

12



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

RIESGOS GEOLÓGICOS ASOCIADOS A LA SOBREENPLOTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA CENTRO Y ORIENTE DE CIUDAD NEZAHUALCOYOTL, ESTADO DE MÉXICO.

295159

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO
P R E S E N T A:
BERNARDO MATÍAS SANTIAGO

DIRECTOR: ING. HÉCTOR LUIS MACÍAS GONZÁLEZ.



MÉXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-558

SR. BERNARDO MATIAS SANTIAGO

Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Héctor Luis Macías González y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**RIESGOS GEOLOGICOS ASOCIADOS A LA SOBREEXPLOTACION DE AGUA
SUBTERRANEA EN LA ZONA CENTRO Y ORIENTE DE CIUDAD NEZAHUALCOYOTL,
ESTADO DE MEXICO**

- I INTRODUCCION**
- II GEOLOGIA**
- III HIDROGEOLOGIA**
- IV COMPRESIBILIDAD DE LA CAPA ARCILLOSA
SUPERIOR**
- V RIESGOS GEOLOGICOS**
- VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFIA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria D. F. a 2 de mayo de 2001

EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

P

**A MIS PADRES:
LORAINÉ SANTIGO LUNA
HUMBERTO MATÍAS LÓPEZ
POR SU CARIÑO, COMPRENSIÓN
Y SU APOYO INCONDICIONAL**

**A MIS HERMANOS:
CARLOS
GRACIELA
HUMBERTO
ROSARIO
ROSENDO
SANDRA LUZ
GRACIAS POR SU APOYO**

**A TI LISSETTE POR APOYARME
EN TODO MOMENTO**

**MI RECONOCIMIENTO AL INGENIERO
HÉCTOR LUIS MACÍAS GONZÁLEZ
POR LA DIRECCIÓN DE ESTE TRABAJO**

**A LOS INGENIEROS:
ALBERTO ARIAS PAZ
EMILIANO CAMPOS MADRIGAL
LUIS ARTURO TAPIÁ CRESPO
MARTÍN CARLOS VIDAL GARCÍA .
POR SUS COMENTARIOS Y
SUGERENCIAS PARA MEJORAR
EL CONTENIDO DE ESTE TRABAJO**

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA,
MAESTROS, COMPAÑEROS Y AMIGOS
GRACIAS POR SU AMISTAD**

| INDICE | Página. |
|--|----------------|
| 1. INTRODUCCIÓN. | ...1 |
| 1.1 Antecedentes | |
| 1.2 Objetivos | |
| 1.3 Método de trabajo | |
| 1.4 Localización de la Cuenca de México | |
| 1.4.1 Localización del área en estudio | |
| 2. GEOLOGÍA. | ...11 |
| 2.1 Geomorfología | |
| 2.2 Geología y estratigrafía regional | |
| 2.3 Geología estructural de la Cuenca de México | |
| 2.4 Estratigrafía local | |
| 2.4.1 Descripción estratigráfica | |
| 2.4.2 Correlación estratigráfica | |
| 3. HIDROGEOLOGÍA. | ...30 |
| 3.1 Entorno hidrológico y zonas hidrológicas | |
| 3.2 Recarga del acuífero | |
| 3.3 Propiedades de los depósitos | |
| 3.4 Tipo de acuífero | |
| 3.5 Unidades hidrogeológicas en la zona del Ex-lago de Texcoco | |
| 3.6 Funcionamiento hidrogeológico | |
| 3.7 Pruebas de bombeo | |
| 3.8 Análisis y comentarios de videograbaciones | |
| 4. COMPRESIBILIDAD DE LA CAPA ARCILLOSA SUPERIOR. | ...44 |
| 4.1 Nivelación diferencial de los pozos de agua | |
| 4.1.1 Método empleado para el levantamiento topográfico | |
| 4.1.2 Resultados obtenidos en la nivelación topográfica | |
| 4.2 Hundimiento del terreno en Ciudad Nezahualcoyotl | |
| 5. RIESGOS GEOLÓGICOS. | ...51 |
| 5.1 Agrietamientos recientes en Ciudad Nezahualcoyotl | |
| 5.1.1 Grietas principales | |
| 5.1.2 Grietas menores | |
| 5.2 Hondonadas | |
| 5.3 Riesgos de inundaciones | |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. | ...62 |
| 6.1 Conclusiones | |
| 6.2 Recomendaciones | |
| BIBLIOGRAFÍA. | |
| ANEXO FOTOGRÁFICO. | |

1. INTRODUCCIÓN.

1.1.- Antecedentes.

