

1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La descripción del territorio en donde se ubica la zona de estudio se realiza tomando como base la definición de un marco geográfico y un marco físico. El primero proporciona la información a cerca de la forma y de las dimensiones del entorno general de un territorio y se recurre a él para enmarcar los estudios realizados por los especialistas de las distintas disciplinas de las ciencias de la tierra. En cambio el marco físico aporta información referente a las características y rasgos de la estructura física de la corteza terrestre. Ambos, permiten resaltar algunos elementos de interés geotécnico que ayudan a comprender la naturaleza de los depósitos del suelo y las formaciones geológicas de la zona estudiada.

Tabla 1.1. Elementos para la descripción del área de estudio (E. Méndez, 2000).

Marco Geográfico	Marco Físico
Información histórica	Geología
Toponimia	Geofísica
Cartografía	Hidrografía
Topografía	Geotécnica
Imágenes de satélite	
Fotografías aéreas	

1.1. Ubicación

El área de estudio, se ubica en la sección sur poniente de la cuenca de México (figura 2.1), con una altitud promedio de 2240 m.s.n.m. La cuenca de México se encuentra comprendida entre los paralelos 19°02' y 20°12' y los meridianos 99°40' al este y 98°15' al oeste (Auvinet, *et al*, 1996) y cuenta con un área aproximada de 9600 Km², ocupada por los Estado de México, el Distrito Federal, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.

El área de estudio se encuentra delimitada entre las coordenadas X1: 504,565 m, Y1: 2,154,749 m y X2: 481,449 m, Y2: 2,125,220 m, del sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), comprendiendo la parte central del área metropolitana de la Ciudad de México con un área aproximada de 755.4 km². Dicha región, únicamente corresponde a las zonas, II (Transición) y III (Lago), definidas en la Zonificación Geotécnica de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción del Distrito Federal (NTCRCDF).

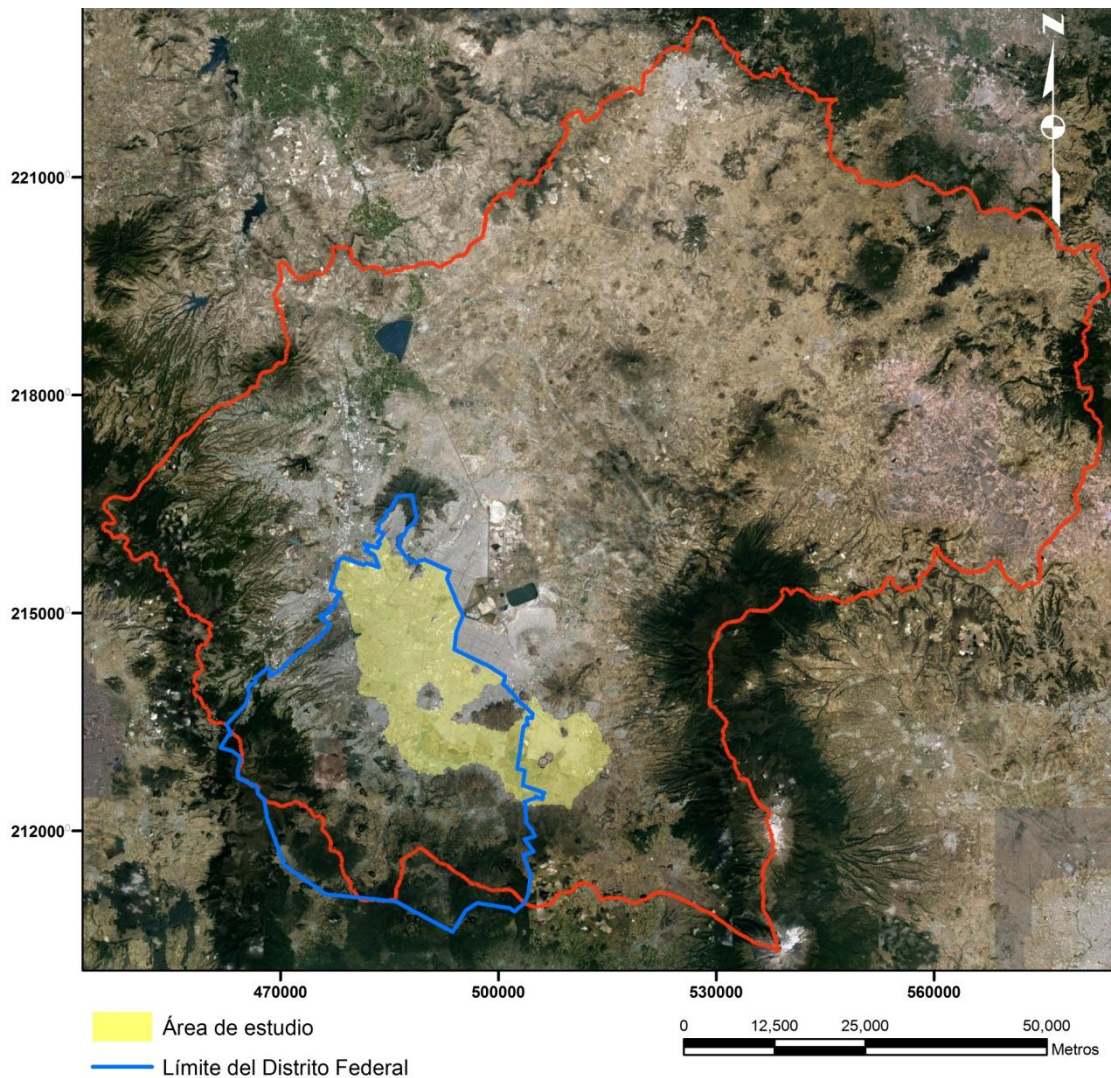


Figura 1.1 Imagen satelital de la cuenca de México mostrando el área de estudio, Google Earth 2010.

1.2. Información histórica

Para entender las posibles causas de mal comportamiento de estructuras antiguas y recientes, el grupo del Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería, acostumbra recurrir al estudio de los antecedentes históricos del sitio o área en cuestión.

Antes de la llegada de los conquistadores españoles, la cuenca se encontraba en sus zonas más bajas, cubierta por siete lagos: al norte, Zumpango y Xaltocan, con las cotas más altas; cuando el nivel de aguas crecía, desbordaban el exceso sobre el lago de Texcoco con la cota más baja de todo el conjunto de lagos y el de mayor área en extensión. Después de la construcción de la albarra de Nezahualcóyotl en el año 1449, el lago de Texcoco quedó dividido en dos cuerpos de agua, el lago de México, transformado por los aztecas en un lago de agua dulce y el de Texcoco, que continuó siendo de agua salada. Finalmente al sur de la cuenca se localizaban los lagos de Xochimilco y Chalco, que se encontraban también en un nivel superior al de Texcoco. Cabe señalar que el nivel de los lagos variaba constantemente, según la época del año. Según el boletín de 1862 de la Sociedad Mexicana de geografía

y estadística en su número IX, los niveles medios de los lagos para ese año respecto al lago de Texcoco, eran los siguientes.

Tabla 1.2. Niveles medios de los lagos de la cuenca en 1862. Sociedad Mexicana de geografía y estadística.

	Extensión de las lagunas	Nivelación	Distancia de México
	Hectáreas	Metros	Kilómetros
Texcoco	46200	0.00	6
México	-	1.90	-
Chalco	26575	3.08	18
Xochimilco	11909	3.13	12
San Cristóbal	2799	3.59	22
Xaltocan	13687	3.47	25
Zumpango	4355	6.06	35

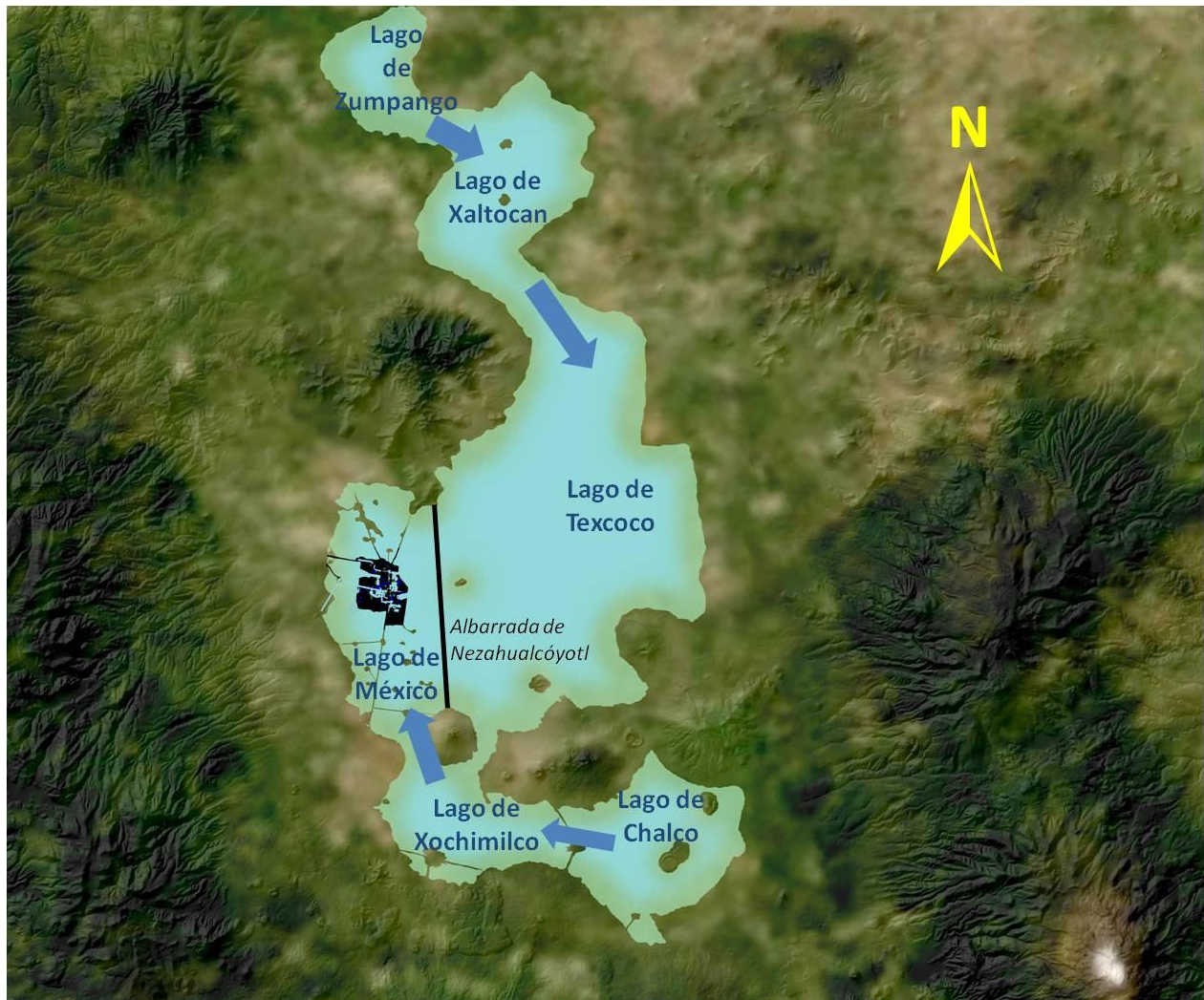


Figura 1.2 Antiguos lagos de la cuenca de México.

