

2. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ANOMALÍAS

2.1. Tipos de anomalías

Una anomalía se define como una irregularidad presente en algún medio homogéneo. En consecuencia, una anomalía geotécnica es la que ostenta una discordancia estratigráfica que puede ser de origen Natural o Antropogénico. Las anomalías geotécnicas hasta ahora identificadas en el área de estudio se localizan en los depósitos lacustres (Zona III, Lago) y aluvial –lacustres (Zona II, Transición) de la zonificación geotécnica vigente y que se encuentra en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones del Reglamento de Construcción del Distrito Federal (NTC-RCDF) (GDF, 2004b).

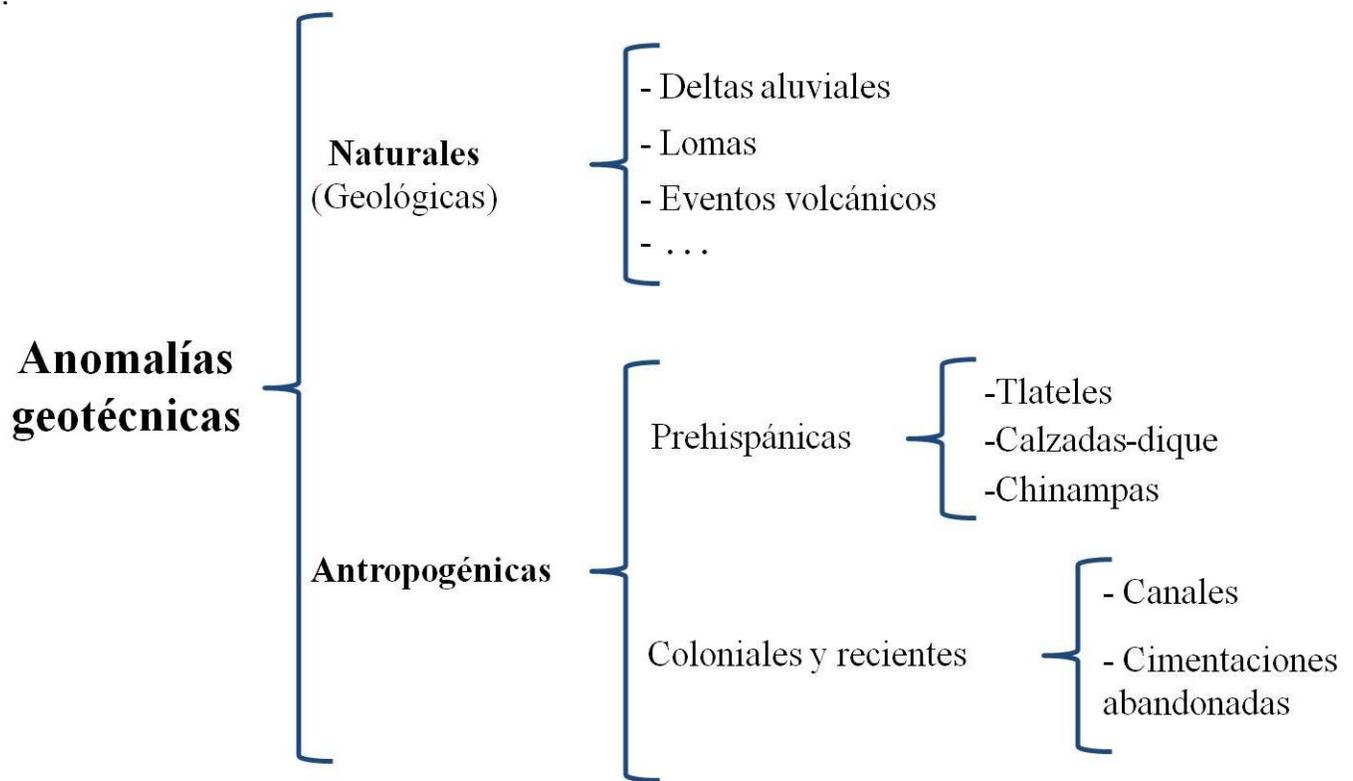


Figura 2.1. Clasificación y tipos de anomalías geotécnicas.

2.1.1. Anomalías naturales

En la zona lacustre y aluvio-lacustre del valle de México existen numerosas anomalías geológicas muy visibles como los cerros del Peñón, de la Estrella, del Márquez, Tepetzingo, Huatepec, Xico, y Tlapacoya, constituidos generalmente por domos de origen volcánico y bien conocidos por los ingenieros geotécnicos (figura 2.2). Otras relativamente fáciles de apreciar son las que denominamos como lomas. Sin embargo, existen también anomalías naturales más difíciles de identificar que se manifiestan por la presencia de estratos que difieren del modelo estratigráfico de Marsal y Mazari, 1959 (Costra Superficial, Serie Arcillosa Superior, Capa Dura, Serie Arcillosa Inferior y Depósitos Profundos).

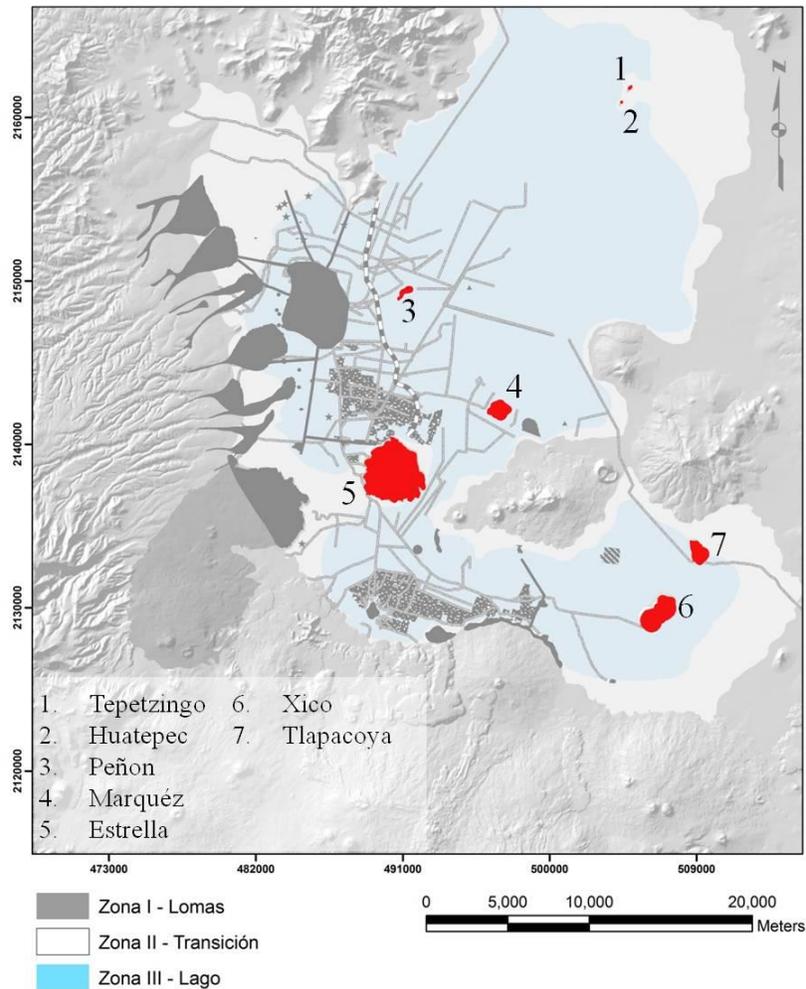


Figura 2.2. Cerros presentes en la zona lacustre.

2.1.2. Anomalías antropogénicas

El territorio del Valle de México ha sido modificado desde que el hombre antiguo decidiera instalarse en la región, separando lagos, desviando cauces, desecando los lagos, deforestando, etc. Gran cantidad de las anomalías presentes en los extensos depósitos lacustres y aluvio-lacustres del Valle de México son el resultado de construcciones realizadas a lo largo de diversas épocas. Desde el establecimiento de poblaciones en el interior de los lagos en la época prehispánica, la construcción de la ciudad colonial, hasta la explosión demográfica y urbana de la actualidad, el subsuelo ha sufrido grandes modificaciones por las construcciones que han sido realizadas en el.

El presente trabajo divide a las anomalías antropogénicas en dos tipos:

Prehispánicas, aquellas que representan restos de estructuras construidas antes de la conquista europea, tales como islotes artificiales restos de pirámides, chinampas y calzadas dique, mismas que fueron destruidas y enterradas para dar paso a las estructuras coloniales.

Coloniales y recientes, que son originadas por rellenos artificiales o restos de estructuras construidas posteriormente a la conquista española.

2.2. Caracterización geotécnica

Numerosos proyectos realizados en el territorio del Valle de México, por parte del grupo del Laboratorio de Geoinformática, han permitido identificar las anomalías geotécnicas presentes en las zonas lacustre y aluvial-lacustre del Valle. Se contabilizaron 227 anomalías geotécnicas, tanto naturales como antropogénicas que se presentan a continuación.

2.2.1. Anomalías naturales

Anomalías geomorfológicas

En la periferia de la zona lacustre es común encontrara anomalías que pueden asociarse con estructuras geológicas sepultadas o semi sepultadas. Se han identificado en particular tres anomalías geomorfológicas de este tipo pertenecientes a la Sierra de Santa Catarina y que la población nativa las denomina como lomas.

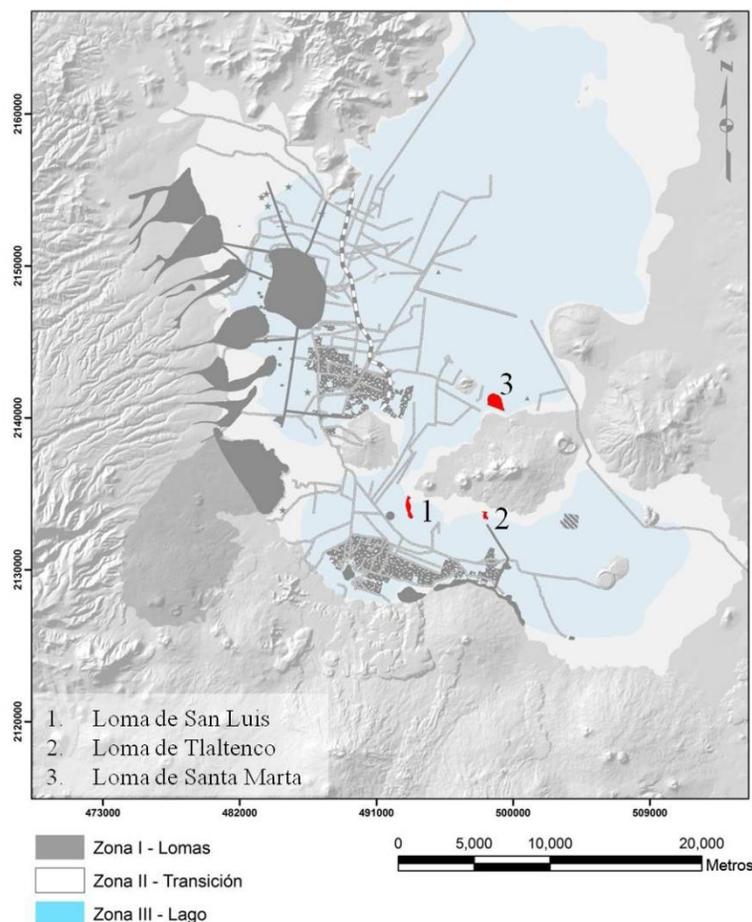


Figura 2.3. Anomalías geomorfológicas.

La primera, se ubica en la ladera sur-poniente de la Sierra de Santa Catarina en las cercanías de San Lorenzo Tezonco y se adentra en el ex lago de Xochimilco a semejanza de una escollera, tal como se señala en color rojo sobre el Plano de la ciudad de México de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas de 1927 de la figura 2.4.

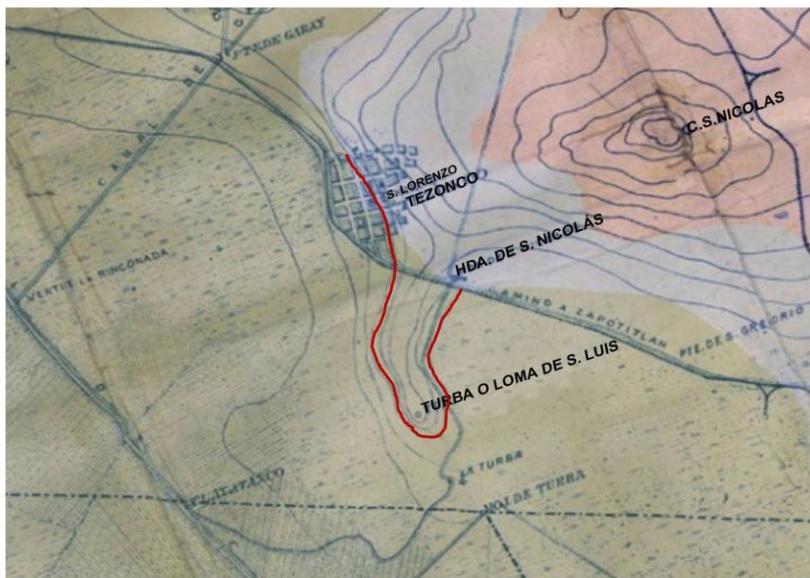


Figura 2.4. Sección del plano de la ciudad de México, SCOP, 1927.

A lo largo de la cara poniente de esta anomalía, conocida como Loma de San Luis, se generan grietas del tipo de transición abrupta, que son las que mayor daño causan a las edificaciones en general, como lo ocurrido en la ExHacienda de San Nicolás (figura 2.5).

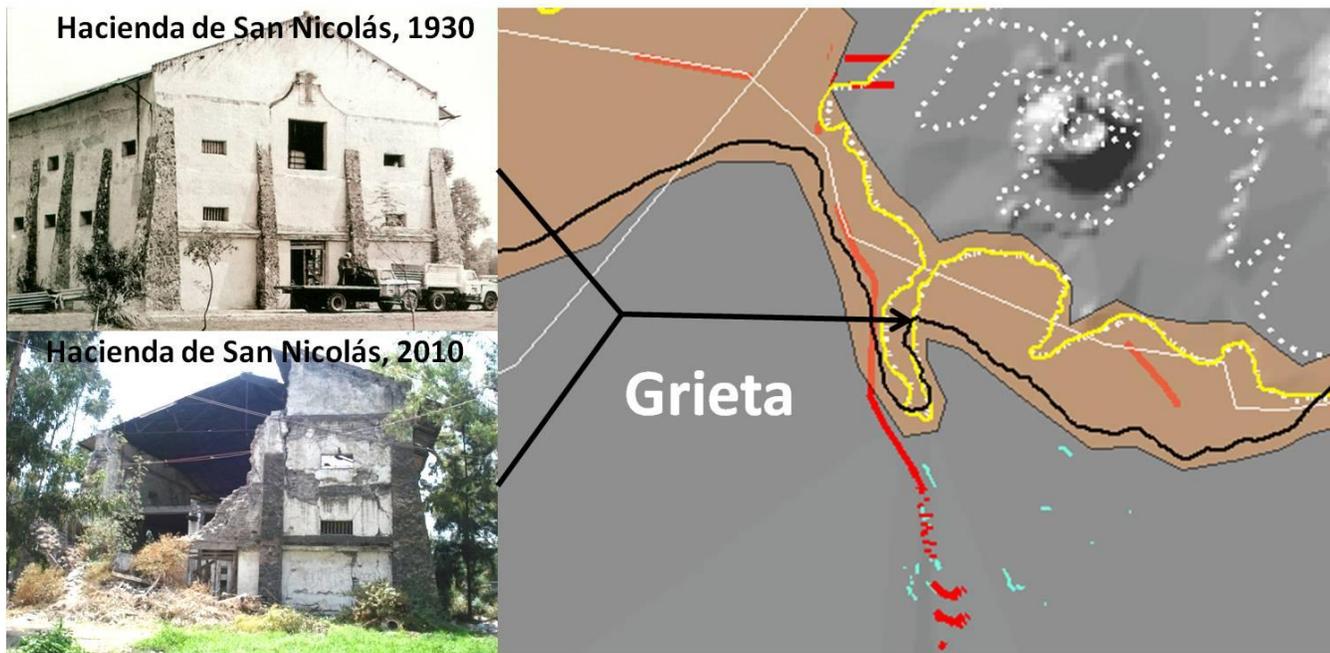


Figura 2.5. Daños ocasionados por la generación de una grieta en la Loma de San Luis.

La segunda, ubicada en la ladera norte de la sierra de Santa Catarina muy cerca de la antigua localidad de Santa Marta Acatitla y también es causa de agrietamientos tal como se muestra en el mapa de la problemática de agrietamiento en los alrededores de la Sierra de Santa Catarina de la figura 2.6.

