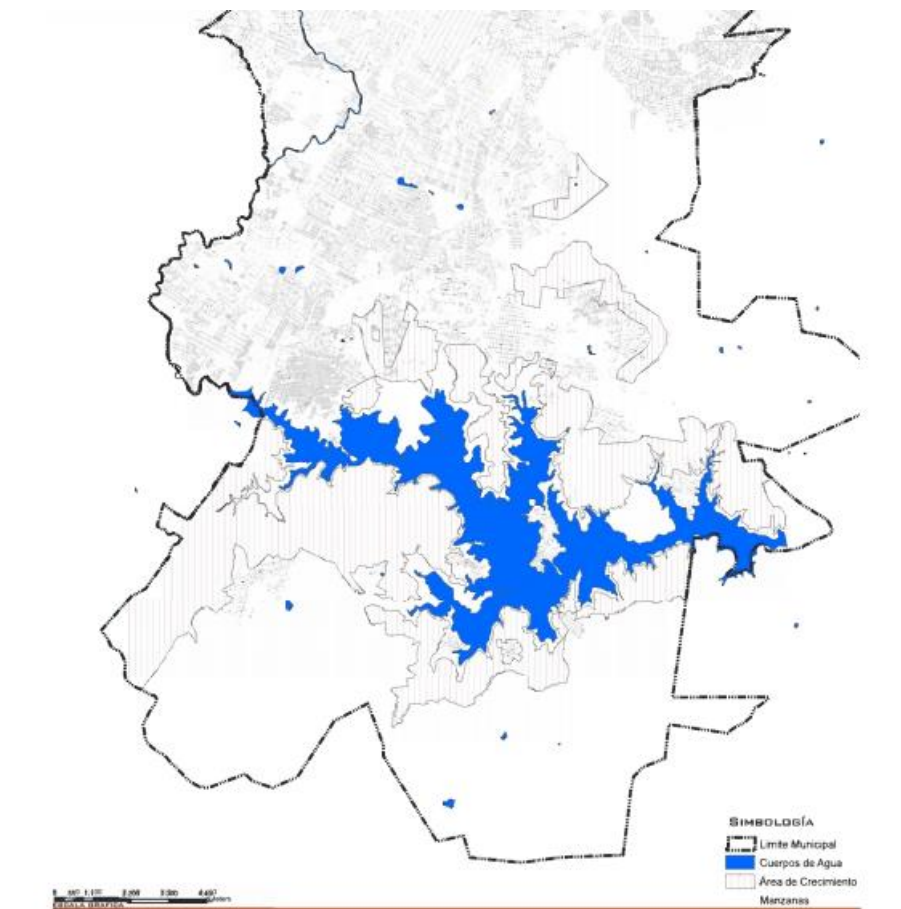


Fig. 16 Área de crecimiento urbano  $65.95 \text{ km}^2$  (INEGI, 2015)

## CAPÍTULO 3 SELECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Las características del subsuelo fueron determinadas a partir de muestras recuperadas en sondeos mixtos, combinando el procedimiento de penetración estándar (SPT), conforme a la norma ASTM – D 158, y muestreo con tubos de pared delgada tipo Shelby en suelos blandos y barril “Denison” en suelos duros, así como pozos a cielo abierto (PCA).

Todas las muestras fueron ensayadas en laboratorio por la empresa ICD S.A. de C.V. donde se determinó para cada una de ellas las características físicas y mecánicas, en las muestras alteradas y representativas, se realizaron ensayos para determinar sus propiedades índices como son los límites de consistencia, contracción lineal, densidad de sólidos y porcentaje de partículas finas, en tanto a las muestras inalteradas de tipo cúbicas se realizaron pruebas mecánicas, como son la resistencia al corte en compresión triaxial no consolidada no drenada, para los estratos con presencia de mantos rocosos se obtuvieron núcleos de roca con los que se definió el índice de calidad (ICR). También se determinaron los parámetros esfuerzo deformación de los suelos mediante correlaciones con el número de golpes de la prueba de penetración estándar. A continuación se enlistan las características más representativas:

- Clasificación manual y visual conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
- Contenido de agua
- Límites de consistencia
- Porcentaje de partículas finas
- Granulometrías
- Resistencia al corte en compresión no confinada
- Densidad de sólidos
- Relación de vacíos
- Grado de saturación de agua
- Peso volumétrico

### 3.1 Selección del área de estudio

El crecimiento poblacional de la ciudad de Puebla se ha visto superado incluso por las predicciones de crecimiento y planeación de la misma, lo anterior derivado de la gran actividad económica y turística que en ella es desarrollada, llevando esto a su vez al desarrollo de las comunidades aledañas a la misma, como son Amozoc de Mota (al este), San Francisco Totimehucan (al sur), Cholula y Cuautlancingo (al oeste y al norte) y Sanctorum (al norte).

#### Delimitación de la zonificación actual

La actual zonificación geotécnica se encuentra delimitada como se observa en la Fig. 17, al oeste y sur por Periférico Ecológico y al norte por una frontera a 2.5 km de la Autopista México- Puebla, cuenta con un área cercana a los 200 km<sup>2</sup>, realizada con alrededor de 400 estudios geotécnicos, obteniendo una concentración de aproximada de 1.99 estudios/km<sup>2</sup>.

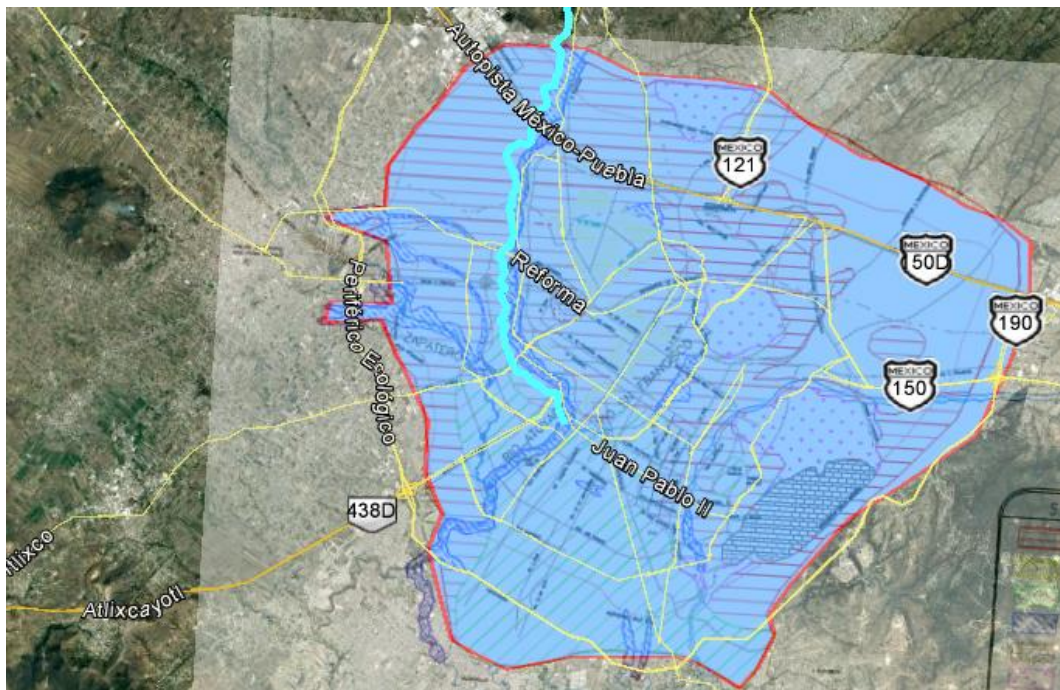


Fig. 17 Delimitación de la actual zonificación geotécnica del Valle de Puebla

## Selección de área de interés

Con base a la tendencia de crecimiento poblacional en la ciudad, el cual se concentra hacia el área suroeste y noroeste y municipios circundantes, observando la actual zonificación geotécnica se toma la decisión de revisar e integrar a la misma, la zona propuesta se muestra en la Fig. 18, derivada del conocimiento obtenido de la tendencia de crecimiento poblacional en la ciudad de Puebla y que éste se encuentra concentrado hacia el área sur, oeste y norte, y a su vez en los municipios circundantes a ella.

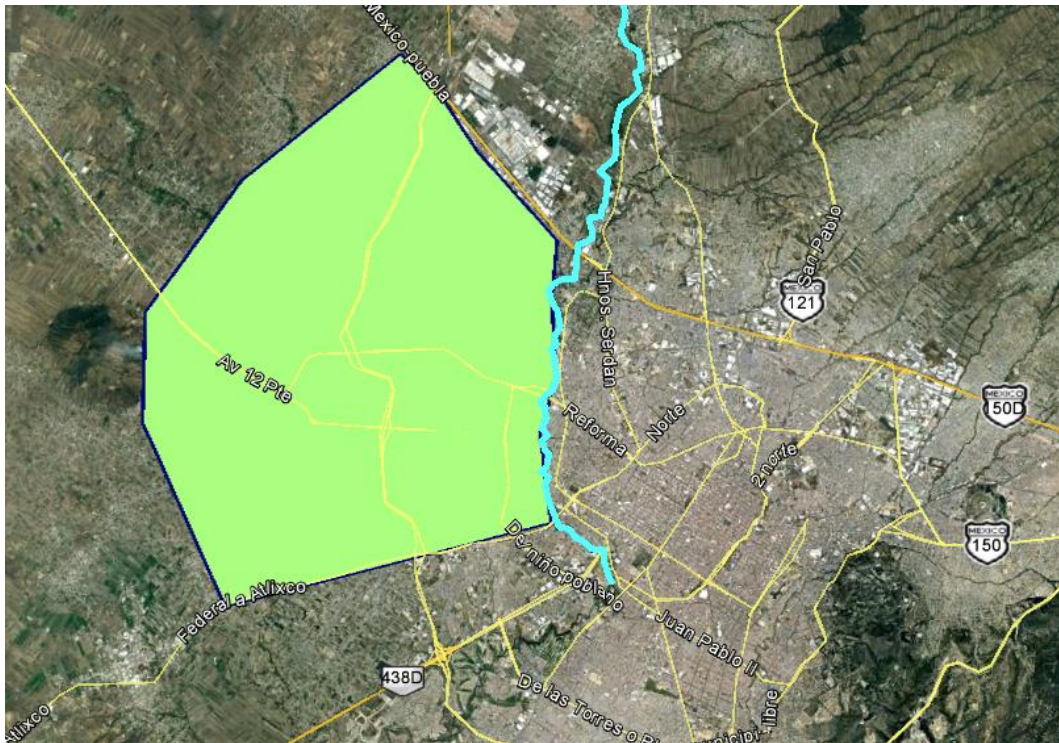


Fig. 18 Área propuesta

La finalidad es caracterizar geotécnicamente esta zona e integrar los resultados a la zonificación actual. El área de estudio se encuentra delimitada al norte por la Autopista México – Puebla, al sur por la carretera Federal a Atlixco, al este por el río Atoyac y al oeste por el Municipio de Cholula y cuenta con un área de 94.8 km<sup>2</sup>.

#### Ubicación de estudios

Una vez realizada la recopilación de estudios geotécnicos se procede a realizar la ubicación en planta de los mismos (con una cantidad aproximada de 2,300 estudios que comprenden del año 1984 al año 2013) obteniendo la distribución como se observa en la Fig. 19.

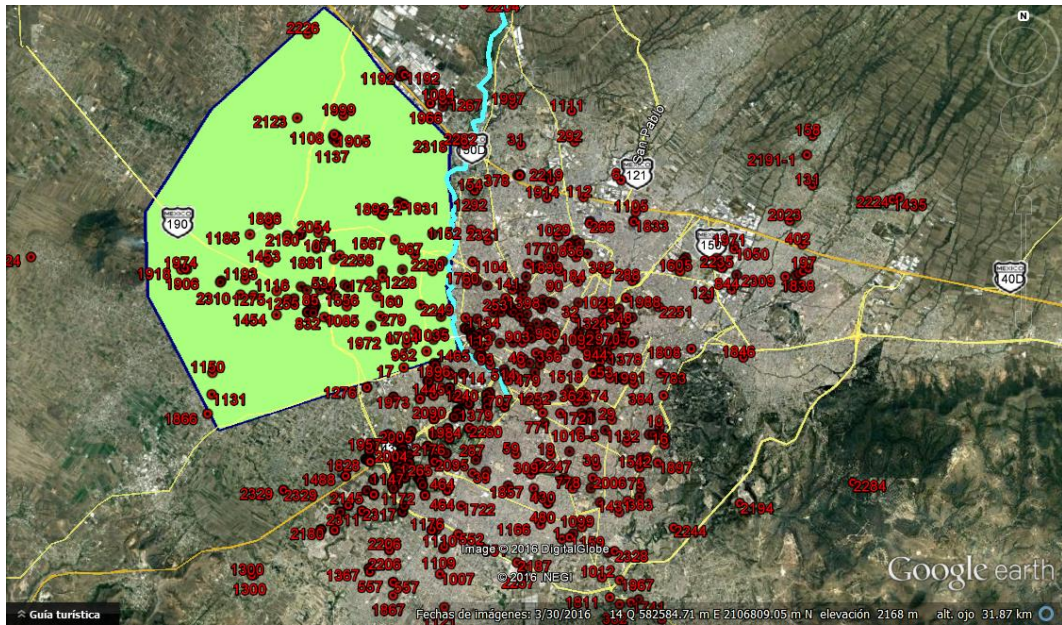


Fig. 19 Distribución de estudios geotécnicos

Distíngase que la gran mayoría de los estudios se encuentran concentrados dentro del área urbana de la ciudad de Puebla y Cholula, por otra parte dentro del área de estudio que se seleccionó al inicio de la investigación se observó la escasa concentración de datos en la parte norte de la misma por lo cual se propone realizar el replanteo del área de interés.

Finalmente el área de interés se definió como se muestra en la Fig. 20, véase que en la parte norte de la misma se optó por realizar el recorte en forma de arco, dado que para esta área no se cuenta con estudio geotécnico alguno (Véase anexo N° 01 “Estudios en área de interés”). Cuenta con 39.5 km<sup>2</sup> y una concentración de 55 estudios entre los que se encuentran PCA y sondeos SPT, mismos que representan una concentración de 1.4 estudios/km<sup>2</sup>.