Debido a sus grandes lagos, la Cuenca de México ha sido desde hace miles de años, un lugar atrayente para el establecimiento de poblaciones humanas. Es así que los primeros pobladores de la cuenca aprovecharon la innumerable cantidad de ventajas que ofrecían los alrededores. Los primeros asentamientos humanos en la cuenca datan de 5,500 a.C. pero es sabido que grupos sedentarios rondaban la región desde el poblamiento del continente al redor del 30,000 a.C. El desarrollo de la agricultura en la cuenca de México, alrededor del 2,500 a.C., incrementó drásticamente el crecimiento de la población y propició la creación de comunidades más grandes y organizadas que generaron incipientes tecnologías para la modificación de su entorno. Alrededor del año 1,200 a.C., la primera gran ciudad de la cuenca, Cuicuilco, empezó a tomar forma, pero no fue sino hasta el desarrollo de Teotihuacán, alrededor del año 500 d.C., en que la región empezó a sufrir grandes modificaciones en su entorno.

Con la llegada de los aztecas a la región, alrededor de 1300 d.C., la cuenca se encontraba sobre poblada, lo que dejaba escasos sitios para el establecimiento de los recién llegados, por lo que el pueblo azteca fue obligado a establecerse en una pequeña y árida isla en interior del lago de Texcoco.

Forzados a generar una ciudad en un ambiente inhóspito, los mexicas desarrollaron tecnologías que les permitieron la construcción de grandes obras para el control de los lagos. Con ayuda de Netzahualcóyotl (Rey de Texcoco, aliado de los mexicas), se construyó una albarrada que separó las aguas saladas del lago de Texcoco y previno a la ciudad de Tenochtitlán-Tlatelolco de inundaciones. También se construyeron calzadas-dique y canales en puntos estratégicos para el control de las aguas, así como para la comunicación de la isla con tierra firme.



Figura 1.3. Representación artística de la ciudad de México-Tenochtitlán en el año 1519, Filsinger 2006.

Durante la guerra de conquista, muchas de las grandes obras y construcciones que habían realizado los pueblos prehispánicos, fueron destruidas y sepultadas. Muy a su pesar, Cortés se vio en la necesidad de destruir la ciudad de México–Tenochtitlán y construir una nueva ciudad sobre las ruinas de la antigua capital mexicana. La nueva ciudad fue trazada bajo estándares Europeos, lo que ocasionó gran número de problemas a lo largo de la colonia y del México independiente.

Por otra parte, la visión de los pueblos indígenas de una ciudad que conviviera con el agua, no coincidió con la visión española, de aprovechar grandes extensiones de tierra firme, que traían de Europa, provocando el descenso de los lagos, principalmente el de Texcoco. Según el Fray Toribio de Benavente, mejor conocido como Motolinía, en el año de 1524 los lagos iniciaron un descenso continuo en el nivel de las aguas, que continuó hasta la desecación, casi total, de los lagos en el siglo XX. Esto se explica por el continuo incremento de azolves, el descuido de las acequias y albarradas para el control de las inundaciones, y por la construcción del desagüe general de la cuenca.

Con la fundación de la capital de la Nueva España sobre la antigua ciudad de Tenochtitlán–Tlatelolco, los españoles se tuvieron que enfrentar a la problemática de las inundaciones, producto de las crecientes del lago de Texcoco. A principios del siglo XVII, se vio la gran necesidad de encontrar una solución permanente al problema de las inundaciones en la Ciudad de México. Para esto se estudiaron varios proyectos y propuestas, de los cuales fue elegido el del cosmógrafo Enrico Martínez, quien proponía la construcción de un túnel al norte de la cuenca, pasando cerca del poblado de Huehueteca, para llevar las aguas de la cuenca de México, al río Tula. Enrico Martínez pretendía desecar los lagos a través de esta magna obra, pero las autoridades, únicamente decidieron desviar el río Cuauhtitlan, que para entonces era el río más caudaloso. Enrico Martínez dedico más de 29 años a esta obra, pero esta no fue concluida sino hasta el año de 1789. Durante este periodo la ciudad sufrió de incontables inundaciones, pero a pesar de eso, los lagos continuaron su lento retroceso y dotaron a la ciudad de nuevas tierras fértiles.

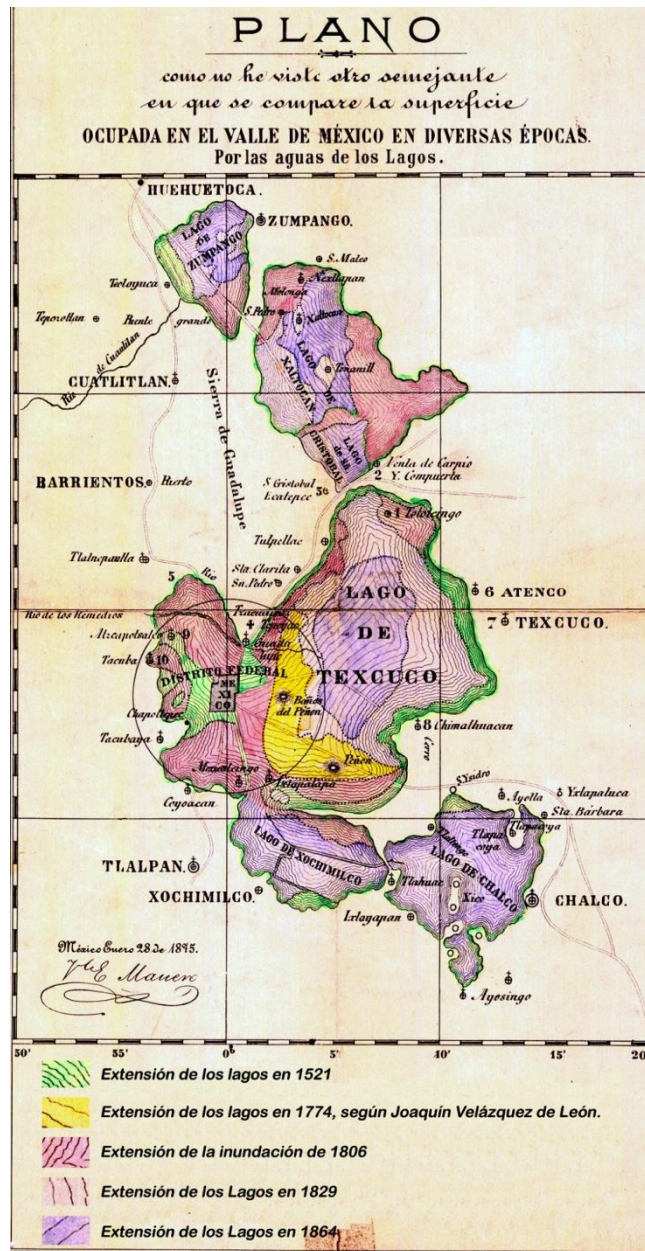


Figura 1.4. Evolución de los lagos entre 1521 y 1864, Manero (1875).

Con el establecimiento de la nueva nación en 1821, las obras hidráulicas en la cuenca continuaron, se construyeron canales y diques para la protección de la ciudad contra las inundaciones. De estas obras, las más sobresalientes fueron las construidas durante el porfiriato, el Gran Canal y el Túnel de Tequisquiac. Estas dos magnas obras, pretendían salvar de una vez por todas a la ciudad de las constantes inundaciones, pero tras el constante crecimiento de la ciudad, pronto fueron insuficientes.

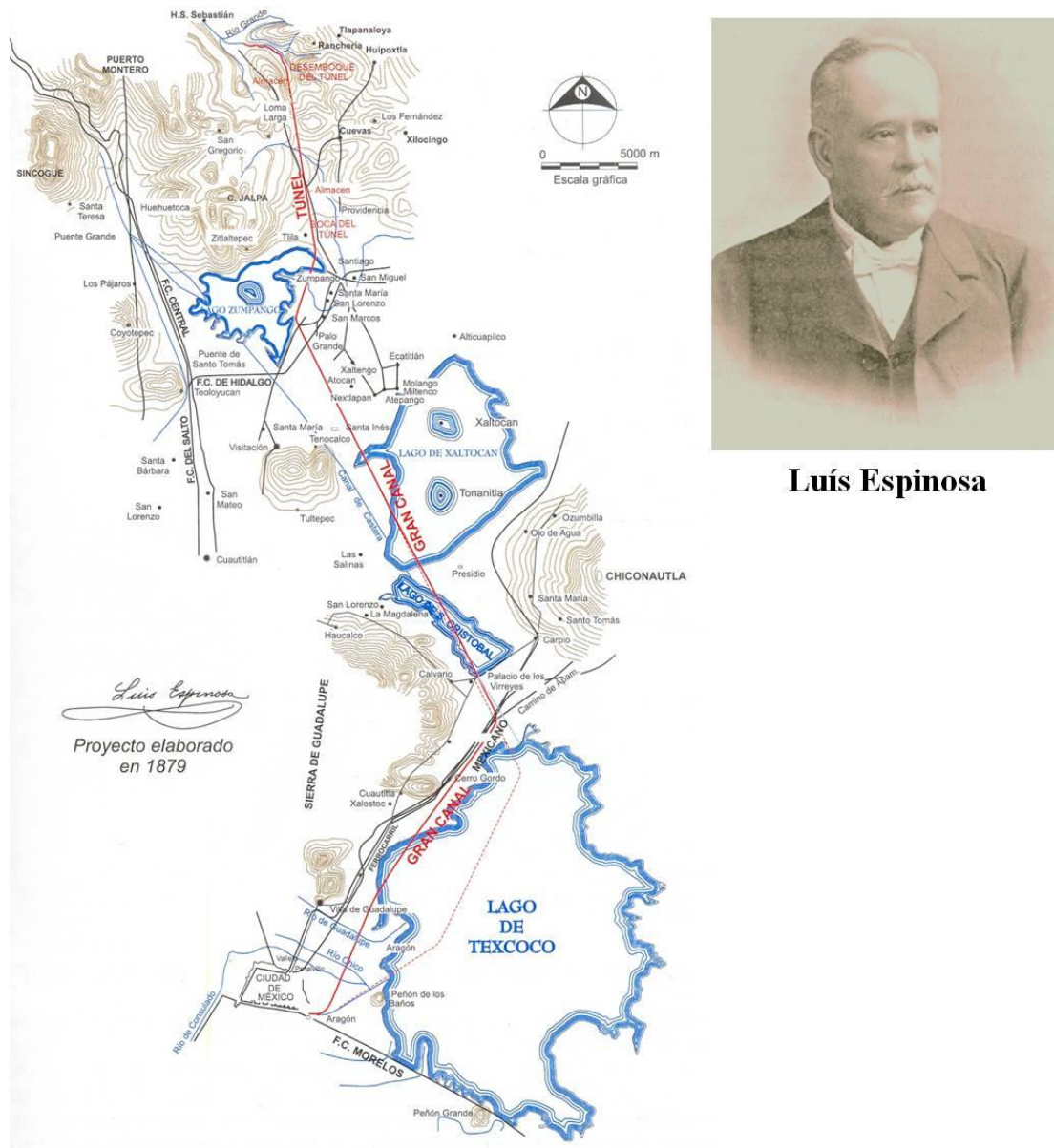


Figura 1.5. Plano que muestra el sistema de desagüe general de la cuenca, L. Espinosa, 1879.