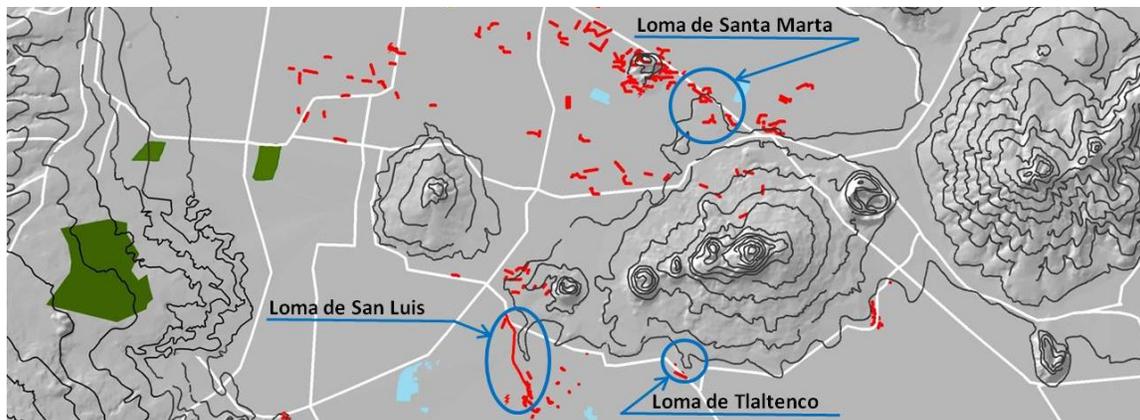


Figura 2.6. Problema de agrietamiento en alrededores de la Sierra Santa Catarina.

Anomalías estratigráficas asociadas a eventos geológicos recientes.

Las erupciones geológicamente recientes han contribuido a modificar en algunos sitios particulares la secuencia estratigráfica típica de la zona lacustre.

Anomalías de gran importancia para la ingeniería geotécnica están asociadas con los derrames volcánicos recientes que se han presentado en el sur del valle. En las zonas con estas características, no es raro encontrar suelos blandos lacustres bajo la roca basáltica. En la zona de contacto entre colada basáltica y suelo blando se observa un estrato delgado de suelo metamorfozido por las altas temperaturas. Este tipo de situación debe esperarse en el frente de las principales coladas que invadieron la zona lacustre como las coladas del Xitle, de Xicomulco y la del volcán Teuhtli en Tulyehualco (figura 2.7).

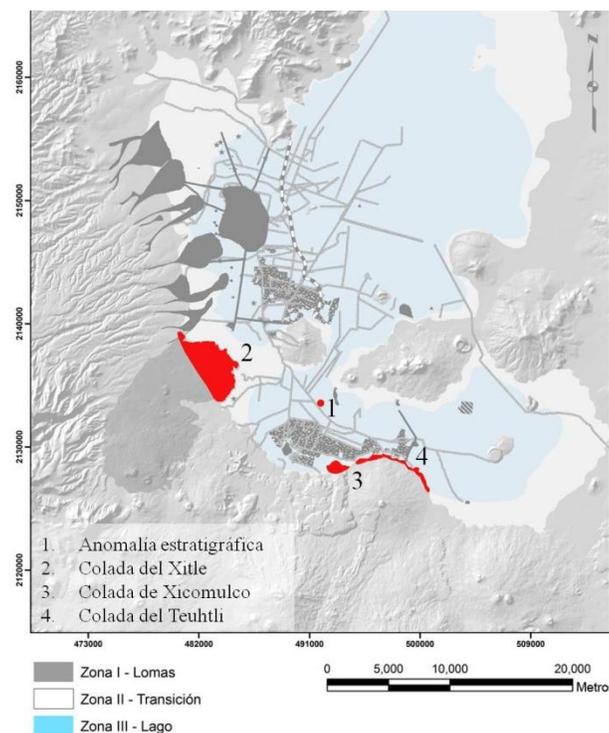


Figura 2.7. Anomalías asociadas a eventos volcánicos recientes.

Otra anomalía asociada con erupciones recientes es la que se muestra en la figura 2.8, donde puede apreciarse la existencia, en la parte superior de la formación arcillosa superior, de un estrato de toba de espesor apreciable. Esta anomalía, encontrada en el lago de Xochimilco tuvo probablemente su origen en un evento volcánico que arrojó una nube piroclástica sobre la zona lacustre.

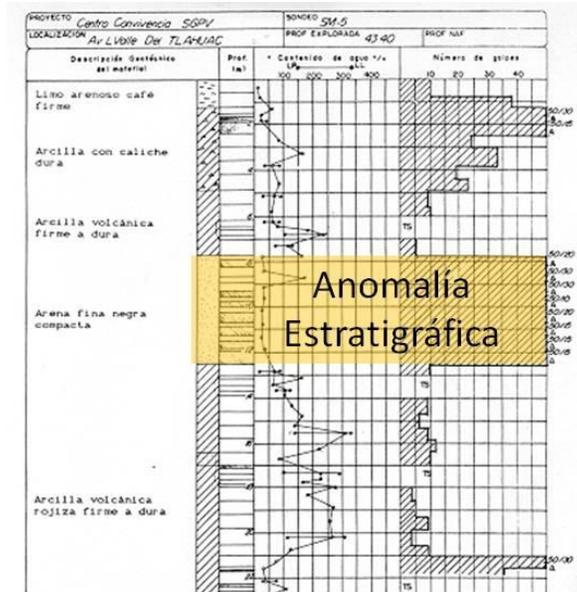


Figura 2.8. Sondeo en el que se marca en color, el estrato de toba.

El hundimiento regional provocado por la extracción de agua del acuífero, ha provocado la ruptura de esta capa dura de toba, lo que ha generado graves problemas de agrietamiento en la zona (figura 2.9).

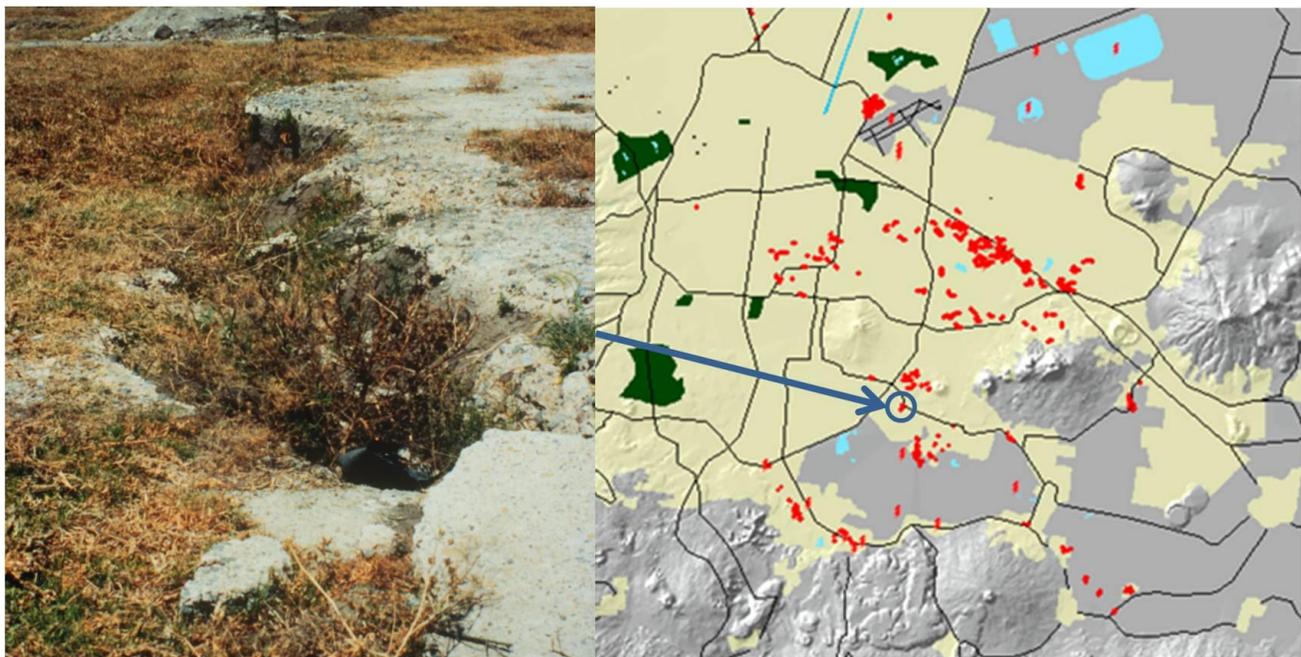


Figura 2.9. Problema de agrietamiento en los límites de las Delegaciones de Iztapalapa, Xochimilco y Tlahuac.

Es importante destacar que sólo se tiene el conocimiento puntual y no espacial de esta anomalía y en la medida de que se tengan nuevos sondeos, se podrá tener una mejor descripción de la misma.

Deltas aluviales

Los seis deltas aluviales que se localizan al pie de la ladera de la Sierra de las Cruces y que se extienden de sur a norte, desde Álvaro Obregón hasta Azcapotzalco son una fuente de gran heterogeneidad en el subsuelo y merecen una atención muy particular por parte de los geotecnistas. Actualmente, su ubicación y sus características solamente se conocen solamente en forma aproximada (figura 2.10).

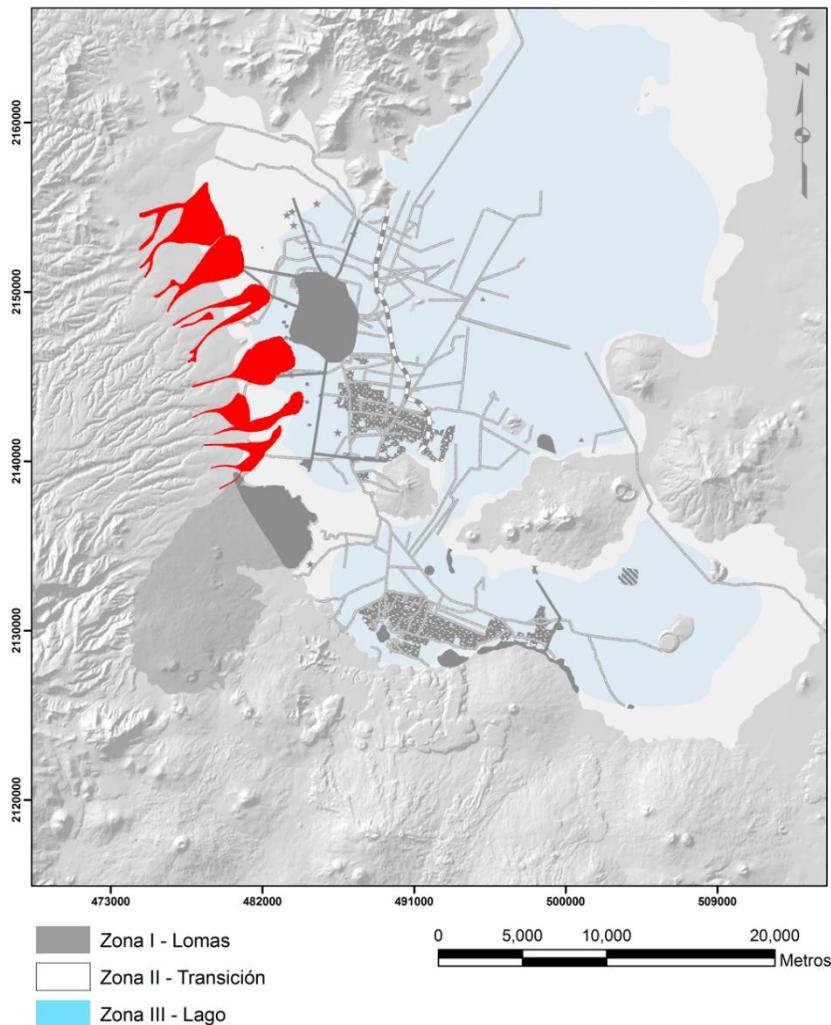


Figura 2.10. Distribución espacial de los deltas aluviales, Mooser, 1988.

2.2.2. Anomalías antropogénicas

Anomalías prehispánicas

Como es bien sabido, a la llegada de los españoles, el territorio del Valle de México se encontraba ocupado por aldeas, poblados pequeños y medianos y grandes centros urbanos, distribuidos a lo largo y ancho del valle, como se ilustra en la figura 2.11. Para lograr el éxito de la evangelización, se recurrió a la superposición de edificaciones coloniales sobre los centros ceremoniales y religiosos de los indígenas (figura 2.12) mientras que otras estructuras fueron destruidas para dar paso a la nueva ciudad y muy pocas se conservaron, como las calzadas-dique que continuaron comunicando.

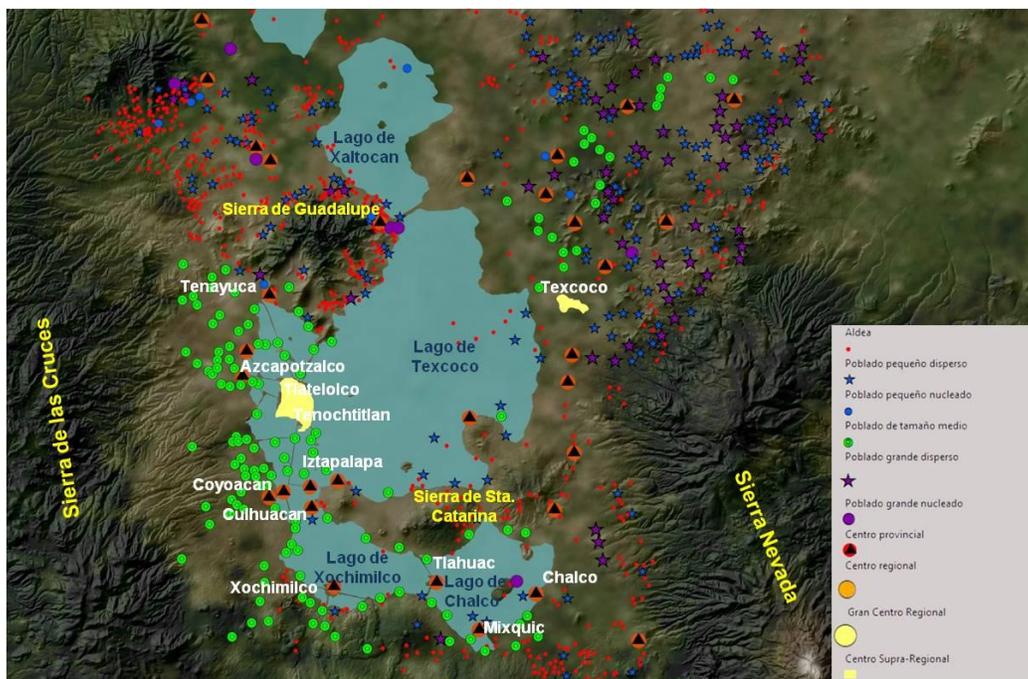


Figura 2.11. Vista de las poblaciones de la cuenca de México para el año 1519, W. T. Sanders et al, 1979.



Figura 2.12. Ruinas aztecas bajo el Sagrario Metropolitano.

La memoria descriptiva del “Plano Reconstructivo de la Región de Tenochtitlán al Comienzo de la Conquista”, elaborada por L. González Aparicio, de 1968, proporcionó la base de información inicial respecto a la ubicación y arreglo geométrico de 31 islas artificiales (tlateles) y 8 Calzadas-dique, como se muestran en la lámina de la figura 2.13.