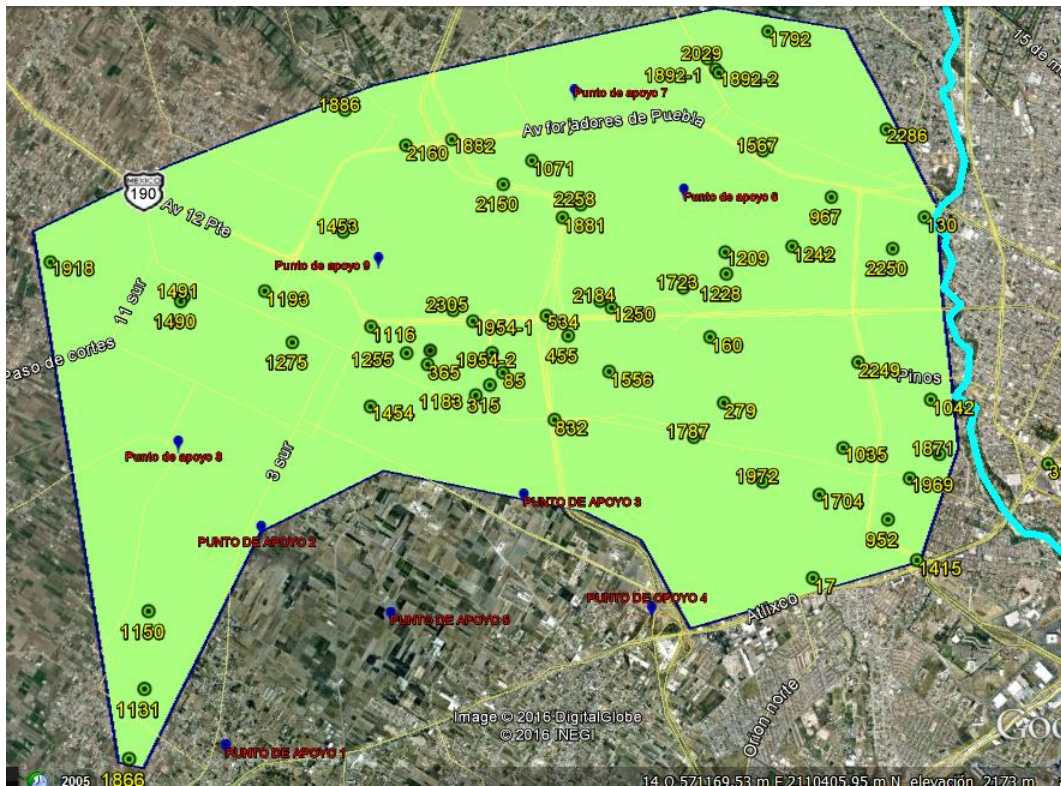


Fig. 20 Estudios Geotécnicos

### 3.2 Enmallado de terreno natural

Con la finalidad de conocer la configuración del terreno natural del área de interés se realiza un enmallado del mismo optando por la utilización del software SURFER10, el cual es un programa para hacer mapas y trazar líneas de contorno en 3D para Windows, el cual procesa todos los datos en mapas con contorno y superficie.

Como primer paso se realiza la representación en un espacio bidimensional (vista en planta) de los estudios seleccionados, que incluyen, latitud, longitud y elevación. (Véase anexo 02 “Datos Terreno Natural”)

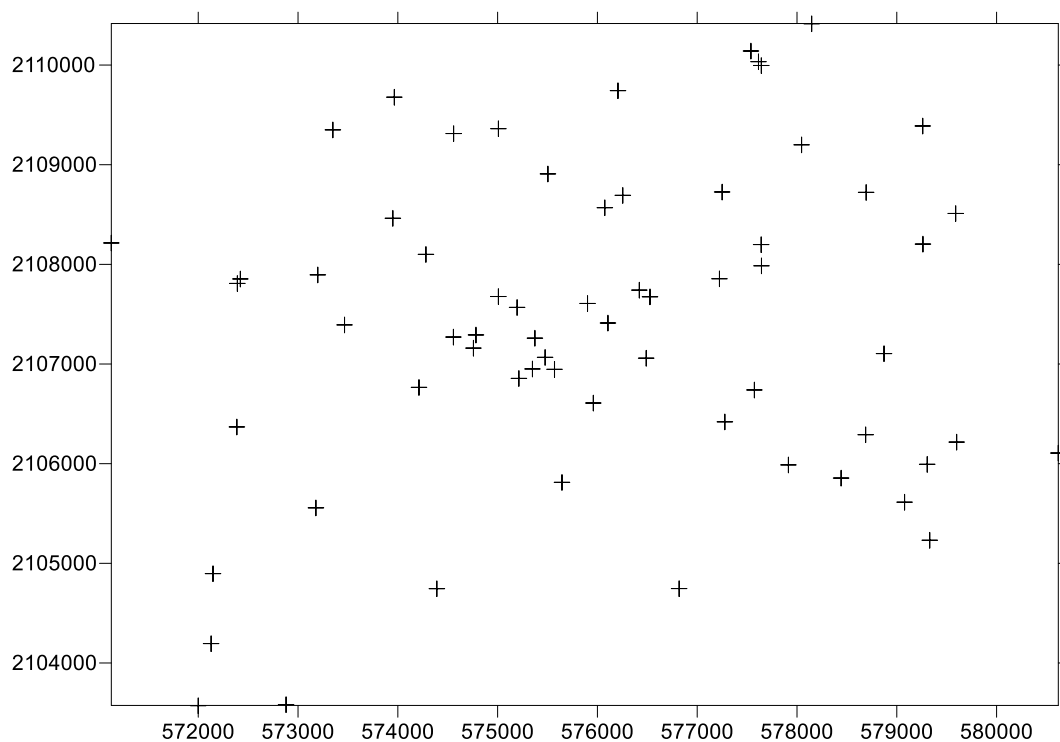


Fig. 21 Distribución en planta de los estudios

Por medio del software mencionado se ingresan y procesan los datos seleccionados para obtener las curvas de nivel del terreno natural.

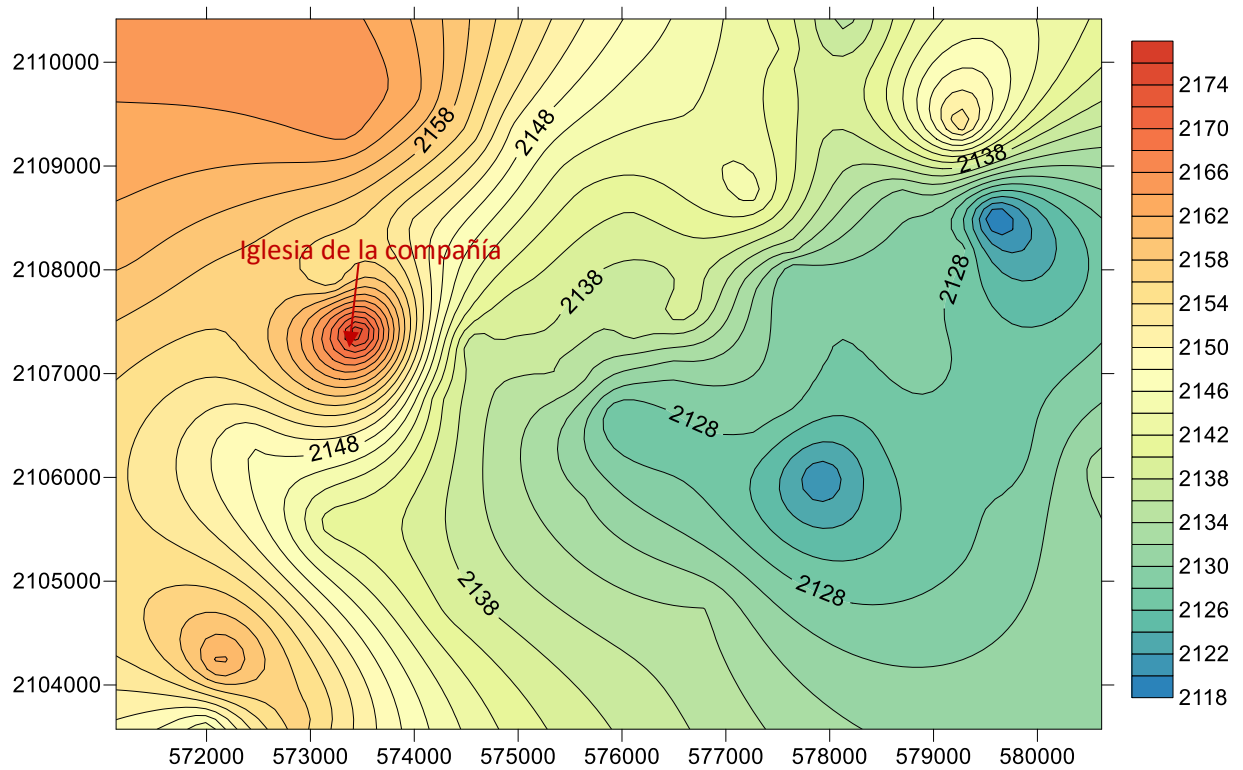
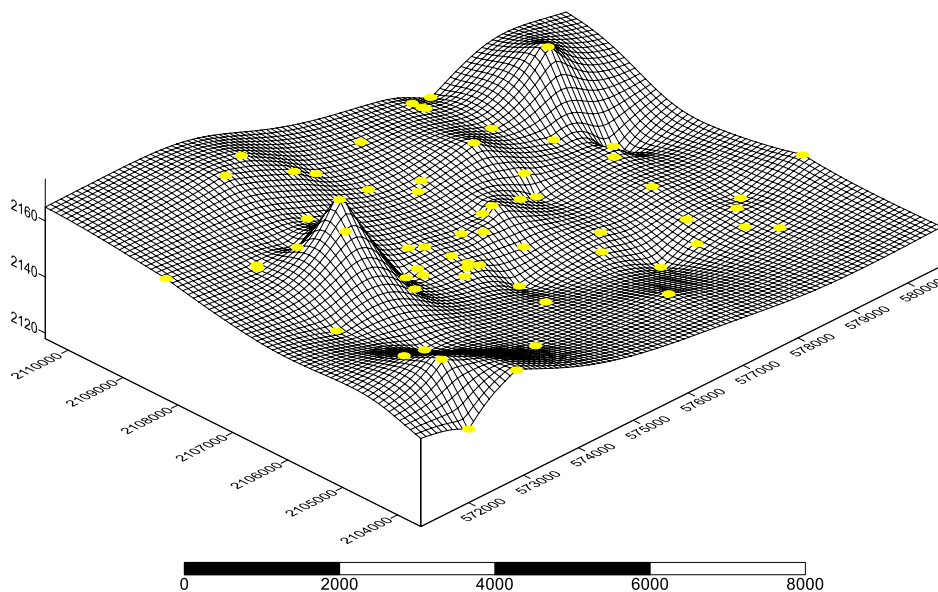


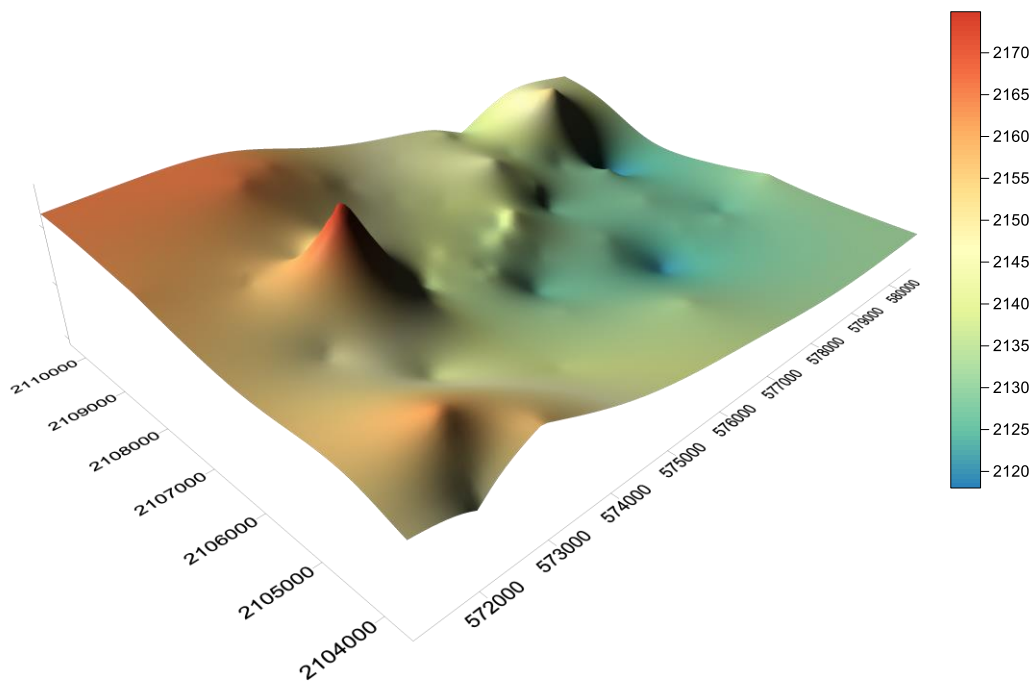
Fig. 22 Curvas de nivel de terreno natural

De la Fig.22, el punto auxiliar tomado en la iglesia de la Compañía, Cholula, en color rojizo, se encuentra representado en las curvas de nivel con una elevación igual a la seleccionada y los puntos ubicados fuera del área de interés en color azul, representan una pequeña área semi-llana, misma que se considera para efectos de este trabajo como área de terrenos para cultivo, de acuerdo a la inspección visual del sitio donde la superficie es utilizada como tierra agrícola definiendo el subsuelo en ella como tipo blando y con alto contenido orgánico en la parte superficial.