Posteriormente, se construyó un segundo túnel de Tequisquiac en el año de 1954 y en 1965 se pretendió, como en el porfiriato, dar una solución final al problema de las inundaciones en la ciudad, con la construcción del drenaje profundo. La lucha contra el agua no ha terminado y actualmente se encuentra en construcción un nuevo túnel de desagüe que pretende, como en épocas anteriores, eliminar el peligro de las inundaciones en la ciudad de México.

En el Anexo A, se da una explicación más detallada del desarrollo histórico de la cuenca de México.

1.3. Toponimia

El estudio del origen y significación de los nombres de las localidades ha recibido el nombre de toponimia o de onomástica geográfica (Auvinet *et al*, 2009). Los pueblos precolombinos acostumbraban nombrar a sus localidades tomando en cuenta rasgos específicos del lugar, como la topografía, la fauna y flora local, o incluso el tipo de suelo. En la ciudad existen gran cantidad de ejemplos, como el caso de Iztacalco, casas de la sal, de *Iztatl*, sal, *calli*, casa y *co* alusivo a lugar; en tiempos anteriores a la conquista Iztacalco se encontraba en medio de un gran lago salado y sus pobladores se dedicaban a la extracción de sal.

Para la Cuenca de México, el trabajo de toponimia más conocido es probablemente el del arquitecto Luis González Aparicio (1968). En su “*Plano reestructivo de la región de Tenochtitlán al comienzo de la conquista*”, él autor asocia a un gran número de localidades su interpretación toponímica y el glifo correspondiente (Auvinet *et al*, 2009), figura 1.6. En este trabajo, Gonzales Aparicio realizó una extensa y ardua investigación en la que compiló gran cantidad de información histórica e historiográfica creando una imagen de cómo pudo haberse visto la cuenca de México y sus poblados a la llegada de Cortés y sus hombres. A pesar de que este trabajo no parece totalmente exento de errores, constituye una excelente base de información para los fines del presente trabajo.

Debido a que actualmente muchos de los barrios y colonias de la ciudad de México, ahora inmersos en la mancha urbana, conservan sus nombres originales, la toponimia ayudó en la ubicación de sitios de la zona lacustre del Distrito Federal, que probablemente fueron habitados desde tiempos precolombinos y que afectaron en cierta forma, las propiedades de los suelos.

Para mayor información acerca de la relación entre Toponimia y Geotécnia, consultar el Anexo C.

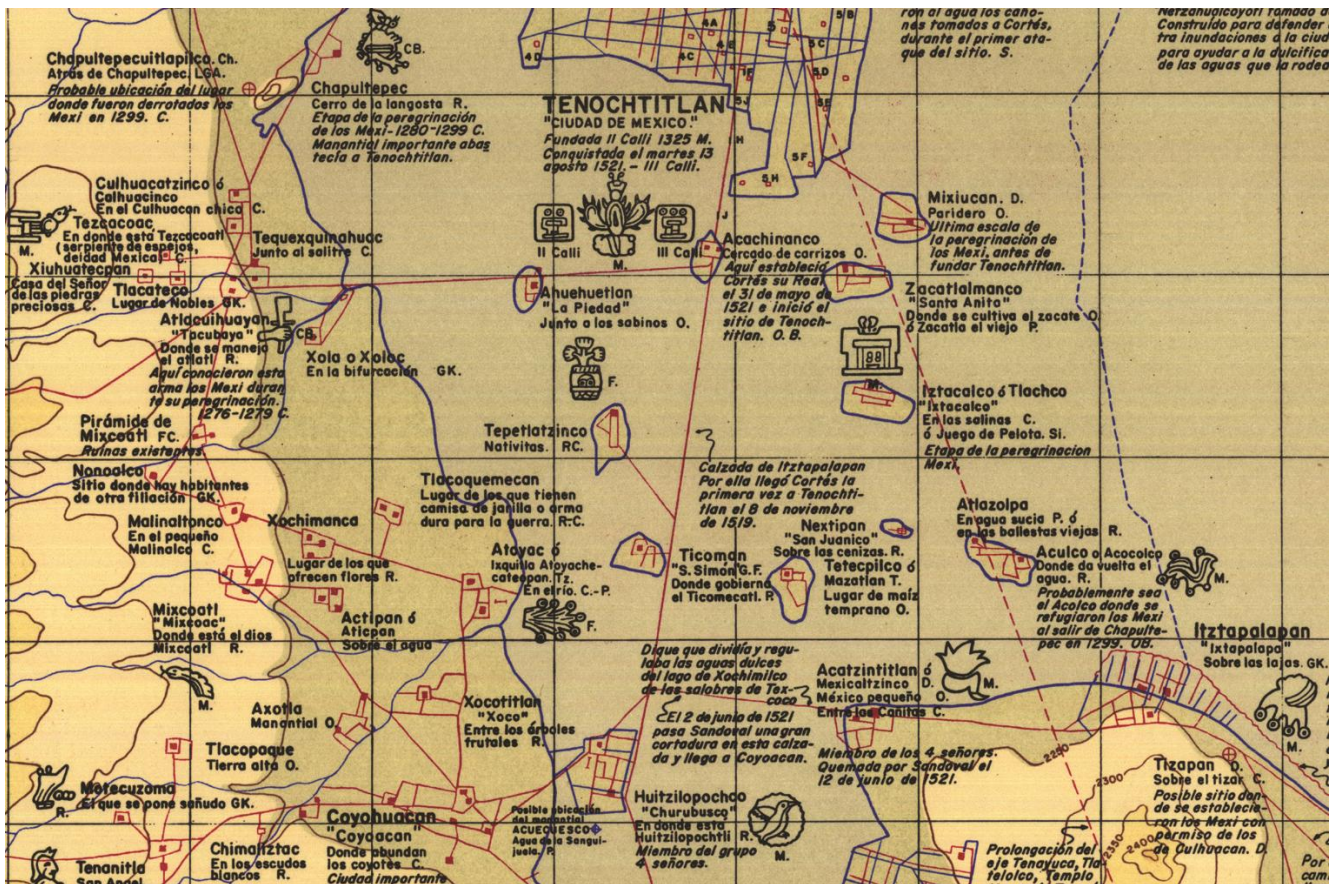


Figura 1.6. Sección del “Plano reconstructivo de la Región de Tenochtitlán al comienzo de la conquista”, L. González, 1968.

1.4. Cartografía

La cartografía representa de manera gráfica la superficie del planeta en un mapa. Por otra parte los documentos cartográficos proporcionan información sobre las características del territorio, representando a través de símbolos, elementos naturales y artificiales del entorno, como montañas, bosques, desiertos, ríos, carreteras, ciudades, etc.

En este trabajo fueron empleadas diversas fuentes cartográficas. La base cartográfica del trabajo fue la información contenida en los datos vectoriales editada en formato digital por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2004), correspondiente al Distrito Federal y Zona metropolitana de la ciudad de México. Dicha información está referenciada geográficamente en el sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM) en la proyección North American Datum de 1927 de paralelos y meridianos. Dicha información cartográfica se empleó en diversas aplicaciones, tales como la ubicación de los sondeos geotécnicos o la ubicación de los sitios estudiados.

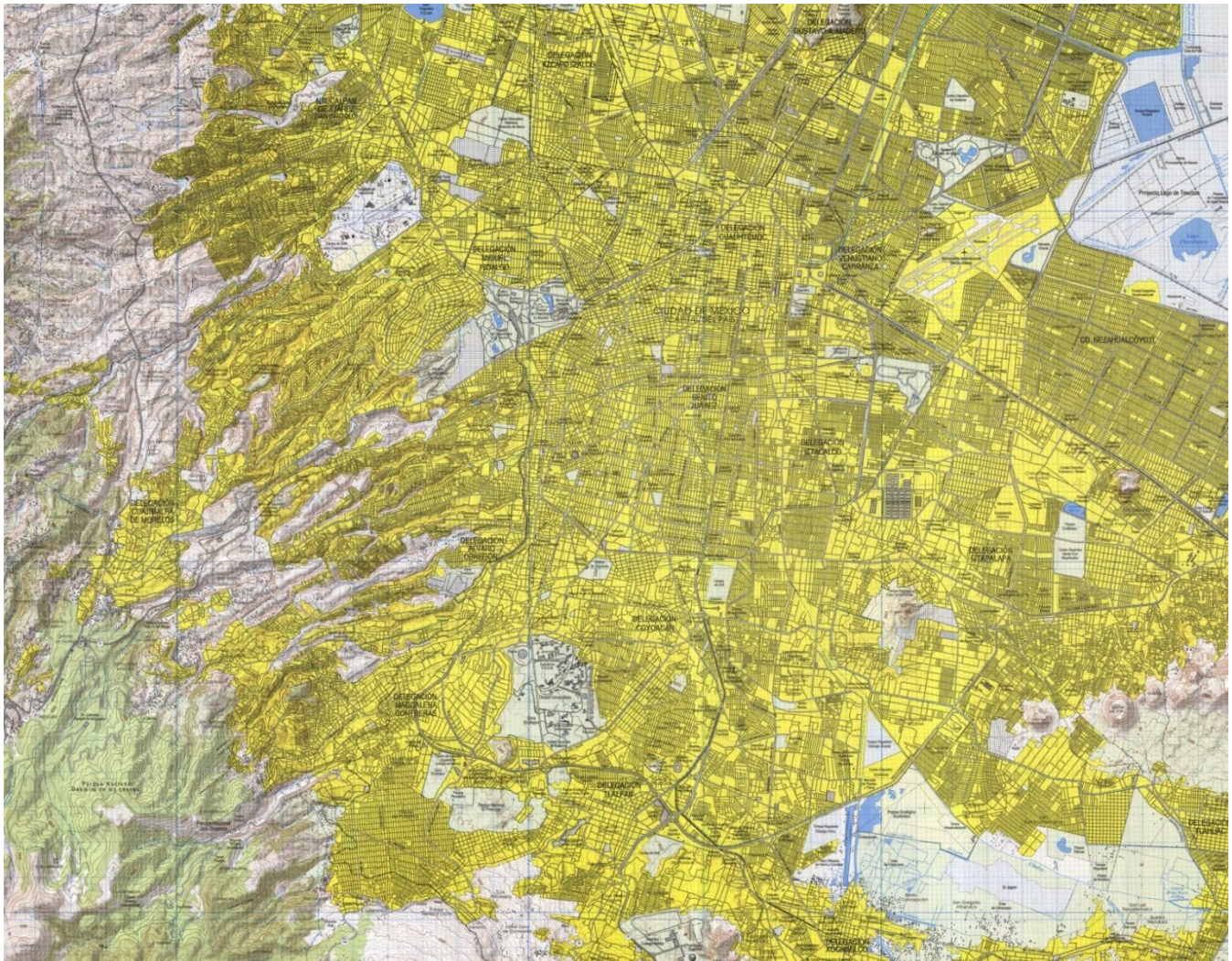


Fig. 1.7. Carta topográfica E14A19 de la Ciudad de México, INEGI 2004.

También se empleó cartografía histórica de los siglos XVIII, XIX y principios del XX. Fue posible encontrar mapas del siglo XVI, pero únicamente se emplearon para consultar las poblaciones existentes en dicha época; debido a la falta de una proporción cartográfica correcta.

Tabla 1.3. Listado de la cartografía histórica empleada.