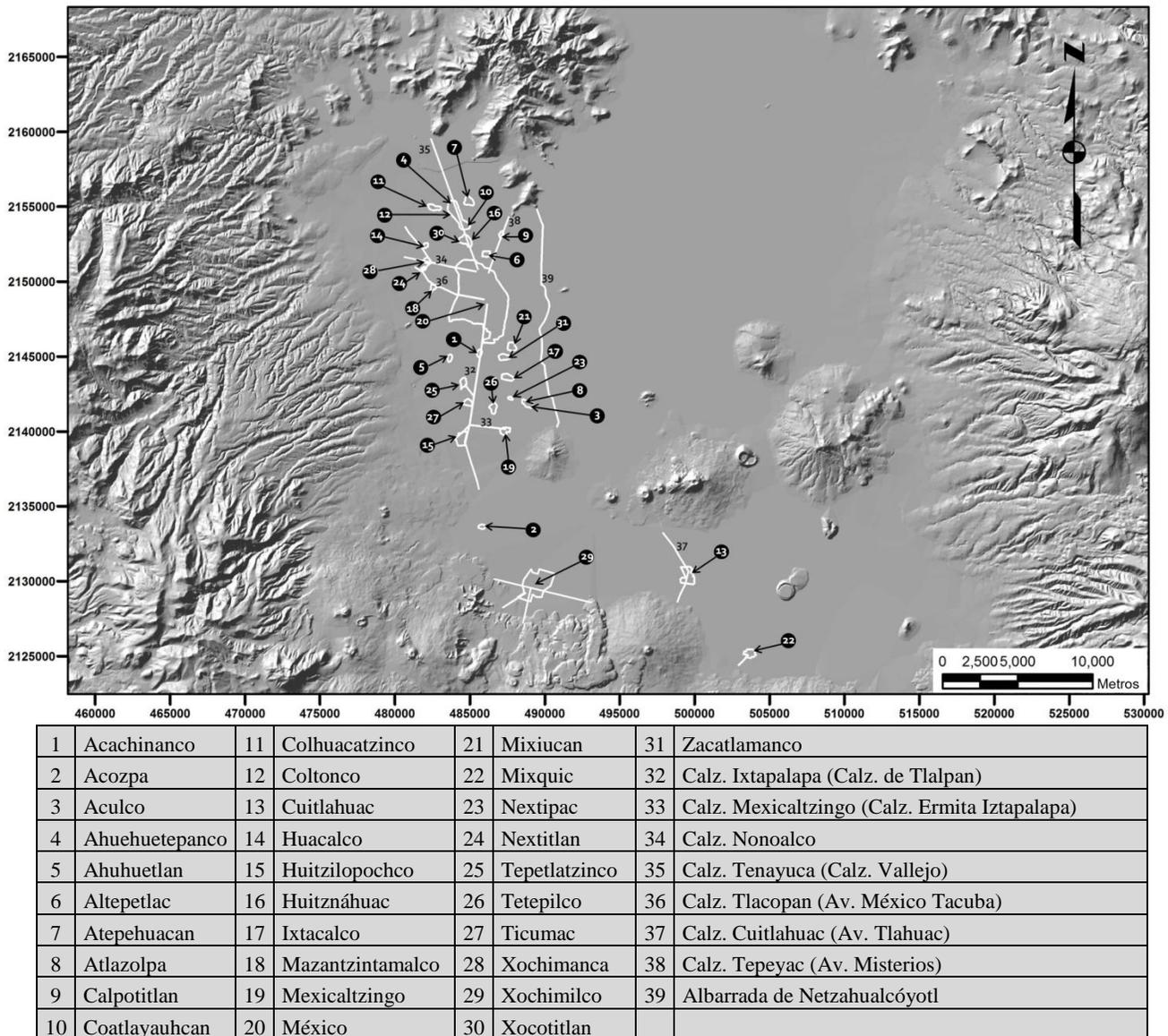


Figura 2.13. Distribución espacial de las 32 islas artificiales (tlateles) y 8 Calzadas-dique, según L. González A.

El proceso de caracterización para estas anomalías, consistió en verificar a partir de los sondeos geotécnicos disponibles la presencia de rellenos bajo las islas artificiales (tlateles) propuestas por L. González A. Cuando no se contaba con sondeos, se aprovecharon otras fuentes de información para comprobar la existencia de las anomalías:

1. La consulta de la base de datos de la Dirección de Salvamento Arqueológico del Instituto Nacional de Antropología e Historia. En dicha base se muestra la información de las excavaciones arqueológicas realizadas por dicha dependencia en la Ciudad de México.

2. La consulta del trabajo realizado por W. T. Sanders, J. Parson y R. Santley (1979), en él se explica la evolución de la ocupación humana a través del tiempo en la Cuenca de México correspondiente a la época prehispánica. Cabe señalar, que el grupo del Laboratorio de Geoinformática construyó una base de datos que almacena y ordena la información de dicho trabajo para su mejor aprovechamiento.
3. La realización de visitas de campo a los sitios, en búsqueda de evidencias tales como: emersión aparente del tlattel, hundimientos diferenciales en edificios alrededor del tlattel, presencia de restos de materiales prehispánicos, entre otras.
4. La consulta de mapas, cartas topográficas antiguas, y a numerosas fuentes historiográficas, que muestran y mencionan la ubicación de los sitios y sub-zonas asociados a las anomalías.

-Tlateles

La palabra Tlatel, proviene del vocablo náhuatl tlaltelli, el cual significa terraplén, montículo o tierra elevada. Un Tlatel es una estructura artificial construida con el propósito de sobre elevar el terreno natural empleando materiales diversos, como arcillas, limos, gravas, rocas, ramas, raíces, etc. Por lo general los Tlateles están constituidos por estratos definidos y en algunos casos pueden presentar diferentes etapas constructivas. La altura de los tlateles variaba según los niveles de agua.

El primero, más grande y más conocido de los tlateles estudiados, corresponde al área del centro de la ciudad de México donde se ubicaban las ciudades prehispánicas de México-Tenochtitlán y México-Tlatelolco (figura 2.14). Este tlatel fue objeto de estudio en el periodo 2007 - 2009 por A. Tenorio, M. Juárez, E. Méndez y G. Auvinet.

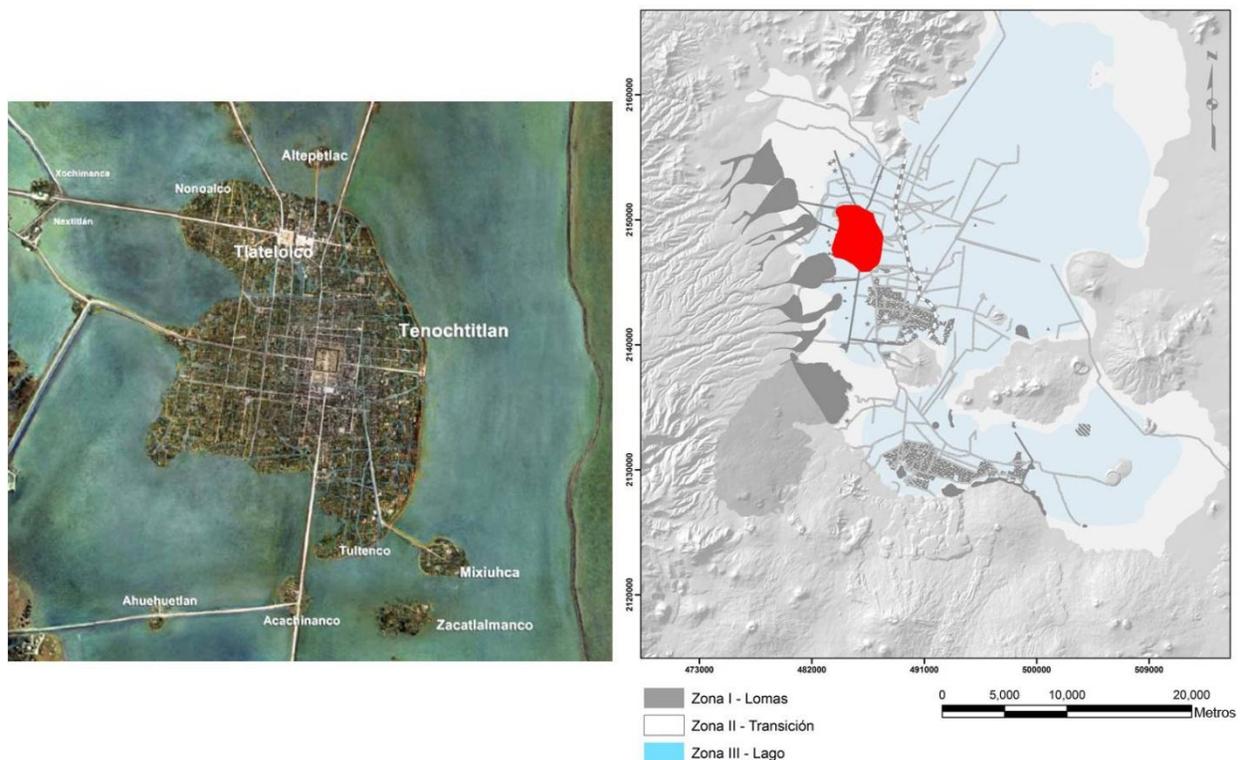
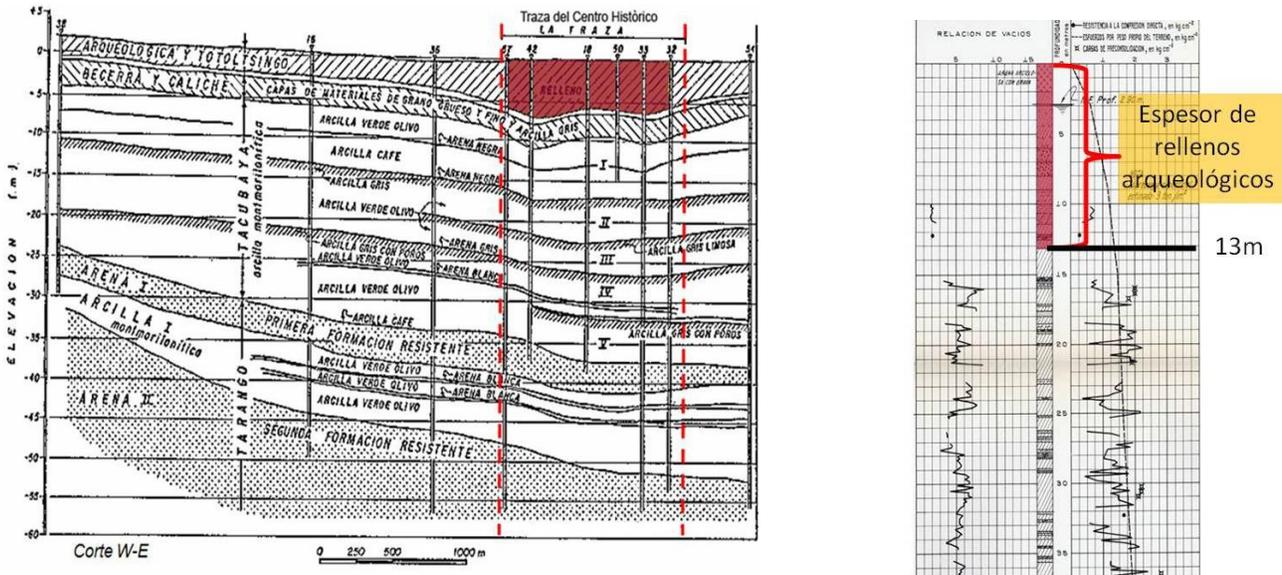


Figura 2.14. Tlatel de Tenochtitlán.

En la figura 2.15, se muestra un sondeo realizado en el Palacio Nacional que permite observar el espesor de los materiales de relleno arqueológico en el centro histórico y una sección estratigráfica poniente-centro de la ciudad (Zeevaert, 1952).



a) Corte estratigráfico poniente centro, Zeevaert, 1952 (b) Sondeo en Palacio Nacional, Marsal y Mazari, 1951
 Figura 2.15. Espesores de materiales de relleno arqueológico en el centro de la ciudad de México.

Los resultados del trabajo de Tenorio, Méndez, Juárez y Auvinet, 2009 se resumen en las láminas de la figura 2.16. En la lámina de la izquierda se presenta el contorno propuesto por L. González A. (color blanco) y el determinado con base en 1152 sondeos geotécnicos (color naranja). El modelo del relieve de la superficie del terreno en el centro de la ciudad muestra tanto la emersión aparente como la heterogeneidad de los rellenos arqueológicos.



Figura 2.16. Resultados del trabajo de Tenorio, Méndez, Juárez y Auvinet, 2009.

La figura 2.17, muestra el modelo tridimensional del subsuelo, que señala la distribución espacial de los espesores de materiales de relleno arqueológico.

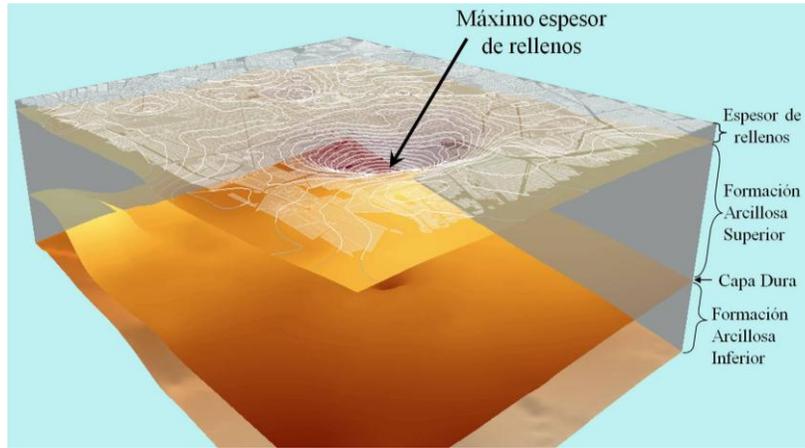


Figura 2.17. Modelo tridimensional del subsuelo del centro de la ciudad, Laboratorio de Geoinformática, 2009.

A continuación se muestran los resultados de la caracterización de los restantes tlateles de menor extensión estudiados en el presente trabajo. Una presentación más detallada de cada tlattel se puede encontrar en el Anexo D.

Se identificaron cuatro tlateles adicionales de gran importancia, que pertenecieron a asentamientos humanos anteriores a la llegada de los aztecas al valle de México (figura 2.18); los sondeos geotécnicos, señalan la presencia de espesores de materiales de relleno arqueológico, mayores al espesor típico de la costra superficial. Las afectaciones en algunas construcciones señalan también la existencia de las anomalías.

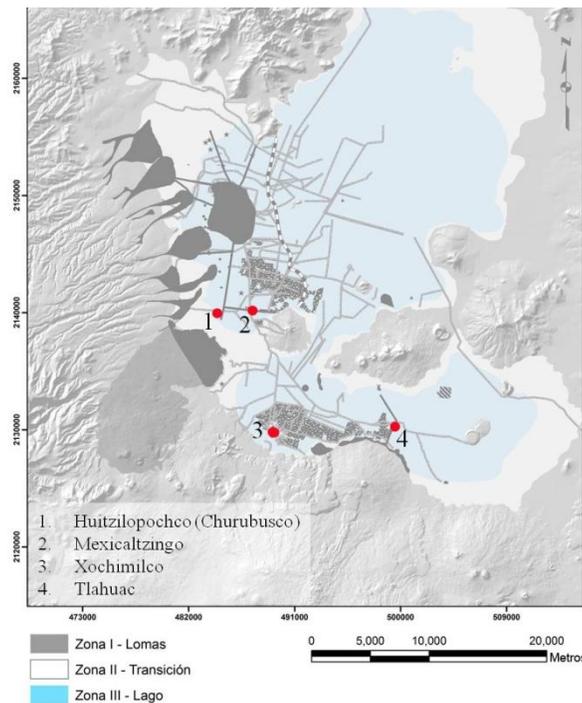


Figura 2.18. Tlateles asociados a asentamientos humanos de gran importancia.

1. Huitzilopochco (Churubusco)



Figura 2.19. Tlatel de Huitzilopochco.

2. Mexicaltzingo

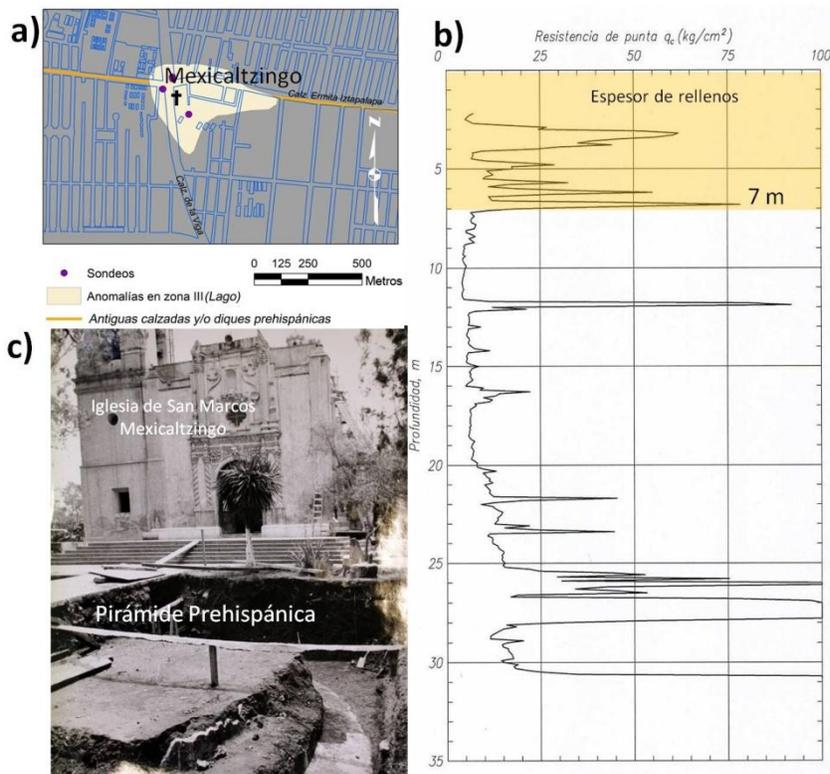


Figura 2.20. Tlatel de Mexicaltzingo, a) ubicación; b) Configuración geométrica del tlatel según M. Median (2009); c) Iglesia de Mexicaltzingo, Archivo técnico del INAH; d) Sondeo geotécnico.