La planificación de la ciudad de México ha sido uno de los temas más abordados por diferentes disciplinas que estudian el problema del crecimiento y desarrollo urbano. Cuando se observa nuestro entorno nos preguntamos con frecuencia el porqué se estableció la Ciudad de México en una cuenca cerrada, donde gran parte de la superficie es lacustre, suelo que con el tiempo cobró y sigue cobrando tributo a su agresión con asentamientos a través de subsidencias y grietas. ¿Fue solo un impulso teocrático o un proyecto urbano viable? y naturalmente ¿Cuándo nace la geología urbana?. Para responder a estas preguntas, se toma como punto de partida la existencia de una planificación de la metrópoli en el siglo XVI, la cual se ha transformado a lo largo de cuatro siglos. Para explicar este crecimiento se han retomado diversos aspectos, como la migración, la demografía y la centralización. Así, se propone concebir una planificación de la ciudad de México y sus áreas conurbadas del siglo XXI en la que la responsabilidad de decisiones adoptarán un papel fundamental en el desarrollo y sustentabilidad de la misma.

El sitio natural del Anahuac ("Valle del Agua") había permitido el nacimiento y desarrollo de un verdadero fenómeno urbano a orillas de un conjunto de lagos, cerrados por una cadena de montañas volcánicas y de valles boscosos, y fue en uno de los islotes del lago de México donde nació la gran ciudad lacustre (Tenochtitlan), en 1325.

En el espacio territorial que ocupa hoy la moderna capital de nuestro país sobre el área que los urbanistas denominan zona conurbada, existía uno de los paisajes ecológicos más hermosos del planeta. A lo largo de muchos siglos, debido a los abundantes y permanentes escurrimientos de agua, se formó en medio de la Cuenca de México un enorme lago, que con los años se fue fraccionando en extensiones lacustres menores. Esa superficie acuática cubría aproximadamente 8,000 kilómetros cuadrados, (Solís, 1992). El gran lago de edad Cuaternaria dio lugar, de manera natural; a una serie de lagos. Durante la época anterior a la llegada de los conquistadores cada uno de los lagos recibió el nombre de la población más notable asentada en su cercanía; así se les conocía como los lagos de Texcoco, Chalco, Xaltocan, Xochimilco, Zumpango y el Lago de México, formaban una unidad mayor, separada por una línea imaginaria; en su

porción occidental se levantaban orgullosas las dos capitales indígenas fundadas por los mexicas : México-Tenochtitlan y México-Tlatelolco. Este valle y sus conjuntos lacustres, fueron siempre un polo de atracción, tanto para los hombres como para la fauna.

Si nos transportamos al momento del encuentro entre Aztecas y Españoles, es indudable que las dos formas de interpretación de la realidad -la indígena y la oriental-, podría ser la visión que describe Ignacio Bernal cuando los conquistadores por primera vez llegaron a la región:

Súbitamente terminó la subida. Iniciada en el mar, los había llevado hasta el obra entre los volcanes, parados en la nieve, los hombres de acero y los heráldicos caballos tenían a sus pies el sensacional espectáculo. Allá lejos, muy abajo, se extendía el valle anchuroso: al centro, los lagos de plata; sobre islas y en las riberas, las ciudades levantaban los altos techos de sus templos erigidos sobre macizas pirámides; bosques, sementeras y lilas, alegraban la llanura en esos días mágicos del otoño mexicano.

La construcción de Tenochtitlan sobre una isla no sólo fue el lugar donde los Aztecas sufrieron la segregación de las culturas ya establecidas en el Valle de Anahuac. Fue en ese emplazamiento donde la Azteca emerge como una cultura que controlaría el vasto territorio lacustre.

Los barrios o calpullis principales se localizaron dividiendo la isla en cuatro secciones, al noreste quedó Atzacolco "En donde está la compuerta del agua" ; Al noroeste se erigió Cuepopan, "Donde abren sus corolas las flores" ; Al sureste quedó Zoquiapan, "En las aguas lodosas" y finalmente al suroeste se ubicó Moyotlan, "En el lugar de los moscos". Aquí observamos la visión de urbanistas que imperaba en el pensamiento Azteca (por la distribución de barrios).

También hubo barrios menores donde se acomodó toda la población que llegó bajo la guía de Tenoch, ubicados en esas cuatro divisiones originales. Todavía nos parece escuchar las palabras recogidas por el cronista indígena Hernando Alvarado Tezozómoc: "establecéos, hacer partición, fundad señoríos, por los cuatro rumbos del universo". En esa partición original y en el acomodo de la gente resurgió el eterno conflicto entre

tenochcas y tlatelolcas; estos últimos, descontentos con el terreno que se les había asignado para ubicarse, decidieron abandonar esta primigenia ciudad y fundar, 13 años después, en unos islotes más pequeños ubicados hacia el norte, otra población gemela a la que se denominó Tlatelolco. Es aquí donde comienza la lista de asentamientos en lugares donde no deberían de ser. Tlatelolco era amenazado por el Río Cuahuitlan.