Cartografía histórica			
	Nombre del plano	Año	Autor
1	Mapa de los alrededores de la ciudad de México.	1555	Atribuido a Alonso de Santa Cruz
2	Plano de Culhuacan y alrededores	1747	Ildefonso Iniesta Bejarano
3	Representación de los lagos de Chalco y Xochimilco	1767	José Antonio Alzáte y Ramírez
4	Plano que se comprende el Curato de Yndios	1768	Anónimo
5	Plano de Compuertas y acequias	1776	Anónimo
6	Representación de la Calzada Vallejo	1794	José Manuel de la Riva
7	Plano sin titulo	1795	Ignacio de Castera
8	Carte de la Vallée de Mexico et des Montagnes voisines	1807	Martín Louis

9	Plano Topográfico del Distrito Federal	1857	Comisión del Valle
10	Carta Hidrográfica del Valle de México	1862	Comisión del Valle
11	Municipalidad de Azcapotzalco	1899	Israel Gutiérrez
12	Plano Oficial de la Ciudad de México	1906	Anónimo
13	Plano del vaso de Texcoco	1906	Comisión Hidrográfica de los E.U. Mexicanos
14	Plano de la Ciudad de México y sus alrededores	1908	Comisión Hidrográfica de los E.U. Mexicanos
15	Obras de Provisión de Aguas Potables para la ciudad de México	1910	Anónimo
16	Plano de la Ciudad de México y sus alrededores	1923	Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas
17	Ixtacalco, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
18	Tlahuac, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
19	Azcapotzalco, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
20	San Ángel, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
21	Coyoacan, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
22	General Anaya, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
23	Tlalpan, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
24	Guadalupe Hidalgo, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
25	Xochimilco, zona urbana	1929	José María Puig Casauranc
26	Plano de la Ciudad de México	1929	Dirección de catastro
27	Xochimilco 14Q-h(88)	1951	Secretaría de la Defensa Nacional
28	Chalco 14Q-h(89)	1951	Secretaría de la Defensa Nacional
29	Texcoco 14Q-h(73)	1951	Secretaría de la Defensa Nacional
30	Ciudad de México 14Q-h(72)	1951	Secretaría de la Defensa Nacional

1.5. Fotografías aéreas e imágenes de satélite

La fotografía aérea, desarrollada a principios del siglo XX, ha dado lugar a la creación de un archivo histórico, una ventana del tiempo, que ayuda a conocer con detalle las condiciones naturales de una región en un momento en particular; para el presente caso, la ciudad de México a principios del siglo XX, época en la que la ciudad iniciaba su expansión permitiendo mostrar sitios que no habían sido aun alcanzados por la urbe.

En el presente trabajo, el uso de fotografías aéreas e imágenes de satélite, ayudó en el análisis de ciertas anomalías de la ciudad, al poder consultar fotografías aéreas históricas que muestran las condiciones “originales” de ciertos sitios y compararlas con imágenes actuales. Las fotografías fueron obtenidas del libro de Mario Ramos Girault, titulado *Transporte y Vivienda en el valle de México*, 1973. En dicho libro se encontraron imágenes tomadas por la empresa Aerofoto de los años 1936, 1950, 1963 y 1970. Desafortunadamente no se obtuvieron fotografías aéreas en todos los sitios en estudio. Las imágenes de satélite empleadas, se obtuvieron del software Google Earth.

1.6. Geología

La Geología en su concepción más simple, estudia la composición interior del planeta así como los cambios temporales y espaciales del mismo.

A grandes rasgos, la columna estratigráfica de la Cuenca de México pone en evidencia tres grandes grupos de rocas, calizas del periodo Cretácico, volcánicas del terciario, vulcanitas propias del cierre de la cuenca; y dos depósitos de materiales, aluviales y lacustres depositados en el Cuaternario.

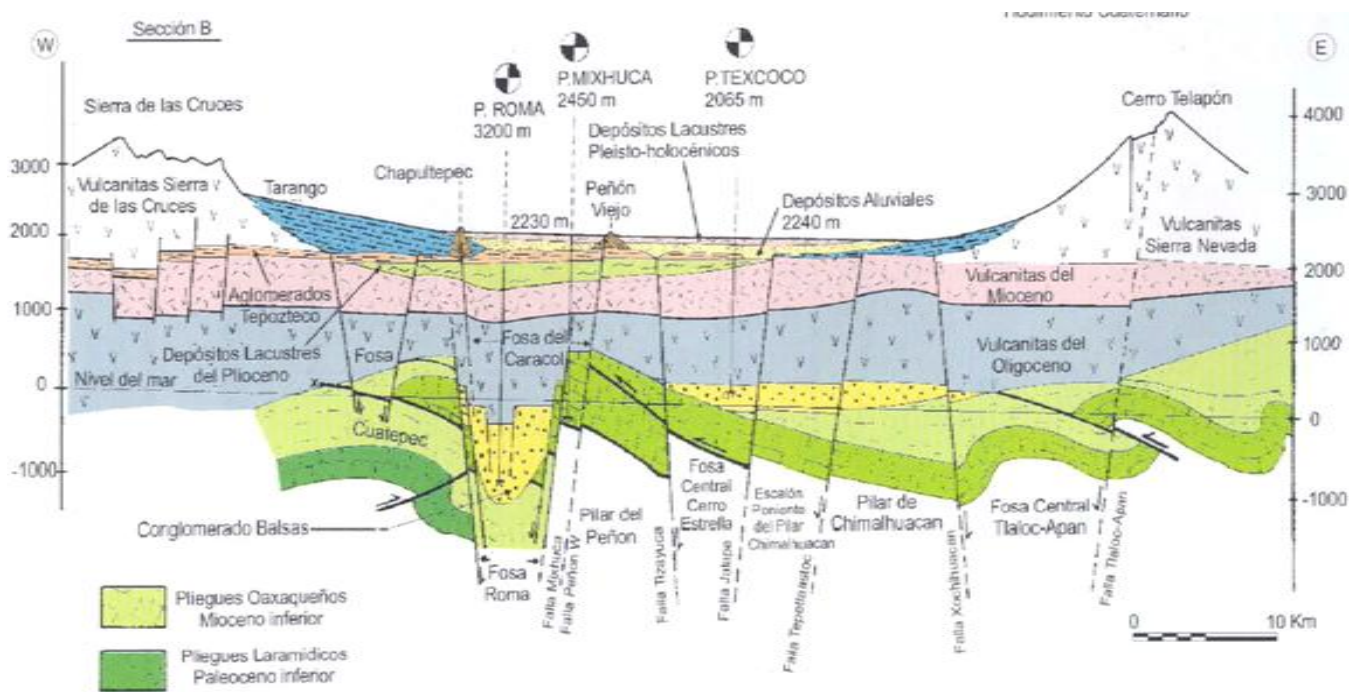


Figura 1.8. Sección geológica Poniente-Oriente de la Cuenca, Federico Mooser (2005).

1.7. Topografía

La información relativa al relieve es fundamental para cualquier proyecto de ingeniería, debido a que permite apreciar la superficie física del terreno, con base en la planimetría y altimetría y las formas y dimensiones de laderas, ríos, volcanes, calderas, conos, fallas, grietas, líneas o superficies de contacto, discontinuidades, valles, cuencas, etc.

La interpretación y el análisis de las características y rasgos generales del relieve (abrupto, medio, suave o plano), ayuda a definir la extensión en longitud y ancho de los depósitos de suelo, rellenos y formaciones geológicas mediante la proyección horizontal en un plano. Generalmente se presenta a través de curvas de nivel indicando su cota, definida como su altura sobre el nivel del mar. También sirve como mapa de fondo para enmarcar los datos de los diferentes estudios que requieren de los rasgos generales de la superficie para elaborar y definir nuevos mapas temáticos (geomorfológicos, orográficos, etc.)

Por otra parte la topografía puede ser útil para fines de zonificación geotécnica, contribuyendo en la definición de fronteras entre las diferentes zonas geotécnicas.

En el presente trabajo se empleó la información topográfica contenida en los datos vectoriales editada en formato digital por el INEGI, año 2004, correspondiente a las cartas E14-A28, E14-A29, E14-B21, E14-A38, E14-A39, E14-B31, E14-A48, E14-A49 y E14-B41. Las curvas de nivel están referenciadas geográficamente en el sistema de coordenadas UTM y en la proyección North American Datum de 1927 de paralelos y meridianos.

La zona de estudio se asienta totalmente sobre la planicie lacustre de la cuenca de México. Se trata de una superficie casi horizontal constituida por sedimentos volcánicos y aluviales, cuya pendiente es inferior a los cuatro grados de inclinación.

Las representaciones gráficas acerca del relieve de la superficie del terreno mediante modelos analógicos y físicos siempre han constituido una tarea muy laboriosa y casi en desuso. Actualmente y empleando las nuevas herramientas computacionales ha sido posible la elaboración de un modelo de relieve sombreado, generado a partir de un conjunto de datos numéricos que representan la distribución espacial de la altitud de la superficie terrestre. Bajo el nombre de Modelo Digital del Terreno (MDT) se entiende al conjunto de datos numéricos que describen las características del terreno. Los MDT son una versión digital de los mapas topográficos convencionales por lo que, en ocasiones, han sido denominados mapas virtuales. Un MDT puede definirse en forma más completa y precisa como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (altura o elevación, pendiente, etc.). Los modelos de relieve sombreado, de pendiente, de alturas, etc., se construyen a partir de los MDT. En la figura 1.9, se muestra el modelo de relieve sombreado empleado en el presente trabajo.