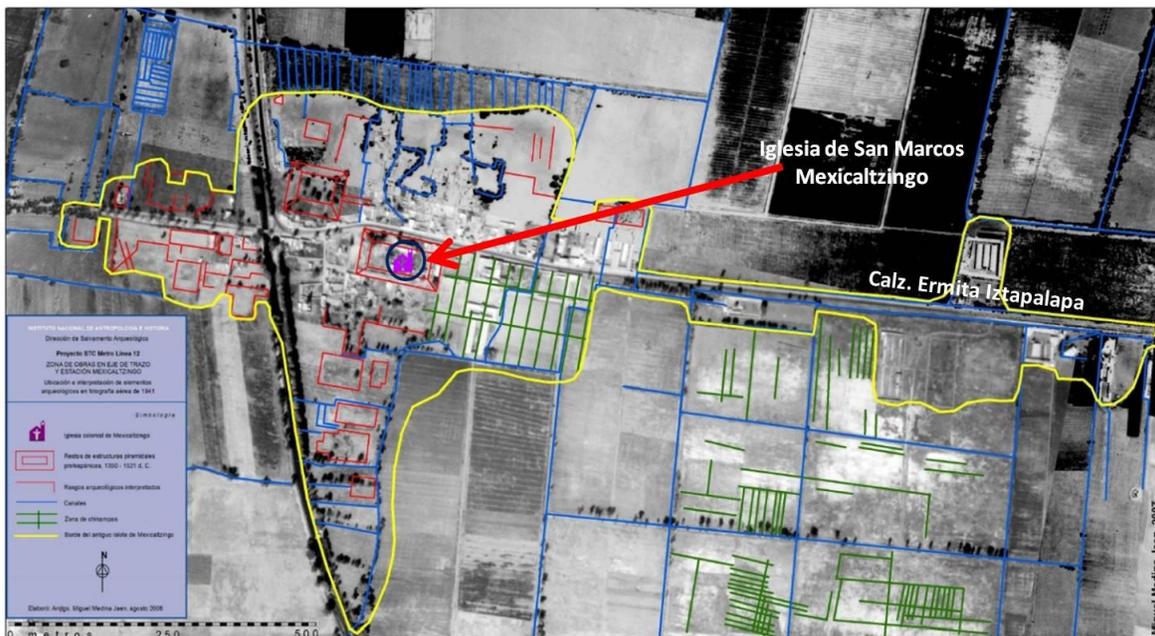


Figura 2.21. Arreglo geométrico del antiguo tlattel de Mexicaltzingo, M. Medina (2007).

3. Xochimilco

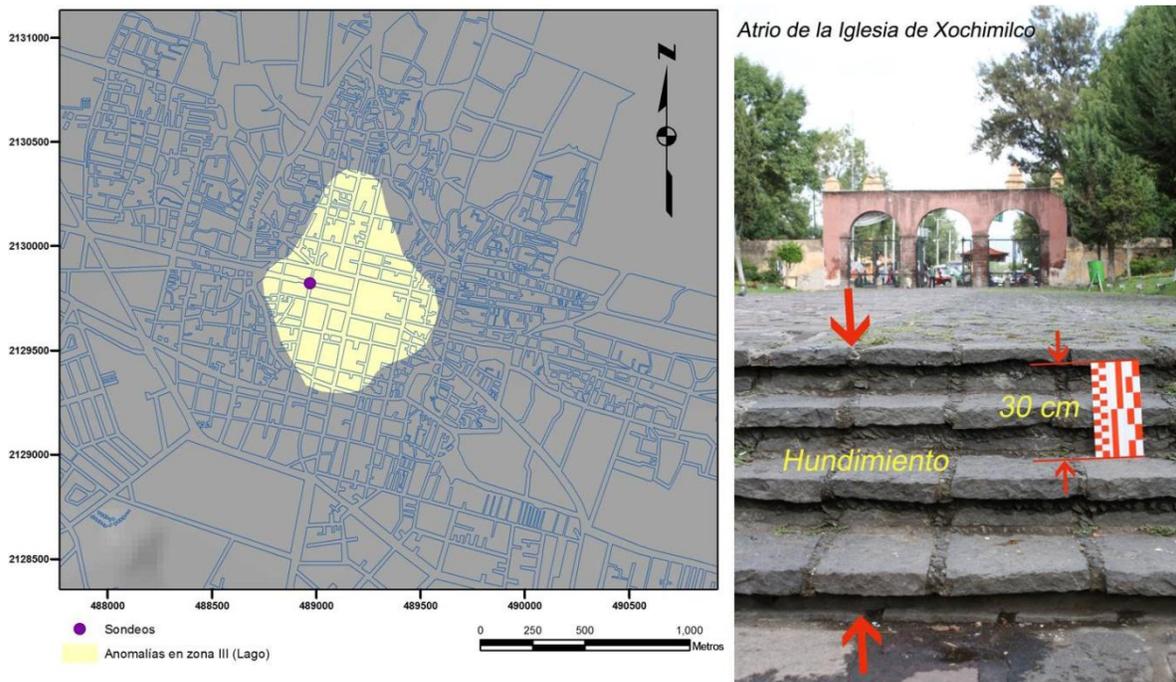


Figura 2.20. Tlattel de Xochimilco.

Tabla 2.22. Sondeo geotécnico del sitio en donde se ubica el tlattel de Tlahuac, obtenido de SMMS 1978.

Clave del sondeo	Longitud m	Prof. NAF m	Formación superficial			Formación 1		
			SUCS	w %	Profundidad m	SUCS	w %	Profundidad m
3280	53.2	2.2	Relleno		4.5	CH y MH	185	53.2

4. Cuitláhuac (Tláhuac)

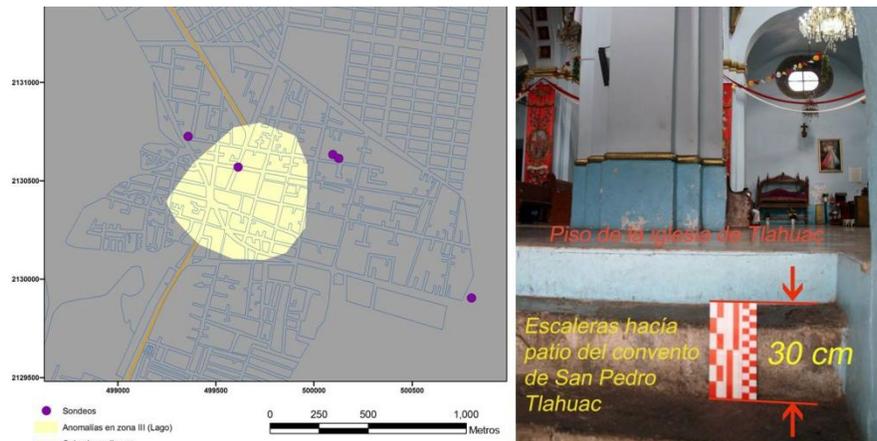


Figura 2.21. Tlatel de Cuitláhuac.

Tabla 2.23. Sondeo geotécnico del sitio donde se ubica el tlatel de Cuitláhuac, obtenido de SMMS 1978.

Clave del sondeo	Longitud m	Prof. NAF m	Formación superficial			Formación 1		
			SUCS	w %	Profundidad m	SUCS	w %	Profundidad m
3285	41	0.7	OH		5.5	OH	16	

Otros cinco tlateles (figura 2.22), parecen corresponder a poblaciones prehispánicas de tamaño medio y posiblemente tuvieron la función de controlar la entrada a la capital azteca. Aunque algunos presentan menciones anteriores a la fundación de Tenochtitlán, se considera que estos tlateles se desarrollaron de manera contemporánea a dicha ciudad. Las exploraciones geotécnicas muestran que estos sitios presentan importantes espesores de relleno.

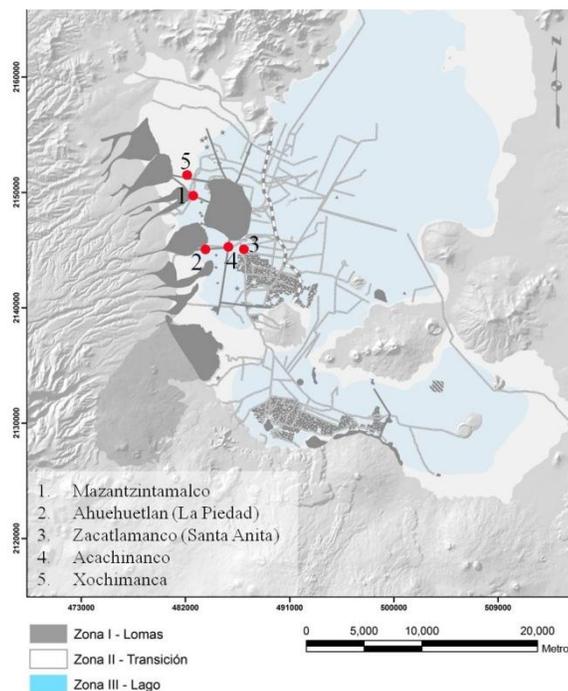


Figura 2.24. Tlateles de tamaños medio.

En las láminas siguientes se muestran, un sondeo geotécnico y una fotografía, que dan evidencia de la presencia de las anomalías en los tlateles de tamaño medio.

1. Mazantzintamalco (cruce de Av. México-Tacuba con Circuito Interior).

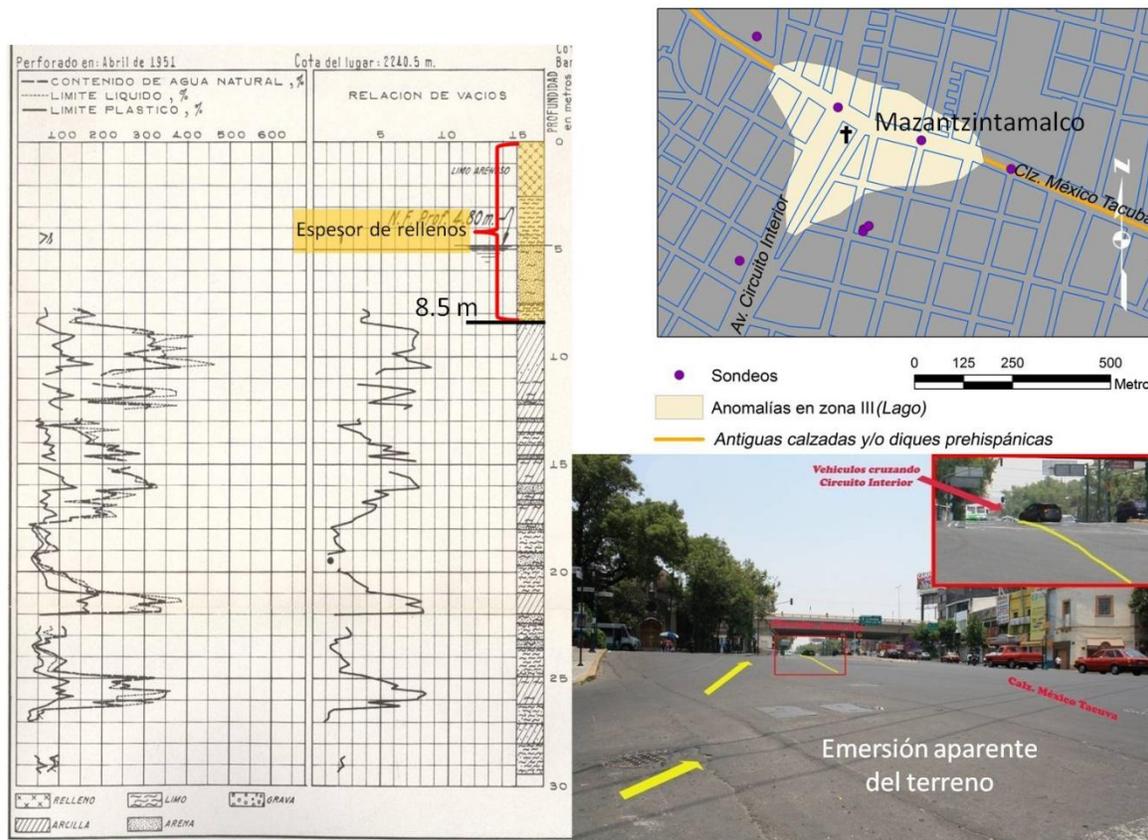


Figura 2.25. Tlatel de Mazantzintamalco.

2. Ahuehuetlan (cruce de Av. Cuauhtémoc y Obrero Mundial).



Figura 2.26. Tlatel de Ahuehuetlan.

Tabla 2.3. Sondeos geotécnicos del sitio en donde se ubica el tlatal de Ahuehuetlan, obtenido de SMMS 1970.

Clave de sondeo	Longitud m	Prof. NAF m	Manto superficial		FAS		Primera capa resistente				
			Espesor m	w %	Espesor m	w %	Profundidad m	Espesor m	w %	N	SUCS
2958	37.8	2	9.4	80	22.5	300	31.9	4.1	50	40	ML y CH
2959	36.4	2	7.2	80	25.2	300	32.4	>4	80	12	CH

4. Zacatlamanco (Santa Anita).



Figura 2.27. Tlatal de Zacatlamanco.

Tabla 2.4. Sondeo geotécnico del sitio en donde se ubica el tlatal de Zacatlamanco, obtenido de SMMS 1970.

Clave de sondeo	Longitud m	Prof. NAF m	Manto superficial		FAS		Primera capa resistente				
			Espesor m	w %	Espesor m	w %	Profundidad m	Espesor m	w %	N	SUCS
2850	36.2	4	5.8	60	30.2	375	35	>2	40	>60	ML

6. Acachinanco (Cruce de Viaducto y Calz. de Tlalpan).



Figura 2.28. Tlatel de Acachinanco.

7. Xochimanca.



Figura 2.29. Tlatel de Xochimanca.

Tabla 2.5. Sondeo geotécnico del sitio en donde se ubica el tlatel de Xochimanca, obtenido de una fuente bibliográfica.

Clave de sondeo	Longitud m	Prof. NAF	Manto superficial		FAS		Primera capa resistente				
			Espesor m	w %	Espesor m	w %	Profundidad m	Espesor m	w %	N	SUCS
2918	26	1.5	8.5	70	5	180	13.5	6	75	>60	ML y SM

En nueve de los tlateles señalados por L. González A. (figura 2.30), no se contó con exploraciones geotécnicas como evidencia sustancial de la existencia de anomalías, pero otras evidencias (emersión aparente del terreno, daño en estructuras, desplome, etc.) dan muestra de la posible existencia de estas. Las visitas de campo y mapas antiguos son ejemplo de las evidencias de la presencia de las anomalías en estos tlateles.

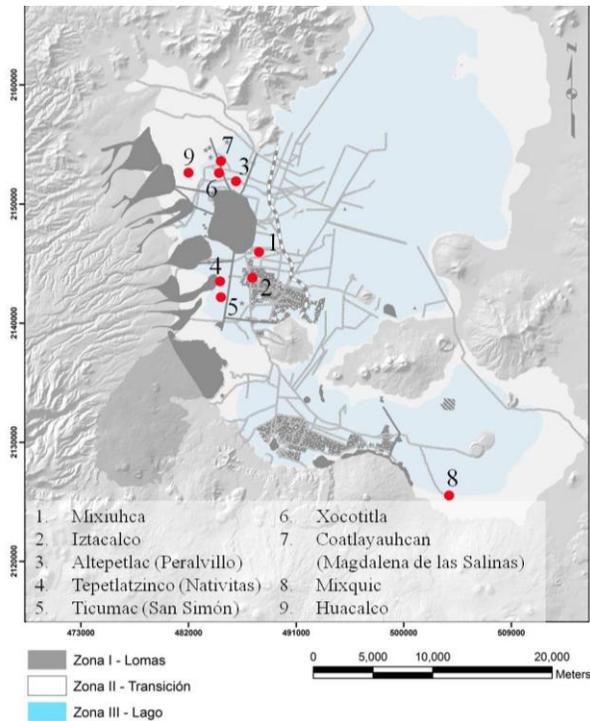


Figura 2.30. Posibles anomalías de tipo tlattel.

1. Mixiuhca.



Figura 2.31. Tlatel de Mixiuhca en diversos años.