Finalmente se obtiene el enmallado en 3D de la superficie de terreno natural donde se muestra en color amarillo la ubicación de los estudios geotécnicos empleados en la configuración de esta tesis, representado en las Fig. 23a y 23b con base a las curvas de nivel de la Fig. 22.



a) Malla en tres dimensiones del terreno natural



b) Malla en tres dimensiones del terreno natural

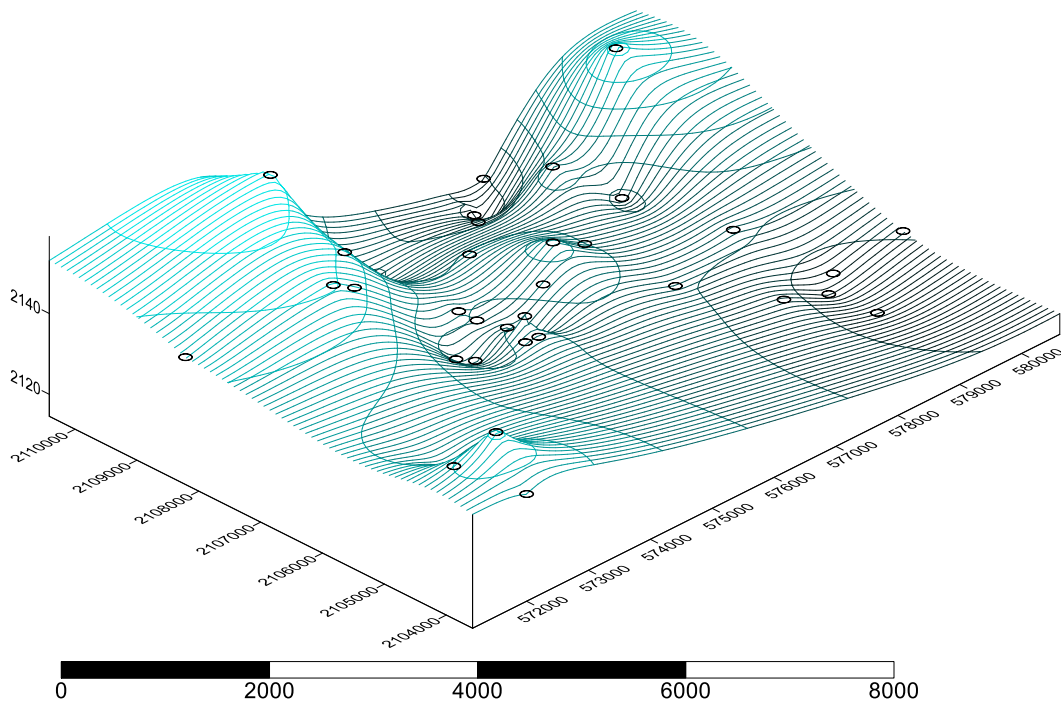
Fig. 23 Configuración del terreno natural

### 3.3 Enmallado de estratos

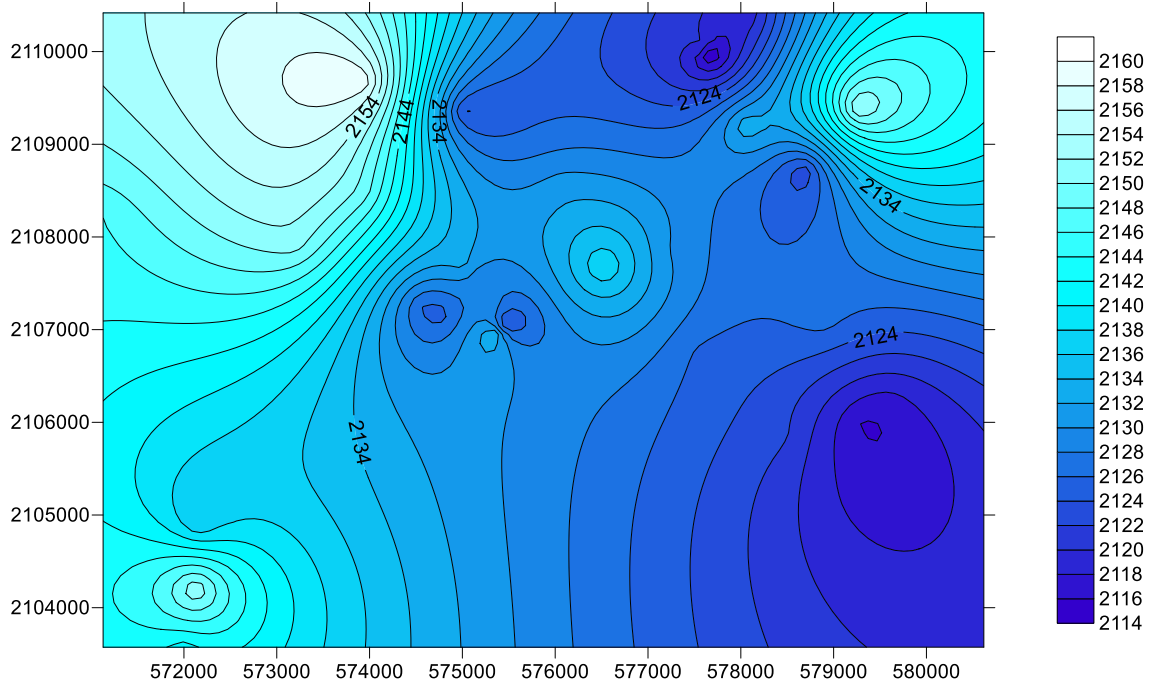
Para conocer la configuración aproximada y el comportamiento de cada uno de los estratos presentes en el área de estudio, se reducirán los estratos en tres principales, representados por arcillas, arenas y limos (véase anexo 03 “Estratificación Predominante”), de la misma manera y empleado el mismo procedimiento descrito anteriormente se realiza el enmallado de los estratos predominantes, representados en las Fig. 24-26.

De la Fig. 24a se observa que los estratos de arcilla florecen en la esquina noreste y en el área que incluye desde el noroeste y aumentando su profundidad hacia el sureste y suroeste, en este último floreciendo estratos de arenas hacia el área ubicada en la zona norte y encontrándose estos a mayor profundidad hacia el este de la zona de estudio (Fig. 25a), de la misma manera se observa en la Fig. 26a que los estratos superficiales de materiales limosos se encuentran en una franja central que recorre la zona de estudio de oeste a este, además de existir áreas aisladas de material basáltico y escoria volcánica.

La gran mayoría de materiales localizados en el área de estudio se encuentran representados por formaciones de tipo tobáceo eólico de tipo volcánico, esto último derivado de la actividad ígnea del Popocatepetl y su cercanía a la zona de estudio, mostrándose que en su mayor parte los depósitos eólicos se encuentran descansando sobre una capa considerable de suelos tobáceos y rocas del mismo origen geológico.