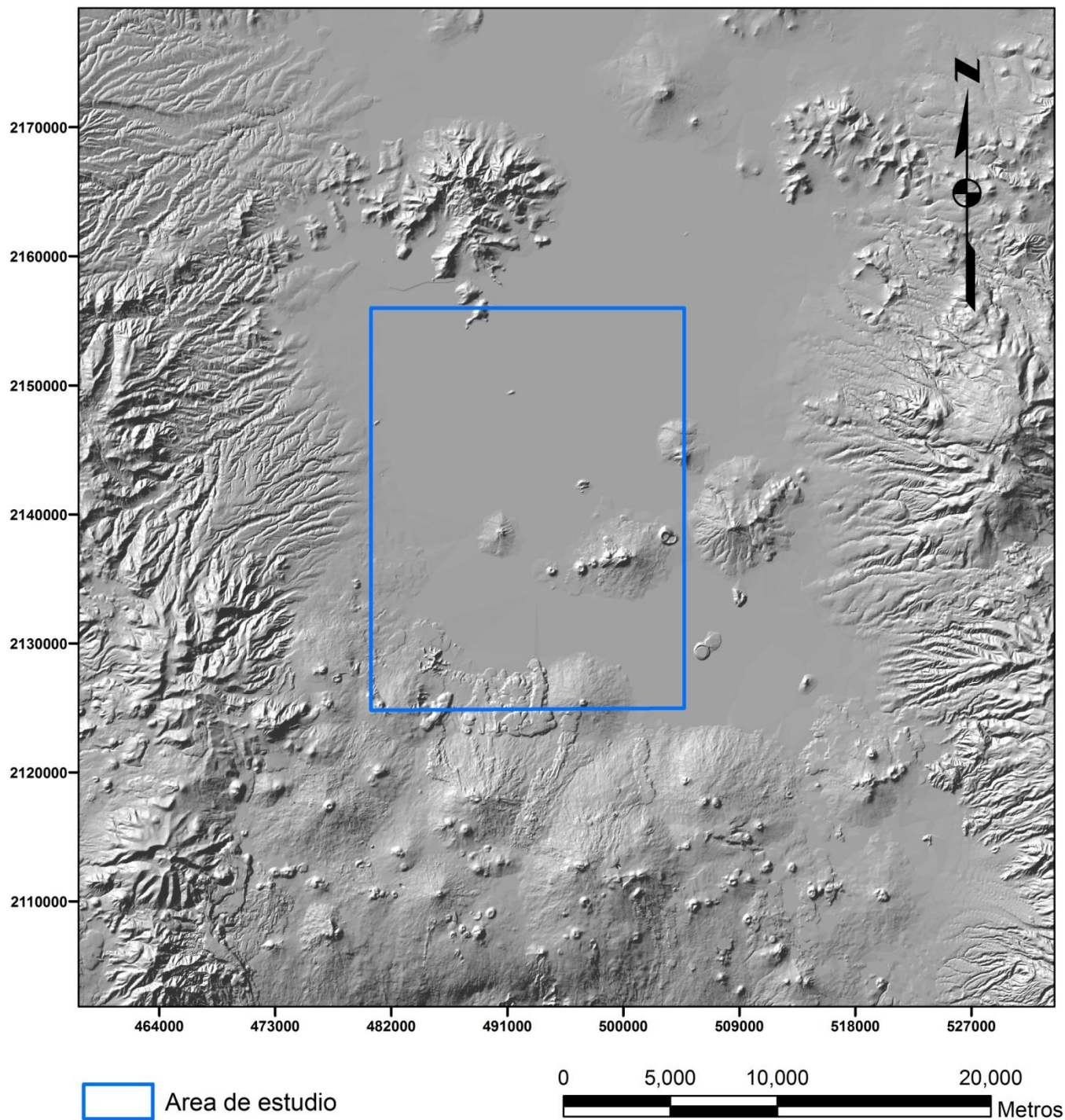


Figura 1.9. Modelo de Relieve Sombreado, Laboratorio de Geoinformática, UNAM, 1999.

1.8. Información geotécnica

1.8.1. Trabajos previos

Debido a sus características particulares, el subsuelo de la ciudad de México ha sido objeto de innumerables estudios. Desde la época prehispánica, existían personas especializadas en la construcción de edificaciones en el suelo suave de la zona de lago de la ciudad. Así también en la época colonial, los diseñadores tuvieron que aprender a lidiar con las difíciles condiciones del subsuelo.

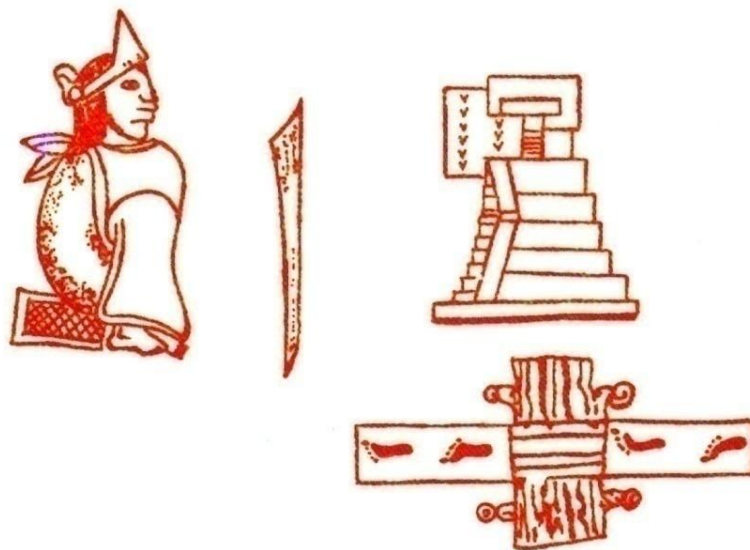


Figura 1.10. Geotecnista tenochca (Código Mendocino p. 64, citado en Memoria de las obras del Sistema de drenaje Profundo del Distrito Federal, 1975).

Pero no fue sino hasta comienzos del siglo XX en que se empezó a tener una idea más clara de los fenómenos que ocurren en el subsuelo de la ciudad. En el año de 1925 el Ingeniero Roberto Gayol expuso su descubrimiento accidental del hundimiento de la ciudad de México, suceso que causó gran polémica en su época. Pero no fue sino hasta mediados del siglo XX, que el Dr. Nabor Carrillo Flores pudo explicar dicho fenómeno.

En 1942 se creó la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC) y bajo la dirección de Nabor Carrillo, se emprendió el primer estudio científico del subsuelo de la ciudad de México para entender la problemática del mismo y tratar de dar soluciones.

Entre 1947 y 1952 se efectuaron gran número de sondeos y se hicieron ensayos sobre más de 10,000 especímenes extraídos del subsuelo, con lo que comenzó a tenerse una idea más correcta de la distribución de los materiales y de sus propiedades mecánicas. Se instalaron las primeras estaciones piezométricas en varios puntos de la ciudad a fin de conocer las alteraciones en las presiones hidrostáticas y sus nexos con el hundimiento regional. Este largo periodo de estudios e investigaciones sobre la distribución de los materiales del subsuelo y sus propiedades mecánicas, culminó en la publicación del libro “El Subsuelo de la Ciudad de México” (Marsal y Mazari, 1959). En esta obra, de

extraordinario alcance y acuciosidad, se propone una división del área urbana en tres zonas geotécnicas: lomas, transición y lago (Figura 1.11).

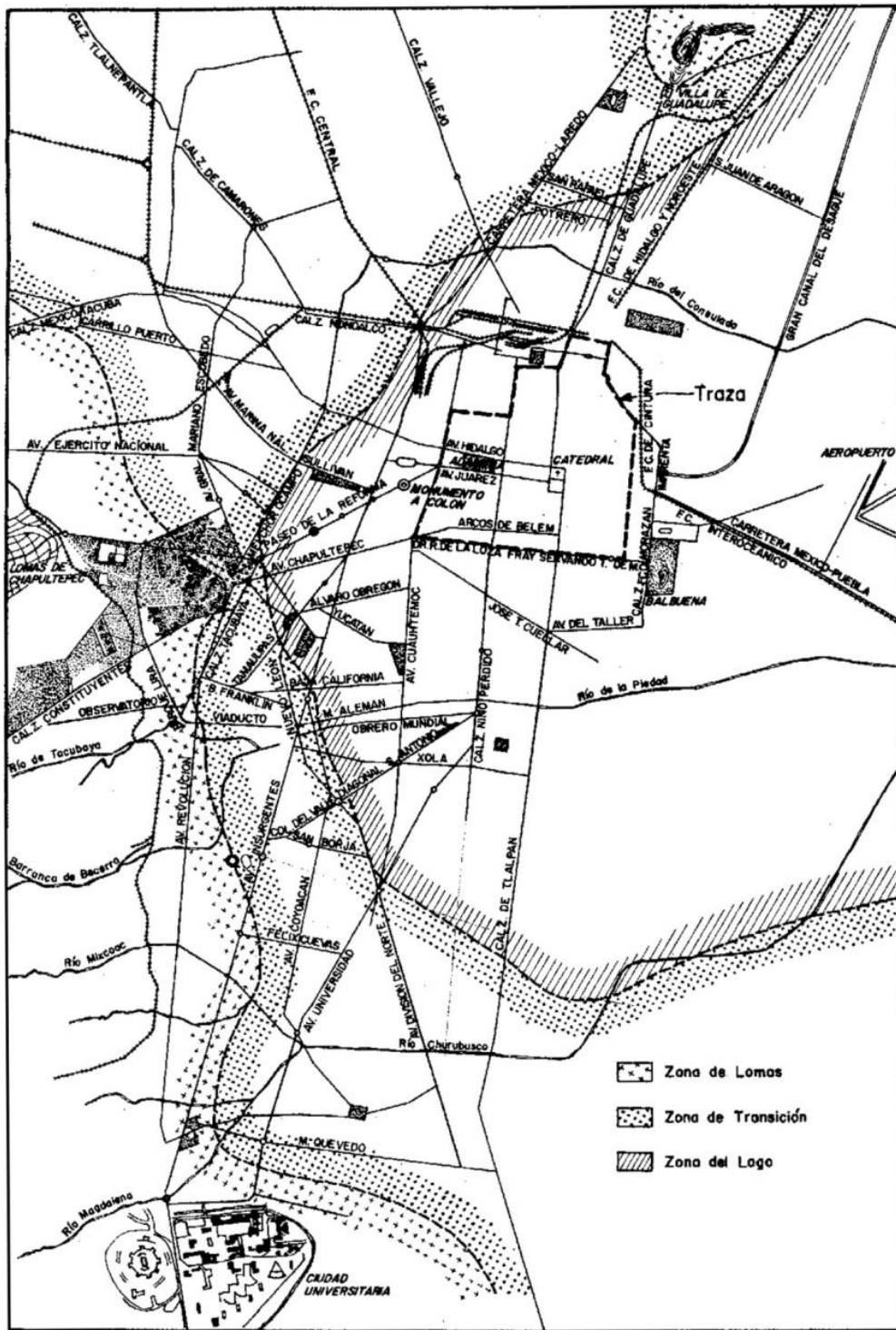


Figura 2.11. Zonificación de la ciudad de México (Marsal y Mazari, 1959).

Con la actualización del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en el año de 1966, se propuso un “Plano de Zonas de Compresibilidad de la Ciudad de México, D.F.”, el cual difiere de las zonificaciones anteriores y divide el subsuelo en zonas de baja y alta compresibilidad.

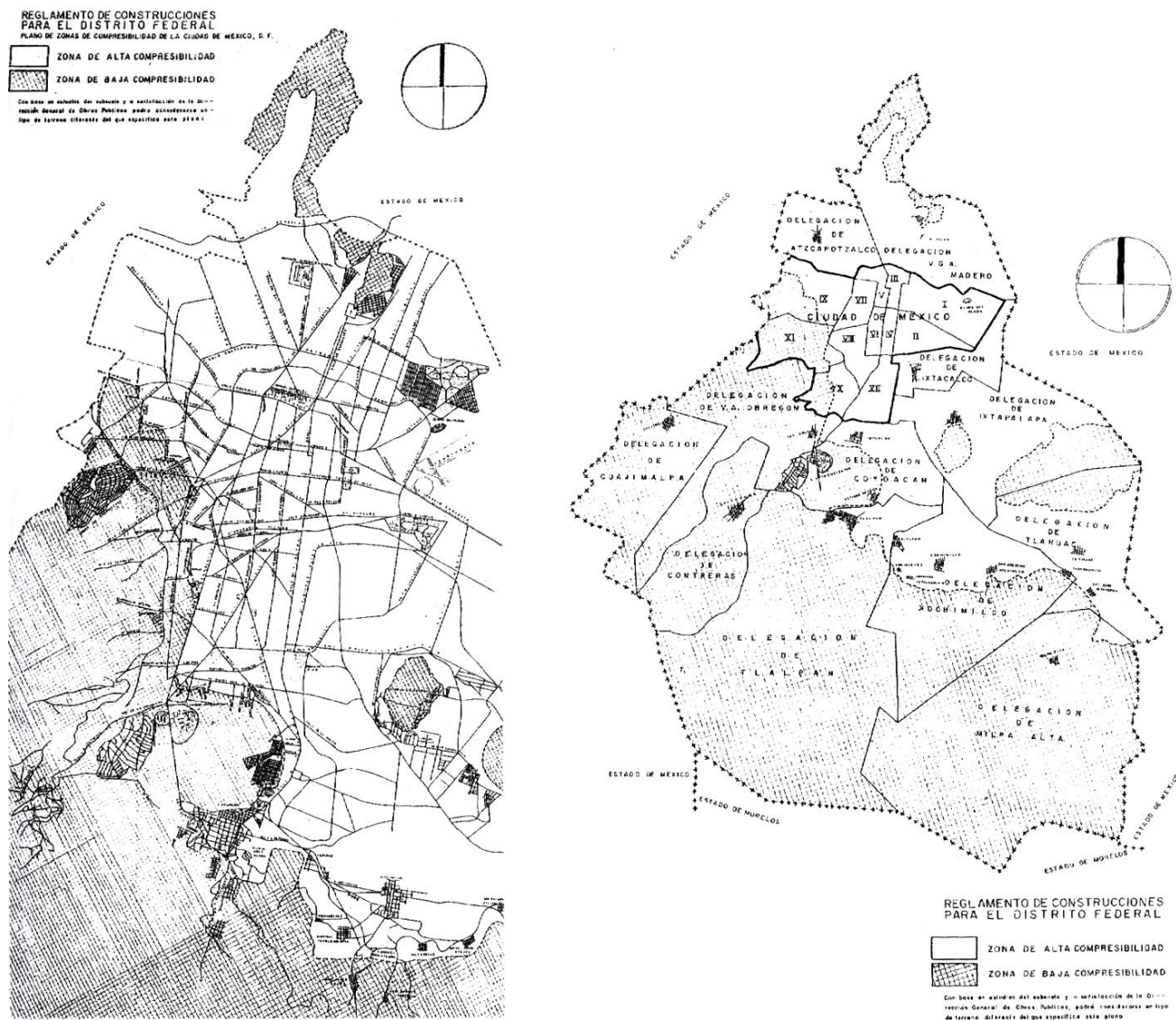


Figura 1.12. Zonificación geotécnica de 1966.