2. Iztacalco.

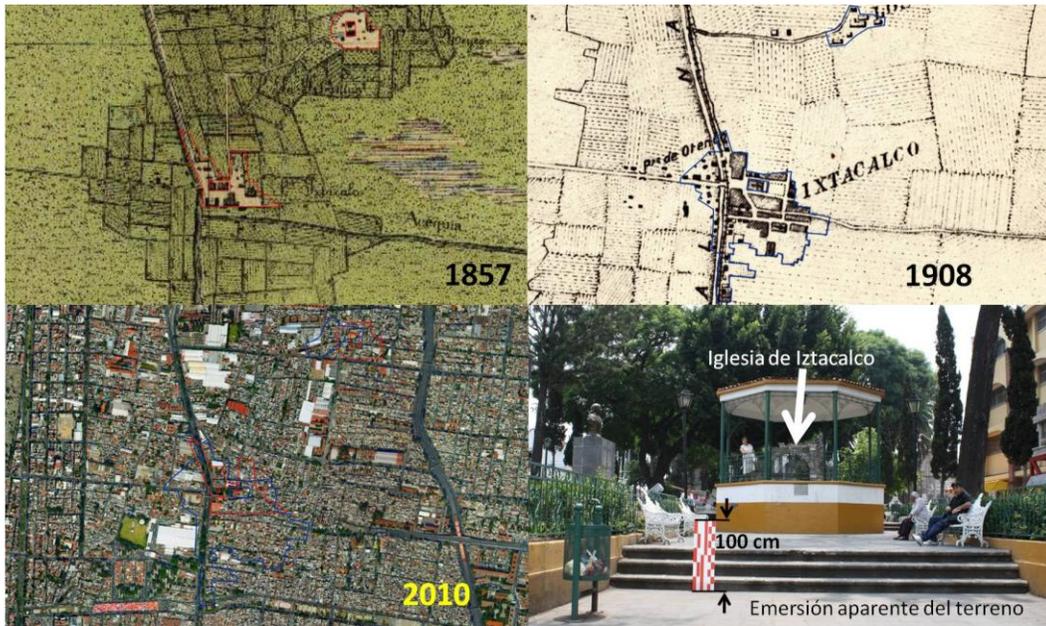


Figura 2.32. Tlatel de Iztacalco.

3. Altepétlac (Col. Peralvillo).

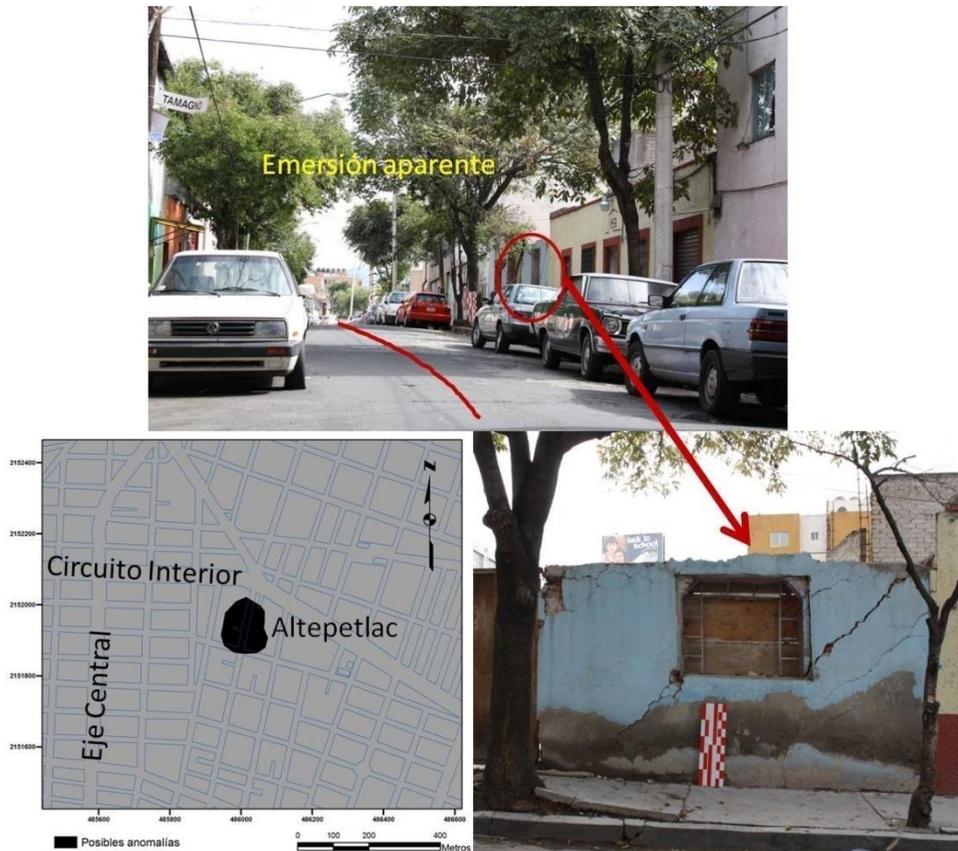


Figura 2.33. Evidencias del tlatel de Altepétlac.

4. Tepetlatzinco (Nativitas).



Figura 2.34. Tlatel de Tepetlatzinco.

5. Ticumac (San Simón).

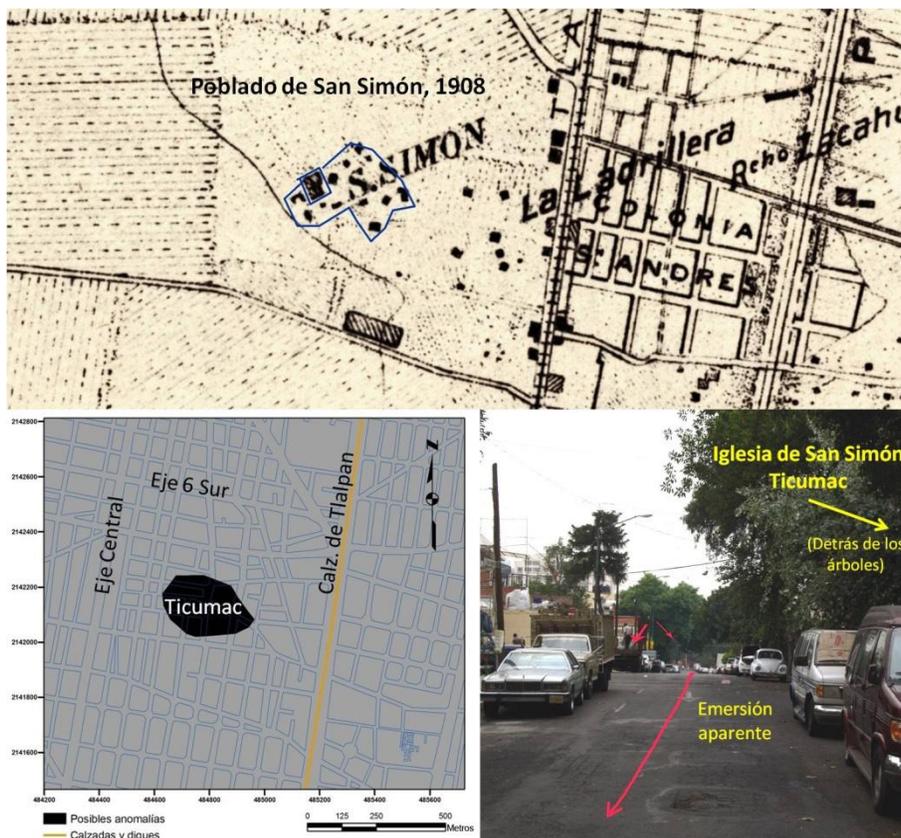


Figura 2.35. Tlatel de Ticumac.

6. Xocotitla.

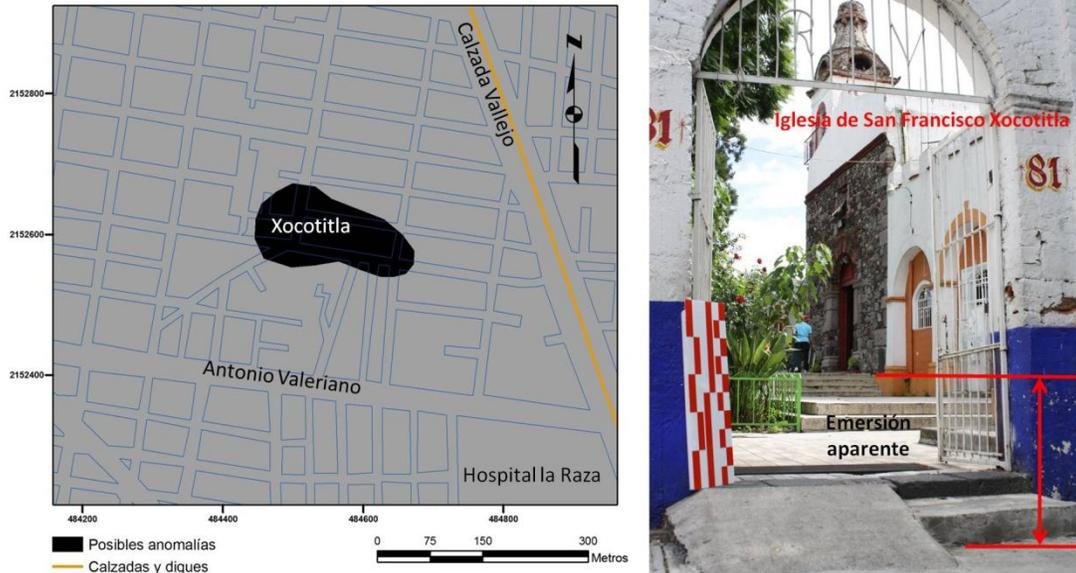
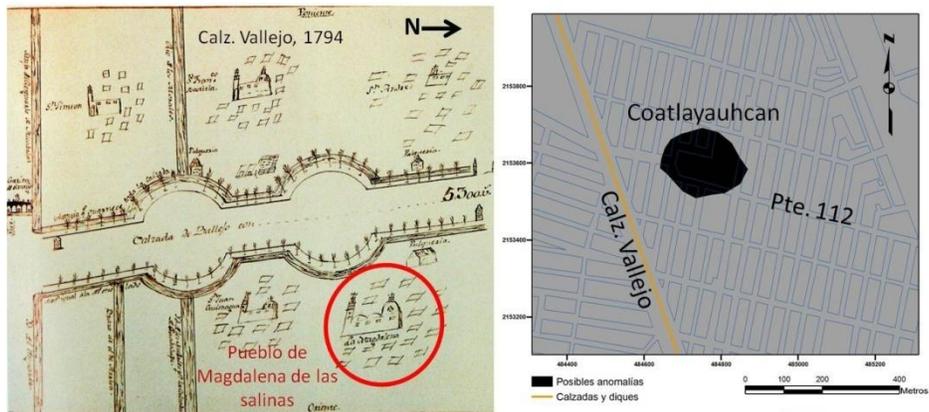


Figura 2.36. Iglesia sobre el tlitel de Xocotitla.

7. Coatlayauhcan (Magdalena de las salinas).



Atrio de la Iglesia de Magdalena de las Salinas



Figura 2.37. Tlitel de Coatlayauhcan. Plano de J. M. de la Riva, 1794.

8. Mixquic.

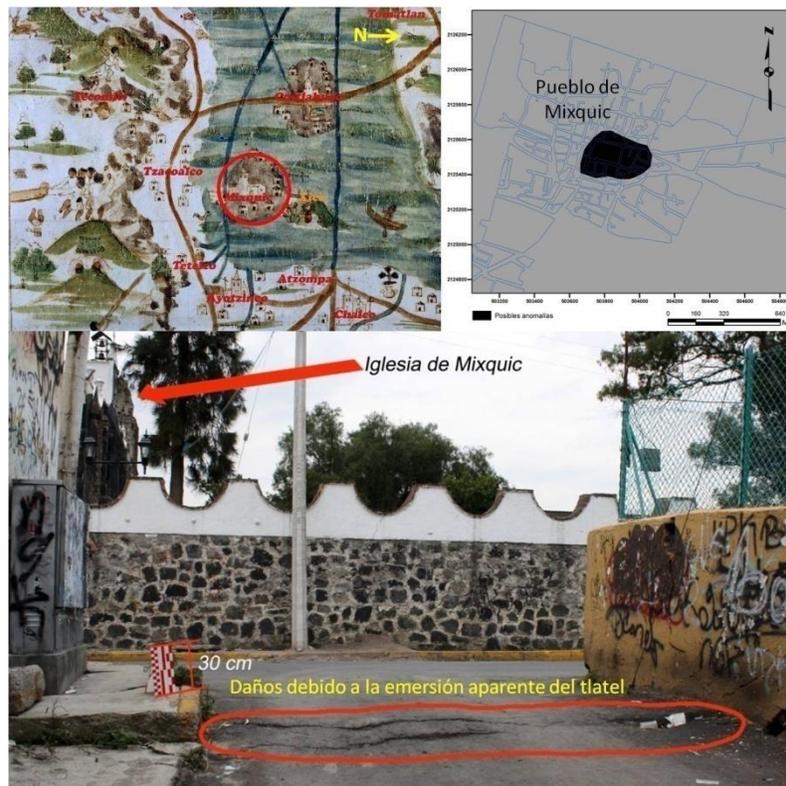


Figura 2.38. Tlatel de Mixquic. Mapa atribuido a Alonso de Santa Cruz, 1555.

9. Huacalco.



Figura 2.39. Tlatel de Huacalco. Plano de la Ciudad de México y sus alrededores, 1908.

Los restantes doce tlateles (figura 2.40), no presentaron suficientes evidencias como para indicar la existencia de anomalías geotécnicas importantes. Sin embargo, se sabe que llegaron a ser pequeños asentamientos humanos, según el INAH. Solo con nuevos sondeos geotécnicos, se tendrá la certeza de la condición de estos sitios.

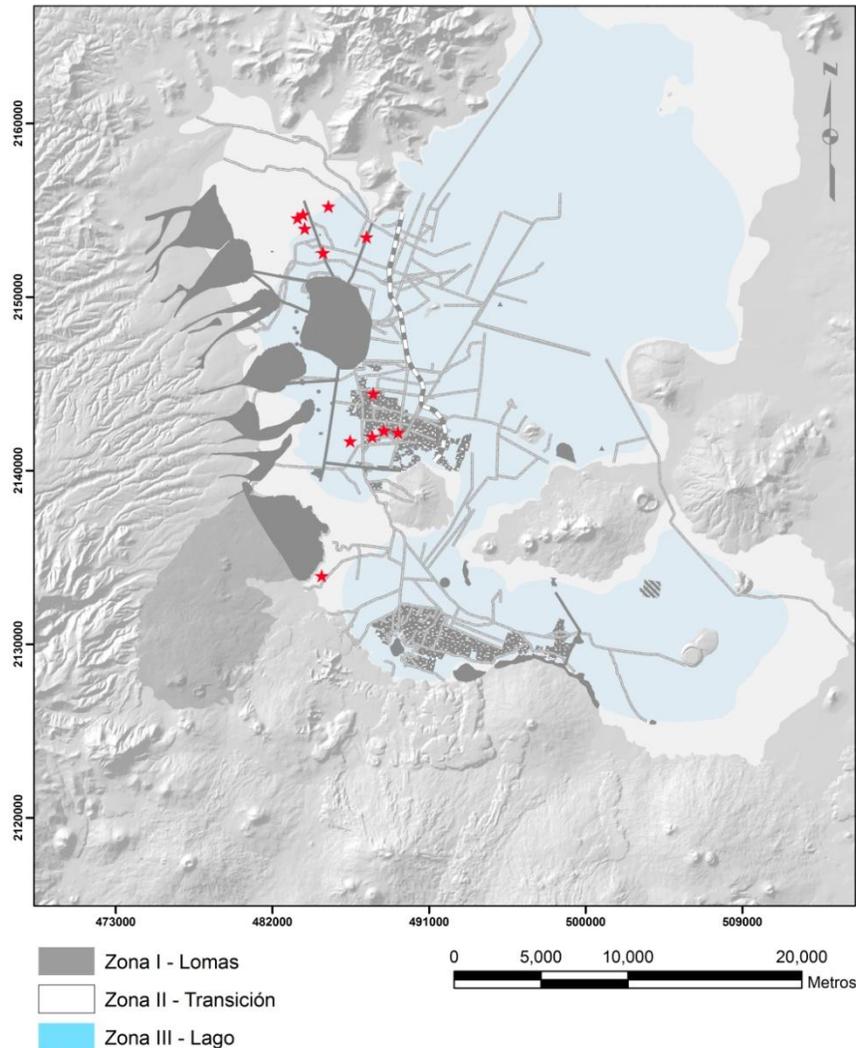


Figura 2.40. Sitios sin evidencias de tlatel.

-Calzadas y diques

La función principal de las calzadas-dique consistía en la protección y manejo de las aguas de los lagos que rodeaban los distintos islotes y chinampas. Como segunda función, permitían la comunicación entre los pobladores inmersos en el interior de los lagos con tierra firme (Carballal y Flores, 1989).