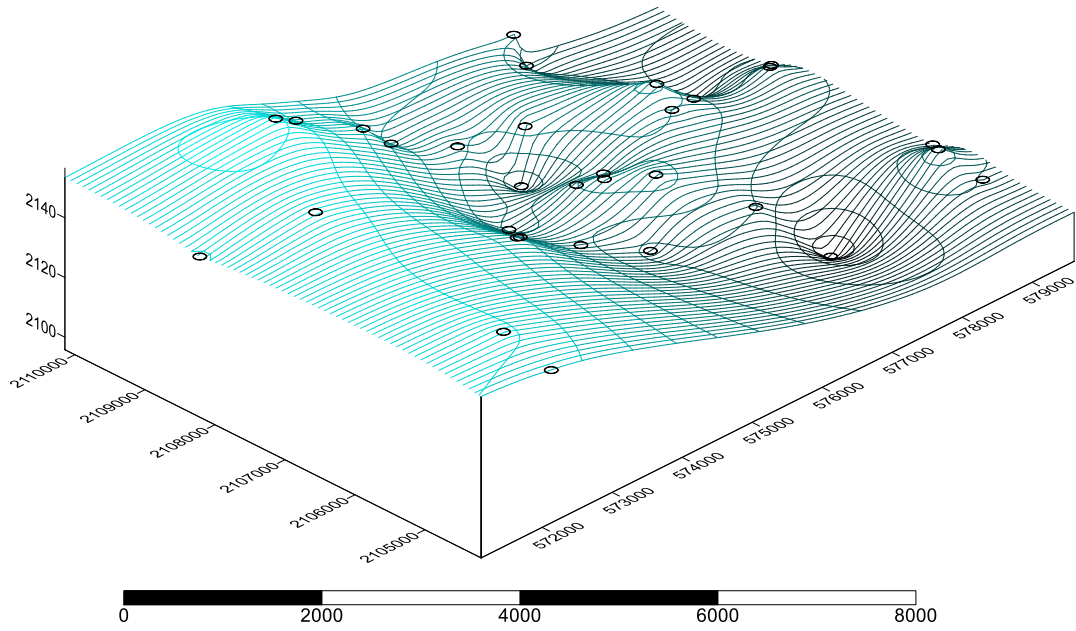


a) Malla en tres dimensiones de materiales arcillosos

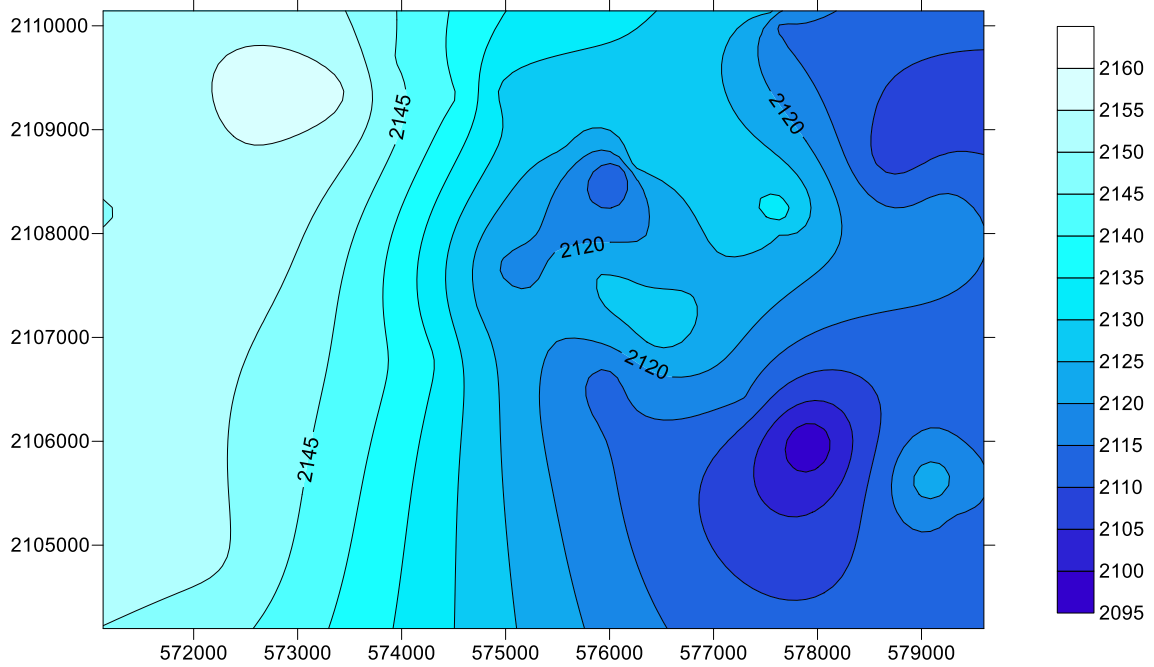


b) Curvas de nivel de estratos arcillosos

Fig. 24 Configuración de los materiales arcillosos

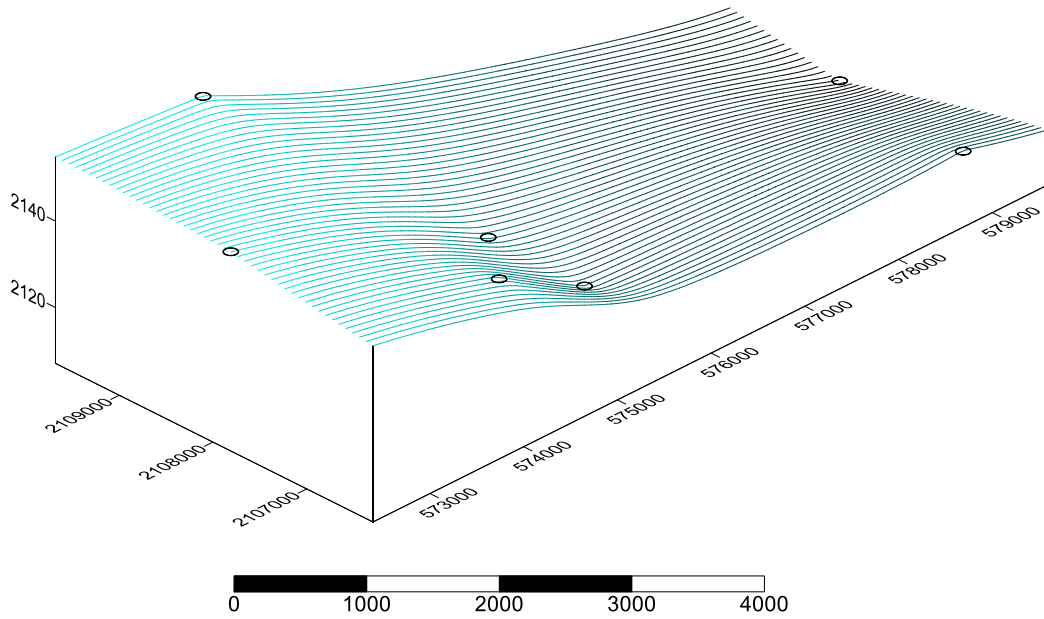


a) Malla en tres dimensiones materiales arenosos

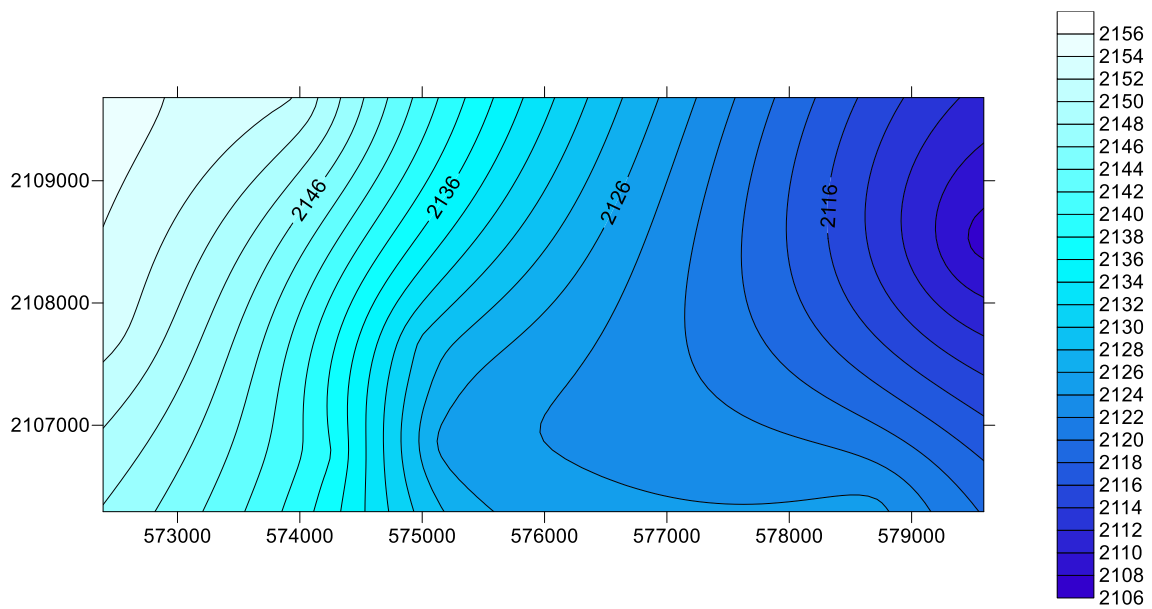


b) Curvas de nivel de estratos arenosos

Fig. 25 Configuración de los materiales arenosos



a) Malla en tres dimensiones de materiales limosos



b) Curvas de nivel de estratos limosos

Fig. 26 Configuración de los materiales limosos



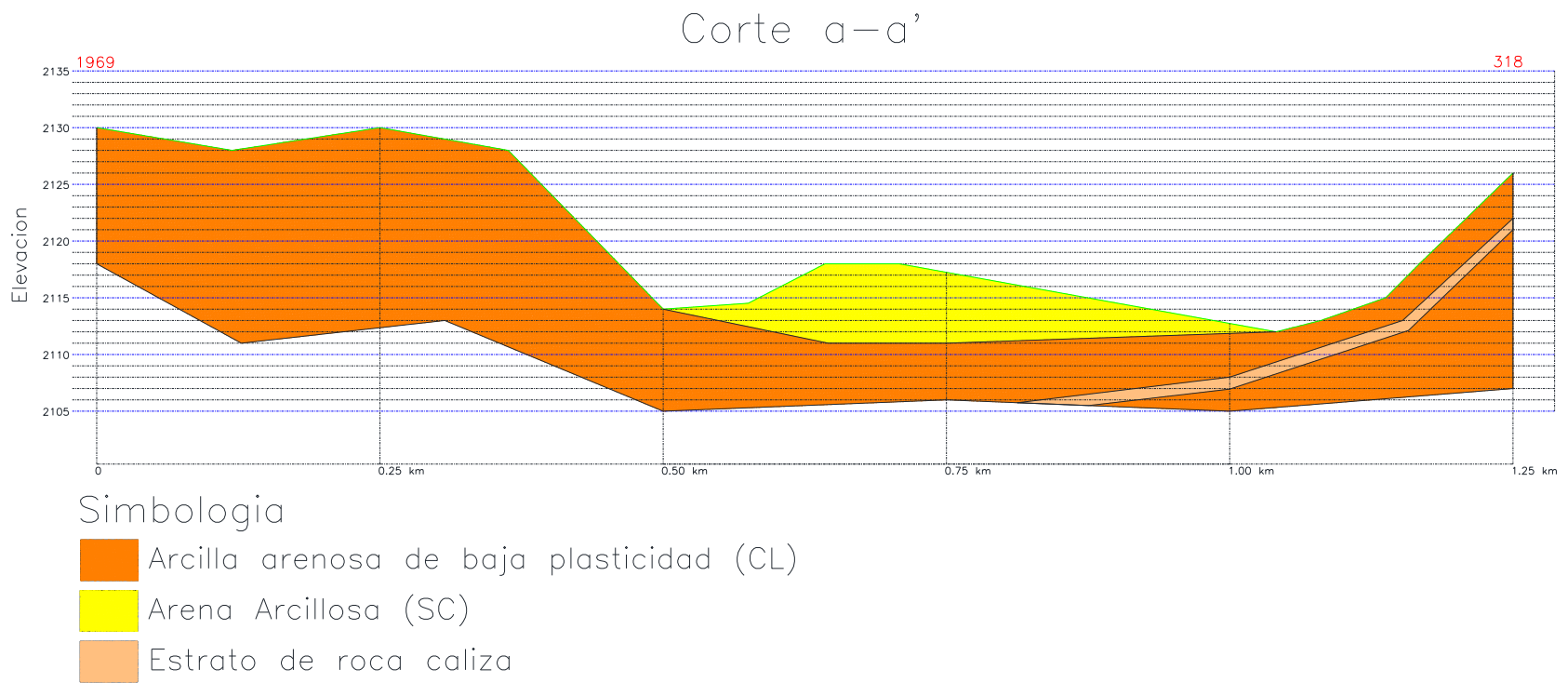
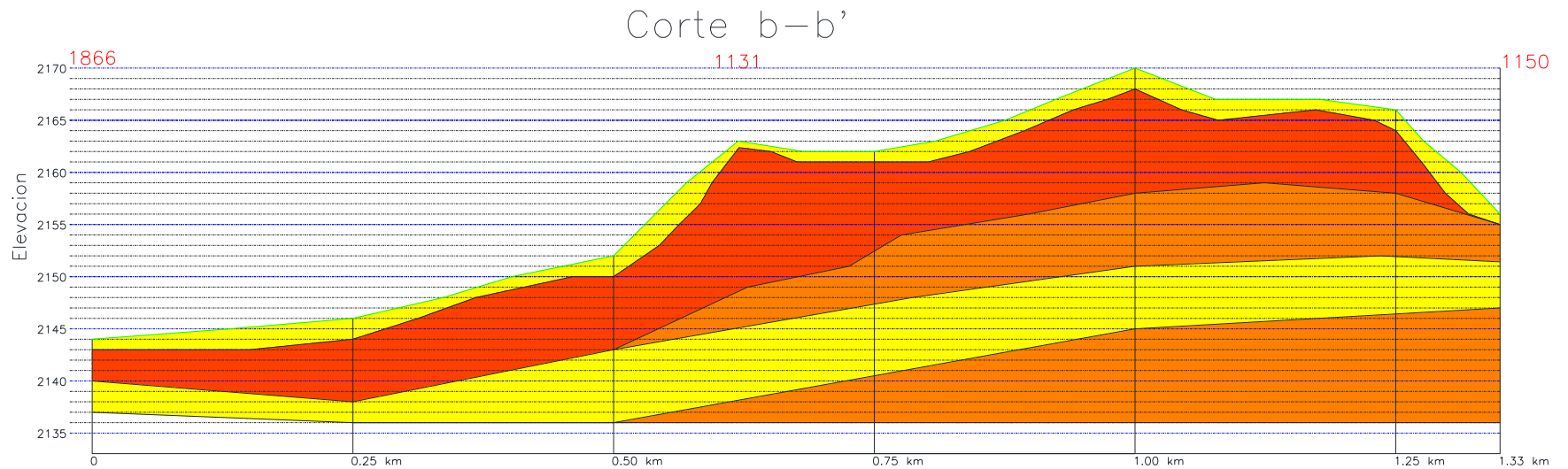


Fig. 28 Corte N°1



### Simbología

- Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)
- Arena Arcillosa (SC)
- Estrato de Arcilla de alta (CH) y baja plasticidad (CL)

Fig. 29 Corte N°2

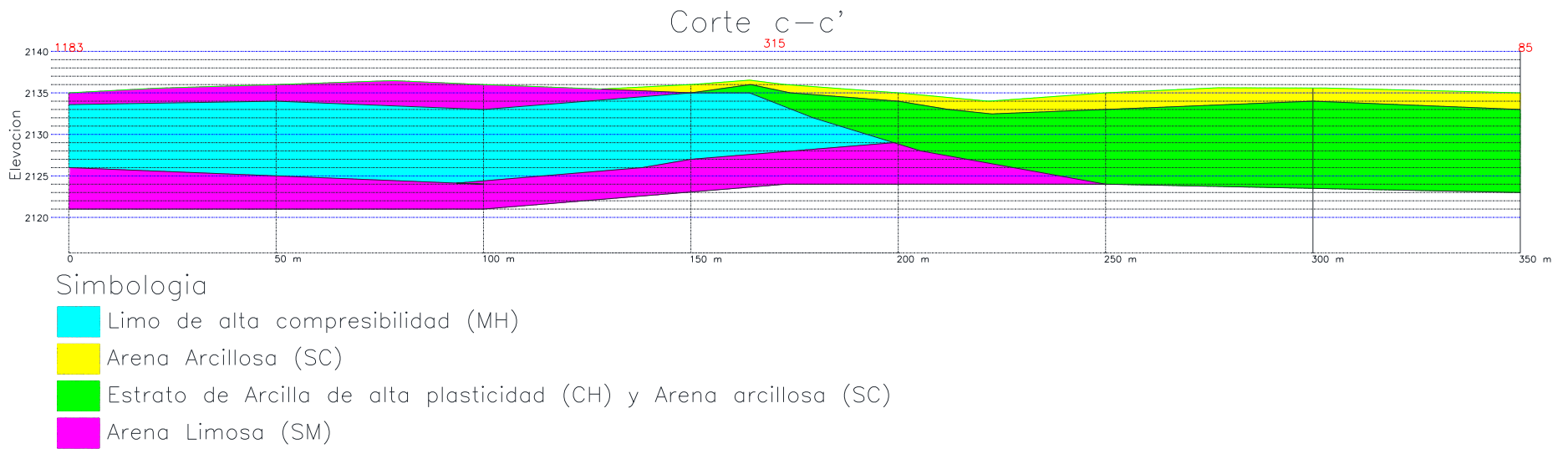


Fig. 30 Corte N°3

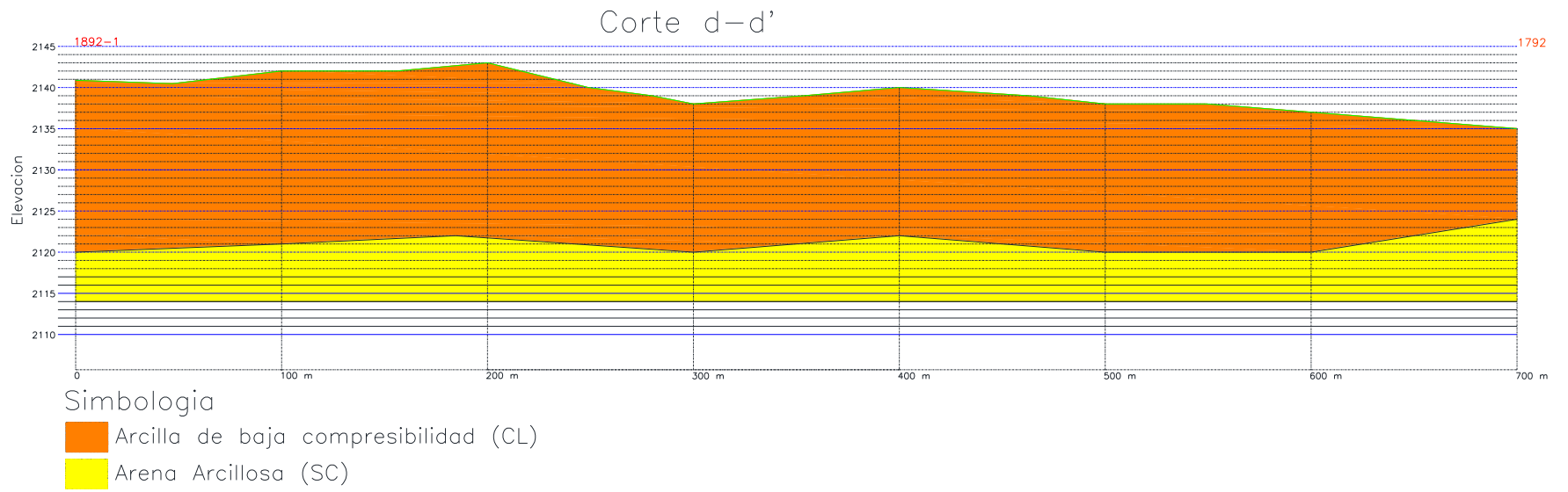
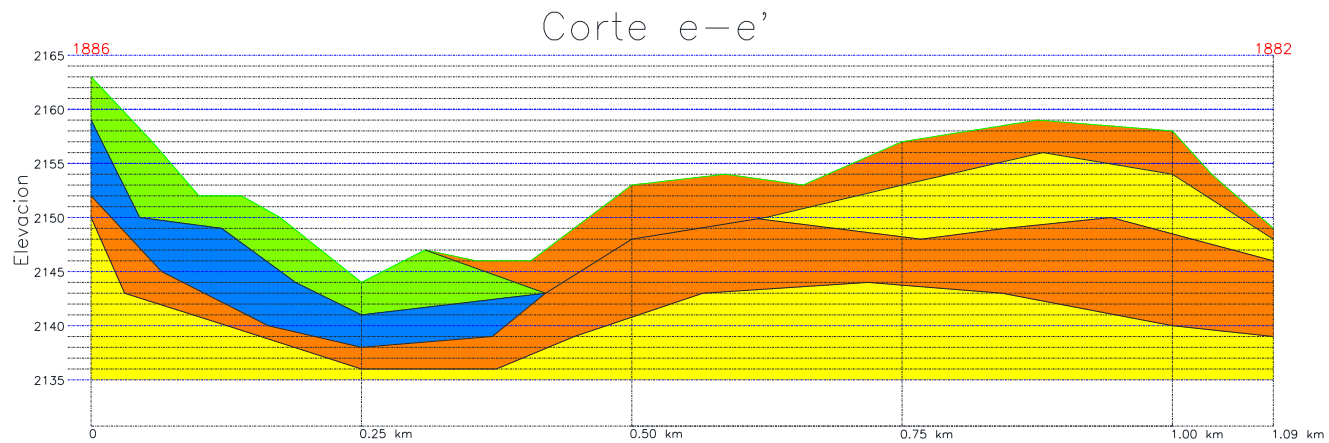


Fig. 31 Corte N°4

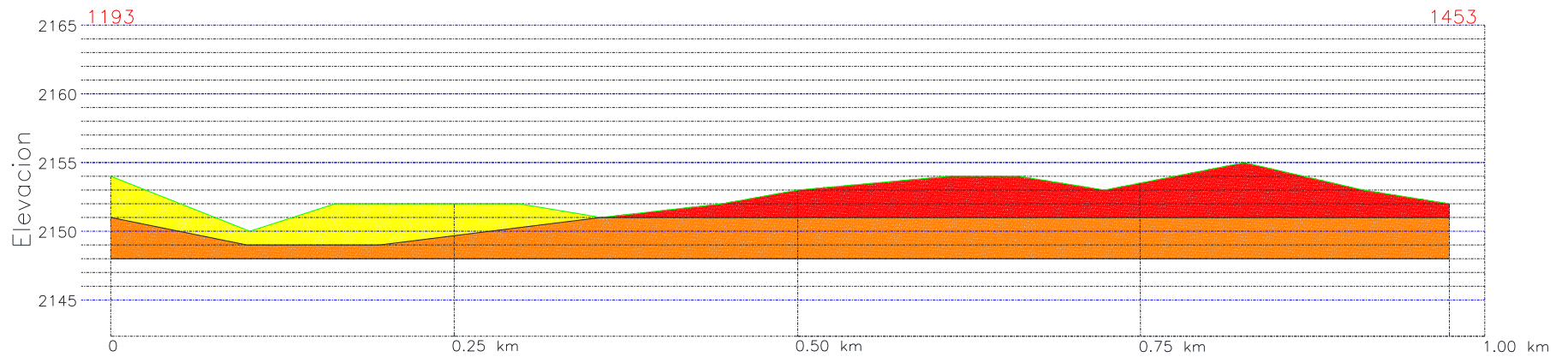


### Simbología

- Limo de baja compresibilidad (ML)
- Arena Arcillosa (SC)
- Estrato de Arcilla de baja (CL) y alta plasticidad (CH)
- Arena Limosa (SM)
- Arcilla de baja compresibilidad (CL)

Fig. 32 Corte N°5

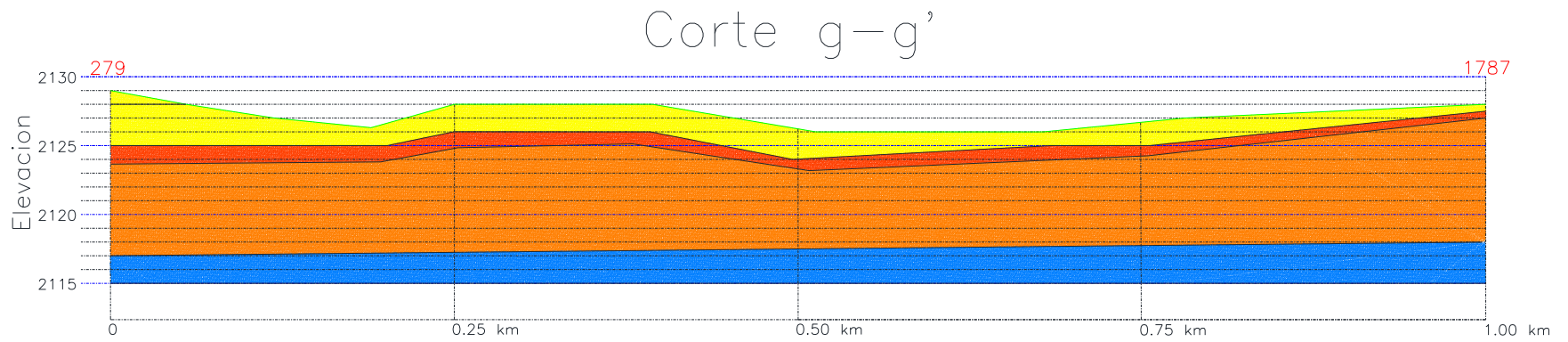
## Corte f-f'



### Simbología

-  Relleno heterogéneo
-  Arena Arcillosa (SC)
-  Arcilla de baja compresibilidad (CL)

Fig. 33 Corte N°6



### Simbología

- Arcilla de alta plasticidad (CH)
- Arena Arcillosa (SC)
- Arcilla de baja compresibilidad (CL)
- Limo de baja compresibilidad (ML)

Fig. 34 Corte N°7

A continuación se describe brevemente cada uno de los cortes estratigráficos realizados:

#### Corte N°1 (Oeste-Este)

Ubicado al sureste de la zona de estudio (Fig. 27), presenta la formación predominante de un estrato de arcilla arenosa de baja plasticidad que se encuentra a una profundidad aproximada de 4 m y cuenta con un espesor de 1 m donde se encuentra con un estrato de roca caliza, también se observa la formación de lentes de arena arcillosa en el cauce del río Atoyac.