Por su parte, la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos a través de sus Reuniones Nacionales y de diversos simposios (1970-88) organizó trabajos de recopilación y análisis de la información geotécnica con el fin de actualizar el estado del conocimiento del subsuelo de más de cuarenta ciudades del país. Por lo que se refiere al valle de México, entre los diversos trabajos publicados, destacan dos documentos de síntesis que han resultado de enorme utilidad para los ingenieros geotécnicos.

El primero presenta información sobre las características del subsuelo y la práctica de la ingeniería de cimentaciones en la Ciudad de México y en particular los resultados resumidos de 412 sondeos realizados entre 1959 y 1970 (Reséndiz et al, 1970).

El segundo es un estado del conocimiento sobre el subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México (Diversos autores, SMMS, 1978) que, por primera vez, no solamente se interesaron en la Ciudad de México sino en el valle propiamente dicho, al cubrir zonas ya densamente pobladas pero consideradas hasta este momento periféricas como: Naucalpan, Tlalnepantla, Ecatepec, Atizapán, Cuautitlán, Tepetzotlan, Xochimilco y Chalco.

Hacia 1978, Raúl J. Marsal presentó una zonificación geotécnica, tomada del número CH-G1003 de la Comisión de Aguas del Valle de México de noviembre de 1978, realizada por R. del Castillo Muris (Figura 1.13). Esta zonificación se basa en la geología descrita por Federico Mooser (1956), en diversos sondeos realizados en la época y en la disposición de las grandes masas observadas superficialmente. En esta zonificación se distinguen tres áreas importantes: lacustre, aluvial y pétreo, además de mencionar las zonas de transición que puede ocurrir en las fronteras de las formaciones pétreo, aluvial y lacustre, estableciendo una distinción entre transición progresiva, interestratificada y abrupta.

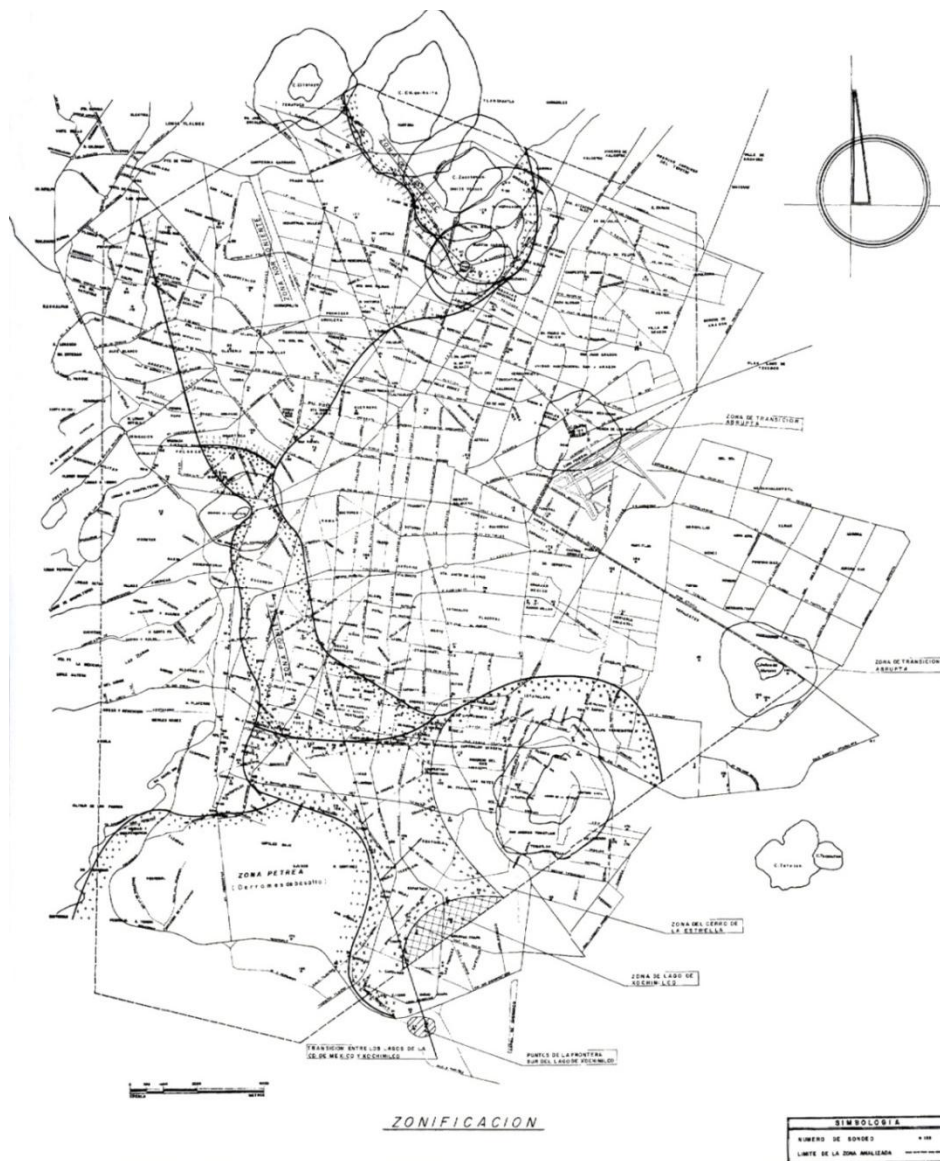


Figura 1.13. Zonificación geotécnica de 1978.

En 1986 la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR) publicó en su “Manual de Exploración Geotécnica”, una zonificación geotécnica del área urbana, basada en las propiedades de compresibilidad y resistencia de los depósitos característicos de la Cuenca: lacustres, aluviales y volcánicos.

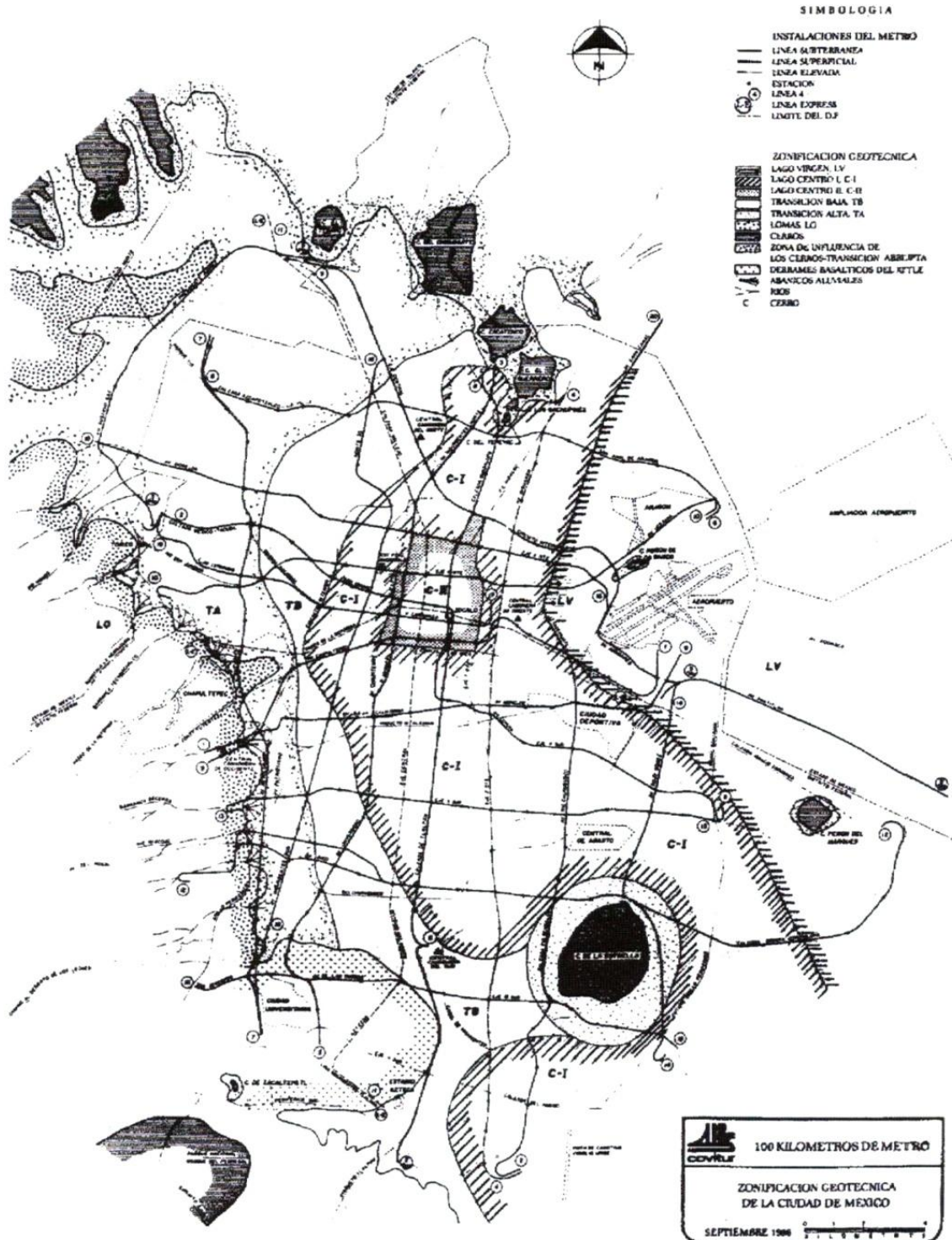


Figura 1.14. Mapa de zonificación Geotécnica propuesta por COVITUR, 1986.

A raíz de los sismos de septiembre de 1985, se realizaron exploraciones en diferentes sitios del valle (Jaime y Romo, 1987; Ovando et al. 1988) cuyos resultados combinados con la información recopilada anteriormente, permitieron definir el mapa mostrado, en forma simplificada, en la figura 1.15, realizado por M. Mendoza, que fue básicamente el que se introdujo en el Reglamento de Construcciones de 1987 y se conservó en el de 1995.