Las calzadas-dique prehispánicas eran construidas sobre el lecho de los lagos con materiales diversos, como arenas, gravas, y rocas, traídos de las zonas ribereñas. Gran número de estas anomalías, han servido de trazo para actuales avenidas en la ciudad de México. Esto se debe a que los conquistadores españoles aprovecharon la infraestructura ya existente, de estas calzadas. Los trabajos realizados por M. Carballal (1989), sirvieron de base para evidenciar estas anomalías.

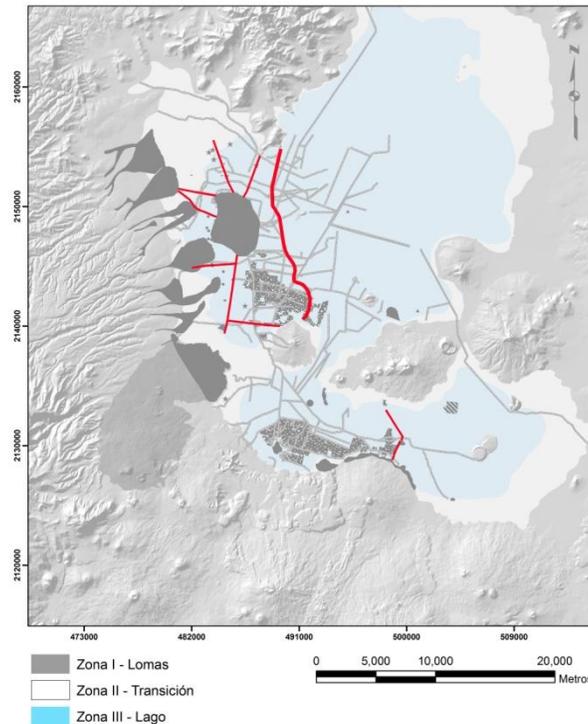


Figura 2.41. Calzadas-dique estudiadas.

Las calzadas-dique estudiadas son: Calzada Tepeyac, actualmente Calz. de los Misterios (figura 2.42); Calzada Tenayuca, actualmente Calzada Vallejo; Calzada Nonoalco, actualmente Ferrocarriles Nacionales (Figura 2.43); Calzada Ixtapalapa, actualmente Calzada de Tlalpan; Calzada Mexicaltzingo, sección de la actual Calzada Ermita-Iztapalapa; Calzada México-Tacuba; Calzada Cuitlahuac, sección de la actual Av. Tlahuac; Calzada Xola, actual Av. Obrero Mundial; y la albarrada de Nezahualcóyotl.

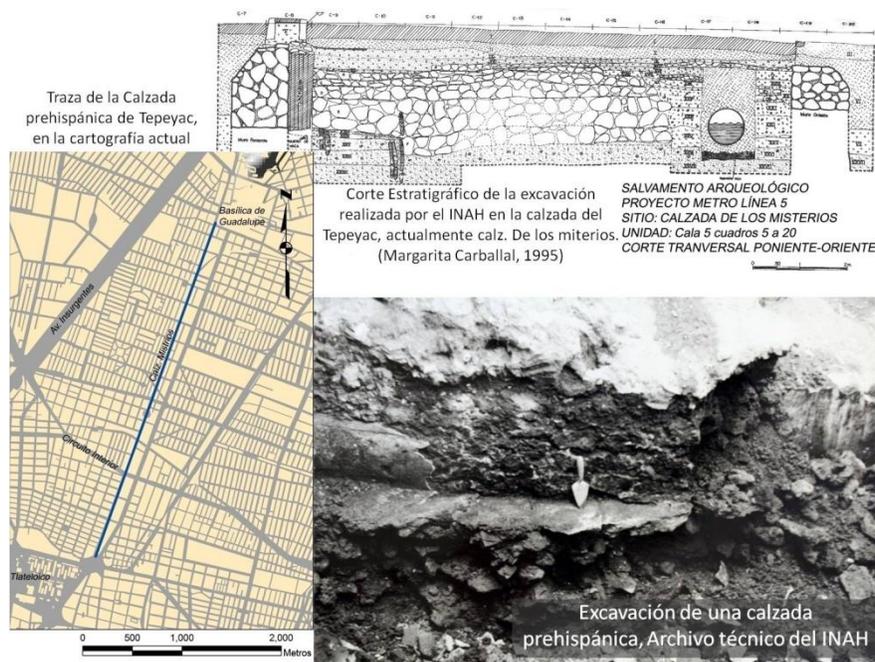


Figura 2.42. Calzada-dique de Tepeyac, actualmente Calz. de los Misterios.

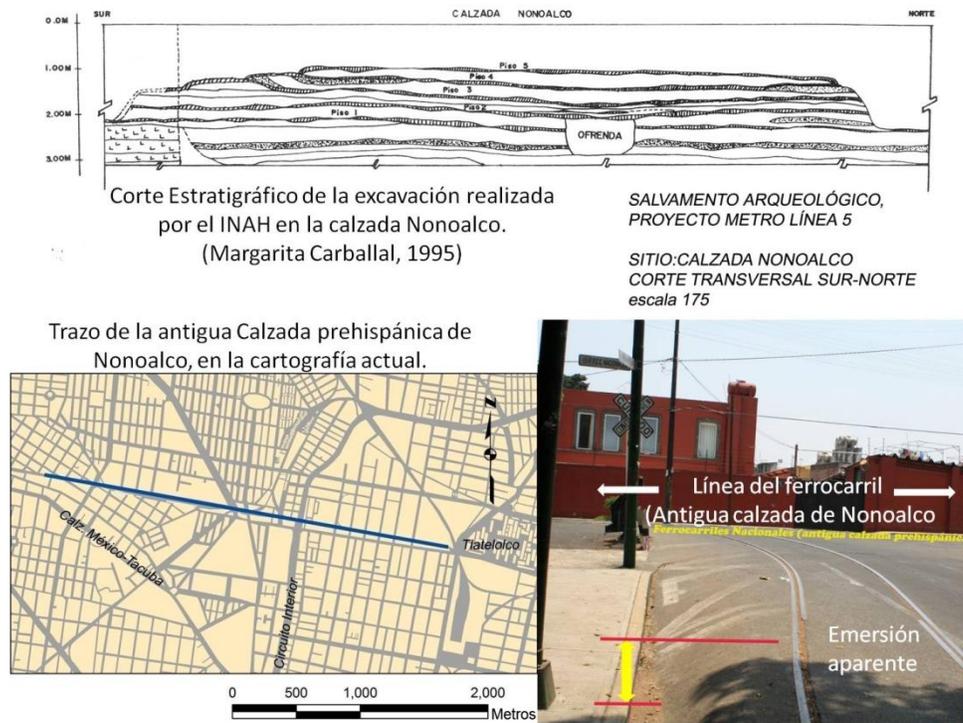


Figura 2.43. Calzada-dique de Nonoalco.

La Calzada México-Tacuba es un caso especial, ya que durante muchos años fue una de las principales avenidas que llegaban a la ciudad de México. A finales de la década de 1960, se llevó a cabo la primera etapa del Metro, con la construcción de la línea 2 (solución cajón) que sigue el trazo de la calzada prehispánica, lo que destruyó gran parte de los restos arqueológicos de esta calzada.

En algunas calzadas-dique, como Calzada Vallejo y Calzada de Tlalpan, el ancho de la calzada-dique era menor que la actual avenida, por lo que es fácil apreciar la emersión debida al hundimiento regional y a la presencia de la antigua calzada prehispánica (Figura 2.44).



Figura 2.44. Calzada Vallejo, en donde se observa la emersión de los rellenos de la calzada prehispánica.

No fue posible definir de manera precisa el trazo de la antigua albarrada construida por Nezahualcóyotl; sólo se cuenta con trazos aproximados (por ejemplo los propuestos por Tito Rosas, 1869 y L. G. Aparicio, 1968) y una sección transversal. Después de la caída del “imperio” Mexica, la albarrada fue abandonada, y durante muchos años sirvió como banco de materiales. Cabe señalar que dos sondeos geotécnicos ubicados cerca del trazo aproximado, reportan espesores importantes de limo que se pueden asociar a materiales que se azolvieron por la presencia de la albarrada.



Figura 2.45. Plano en el que se marca la antigua albarrada de los Indios, Tito Rosas, 1862.

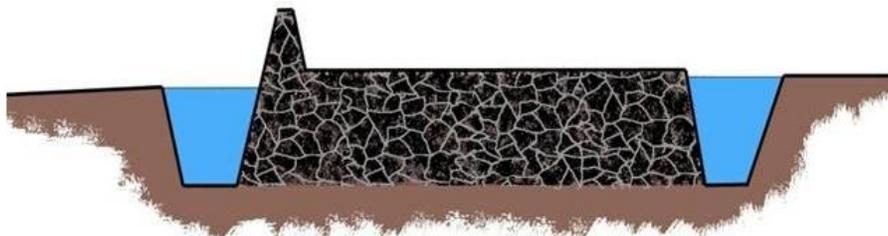


Figura 2.46. Sección de la Albarrada de Nezahualcóyotl según Tito Rosas, 1869.

-Chinampas

Las chinampas son segmentos de tierra y materiales diversos contruidos artificialmente en las zonas lacustres, cuya función consistía en extender las áreas de cultivo y aumentar la productividad a manera de tierras con riego. Estos segmentos conforman actualmente estratos de suelo con gran cantidad de materia orgánica sobre el lecho de los antiguos lagos, que difieren del modelo estratigráfico de Marsal y Mazari. Existen dos sub-zonas de anomalías tipo chinampas, la primera comprende Mixiuhca, Iztacalco e Iztapalapa y la segunda a Xochimilco y Tlahuac (figura 2.47). Actualmente, las chinampas sólo se encuentran en zonas específicas de las delegaciones Xochimilco y Tlahuac, tendiendo a desaparecer.

Los métodos constructivos de chinampas es por muchos, bien conocido, que incluso hoy en día persiste esta técnica en algunos lugares al sur de la ciudad de México. El primer paso a realizar es la colocación de estacas de madera marcando el perímetro de la chinampa. Una vez marcado el perímetro se tomaban materiales de las orillas de los lagos y se llevaban en canoa para depositarlos en las “zanjas” de estacas, para formar así el cuerpo de la isla. Una vez alcanzado cierto nivel se completaba el relleno con lodos y sedimentos del fondo de los lagos para finalizar el terraplén. Posteriormente se sembraban un tipo de arboles llamados Ahuejotes, los cuales cuentan con raíces profundas que sujetan el suelo, mejorando la estabilidad de las chinampas.

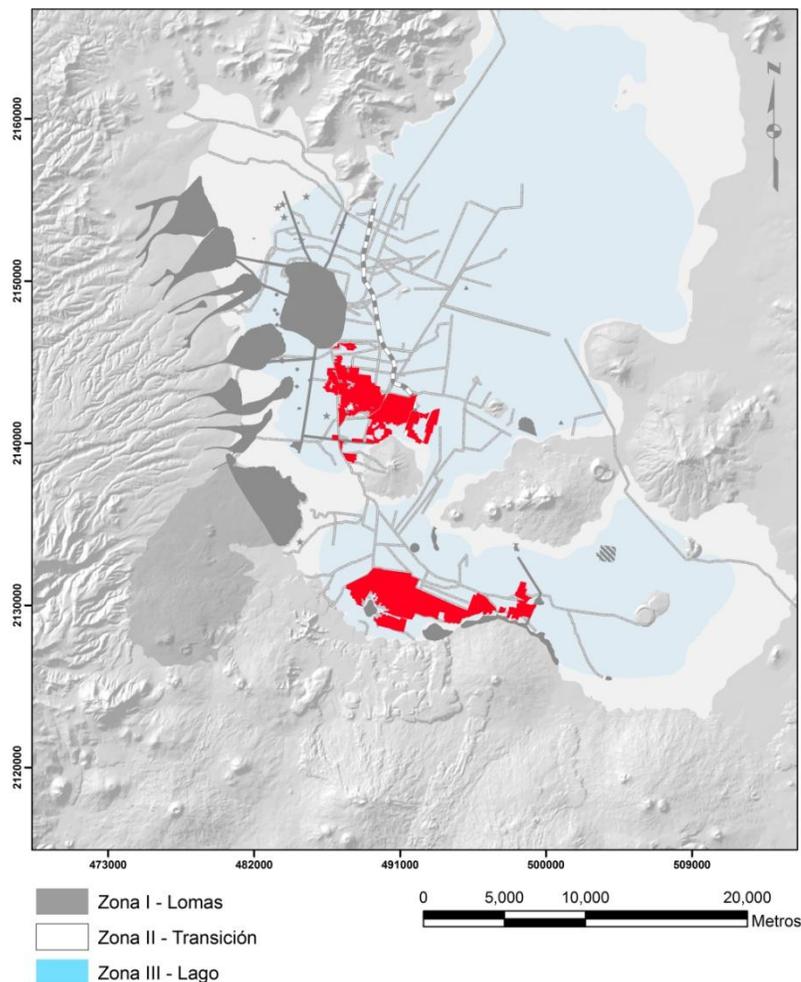
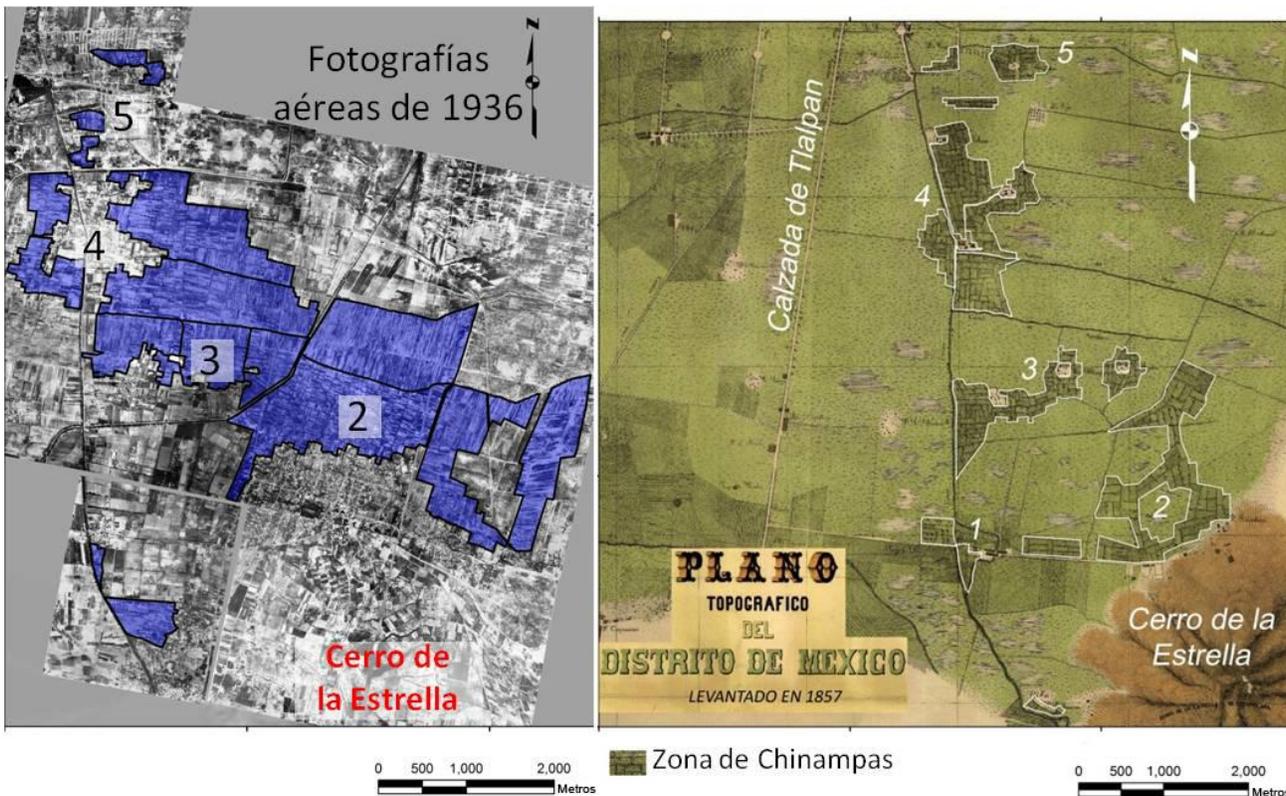


Figura 2.47. Distribución espacial de Chinampas

Este grupo de anomalías no se encuentra mencionado en el trabajo de L. González, pero su distribución espacial quedó plasmada en los mapas antiguos, tal y como se ilustra en las figuras 2.48 y 2.49.