#### Corte N°2 (Suroeste-Noreste)

Ubicado en la zona norte del área de estudio (Fig. 27), presenta un estrato de aproximadamente 1 m de espesor de arena arcillosa que sobreyace a arcilla de baja y alta plasticidad, sobre intercalaciones de estratos de arcilla arenosa y arena arcillosa.

#### Corte N°3 (Noroeste-Suroeste)

Ubicado en la zona central del área de estudio (Fig. 27), presenta una capa superior de aproximadamente 2 m de espesor de material areno arcilloso sobre una intercalación de estratos de arena limosa y limo de alta compresibilidad, observándose un estrato de arcilla arenosa y arena arcillosa.

#### Corte N°4 (Noroeste-Suroeste)

Ubicado en la zona noreste del área de estudio (Fig. 27), presenta un estrato de 16 m en promedio de material arcilloso de baja compresibilidad sobre un estrato de arena arcillosa.

#### Corte N°5 (Norte-Sur)

Ubicado en la zona suroeste del área de estudio (Fig. 27), presenta la intercalación de estratos de arcilla de baja compresibilidad y arena limosa, se observa la presencia de estratos de arcilla de baja y alta plasticidad así como un lente de limo de baja compresibilidad.

#### Corte N°6 (Noroeste-Suroeste)

Ubicado en la zona oeste del área de estudio (Fig. 27), se presenta en la superficie un relleno heterogéneo subyaciendo un estrato de 3 m de espesor en promedio de material areno arcilloso, sobre una arcilla de baja compresibilidad.

#### Corte N°7 (Noroeste-Suroeste)

Ubicado en la zona este del área de estudio (Fig.27), presenta superficialmente un estrato de arena arcillosa de 3 m de espesor en promedio sobre estratos de arcilla de alta plasticidad y baja compresibilidad, éstos se encuentran desplantados sobre limo de baja compresibilidad.

## CAPÍTULO 4 PROPUESTA DE LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL AREA DE ESTUDIO

Para definir la zonificación geotécnica del área de estudio, se realizó la ubicación geográfica de los límites de los distintos materiales presentes, arcillas, arenas y limos, representados en la Fig. 35 y cuyas características principales se presentan a continuación:

Material arenoso se extiende sobre el cauce de los ríos y el área sur de la zona de estudio representado principalmente por arenas arcillosas de baja compresibilidad cuyas características promedio son:

- Contenido de agua,  $\omega$  (%): 30 - 40
- Limite Liquido, LL (%): 24 - 40
- Índice Plástico, IP (%): 12 - 25
- Porcentaje de finos, F (%): 35 - 65
- Cohesión ,  $C$  ( $T/m^2$ ): 6 - 16
- Ángulo de fricción ,  $\Phi$  (°): 30 - 45

Materiales arcillosos se extienden desde el área noroeste hacia el sur y el este de la zona de estudio, se encuentran principalmente representados por arcillas arenosas y arcillas de baja compresibilidad cuyas características son:

- Contenido de agua,  $\omega$  (%): 25 - 35
- Limite Liquido, LL (%): 33 - 50
- Índice Plástico, IP (%): 18 - 25
- Porcentaje de finos, F (%): 60 - 75
- Cohesión ,  $C$  ( $T/m^2$ ): 5 - 45
- Ángulo de fricción ,  $\Phi$  (°): 30 - 36

Materiales limosos se localizan en la franja central del área de estudio en su mayoría se cuenta con presencia de material de baja y alta compresibilidad cuyas características son:

- Contenido de agua,  $\omega$  (%): 20 - 150
- Limite Liquido, LL (%): 35 - 80
- Índice Plástico, IP (%): 28 - 50
- Porcentaje de finos, F (%): 70 - 85
- Cohesión ,  $C$  ( $T/m^2$ ): 2.5 – 4.5
- Ángulo de fricción ,  $\Phi$  ( $^\circ$ ): 10 – 15

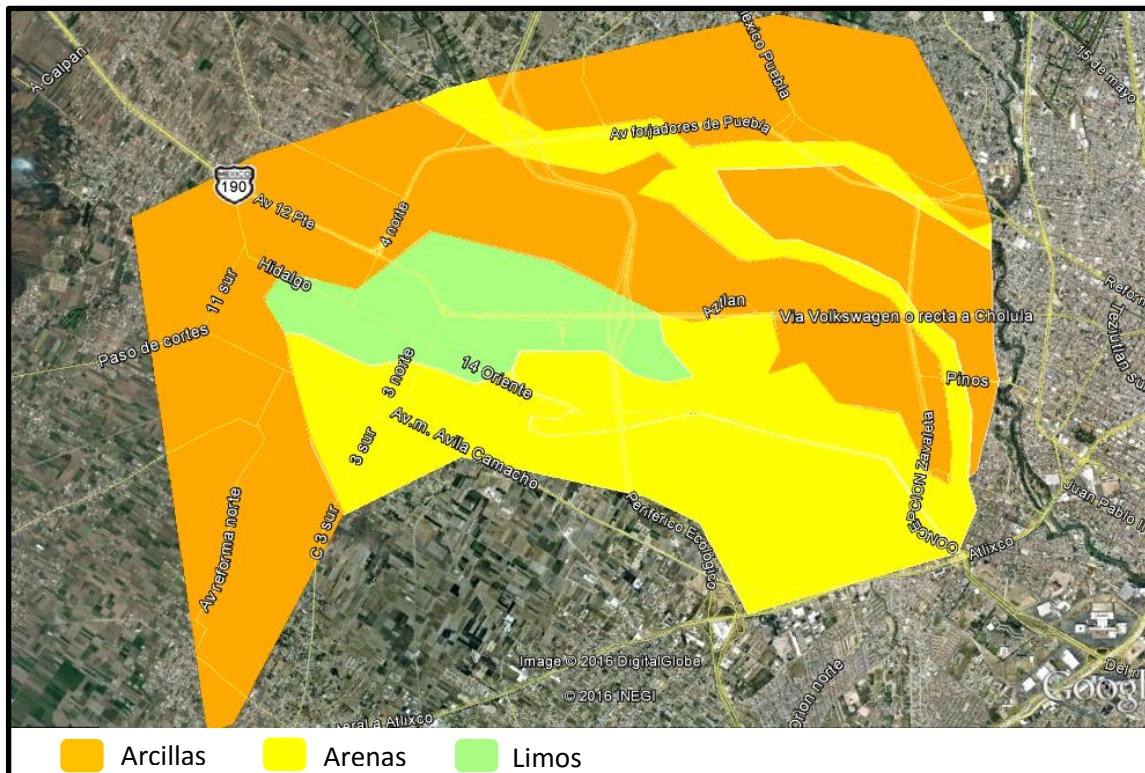


Fig. 35 Afloramientos principales

Conocidas las características de los materiales existentes y con apoyo de las Fig. 24-35, se realiza la zonificación geotécnica del área norponiente del valle de Puebla obteniendo la distribución mostrada en la Fig. 36, la cual se incorpora a la actual carta de zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla (Fig.37)

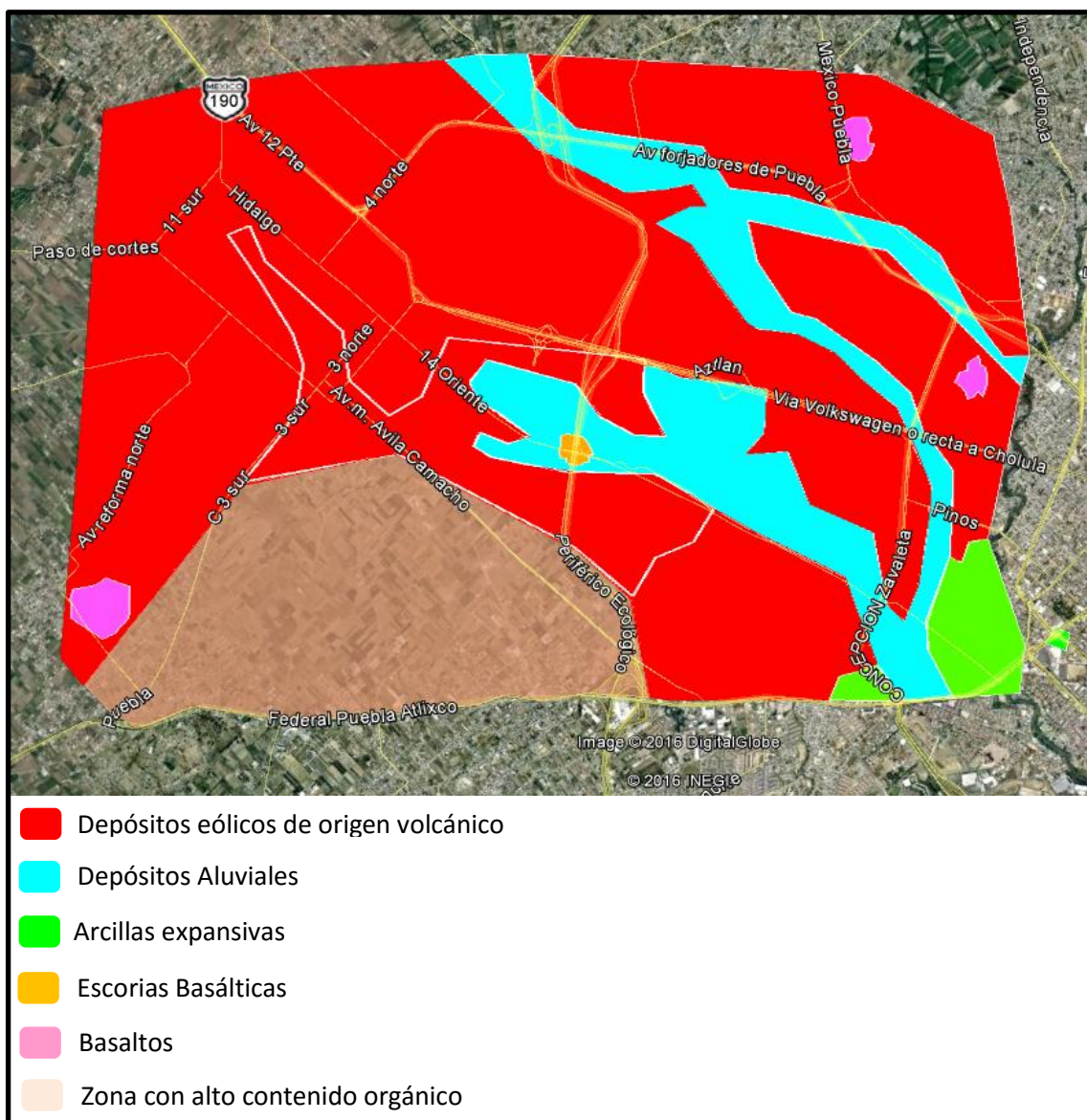


Fig. 36 Zonificación geotécnica del área de estudio

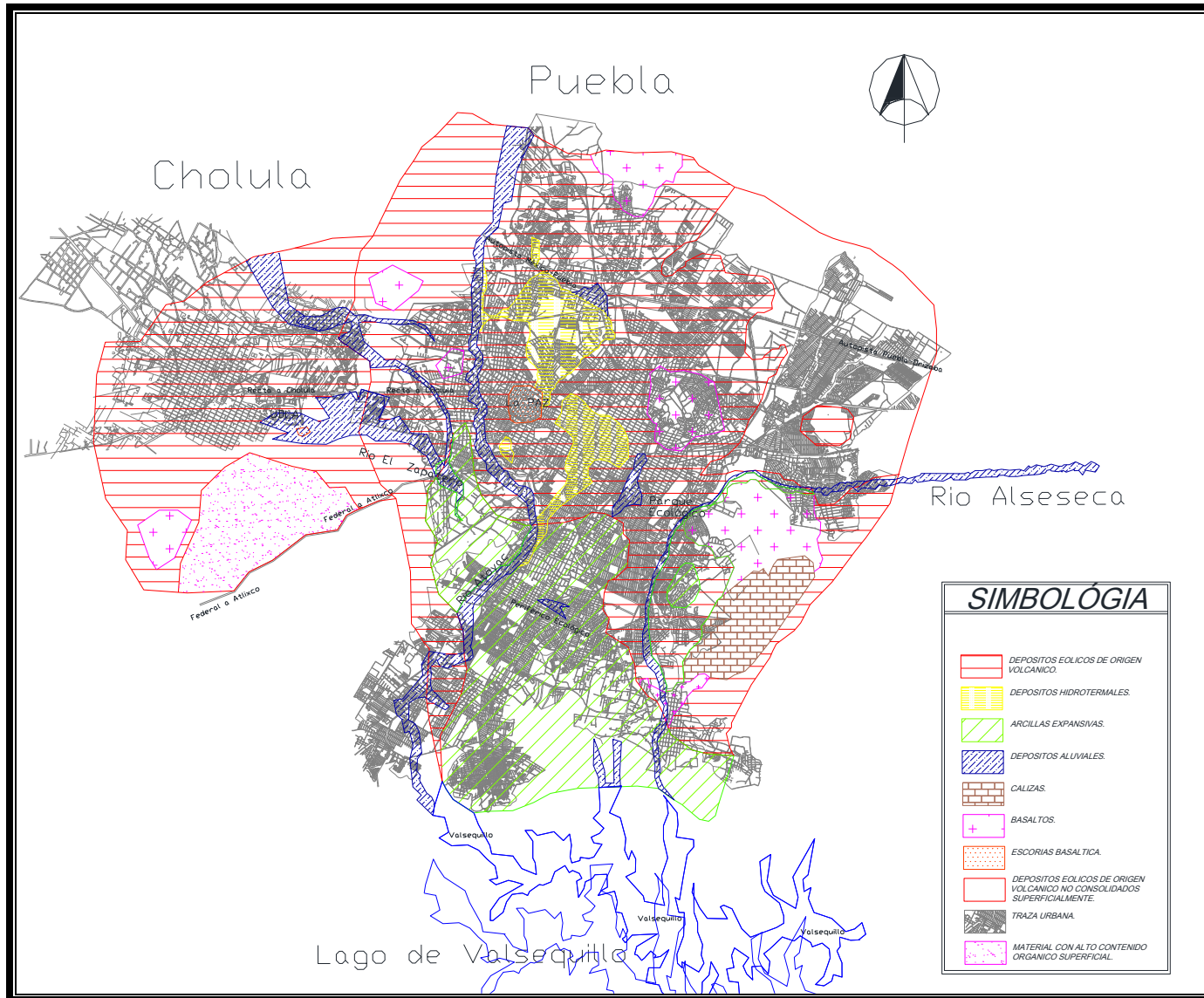


Fig.37 Incorporación de la zonificación del área estudiada a la carta de zonificación geotécnica de Azomoza