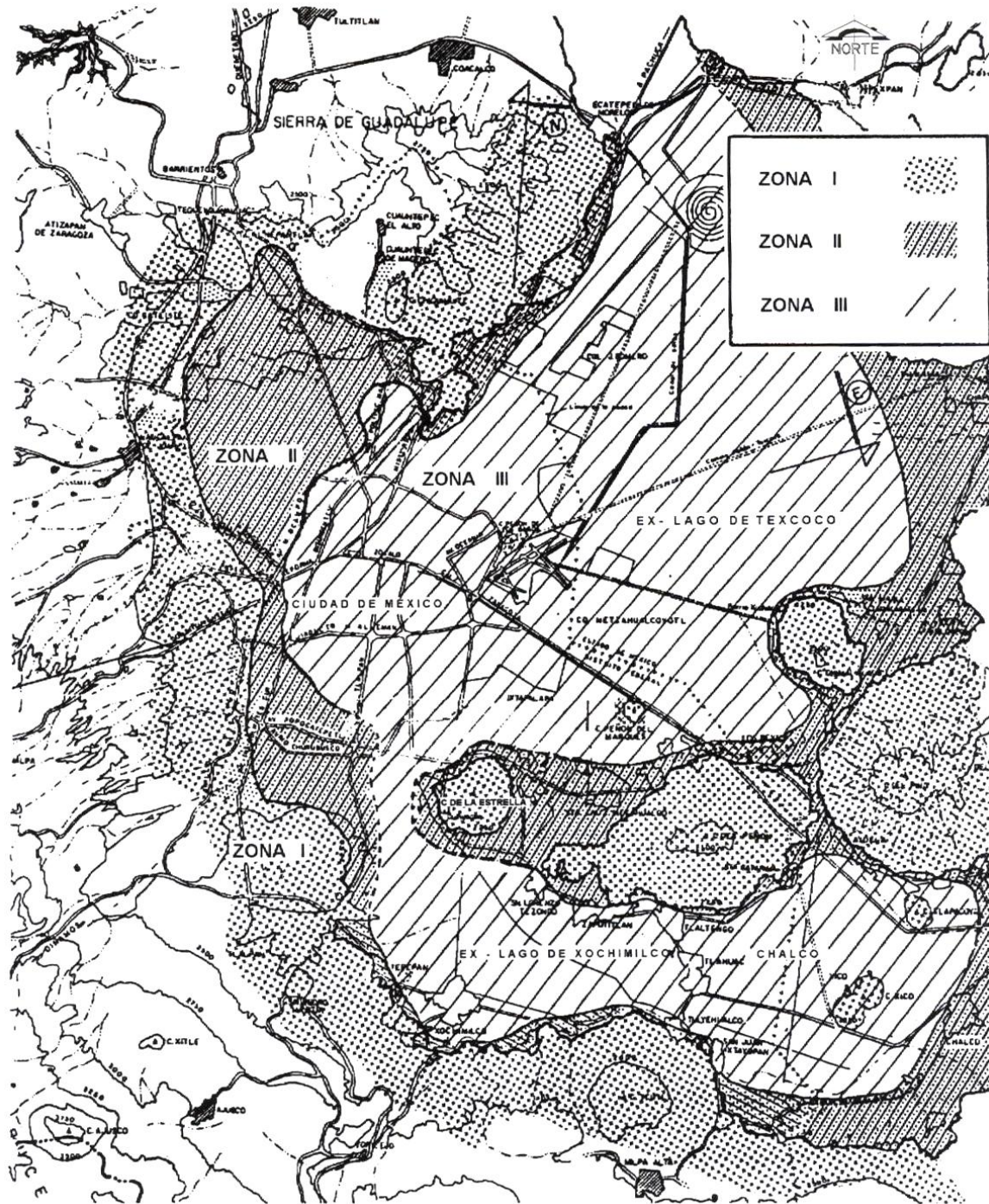


Figura 1.15. Zonificación geotécnica de 1987.

Los esfuerzos realizados por el Instituto de Ingeniería, con la colaboración de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (actualmente Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica) y el apoyo del Gobierno del Distrito Federal, han permitido mejorar la zonificación geotécnica del valle de México y definir cada vez con mayor precisión las fronteras que delimitan las Zonas I (Lomas), II (Transición) y III (Lago). En los últimos años, se han realizado numerosos estudios sobre el subsuelo con el propósito de afinar y ampliar el mapa de zonificación geotécnica del Valle de México. Entre estos trabajos se puede mencionar el trabajo titulado, “*Contribución a la zonificación geotécnica de la zona poniente de la Ciudad de México*” (Jiménez, 2007), donde se elaboró una propuesta de zonificación geotécnica con base en la información disponible de la zona. En el mismo año, se presentó también la “*Zonificación geotécnica de la zona norte del Valle de México*” (Valencia, 2007), en el cual se buscó detallar la zonificación en esta parte de la ciudad que presenta gran incertidumbre geotécnica. El trabajo “*Caracterización geotécnica del subsuelo del centro histórico de la Ciudad de México*” (Tenorio, 2009) presenta, a partir de un gran número de sondeos geotécnicos, un modelo digital del subsuelo del centro histórico, que muestra el espesor y la distribución espacial de los rellenos arqueológicos en esta zona.

La división en tres zonas se ha conservado en la reglamentación a través de los años por las grandes ventajas que presenta su sencillez para los ingenieros. Sin embargo, se sabe que existen numerosas subzonas y sitios particulares en los que la estratigrafía local difiere significativamente de la considerada como típica de cada zona. Es por esto que los trabajos de zonificación geotécnica continúan, dando mayor certidumbre a la distribución de los materiales en el subsuelo del valle de México.

1.8.2. Zonificación Geotécnica del Distrito Federal

En el capítulo 2.2 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones del actual Reglamento de Construcción del Distrito Federal (GDF 2004a), se da una descripción de las tres zonas identificadas por Marasl y Mazari, así como un mapa de zonificación geotécnica en donde se muestran las zonas I, II y III.

Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas, cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados;

Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20m de profundidad, o menos, u que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros; y

Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo y arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

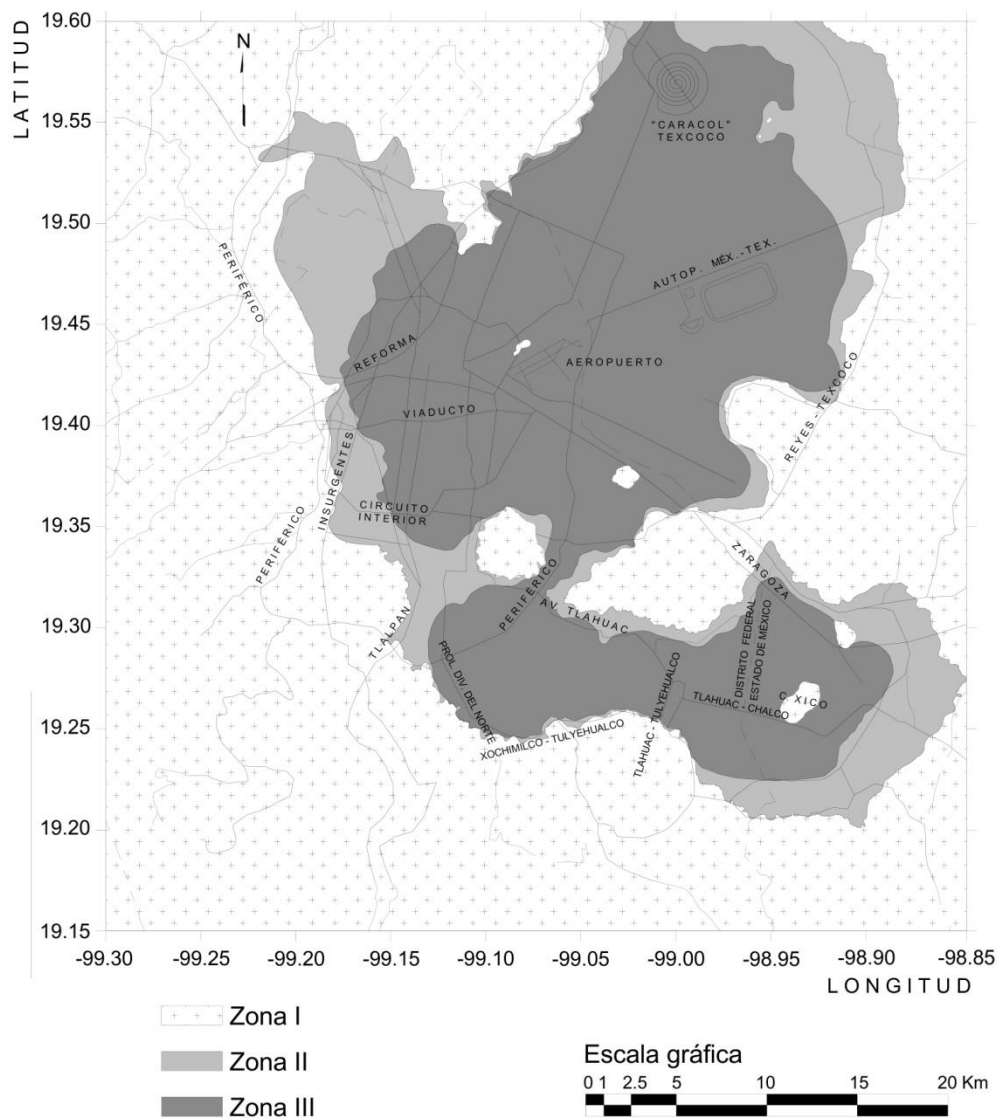
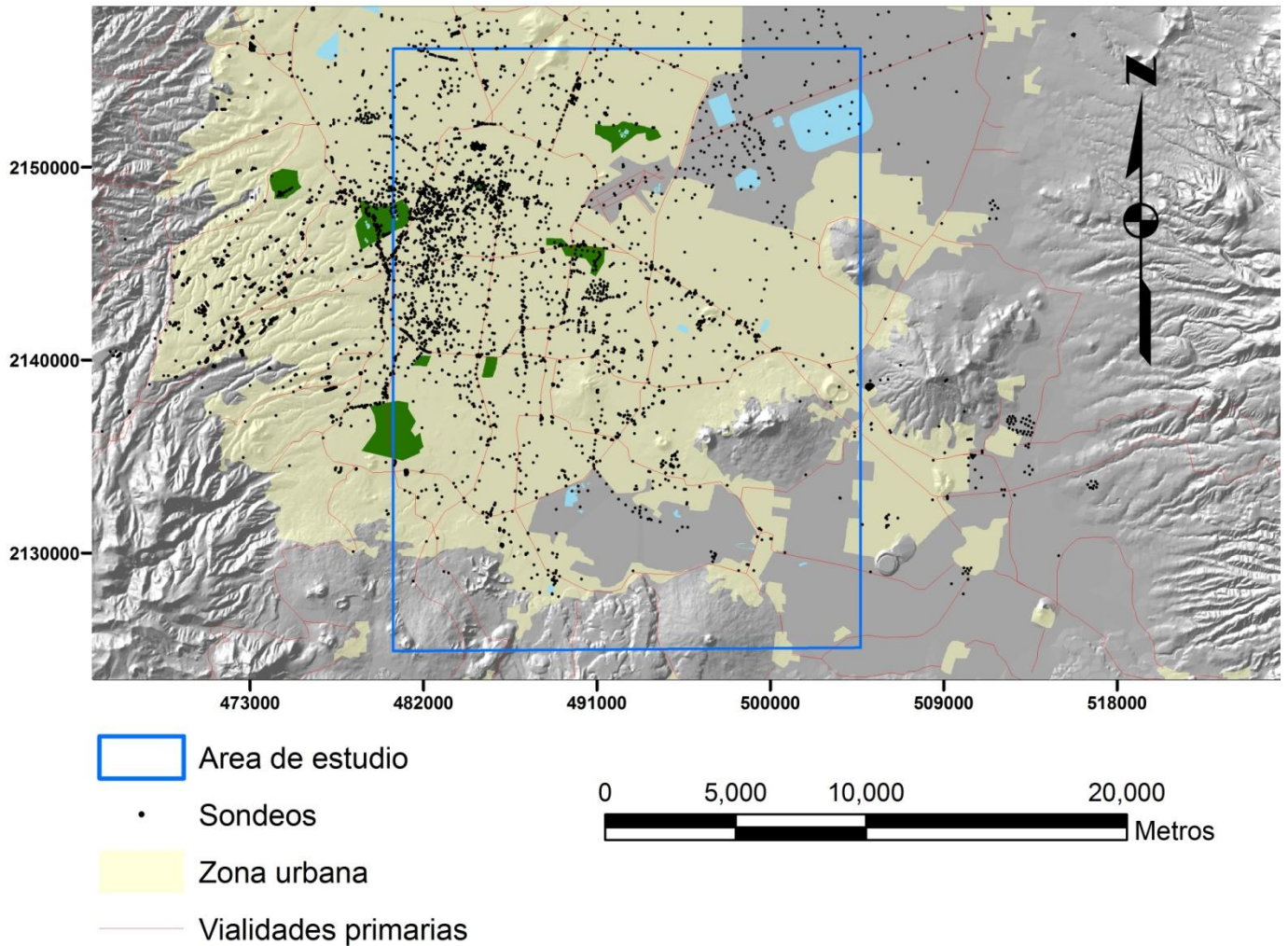