1	Chinampas de Mexicaltzingo	5	Chinampas de Magdalena Mixiuhca
2	Chinampas de Iztapalapa	6	Chinampas de Xochimilco
3	Chinampas de Tetepilco, San Juanico y Aculco	7	Chinampas de Tlahuac
4	Chinampas de Iztacalco		

Figura 2.48. Fotografías áreas de la Cia. Aerofoto, 1936. Plano Topográfico de la Ciudad de México, 1857.



Figura 2.49. Zona de chinampas Xochimilco-Tlahuac, “Estudio preliminar para la restauración de las chinampas”, 1973.

Anomalías coloniales y recientes

-Otros tlateles

No todos los tlateles presentes en el valle de México fueron construidos por los pueblos prehispánicos, el grupo del Laboratorio de Geoinformática ha identificado otros tres tlateles: Tepozan, Los Barcos y uno moderno al que se le ha dado el nombre de “Cartolandia”.

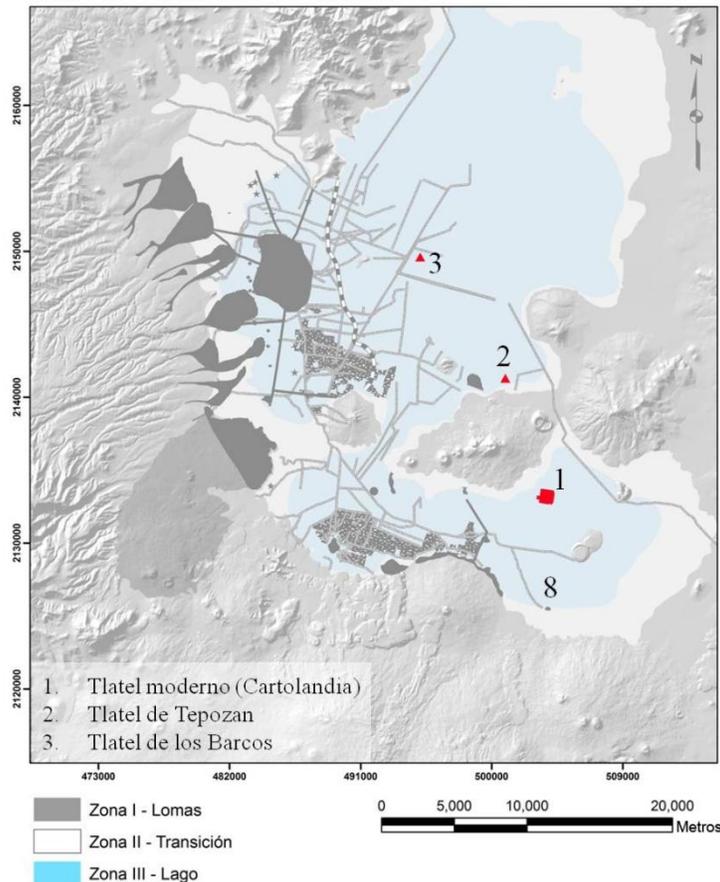


Figura 2.50. Tlateles no prehispánicos

En el ex lago de Texcoco se identificaron dos tlateles de origen desconocido, que fueron empleados como mojoneras desde mediados del siglo XIX, para delimitar el Distrito Federal del Estado de México (figura 2.51).

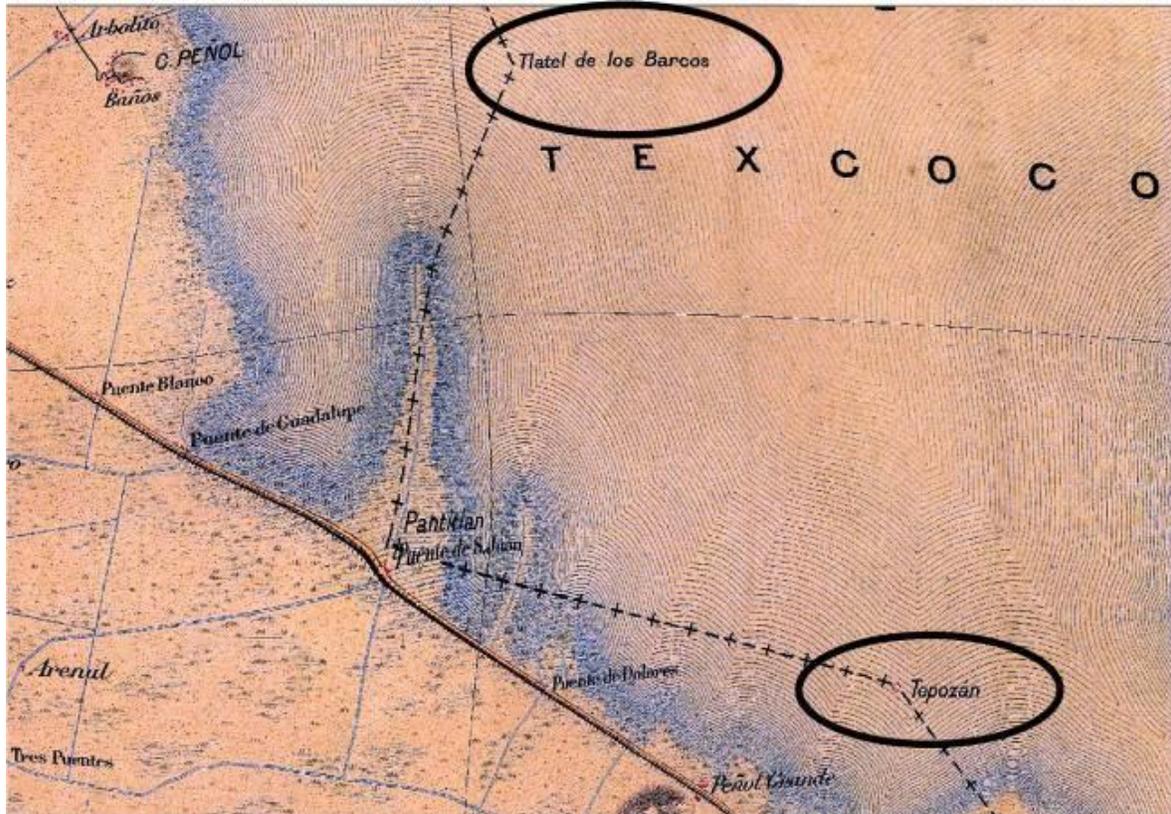


Figura 2.51. Tlatel de los barcos y Tepozán en la Carta Corográfica del Distrito Federal, Fernández Leal, 1899.

En el tlatel de Tepozán, que se ubica sobre la avenida Texcoco, se generan grietas de transición abrupta, las cuales son de las más dañinas para las edificaciones en general, tal como se muestra en las fotografías de la figura 2.52.



Figura 2.52. Grietas en los alrededores del tlatel de Tepozán

Recientemente se ha identificado el surgimiento de un relleno no controlado conformado por materiales de cascajo y basura, que constituye un tlattel moderno, en el que se desplantan progresivamente viviendas hasta conformar una colonia perdida. Este tlattel se ubica en la colonia Ampliación San Miguel Tlahuac en el límite del Distrito Federal y el Estado de México y que el grupo del Laboratorio de Geoinformática le ha denominado “tlattel Cartolandia”. En la lámina de la figura 2.53 se observa que aún continúa el crecimiento desordenado de la ciudad y de los municipios conurbados del Estado de México.



Figura 2.53. Crecimiento desordenado de la ciudad en zonas de Tlahuac y Chalco.

En la figura 2.54, se presenta un acercamiento que ilustra el surgimiento de un relleno no controlado en la colonia Ampliación San Miguel Tlahuac.



Figura 2.54. Surgimiento de un relleno no controlado en la colonia Ampliación San Miguel Tlahuac.

En la figura 2.55, se observa la construcción del tlattel moderno, que consiste en el vaciado a volteo de materiales de desecho no controlados, formando un extenso relleno.



Figura 2.55. Camiones de volteo que dan lugar al tlattel moderno.

-Canales

Los pobladores del periodo prehispánico construían canales para poder cruzar la zona de los lagos en época de estiaje. Existen evidencias de este tipo de canales como los que se aprecian en el mapa de 1555 atribuido a Alonso de Santa Cruz que se encuentra en la Universidad de Upsala, Suecia (figura 2.56).



Figura 2.56. Sección del mapa de Upsala mostrando antiguos canales en la zona del lago.

Durante la colonia y en los siglos XIX y XX, debido al proceso de desecación de los lagos que rodeaban a la ciudad de México, fue necesaria la construcción de canales para conducir el agua proveniente de las laderas de las montañosas que circundan la Cuenca de México, hacia el lago de Texcoco, que era la zona más baja de la cuenca.

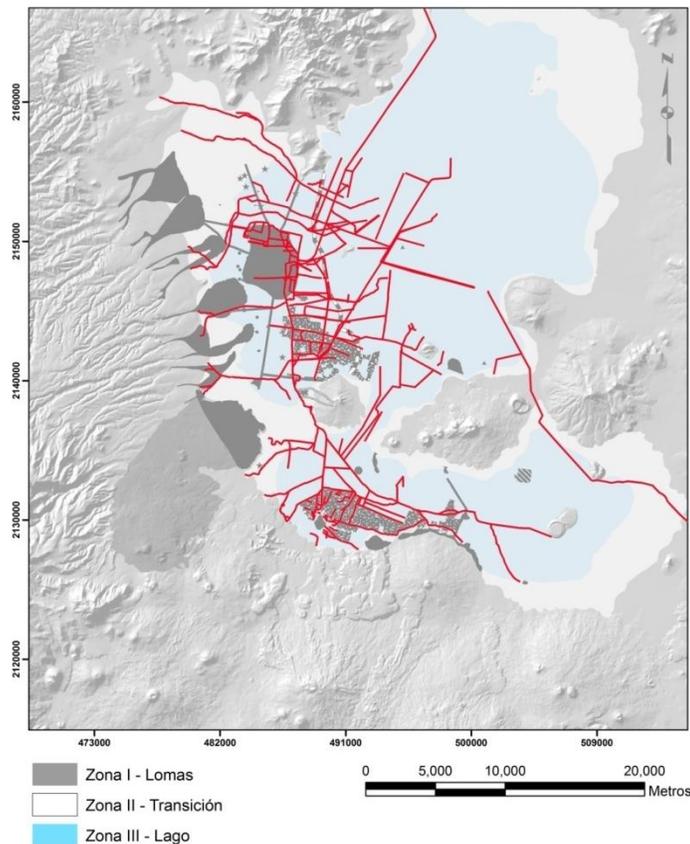


Figura 2.57. Distribución espacial de los principales canales.

Los antiguos cauces de canales construyen por tanto otras de las anomalías frecuentemente encontradas en el subsuelo de la ciudad. En el fondo de los cauces de los canales se depositaron azolves constituidos por materiales limosos con espesores variables sobre el lecho de los antiguos lagos, que difieren del modelo estratigráfico de Marsal y Mazari, tal y como ocurre en las presas. Además, con la explosión demográfica en la ciudad a mediados del siglo XX, se inició el relleno y/o entubamiento de cauces en la zona urbana con el propósito de mejorar las condiciones sanitarias aprovechando en muchas ocasiones estos espacios para dar alojamiento a grandes vialidades y con ello mejorar la estética urbana de la ciudad (figuras 2.58 y 2.59).



Figura 2.58. Relleno y entubamiento de canales a mediados del siglo XX.

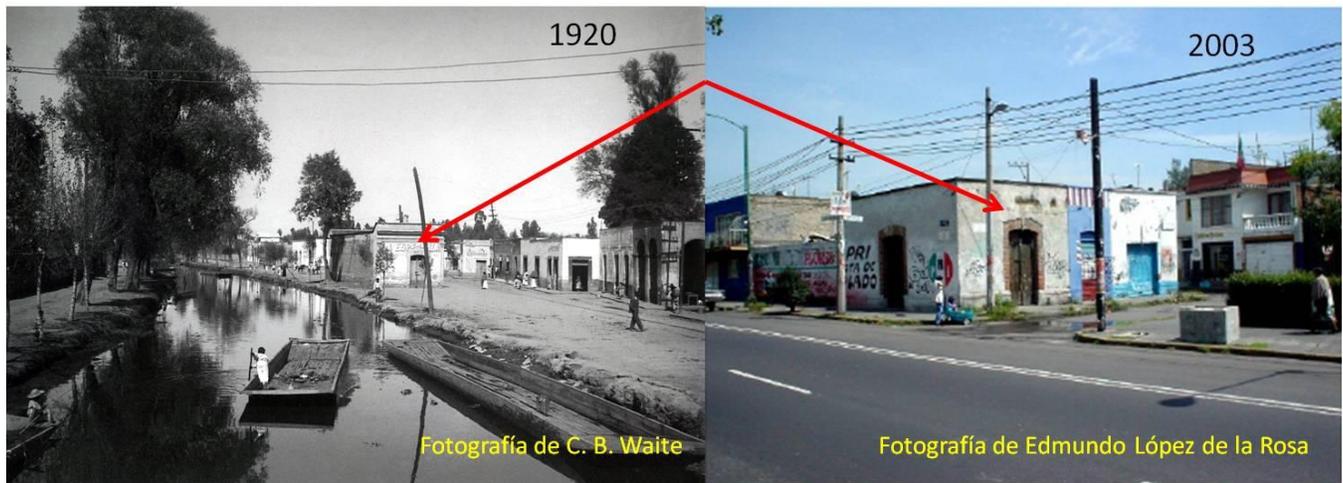


Figura 2.59. Canal de la Vega a la altura del pueblo de Iztacalco en la década de 1920 y en 2003.

-Cimentaciones abandonadas

En toda la ciudad existen predios en los que se encuentran cimentaciones abandonadas después de la demolición de construcciones originales que tienen implicaciones importantes en el diseño de la cimentación de edificaciones nuevas construidas en el mismo sitio.

Así, en la delegación Cuauhtémoc, es posible encontrar vestigios sepultados de instalaciones sanitarias, cimentaciones y construcciones pertenecientes al periodo colonial. El propio Palacio de Bellas Artes fue construido sobre los restos de la cimentación del Convento de Santa Isabel. En la figura 2.60 se muestran las estacas encontradas durante la excavación.



Figura 2.60. Construcción del Palacio de Bellas Artes en donde se encontraron los vestigios de una cimentación colonial, 1904.

Durante los sismos del 28 de julio de 1957 y del 19 de septiembre de 1985 un número importante de edificios colapsaron o fueron derrumbados posteriormente. La mayoría de los predios, que alguna vez ocuparon estos edificios, han sido utilizados como parques, estacionamientos y construcciones ligeras de un nivel (figuras 2.61 y 2.62). Sin embargo, también se han construido edificios nuevos en algunos de estos predios. En este caso las cimentaciones de los edificios anteriores que han quedado en el subsuelo plantean dificultades técnicas y económicas por el alto costo que representa retirarlas.

En la investigación realizada para el presente trabajo se identificaron 71 predios con cimentaciones abandonadas de edificios caídos durante los sismos del 28 de julio de 1957 y del 19 de septiembre de 1985 o derrumbados posteriormente (figura 2.61), a partir de los trabajos: “Estudio estadístico de daños ocasionados por el sismo del 28 de julio de 1957”, Departamento del Distrito Federal (1960) y “Evaluación de los efectos de los sismos de septiembre de 1985 en los edificios de la ciudad de México”, Meli, Miranda y Rigaud (1986).