## CONCLUSIONES

Se puede observar que la tendencia del tipo de suelo en la zona de estudio es congruente con lo presentado por Azomoza en 1998 para la zonificación geotécnica del área urbana del valle de Puebla, dado que en el área oeste de la zonificación actual y la zona de estudio se encuentra principalmente suelos eólicos de origen de volcánico compuestos principalmente por tobas del mismo origen, fue posible corroborar por medio de los estudios analizados que el área de material aluvial se encuentra bien delimitada por las corrientes superficiales que recorren parte del municipio; tomando como referencia el estudio 318 fue posible conocer la frontera de la intercalación de arcillas de baja compresibilidad con arcillas expansivas que afloran hacia el sur de la ciudad, y la existencia de pequeñas áreas que presentan afloramientos de material basáltico, sin ser concluyente su extensión debida a la escasa cantidad de estudios geotécnicos cercanos a éstas, así mismo se observó que los materiales agrupados bajo el SUCS presentan características similares entre ellos para esta zona de estudio.

A partir la distribución de estudios geotécnicos, que constan de un número superior a 2,000, se exhorta a las empresas del ramo geotécnico a contribuir con información para realizar una revisión en conjunto, con la finalidad de delimitar con mayor precisión las áreas geológicas y geotécnicas que conforman el área urbana del valle de Puebla y zonas aledañas.

La zonificación geotécnica presentada en este trabajo es una contribución para la actualización de la zonificación de Azomoza y pretende ser una fuente de información y guía para conocer de manera preliminar el material presente en el subsuelo de un área, ya que éste fue realizado a partir de estudios geotécnicos puntuales, mismos que, ayudaran al personal que así lo requiera a elegir el tipo de sondeo que debe ejecutar previo a la elaboración de un proyecto, así como de la maquinaria a recurrir o las acciones a establecer previas a la ejecución del mismo.

Las visitas técnicas al sitio de los trabajos, sondeos, muestreo del subsuelo y pruebas de laboratorio deben ser realizadas para todos y cada uno de los proyectos que se ejecuten ya que como se pudo observar en el desarrollo de esta tesis, los espesores, configuraciones, características físicas y mecánicas de los materiales pueden tener una variación considerable en distancias cortas.

## REFERENCIAS

- A. de la Fuente, H., A. Sanchez, M., & E. Tenorio, A. (2014). *Zonificación Geotécnica del municipio de ,Centro Tabasco*. Recuperado el 24 de Octubre de 2016, de [http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/19\\_XXVII\\_Reunion\\_Nacional\\_de\\_Ingenieria\\_Geotecnica/36\\_Reunion\\_Nacional/78\\_CHARACTERIZACION\\_Y\\_ZONIFICACION\\_GEOTECNICA\\_DE\\_CIUDADES/R5DEUH\\_1.pdf](http://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/19_XXVII_Reunion_Nacional_de_Ingenieria_Geotecnica/36_Reunion_Nacional/78_CHARACTERIZACION_Y_ZONIFICACION_GEOTECNICA_DE_CIUDADES/R5DEUH_1.pdf)
- Aguilar Mora, A. (1999). *Revisión de las características geológicas y geotécnicas de la Ciudad de Puebla para la instalación de tres estaciones acelerográficas*. Puebla.
- Albarracín Sepúlveda, O. L., Gómez Acevedo, D. C., Viviana Alarcón, C., & Sandoval Castillo, F. L. (2012). *Zonificación geotécnica de la zona centro del Municipio de Sogamoso por medio de un SIG*.
- Auvinet, G. (1976). Estudio de Mecánica de Suelos para la ciudad de Puebla. *Memorias del VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos*, Tomo II, No 13.
- Azomoza Ponce, G., Vera Alejandre, A., & Reyes Santos, L. (1993). Zonificación geotécnica para el área urbana del valle de Puebla .
- Capallera Cabada, J. F., Jorge, A. M., & Isidro, M. P. (2012). Zonificación Geotécnica de la Zona Conurbada Veracruz (2012) . *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería Geotécnica*, 115-137.
- Centro Universitario para la Prevención de Desastres Regionales BUAP. (s.f.). *Observatorio Urbano Metropolitano*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2016, de <http://www.oumpuebla.com/documents/descarga5.pdf>
- Diaz Pardave, M., & Aguilar Bardales, Z. (2012). XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería Geotécnica. *Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Pisco*, 108-114.
- Gobierno del estado de Puebla. (14 de Febrero de 2014). *Gobierno Municipal Puebla, Ciudad de Progreso*. Obtenido de <http://pueblacapital.gob.mx/images/transparencia/obl/vi-planos/plan.mun.desa14.18.pdf>
- Gutierrez Calderon, R., Carreón, D., González, M., Cerca, M., Jimenez, A., López, P., & Blancas, D. (2012). Zonificación geotécnica de la Delegación Iztapalapa, México D.F. . *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería Geotécnica*, 91-96.
- INAFED. (2015). *INAFED*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/>

- INEGI. (2015). *Cartografía INEGI*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/urbana/>
- Juárez, M., Auvinet, G., Hernández, F., & Mendez, E. (2012). Caracterización geotécnica del subsuelo de la zona norte de la cuenca de México. *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería Geotécnica*, 162-170.
- Manilla Aceves, A. Á., Castillo Soto, J. L., Mejía Ramírez, J., & Jerónimo Rodríguez, F. J. (2008). Zonificación Geotécnica de Morelia, Mich. *XXIV REUNIÓN NACIONAL DE MECÁNICA DE SUELOS*, 307-313. Obtenido de [http://www.smig.org.mx/archivos/pdf/XXIV/ar\\_03.pdf](http://www.smig.org.mx/archivos/pdf/XXIV/ar_03.pdf)
- Mena, M. (2012 de Abril de 2012). *Organización Editorial Mexicana*. Obtenido de El Sol de Puebla: <http://www.oem.com.mx/elsoldepuebla/notas/n2507262.htm>
- Méndez Sánchez, E., Auvinet, G., & A. García, J. (2012). Contribución a la zonificación geotécnica del valle de Toluca. *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos y Ingeniería Geotécnica*, 171-176.
- Páez, S. (2 de Septiembre de 2015). *De 10 a 15 mil dólares, el ingreso per cápita de los poblanos*. Obtenido de <http://www.e-consulta.com/nota/2015-09-02/economia/de-10-15-mil-dolares-el-ingreso-capita-de-los-poblanos>
- Romo, M., & Ovando, E. (1995). Zonificación sísmica y geotécnica estado del arte . *Memorias de X congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ing. de cimentaciones, Guadalajara, Jal.*, Vol IV pp. 558-614.
- Rubí, M. E. (2008). *Portal Infonavit*. Recuperado el 01 de Junio de 2016, de [http://www.infonavit.gob.mx/inf\\_general/directorio/directorio/ccr/novena/4\\_Puebla\\_Dra\\_Ma\\_Elena\\_Rubi.pdf](http://www.infonavit.gob.mx/inf_general/directorio/directorio/ccr/novena/4_Puebla_Dra_Ma_Elena_Rubi.pdf)
- Ruiz Acevedo, C. (1992). *Características geodinámicas de la ciudad de Puebla (Trabajo de investigación)*. Puebla,Pue.
- UNIÓN Puebla. (09 de 12 de 2013). *Los nuevos límites de Cholula y Puebla*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2016, de El Universal UnoTV Puebla: <http://www.unionpuebla.mx/articulo/2013/12/09/politica/puebla/los-nuevos-limites-de-cholula-y-puebla>

# ANEXOS

# **ANEXO 01**

## **Estudios en área de interés**

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
1	SPT	2135	3.7	0	1.5	Relleno material arcilloso-arenoso	Consistencia blanda	27			65			Suelos superficiales de origen aluvial que yacen sobre material tobáceo y tobas medias.
				1.5	2	Arena arcillosa (SC)	Compacta	16			45			
				2	12	Suelos tobáceos, constituidos por arcillas arenosas y arenas arcillosas, con suelos finos de baja plasticidad (CL)	Color café claro, de consistencia dura y alta compacidad.	30	40	25	65			
2	SPT	2117	No detectado	0	0.3	Tierra vegetal								Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo
				0.3	1.2	Arena limosa (SM) pumítica y cuarzosa	Medianamente compacta, color café claro verdoso	20			22			
				1.2	1.7	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Color café claro, de consistencia firme.	30	48	26	80	30		
				1.7	6	Arena limosa (SM) pumítica y cuarzosa	Color gris claro, de compacidad densa a muy densa firme.	28			25			
				6	10	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Color café claro, de consistencia muy firme.	30	40	27	50	35		
3	PCA	2129	No detectado	0	0.3	Tierra vegetal								Suelos tobáceos de origen volcánico.
				0.3	1.2	Relleno heterogénea								
				1.2	3.5	Arcilla arenosa (CL)	Color café claro, de baja a mediana plasticidad, de consistencia dura.	20	48	20	55	35	36	
4	PCA	2136	No detectado	0	0.2	Tierra vegetal								Formación de suelos tobáceos de origen volcánico.
				0.2	0.5	Material de demolición		10			35			
				0.5	0.8	Arena arcillosa (SC)	Compacta	22	42	18	45			
				0.8	2	Arcilla arenosa (CH)	Color café claro, de consistencia firme	20	40	25	60	17	30	
5	SPT	2133	No detectado	0	0.5	Tierra vegetal y arcilla	Color gris oscuro	17			55			Constituida por depósitos de suelos arcillo arenosos, sobre suelos tobáceos de arcillas arenosas. (En la capa superior se localizo arcilla expansiva).
				0.5	4	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café claro, consistencia variable de media a dura	30	55	28	60	3 a 15	12 a 25	
				4	5	Roca caliza	Fracturada, índice ICR=0%							
				5	12.3	Arcilla arenosa (CL) y arena fina y media arcillosa (SC)	Café claro, de consistencia dura y alta compacidad, con grava aislada.	27	50	25	65			
6	SPT	2137	2.1	0	2.5	Arcillas arenosas (CH) y arenas arcillosas (SC)	Depósitos superficiales, color café de consistencia blanda a media compacidad suelta.	20	55	30	40	1 a 4	10 a 15	Geológicamente corresponde a una formación de suelos tobáceos, cubiertos por depósitos aluviales.
				2.5	12	Arcillas arenosas (CH) y arenas arcillosas (SC)	Consistencia dura y alta compacidad.	32	45	25	60	20	30	
7	SPT	2137	3.5	0	0.5	Arcilla arenosa (CH)	Materia de relleno	15			55			Bajo una capa vegetal y arcillas arenosas fisuradas y erosionadas, se tiene una formación de suelos tobáceos (cenizas volcánicas consolidadas), constituidos por arcillas arenosas y arenas arcillosas, predominando las primeras.
				0.5	2.75	Arcilla arenosa de bajas plasticidad (CL)	Color café claro, de consistencia dura	20	45	21	70			
				2.75	3.5	Arena arcillosa (SC)	Color café verdoso, de compacidad densa.	25			45	10 a 25	30 a 36	
				3.5	4.9	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café claro, de consistencia dura.	35			55			
				4.9	10	Arena arcillosa (SC)	Color café verdoso, de compacidad densa.	35			60			
8	SPT	2136	2.35	0	0.5	Capa vegetal		6			26	2.5		Suelos tobáceos intercalados con depósitos aluviales, constituidos por limos arenosos y arenas limosas resistentes y poco deformables.
				0.5	1	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Gris verdoso con raíces y grava	20	40	35	60	10	29	
				1	7	Arena fina y media limosa (SM)	Color gris, de compacidad densa, con gravas aisladas y grumos cementados del mismo material.	30	45	35	40	12	34	
				7	9	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Color café grisáceo consistencia dura, con gravas asiladas y grumos cementados del mismo material.	35	43	33	60	20	32	
				9	10.75	Arena fina y media limosa (SM)	Color gris, de compacidad densa, con gravas aisladas y grumos cementados del mismo material.	30	40	33	37	13	36	