Figura 1.16. Mapa de zonificación geotécnica (GDF, 2004b).

1.8.3. Sondeos geotécnicos

La información puntual sobre el subsuelo, proporcionada por los diferentes sondeos geotécnicos disponibles, representa el elemento más significativo del marco físico para el estudio de la caracterización de anomalías geotécnicas. Lo anterior, se debe a que brinda de forma detallada, la estratigrafía y la variación con la profundidad de las propiedades del subsuelo.

Para el presente trabajo se recurrió al uso y consulta de la enorme base de datos del Sistema de Información Geográfica para Sondeos Geotécnicos (SIG-SG) que desarrolló el laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM y que actualmente almacena en formato digital más de 7,000 sondeos.



1.17. Sistema de Información Geográfica para Sondeos Geotécnicos.

Para el análisis del subsuelo de los sitios estudiados, se analizaron 73 sondeos geotécnicos de los más de 7,000 existentes en el Sistema SIG-SG, debido a que solo estos se encontraron dentro o en los alrededores de las anomalías estudiadas. En la figura 1.18 se muestra la distribución de los sondeos en base al tipo de exploración realizada. Se observa que los sondeos de cono eléctrico y mixto representan más de la mitad de los sondeos utilizados.

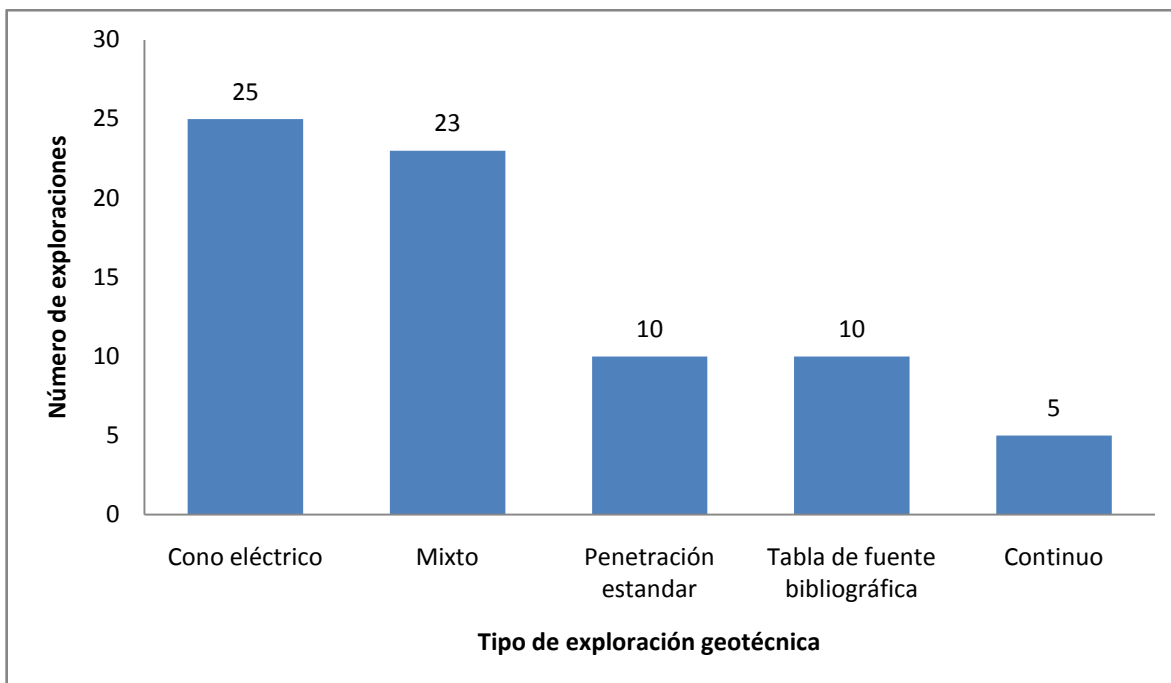


Figura 1.18. Distribución de los sondeos según el tipo de exploración.

En el Anexo E, se muestran a detalle los 73 sondeos utilizados.

1.8.4. Modelo estratigráfico

El área de estudio del presente trabajo corresponde a las Zona II (transición) y Zona III (lago) de la zonificación geotécnica, por lo que a continuación se da una breve explicación de la estratigrafía característica de dichas zonas.

Zona II, de transición.

La Zona II, se caracteriza en presentar condiciones estratigráficas del subsuelo que varían en forma extraordinaria de un punto a otro del área urbanizada. En general, se tienen superficialmente los depósitos arcillosos o limosos orgánicos de la formación Becerra, cubriendo a estratos de arcilla volcánica muy compresibles y de espesores variables intercalados con capas de arena limosa compacta o arena limpia, las cuales descansan sobre potentes mantos en los que el material predominante es la grava y la arena (Marsal y Mazari, 1959).

Zona III, del lago.

La zona del lago, presenta grandes depósitos de arcillas de alta plasticidad y muy compresibles y que con la sobre explotación de los acuíferos, ocasionan el problema de hundimiento regional en esta zona, generando grandes problemas en la infraestructura de la ciudad de México.

Una gran sección de la región urbanizada sobre los depósitos lacustres se caracteriza por presentar suelos con la siguiente estratificación:

Costra superficial: constituida por depósitos areno-arcillosos o limosos con abundancia de restos arqueológicos, o bien de rellenos artificiales. Este estrato puede alcanzar hasta los 10 metros de profundidad en algunas zonas de la ciudad.

Formación arcillosa superior: formada por arcillas volcánicas extraordinariamente compresibles comprendidas entre blanda y media, intercaladas con pequeñas capas o lentes de materiales endurecidos por secado solar y de arena, su potencia total oscila entre 15 a 32 m de profundidad.

Primera capa dura: de unos 3 metros de espesor, constituida por suelos arcillosos o areno-limosos, compactos y rígidos, se encuentra a 33 m bajo la superficie aproximadamente. Gran número de edificios de la ciudad se encuentran cimentados sobre este estrato.

Formación arcillosa inferior: de características similares a la formación arcillosa superior, presenta arcillas volcánicas, aunque más comprimidas y resistentes.

Depósitos profundos: compuestos de arena con grava, separados por estratos de limo o arcilla arenosa.

(Marsal y Mazari, 1959)

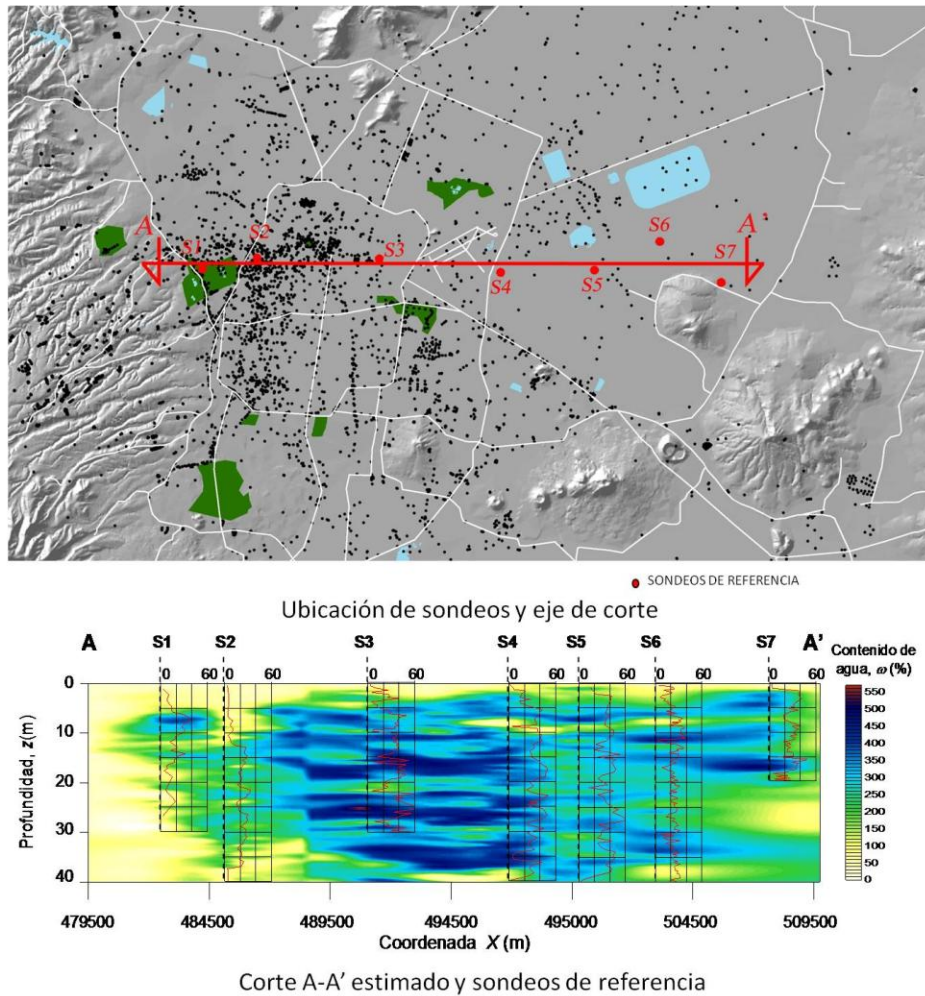


Figura 1.19. Estimación del contenido de agua en una sección poniente a oriente de la Ciudad de México, Laboratorio de geoinformática (2000).