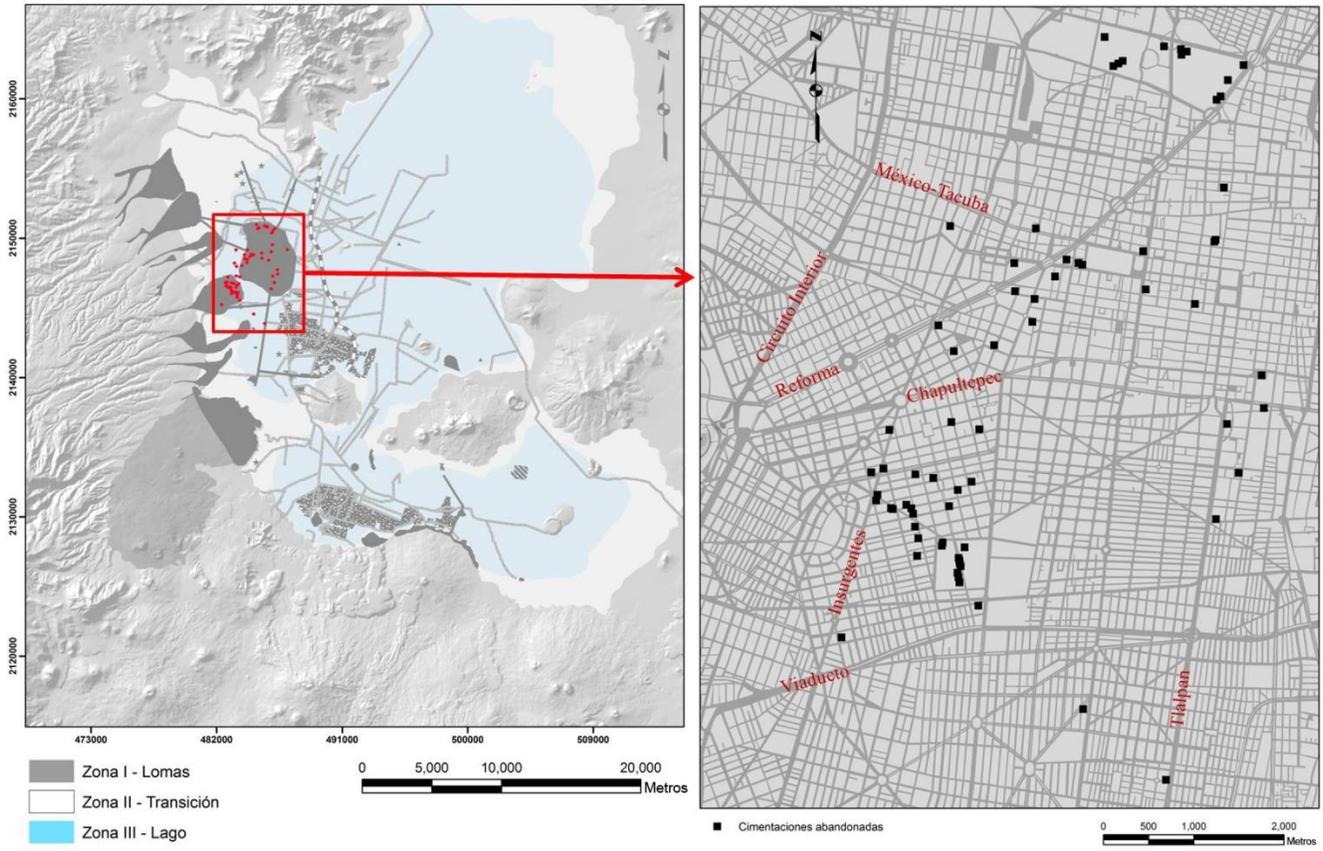


Figura 2.61. Cimentaciones abandonadas.



Figura 2.62. Emersión aparente de una cimentación abandonada en el cruce de Insurgentes y Yucatán.



Figura 2.63. Emersión aparente de la cimentación del antiguo Hotel Regis.

En el Anexo F se presenta más información relacionada con los 71 predios con cimentaciones abandonadas.

2.3. Implicaciones en la ingeniería geotécnica

2.3.1. Importancia de las anomalías en el diseño geotécnico

Las características excepcionales de los suelos blandos del Valle de México siempre han dificultado la labor de los constructores. La presencia de anomalías introduce dificultades adicionales en los diseños geotécnicos. En efecto las anomalías pueden afectar de manera negativa al comportamiento de las estructuras, debido a que éstas modifican sustancialmente las características del subsuelo.

La presencia de anomalías puede tener diferentes efectos:

- Agrietamiento asociado al hundimiento regional en zonas de transición abrupta entre anomalías y suelos blandos. Esto se puede observar a lo largo de la cara poniente de la Loma de San Luis, también se observan los daños ocasionados a lo largo del tiempo a las estructuras de la Ex Hacienda de San Nicolás Tolentino (figura 2.64).

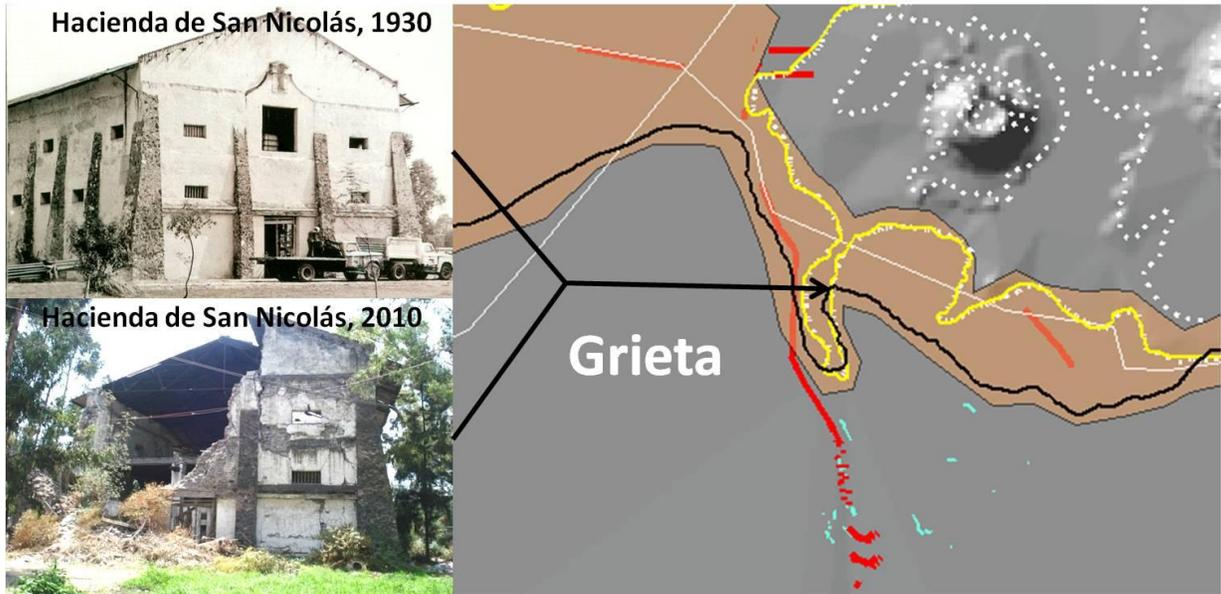


Figura 2.64. Daños ocasionados por la generación de una grieta en la Loma de San Luis.

- Asentamientos diferenciales de construcciones desplantadas parcialmente en ellas y en suelos blandos. Lo anterior se ilustra con la figura 2.65, donde se observa el fuerte desplomo del antiguo convento de Churubusco que quedo desplantado parte sobre los rellenos del tlatal de Huitzilopochco y parte sobre los suelos blandos.

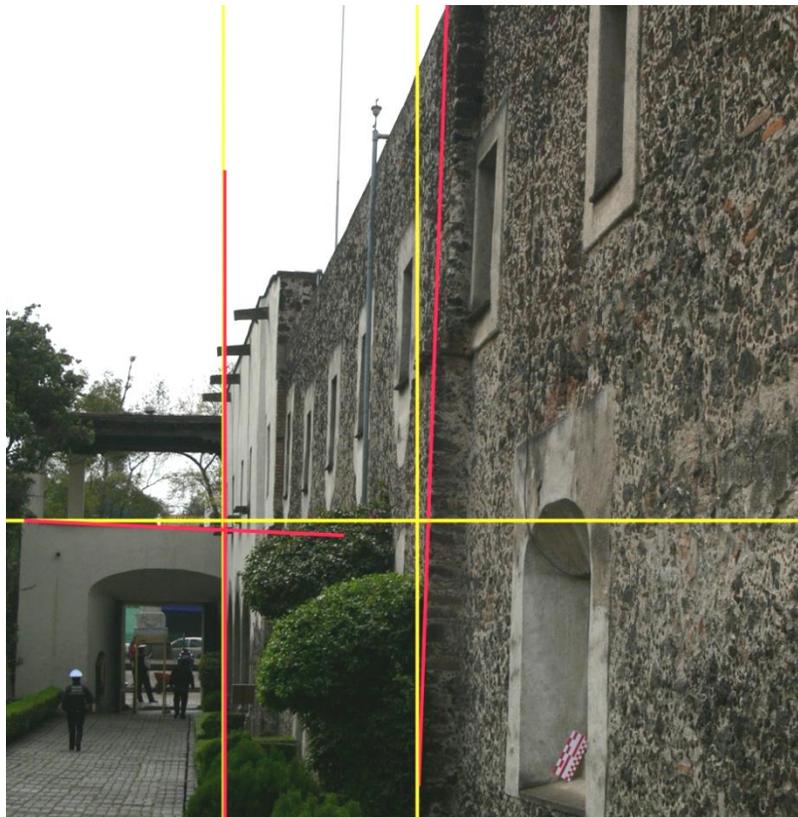


Figura 2.65. Desplome del Museo Nacional de las Intervenciones, antiguo convento de Churubusco.

- Emersión aparente de algunas anomalías donde el terreno que la circunda se hunde con mayor celeridad que los suelos debajo de la anomalía (fuertemente consolidados), como se ilustra en la figura 2.66. que muestra la emersión del tlatal de Ahuehuetlan ubicado en el cruce de Av. Cuauhtémoc y Obrero Mundial.



Figura 2.66. Emersión aparente del terreno en el tlatal prehispánico de Ahuehuetlan.

- Alteración de la respuesta sísmica del terreno por variaciones en el perfil estratigráfico y en las velocidades de transmisión de ondas.
- Emersión de cimentaciones abandonadas como en el caso de la figura 2.67 que muestra la emersión de una cimentación abandonada en la esquina de Isabel la Católica y 16 de septiembre. La presencia de cimentaciones abandonadas induce además desplomos en las edificaciones vecinas.



Figura 2.67. Emersión aparente de una cimentación abandonada en el centro de la ciudad.

El conocimiento de la existencia de las anomalías geotécnicas, es de gran relevancia y valor para los diseñadores y constructores, debido a:

La presencia de anomalías ha sido causa de múltiples problemas de comportamiento de cimentaciones que por ende ocasionan daños estructurales en las edificaciones. Como ejemplo, se puede mencionar el caso del centro histórico, donde la existencia de rellenos prehispánicos de gran espesor (anomalía), que ocasiona un comportamiento no uniforme del subsuelo en el que se apoyan las cimentaciones.

El conocimiento de la ubicación y características de las anomalías geotécnicas, permitirá a los diseñadores y constructores a tomar previsiones necesarias para el diseño geotécnico, así como para la selección de los sistemas, equipos y procedimientos constructivos y con ello evitar los problemas que puedan presentarse durante la vida útil.

También el conocimiento de la ubicación y característica de las anomalías puede ser empleado como elemento de juicio para entender las posibles causas del mal comportamiento de estructuras antiguas y recientes desplantadas sobre anomalías.

2.3.2. Propuesta para las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDCC) del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal

Consideración de las anomalías geotécnicas en los estudios de ingeniería geotécnica

En la versión actual de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDCC) del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal se presta una atención especial al problema de las cimentaciones abandonadas en su párrafo 9 donde se indica lo siguiente:

“Al demoler edificios dañados por sismo o cuya vida útil haya concluido, se tomarán las precauciones necesarias para que los elementos de cimentación dejados en el suelo no causen daños a las construcciones vecinas, a los servicios públicos o a las edificaciones que se construirán en el futuro en el mismo predio. Se tomará en cuenta que la presencia de una cimentación abandonada en un subsuelo sometido a consolidación regional tiende a generar una emersión aparente del terreno muy prolongada en el tiempo, similar a la inducida por cimentaciones sobre- compensadas, que puede causar deformaciones inaceptables en la periferia de la misma. Deberá demostrarse, a satisfacción de la Administración, que las precauciones tomadas garantizan que estos elementos de cimentación no tendrán efectos indeseables. En caso contrario, deberá procederse a su extracción y a la restitución de condiciones análogas a las del suelo natural.”

Es evidente la necesidad de llamar en la misma forma la atención respecto a otras anomalías de tipo natural o antropogénico, se considera que sería de utilidad una advertencia como la siguiente:

“En los estudios geotécnicos en las zonas II y III se prestará especial atención a la posible existencia de anomalías geotécnicas que puedan tener una incidencia sobre el comportamiento de las edificaciones y la respuesta sísmica del terreno. Serán de particular importancia las zonas de islotes antiguos del lago (tlateles), los cauces de los antiguos canales que hayan sido rellenados de forma no controlada, las zonas que alguna vez fueron utilizadas para cultivo en chinampas, las antiguas calzadas prehispánicas, etc. También se tomará en cuenta que dentro de la zona lacustre existen anomalías naturales correspondientes a estructuras geológicas sepultadas o a secuencias atípicas de materiales producidas por erupciones recientes. Para una localización a priori de estas anomalías se podrá recurrir al mapa anexo a las presentes normas. Sin embargo la confirmación de la existencia de dichas anomalías y su caracterización deberán realizarse mediante un programa detallado de exploración directa e indirecta. En los estudios de mecánica de suelos realizados en predios afectados por anomalías deberá presentarse una exposición detallada de las precauciones tomadas para mitigar la influencia de dichas anomalías en el comportamiento de las cimentaciones.”

Mapa propuesto para su inclusión en las NTCDCC

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se definió un mapa simplificado de ubicación de anomalías geotécnicas presentes en las zonas, lacustre y aluvio-lacustre del Valle de México.

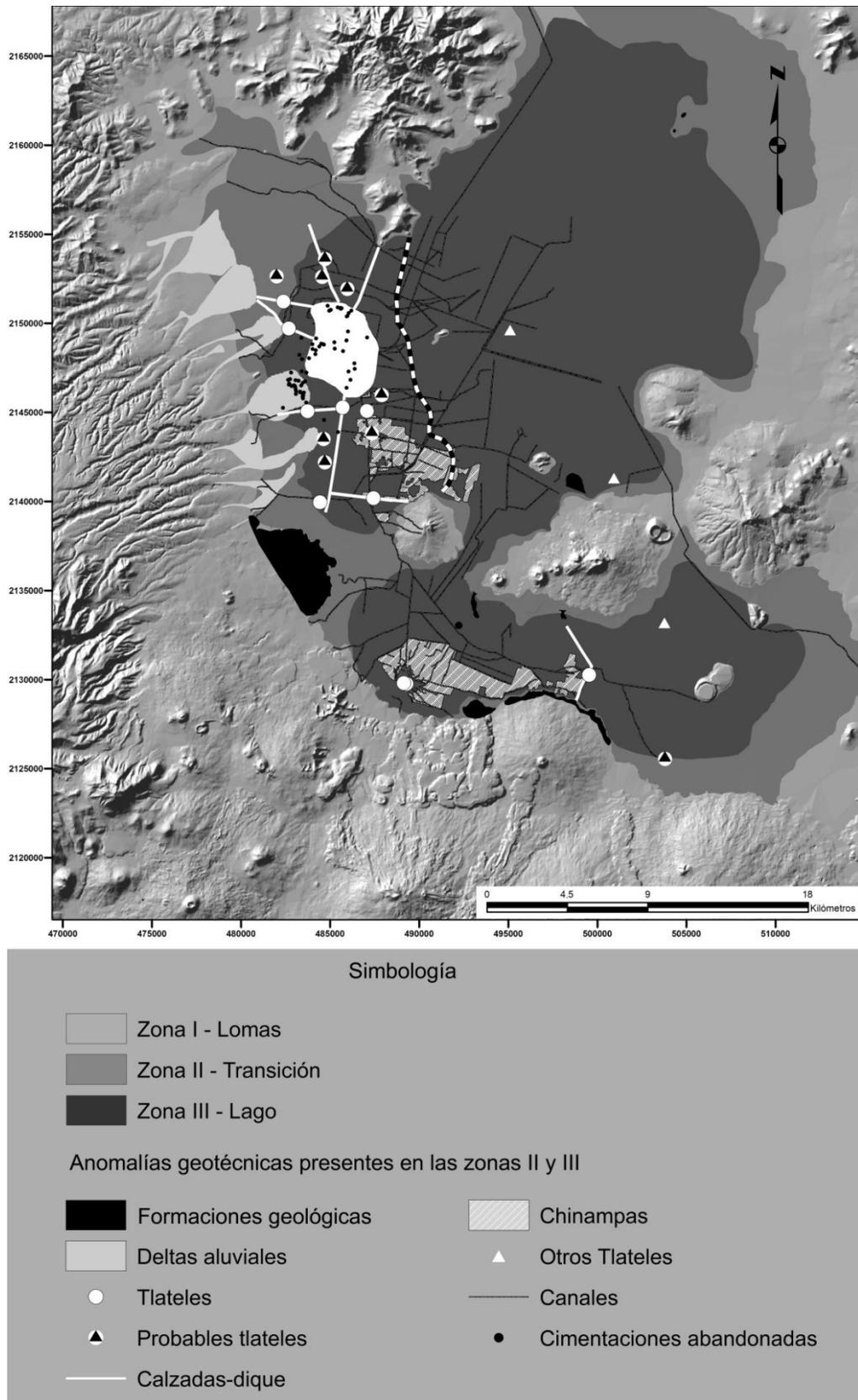


Figura 2.68. Propuesta de mapa indicativo de ubicación posible de anomalías geotécnicas.