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
9	SPT	2135	1.9	0	0.2	Capa de tierra vegetal		21						Formación de depósitos aluviales y palustres, yacen sobre suelos de origen tobáceo de cenizas volcánicas, consolidadas.
				0.2	1	Arcilla arenosa (CL)	Color gris oscuro, de consistencia blanda.	27	50	23				
				1	2	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Color gris verdoso, de consistencia blanda, presenta gravas aisladas.	41	43	33	60			
				2	3	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Color café claro, de consistencia dura, ligeramente cementada por carbonatos de calcio.	35	45	28	58			
				3	5	Arena poco limosa de origen pomítico (SM)	Color gris claro, de compacidad media a alta	40	40	31	35			
			5	8.4	Arcilla de baja plasticidad (CL)	Color café claro, de consistencia dura, presenta grumos ligeramente cementados por carbonatos de calcio y lentes de arena arcillosa.	30	37	17	70				
10	SPT	2126	No detectado	0	4.5	Terraplén estructurado con material arcilloso (CL) y arena arcillosa (SC)	Color café amarillento, de consistencia dura.	20			47	2.7	Fragmentos de escoria volcánica incrustados en la matriz arcillosa.	
				4.5	6	Pedraplen construido por fragmentos gravas de tezontle parcialmente incrustados en suelo arcilloso		20	45	15	23	45		
				6	7.2	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café, de consistencia media.	40	50	25	2.5			
				7.2	9.5	Limo arenoso de mediana y alta plasticidad (ML y MH)	Color café claro, de consistencia blanda a media.	85	50	35	80	4.3		13
				9.5	10.5	Arena arcillosa (SC)	Color café verdoso de consistencia media.	35	30	17	50	13		
			10.5	12.9	Arcilla arenosa (CL) y arena arcillosa (SC)	Color café claro de consistencia dura.	25	41	20	55	15			
11	PCA	2127	No detectado	0	0.2	Capa vegetal							Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo.	
				0.2	0.6	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café, de consistencia media.	30	15	9	75	6		28
				0.6	3	Arena arcillosa (SC)	Color café verdoso de consistencia media.	30	30	15	70	6		30
12	SPT	2131	No detectado	0	0.2	Firme de concreto							Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo.	
				0.2	6	Arena arcillosa de mediana plasticidad (CL)	Color gris de consistencia media, contiene boleos	10			20			27
				6	8.5	Arcilla arenosa de mediana plasticidad (CL)	Color gris y consistencia muy blanda a blanda	45	40	22	75	3.25		
				8.5	15	Arena de travertinos de diferentes graduaciones y limosa (SM)	Color café claro de compacidad media, contiene gravilla	25	30	25	32			30
				15	18.5	Arena de travertinos de diferentes graduaciones y limosa (SM)	Color café claro de compacidad media, contiene gravilla	25	30	25	32			28
			18.5	24	Limo arenoso de media plasticidad (ML) y arena limosa (SM)	Presenta grava de hasta 1/2" de tamaño máximo.	35	44	32	65	27			
13	PCA	2127	No detectado	0	0.75	Limo arenoso de baja compresibilidad (ML)	Color café de consistencia media a firme empacando grava aislada	30	35	28	55	1.3	23	Formación de depósitos aluviales y palustres.
				0.75	1.2	Fragmentos y gravas de tufa calcárea	Poca resistencia al corte	20			20			
				1.2	1.4	Limo arenoso de baja compresibilidad (ML)	Color café de consistencia media a firme empacando grava aislada	40	45	25	65	2	24	
				1.4	1.8	Fragmentos y gravas de tufa calcárea	Poco alterada y de mayor resistencia	22			30			
			1.8	2.2	Limo arenoso con arena fina de baja compresibilidad (ML)	Color beige de consistencia media a firme, empacando grava aislada.	24	35	20	60	4	27		
14	SPT	2165	No detectado	0	1.8	Arena arcillosa (SC)	Color café, compacidad media a densa, con gravilla aislada.	23	22	15	27		35	Geológicamente formado por depósitos eólicos de origen volcánico (cenizas volcánicas consolidadas), cubiertas superficialmente por depósitos aluviales.
				1.8	3	Arcilla arenosa de alta a baja compresibilidad (CH-CL)	Color café verdoso, consistencia dura, empacando gravilla aislada.	27	51	32	57	6	45	
				3	8.2	Arena arcillosa (SC)	Color café y café verdoso, muy compacta, con lentes de arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL), consistencia dura, empacando gravilla aislada.	35	42	25	47		45	

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
15	SPT	2163	No detectado	0	0.5	Arena arcillosa (SC)	Color café grisáceo de compacidad muy suelta empacando grava aislada.	27	45	20	57			Formación de depósitos eólicos de origen volcánico.
				0.5	11	Arcilla arenosa de baja y alta compresibilidad (CL y CH)	Color café verdoso y café oscuro de consistencia muy firme a dur, empacando grava aislada.	26	47	25	70	5 a 29	36	
				11	12	Fragmentos y gravas de basalto								
				12	16	Arena arcillosa (SC)	Color café de compacidad densa a muy densa, empacando grava aislada.	40	45	20	80		37	
16	SPT	2135	4	0	1.25	Arena fina a media limosa (SM)	Compacidad suelta a media, de color café grisáceo a café oscuro	27			47		30	Depositos formados por suelos tobáceos de origen volcánico.
				1.25	10.2	Limo de alta compresibilidad (MH) con arena fina	Colores café oscuro, gris verdoso y gris claro, consistencia blanda a media.	150	35	30	75	2.5	10 a 15	
				10.2	13.5	Arena fina a media, limosa (SM)	Muy compacta, intercalada de una lente de limo de baja compresibilidad (ML) y de consistencia firme a dura, en ambos casos color café.	27	30	7	40		45	
17	SPT	2156	No detectado	0	1	Arena arcillosa (SC)	Color café claro de compacidad suelta a media empacando grava aislada	25			40			Formación de suelos tobáceos.
				1	4.5	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café claro y café rojizo de consistencia dura, empacando grava	35	42	23	55			
				4.5	9	Arena arcillosa (SC)	Color café de compacidad muy densa	25	32	20	40			
				9	20	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café y café verdoso de consistencia dura	35	43	30	70			
18	PCA	2154	No detectado	0	2.8	Arena arcillosa (SC) y arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café grisáceo y café, de compacidad y consistencia media	28	38	20	70	4.5	27	Formación de suelos tobáceos.
				2.8	3.2	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café y de consistencia muy firme	30	48	22	75	14		
19	PCA	2135	No detectado	0	0.2	Capa vegetal								Formación de suelos eólicos .
				0.2	1.6	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café grisáceo, empaca grava y gravilla aislada	20	35	20	40	13		
				1.6	2	Arcilla arenosa de alta compresibilidad (CH)	Color café verdoso y consistencia media	38	52	22	75	6	32	
				2	2.5	Arena fina a media arcillosa (SC)	Compacta de color café verdoso, empacando gravilla	30	40	20	42	13		
20	PCA	2128	No detectado	0	0.2									Depósitos de suelos tobáceos de origen volcánico.
				0.2	2.7	Arena fina a media limosa (SM)	Compacidad media, color café grisáceo, intercala un limo arenoso de baja compresibilidad (ML)	15	40	25	60	3		
				2.7	3.2	Limo arenoso de baja compresibilidad (ML)	Color gris y de consistencia media	45	46	25	72	0.3	38	
21	PCA	2141	No detectado	0	0.4	Relleno heterogéneo								Depósitos de suelos tobáceos de origen volcánico.
				0.4	0.75	Arena arcillosa (SC)	Color café grisáceo de compacidad media	10	30	15	12			
				0.75	3	Arcilla arenosa de alta compresibilidad (CH)	Color café verdoso, de consistencia muy firme a dura	25	54	25	75	13	42	
22	SPT	2136	No detectado	0	3	Arcilla poco arenosa de alta compresibilidad (CH)	Color café, de consistencia firme a dura	40	63	29	75	3	23	Suelos y rocas de origen volcánico y depósitos aluviales.
				3	6	Fragmentos de roca empacado den arcillas de alta compresibilidad (CH)	Color café, de consistencia dura	30	40	22	55	10	50	
				6	10	Arcilla arenosa de alta y baja compresibilidad (CH-CL)	Color café de consistencia dura	35	45	25	70	7	52	
23	SPT	2128	No detectado	0	2.5	Arcilla de baja compresibilidad (CL)	Colores café grisáceo gris verdoso, de consistencia media a muy firme	30	35	18	85			Formación de suelos eólicos.
				2.5	11	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Colores gris verdoso y café, de consistencia dura	35	45	22	75	20		
				11	15	Arena arcillosa (SC)	Colores café y gris claro, de compacidad muy densa	30	35	22	35	10	30	

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
24	PCA	2152	No detectado	0	0.2	Capa vegetal								Formacion de suelos eolicos.
				0.2	0.75	Relleno heterogéneo								
				0.75	3.2	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y de consistencia media a dura	30	40	21	70	1.85	45	
25	PCA	2141	No detectado	0	0.3	Capa vegetal								Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo
				0.3	2.4	Limo arenoso de baja compresibilidad (ML)	Color café y de consistencia media	35	45	30	68	2.5	23	
				2.4	4	Arena fina a media limosa (SM)	Color café, de mediana compacidad	45	36	27	40	2	37.5	
26	PCA	2156	No detectado	0	1.8	Relleno heterogéneo		30	44	22	60			Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo
				1.8	2.4	Arena fina a gruesa limosa (SM)	Color café verdoso, de compacidad suelta	38			45			
				2.4	2.8	Limo orgánico de alta compresibilidad (MH)	Color gris oscuro y de consistencia muy baja	95	80	50	80			
27	PCA	2157	No detectado	0	0.5	Relleno heterogéneo		18			85			Formación de suelos eólicos.
				0.5	1	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café verdoso y consistencia media a firme	12	38	22	60	1.25		
				1	3.3	Arena fina a gruesa arcillosa (SC)	Color café grisáceo, de compacidad media a densa	15	25	12	16			
28	PCA	2131	No detectado	0	0.1	Capa vegetal							Depósitos de suelos tobáceos	
				0.1	2.5	Arena fina arcillosa (SC)	Color café verdoso y café, de consistencia media a muy dura	40	33	22	45	30		45
29	PCA	2137	No detectado	0	0.2	Losa de concreto							Formacion de suelos tobaceos de origen volcanico.	
				0.2	3.5	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café y de consistencia firme a dura	28	40	20	75	6		45
30	PCA	2125	No detectado	0	0.4	Relleno heterogéneo								Formacion de suelos tobaceos de origen volcanico.
				0.4	0.9	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café grisáceo de mediana compacidad	18	28	15	30	4	23	
				0.9	2.5	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café y de consistencia media	30	30	18	50	6	34	
31	PCA	2133	No detectado	0	3	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café y de consistencia firme	30	40	20	60	15	42	Formacion de suelos tobaceos de origen volcanico.
32	SPT	2128	No detectado	0	0.2	Arena arcillosa (SC)	Color gris de compacidad media	15			40		30	Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo
				0.2	0.5	Arcilla arenosa de alta plasticidad (CH)	Color gris oscuro, de consistencia media	30	40	20	72			
				0.5	1	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café verdoso, de consistencia firme	25			65		37	
				1	11	Intercalación de arcilla arenosa de baja plasticidad (CL) y arena arcillosa (SC)	Colores gris verdoso y café, de consistencia muy firme a dura y compacidad densa a muy densa	30	33	18	65		38	
				11	17,5	Intercalación de limo arenoso de baja plasticidad (ML) y Arena limosa(SC)	Colores café claro y café rojizo, de consistencia dura y compacidad densa	30	42	31	35		37	
33	SPT	2135	11	0	15.7	Arcilla arenosa de baja compresibilidad (CL)	Color café y de consistencia firme a dura, intercalando lentes de arena arcillosa (SC) de compacidad media a densa, empacando en ambos casos gravillas aisladas y grumos cementados del mismo material	30	40	20	70	20	37	Formacion de suelos tobaceos de origen volcanico.
35	PCA	2144	No detectado	0	0.4	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café grisáceo y de compacidad media	5			35			Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo
				0.4	0.6	Arcilla arenosa de lata plasticidad (CH)	Color gris oscuro de consistencia media	30	55	21	75			
				0.6	3	Arcilla de alta y baja plasticidad (CH-CL)	Color gris verdoso y de consistencia firme a muy firme	30	48	21	75	10	45	

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio					Observaciones	
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)		Φ
36	SPT	2126	No detectado	0	1	Relleno heterogéneo							Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo	
				1	9	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café y gris verdoso de consistencia dura	30	40	20	65			
				9	15	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café grisáceo, muy compacta	33	33	20	40	35		
37	SPT	2140	5	0	9	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café, café grisáceo y gris oscuro de consistencia blanda a media	30	45	22	80		35	Depósitos aluviales.
				9	19	Limo de lata y baja plasticidad (MH-ML)	Colores y gris oscuro y de consistencia blanda a media	45	70	33	85	5	22	
				19	26	Arena fina a media limosa (SM)	Colores café y gris verdoso y de compacidad media a muy densa	35	33	28	45	13	33	
				26	31.5	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café, compacta empaca gravas y gravillas	20	29	18	35	15	35	
38	SPT	2149	9.3	0	2.5	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y de consistencia firme a dura, empacando gravillas aisladas y grumos cementados del mismo material.	18	38	22	65		30	Formación de suelos tobáceos de origen volcánico y depósitos aluviales.
				2.5	3	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café y de compacidad media, empacando gravillas aisladas.	20			42		37	
				3	5	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y café grisáceo y de consistencia muy firme a dura, empacando gravillas aisladas y grumos cementados del mismo material	27			70		28	
				5	10.5	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café grisáceo y de compacidad media a muy densa, empacando gravillas aisladas y grumos del mismo material	32	30	20	45		39	
				10.5	13	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y café grisáceo y de consistencia muy firme a dura empacando gravillas aisladas	35	29	22	63		27	
				13	15	Arena fina a media limosa (SM)	Color café grisáceo y de compacidad media a compacta, empacando gravillas	30	30	25	45		38	
				15	21	Arena fina a media limosa (SM)	Muy compacta de colores café y café claro intercalada un estrato de limo arenoso de baja plasticidad (ML) y de consistencia muy firme a dura, empacando en ambos casos gravillas y grumos cementados del mismo material	30	30	25	45		39	
				21	25.2	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café claro y de consistencia dura, empacando gravillas y grumos cementados del mismo material	25	34	20	70		28	
39	SPT	2163	No detectado	0	3.75	Arcilla arenosa de alta y baja plasticidad (CH-CL)	Colores café y café grisáceo, consistencia muy blanda a media, intercaladas con lentes de arena fina a media arcillosa (SC), de compacidad suelta.	30	42	22	75	8	34	Depósitos aluviales, siguiendo con formación de suelos tobáceos de origen volcánico.
				3.75	11	Interconexiones de limo y limo arenosos de alta plasticidad (MH)	Colores café grisáceo y gris oscuro, de consistencia blanda, presenta un estrato de arena fina a media limosa (SM), de compacidad suelta.	60	58	44	95	9	28	
				11	13	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café verdoso, consistencia firme a dura.	32	38	20	85	8		
				13	18.5	Arena fina a media arcillosa (SC)	Muy compacta, de colores café, gris oscuro y café grisáceo, empacando gravas y gravillas.	25	32	20	50		35	

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
40	SPT	2141	10.95	0	0.2	Losa concreto armado								Suelos tobáceos de origen volcánico (Cenizas volcánicas consolidadas).
				0.2	21	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y café claro y de consistencia dura intercala estratos de arena fina a media arcillosa (SC) muy compacta, empacando en ambos casos gravas aisladas, gravillas y grumos cementados del mismo material.	25	48	20	65		30	
				21	26.8	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café claro y de consistencia dura, empacando gravillas y grumos cementados del mismo material.	20	28	19	45		25	
0		0.2		Losa de concreto armado										
0.2		18		Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café claro y de consistencia dura, empacando gravillas de hasta 3/8" y cementados del mismo material.	25	20	40	65			31		
18		20		Gravas, fragmentos y boleos de roca basáltica color gris oscuro y de consistencia dura, empacando gravillas y grumos cementados del mismo material.	ICR=0%									
20		23		Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café claro y de consistencia dura, empacando gravillas y grumos cementados del mismo material.	30	22	48	65			34		
23		25		Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café oscuro, muy compacta, empacando gravillas y grumos cementados del mismo material.	20			30			24		
25		27.2		Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café claro y de consistencia dura, empacando gravillas y grumos cementados del mismo material.	30	22	44	75			32		
42		SPT		2161	No detectado	0	1.6	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café grisáceo y de compacidad suelta empacando gravillas aisladas.	20			30	
	1.6		9			Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y consistencia blanda a muy firme, empacando gravillas aisladas	25	48	22	70			
	9		11.5			Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café y de compacidad media a densa, empacando gravillas.	20	30	20	45			
	11.5		15			Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y de consistencia muy firme a dura, empacando gravillas aisladas.	25	33	22	60			
43	SPT	2139	3.6	0	4	Arcilla arenosa de alta y baja plasticidad (CH-CL)	Color café grisáceo y gris verdoso y de consistencia firme a adura, empacando gravillas aisladas y grumos cementados del mismo material.	25	68	22	75	7	32	Formación de suelos tobáceos de origen volcánico.
				4	6.75	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café verdoso y de compacidad densa a muy densa, empacando gravillas y grumos cementados del mismo material.	30	32	18	42	5	42	
				6.75	10.6	Arcilla arenosa de alta y baja plasticidad (CH-CL)	Color café grisáceo y gris verdoso y de consistencia firme a adura, empacando gravillas aisladas y grumos cementados del mismo material.	35	35	20	75	15	34	
44		2137		0	2.7	Arcilla arenosa de alta y baja plasticidad (CH-CL)	Color café grisáceo y gris verdoso y de consistencia firme a adura, empacando gravillas aisladas y grumos cementados del mismo material.	40	42	22	70	8	32	Formación de suelos tobáceos de origen volcánico.
				2.7	8.4	Intercalación de una arcilla arenosa de alta y baja plasticidad (CH-CL) u y arena fina a media arcillosa (SC)	Consistencia y compacidad, firme a dura y densa a muy densa, respectivamente; empacando en ambos casos gravillas y grumos cementados del mismo material.	35	40	23	55	9	40	

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
45	SPT	2128	No detectado	0	12.2	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café verdoso y café, de consistencia firme a dura, intercala estratos de arena fina a media arcillosa (SC) de compacidad media a densa, empacando en ambos casos, gravas, gravillas y grumos cementados del mismo material	21	35	15	65	14	41	Formación de suelos tobáceos de origen volcánico
34	SPT	2120	No detectado	0	7.5	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café, café claro y café verdoso y de consistencia dura, intercala un estrato de arena arcillosa (SC)	30	42	22	70	10		
				7.5	11.5	Arena fina a gruesa arcillosa (SC)	Colores café y café grisáceo y de compacidad media a muy densa	25	30	18	40		30	
				11.5	13	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café claro y de consistencia dura	30			50	10		
				13	19	Arena fina a gruesa arcillosa (SC)	Colores café y café grisáceo y de compacidad media a muy densa	33	38	22	45		30	
				19	22	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café y café grisáceo y de consistencia dura	30			55	10		
				22	25	Arena fina a a media arcillosa (SC)	Colores cfe y café claro y de compacidad media	35	40	20	50		30	
46	SPT	2142	No detectado	0	1	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café y de compacidad media a densa, empacando gravas y gravillas (Relleno)	18	40	22	60	12	45	Formación de suelos tobáceos de origen volcánico.
				1	9	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café y de consistencia muy firme a dura, empacando gravas y gravillas aisladas y grumos cementados del mismo material.	30	38	22	65	20	30	
				9	15.2	Intercalaciones de arenas finas a medias arcillosas (SC) y arcillas arenosas de baja plasticidad (CL)	Colores café y café grisáceo y de compacidad y de consistencia media a densa y muy firme a dura, respectivamente, empacando gravas, gravillas y grumos cementados del mismo material, presentan un estrato de fragmentos y boleos de roca	30	42	20	60	20	30	
47	SPT	2138	No detectado	0	2.5	Arena fina a gruesa arcillosa (SC)	Intercala un estrato de arcilla arenosa de baja plasticidad (CL), colores café, negro, café verdoso y gris, de compacidad media a muy densa y consistencia firme.	25	35	18	60	2.5	45	Formación de suelos tobáceos de origen volcánico
				2.5	6.5	Intercalaciones de arena fina arcillosa (SC) y arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café, café verdoso café amarillento, de compacidad sueltas a media y de consistencia firme a dura, respectivamente.	30	38	18	45	12	40	
				6.5	8.4	Arcilla arenosa baja plasticidad (CL)	Colores café verdoso y café, de consistencia muy firme a dura, presenta gravillas aisladas	30	48	21	65	80	28	
				8.4	14	Arena arcillosa (SC)	Color café, de compacidad muy densa	28	38	16	45	13	45	
48	SPT	2143	6	0	0.5	Arena limosa (SM)	Color café	10			45	2	35	Depósitos intercalados de suelos aluviales y tobáceo
				0.5	2	Arcilla arenosa (CL)	Color café oscuro, consistencia blanda media, presenta materia orgánica grava de 1/4" de tamaño máximo	30			60	2	35	
				2	4	Arena arcillosa (SC)	Color café oscuro y negro, de compacidad media a muy densa, presenta grava de 1/2" de tamaño máximo	10	20	12	15	2	35	
				4	7.5	Arcilla arenosa (CL)	Color café y café amarillento, de consistencia muy firme a dura, presenta materia orgánica grava de 1/4" de tamaño máximo.	30	33	22	65	2	35	
				7.5	15.4	Arena arcillosa (SC)	Color café amarillento, gris verdoso y café oscuro, de compacidad muy densa, presenta grava de 1/4" de tamaño máximo.	30	29	18	45	2	35	

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
49	SPT	2155	6	0	0.5	Arena arcillosa (SC)	Color café	30	23	13	60		35	Depósitos eólicos de origen volcánico
				0.5	2	Arcilla arenosa (SC)	Color café oscuro, de consistencia blanda a media, presenta materia orgánica y grava de 1/4" de tamaño máximo	30	23	13	60		35	
				2	4	Arena arcillosa (SC)	Color café oscuro y negro, de compacidad media a muy densa, presenta grava de 1/2" de tamaño máximo	10	20	13	10		40	
				4	7.5	Arcilla arenosa (CL)	Color café y café amarillento, de consistencia muy firme a dura, presenta materia orgánica y grava de 1/4- de tamaño máximo+	35	33	20	70	10		
				7.5	15.4	Arena arcillosa (SC)	Colores café amarillento, gris verdoso y café oscuro, de compacidad muy densa, presenta grava de 1/4" de tamaño máximo	30	30	18	42		35	
50	SPT	2136	2 m en la zona cercana al arroyo	0	0.5	Arena arcillosa (SC)	Color café	10			58		20	Depósitos eólicos de origen volcánico.
				0.5	2	Arcilla arenosa (CL)	Color café oscuro, de consistencia blanda a media, presenta materia orgánica y grava de 1/4" de tamaño máximo	45			70	15		
				2	4	Arena arcillosa (SC)	Color café oscuro y negro, de compacidad media a muy densa, presenta grava de 1/2" de tamaño máximo	10	20	12	10		35	
				4	7.5	Arcilla arenosa (CL)	Color café y café amarillento, de consistencia muy firme a dura, presenta materia orgánica y grava de 1/4" de tamaño máximo	30	32	21	75	10		
				7.5	15.4	Arena arcillosa (SC)	Arena arcillosa (SC) de colores café amarillento, gris verdoso y café oscuro de compacidad muy densa, presenta grava de 1/4" de tamaño máximo	30	30	17	45		35	
51	PCA	2129	No detectado	0	2	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café grisáceo, de consistencia media	25	45	20	70		Deposito tobaceo.	
52	SPT	2129	No detectado	0	9	Roca basáltica	De muy mala a buena calidad						Depósitos eólicos de origen volcánico.	
				9	10.5	Arena media a gruesa limosa (SM)	Color café y de compacidad media	20			35			

Nº consecutivo	Tipo de sondeo	Elevación TN	N.A.F. promedio (m)	Prf. Inicial	Prf. Final	Material	Características	Valores promedio						Observaciones
								W (%)	LL	LP	%F	C (T/m2)	Φ	
53	SPT	2141	2.7	0	2.5	Arena fina a media arcillosa (SC)	Colores café, café verdoso y café rojizo, de compacidad media, presenta grava de 3/8" de tamaño máximo	20	28	15	45		23	Suelos superficiales de origen aluvial que yacen sobre material tobáceo.
				2.5	7	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Colores café, café verdoso y café rojizo, de consistencia media a dura, presenta grava de 3/8" de tamaño máximo	30	49	18	75			
				7	8.5	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Color café rojizo, de consistencia dura	25	48	30	65			
				8.5	10	Arena fina a media limosa (SM)	Color café, de compacidad muy densa	25			65		35	
				10	11	Limo arenoso de baja plasticidad (ML)	Color café verdoso	50			85			
				11	12	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color café, consistencia dura	28	50	28	45		33	
54	PCA	2154	No detectado	0	0.1	Losa								Formación de suelos tobáceos de origen volcánico.
				0.1	0.25	Relleno heterogéneo								
				0.25	0.6	Arena fina a media arcillosa (SC)	Color gris de compacidad media	20	20	15	35			
				0.6	1.5	Arcilla arenosa de alta plasticidad (CH)	Color café verdoso de consistencia blanda a media	30	50	23	70			
55	SPT	2139	No detectado	0	5	Intercalación de arena fina a media arcillosa (SC) con arcilla arenosa de alta plasticidad (CH)	Colores café y café verdoso, de compacidad media y consistencia blanda a media respectivamente. En ambos casos se presenta grava de 1" de tamaño máximo.	35	65	25	90	20	25	Constituida por depósitos de suelos areno arcillosos, sobre suelos tobáceos de arena limosa
				5	6.5	Arcilla arenosa de alta plasticidad (CH)	Color café verdoso, de consistencia dura, empaca grava y gravilla.	20			65	20		
				6.5	8.5	Limo arenoso de alta plasticidad (ML)	Colores café y café verdoso, de consistencia dura, empaca grava de 3/8" de tamaño máximo.	25	45	28	70	20		
				8.5	9	Arena fina a media limosa (SM)	Color café verdoso, de compacidad muy densa.	25			35	20	30	
				9	9.5	Limo arenoso de alta plasticidad (ML)	Color café y café verdoso	26			65	20		
				9.5	11	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café verdoso, de consistencia dura, empaca grava y gravilla.	30	37	22	60	20		
				11	13	Arena fina a media limosa (SM)	Color café, de consistencia firme, empaca grava de 3/8" de tamaño máximo.	30	40	25	42	20	30	
				13	17.5	Arena fina a media limosa (SM)	Color café verdoso, de compacidad muy densa. Se intercala con un estrato de fragmentos de roca de 1 1/2" de tamaño máximo.	25			35	20	35	
				17.5	19.5	Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL)	Color café, de consistencia media, empaca grava y gravilla.	30	38	21	55	20		
19.5	20.2	Limo arenoso de alta plasticidad (ML)	Color café, de consistencia firme.	32	45	31	50	20						

## **ANEXO 02**

### **Datos de Terreno Natural**

<b>N° Consecutivo</b>	<b>Elevación</b>
1	2135
2	2117
3	2129
4	2136
5	2133
6	2137
7	2137
8	2136
9	2135
10	2126
11	2127
12	2131
13	2127
14	2165
15	2163
16	2135
17	2156
18	2154
19	2135
20	2128
21	2141
22	2136
23	2128
24	2152
25	2141
26	2156
27	2157
28	2131
29	2137
30	2125
31	2133
32	2128
33	2135
34	2144
35	2126
36	2140
37	2149

38	2163
39	2141
40	2140
41	2161
42	2139
43	2137
44	2128
45	2120
46	2142
47	2138
48	2143
49	2155
50	2136
51	2129
52	2129
53	2141
54	2154
55	2139
Puntos de apoyo fuera del área	
56a	2157
57a	2141
58a	2132
59a	2134
60a	2139
Puntos de apoyo dentro del área	
61a	2145
62a	2145
63a	2148
64a	2148

## **ANEXO 03**

# **Estratificación predominante**

N° consecutivo	Estratificación predominante			Clasificación SUCS
	Prof. Inicial	Prof. Final	Material	
1	0	12	Arcilloso	CL
2	0	6	Arenoso	SC
	6	10	Limoso	ML
3	0	3.5	Arcilloso	CL
4	0	2	Arcilloso	CH
5	0	12.3	Arcilloso	CL
6	0	12	Arcilloso	CH
7	0	4.9	Arcilloso	CL
	4.9	10	Arenoso	SC
8	0	10.75	Arenoso	SM
9	0	8.4	Arcilloso	CL
10	0	12.9	Arenoso	SC
11	0	3	Arenoso	SC
12	0	8.5	Arcilloso	CL
	8.5	24	Arenoso	SM
13	0	2.2	Limoso	ML
14	0	8.2	Arenoso	SC
15	0	11	Arcilloso	CL
	12	16	Arenoso	SC
16	0	10.2	Limoso	MH
	10.2	13.5	Arenoso	SM
17	0	4.5	Arenoso	SC
	4.5	20	Arcilloso	CL
18	0	3.2	Arcilloso	CL
19	0	2.5	Arenoso	SC
20	0	3.2	Arenoso	SC
21	0	3	Arcilloso	CH
22	0	10	Arcilloso	CH
23	0	11	Arcilloso	CL
	11	14	Arenoso	SC
24	0	3.2	Arcilloso	CL
25	0	2.4	Limoso	ML
	2.4	4	Arenoso	SM
26	0	2.8	Limoso	MH
27	0	3.3	Arenoso	SC
28	0	2.5	Arenoso	SC

29	0	3.5	Arcilloso	CL
30	0	2.5	Arcilloso	CL
31	0	3	Arcilloso	CL
32	0	12.5	Arenoso	SC
33	0	15.7	Arcilloso	CL
35	0	3	Arcilloso	CL
36	0	9	Arcilloso	CL
	9	15	Arenoso	SC
37	0	9	Arcilloso	CL
	0	31.5	Arenoso	SM
38	0	5	Arcilloso	CL
	5	21	Arenoso	SC
	21	25.2	Arcilloso	CL
39	0	3.75	Arcilloso	CH
	3.75	11	Limoso	MH
	11	18.5	Arenoso	SC
40	0	21	Arcilloso	CL
	21	26.8	Arenoso	SC
41	0	27.2	Arcilloso	CL
42	0	9	Arcilloso	CL
	9	11.5	Arenoso	SC
	11.5	15	Arcilloso	CL
43	0	10.6	Arcilloso	CH
44	0	8.4	Arcilloso	CH
45	0	12.2	Arcilloso	CL
34	0	25	Arenoso	SC
46	0	15.2	Arenoso	SC
47	0	14	Arenoso	SC
48	0	15.4	Arenoso	SC
49	0	15.2	Arenoso	SC
50	0	15.4	Arenoso	SC
51	0	2	Arcilloso	CL
52	0	10.5	Arenoso	SM
53	0	12	Arenoso	SC
54	0	1.5	Arcilloso	CH
55	0	6.5	Arcilloso	CH
	6.5	9.5	Limoso	ML
	9.5	20.2	Arenoso	SM