Para el momento en que Moctezuma Xocoyotzin es elegido Tlatoani, el aspecto de ambas ciudades había cambiado enormemente; crecimiento, grandeza y enriquecimiento eran la tónica de la transformación.

México-Tenochtitlan se unía a tierra firme mediante tres calzadas: hacia el sur la calzada Iztapalapa establecía la comunicación entre los pueblos chinampecas y los antiguos señoríos de Culhuacan y Coyoacan, con la ciudad de Huitzilopochtli; era la de mayor longitud, ya que medía dos leguas y su ancho equivalía a dos lanzas, por donde podían pasar ocho caballos en hilera. En un punto de su ubicación esta calzada se bifurcaba: una de las vías conducía a Iztapalapa y la otra a Coyoacan, de donde continuaba hasta el rumbo de Xochimilco, su construcción se realizó en 1429. Por allí hizo su entrada a la capital tenochca el ejército de Cortés. En el otro sentido teníamos la llamada calzada del Tepeyac que medía una legua (5, 572 metros) y comunicaba a la ciudad con los puntos norteños del Valle, específicamente con el sitio donde se levantaba el templo de la diosa Tonantzin, que daba su nombre a la ruta; en un tiempo funcionó también como la comunicación formal entre ambas capitales.

Hacia el poniente se diseñó la llamada calzada de Tlacopan, probablemente la vía de mayor importancia en lo que fuera la orgullosa Ciudad Azteca, y con toda seguridad la primera en construirse. Aun cuando el tramo que corría por el lago era de sólo media legua de largo, resultaba muy impactante para quien lo caminaba por vez primera, por su doble vía, delimitada por el acueducto que traía el agua desde Chapultepec a la ciudad utilizando dos conductos. Este sistema fue construido para garantizar la salud de los habitantes, ya que mientras el agua circulaba por uno de los acueductos, el otro se limpiaba con gran esmero.

El significado estratégico de esta calzada se hacía evidente por las ocho secciones cortadas que tenía, sobre las que se construyeron puentes de madera. De ese

mismo material estaban hechos los tramos que conectaban los canales a lo largo del acueducto, de tal forma que en cualquier eventualidad se podían quitar puentes y canales que unían las vías, para asegurar la defensa de la capital.

En 1525, las cuatro calzadas principales (Tepeyac, Tlacopan, Coyoacan e Iztapalapa), construidas sobre diques, unían el territorio lacustre con el de la clase gobernante. Estas calzadas comunicaban, dentro de la isla, los canales que cuadrículaban a la gran Tenochtitlan, uniéndola de manera radial a la tierra firme. Estas calzadas se unían a los caminos principales, formando dos ejes : uno hacia el valle de Cuauhtitlan, y otro hacia los valles de Texcoco y Chalco. Los caminos en tierra firme constituían las vías principales de comunicación entre Tenochtitlan y el resto del territorio describiendo un círculo alrededor del conjunto de lagos (México, Texcoco, Zumpango, Xochimilco, Chalco y Xaltocan), territorio que la gran Tenochtitlan del siglo XVI heredó a la actual ciudad de México.

Una observación previa que merece una importante reflexión es que entre Azcapotzalco, Teotihuacan y Chalco existe una distancia aproximada de 40 km, y radios de 20 km, cuya distancia es equivalente entre Tacuba, Texcoco y Chalco. Se observa también una distancia de 40 Km entre Tula, Zumpango y Actopan. Además de que algunas localidades rurales se encuentran alrededor de los 9 Km. Esta organización espacial entre ciudades pequeñas y localidades obedece a un patrón común: la distancia en la que se pueden transferir, transportar y almacenar granos que servían de alimento a la población.

Si comparamos a Tenochtitlan, con sus 200,000 habitantes, con las grandes ciudades del siglo XVI, observamos que ocupa el segundo rango junto con París. Constantinopla ocupaba el primer lugar, con 250,000 habitantes, (Lina Manjarez, 1998). Otras grandes ciudades le seguían a las anteriores Nápoles (150,000 habitantes), Milán (150,000 habitantes), Venecia (100,000 habitantes) y Londres (60, 000 habitantes).

El primer asiento de la ciudad lacustre lo construyeron los mexicanos con sus propias manos entre 1325 y 1345, en el área pantanosa del lago de Texcoco, mediante técnicas similares a las empleadas en la creación de chinampas agrícolas, cortando céspedes, cegando con ellos el pantano y haciendo estacadas o albarradas rellenas de piedra y

tierra. Todavía en tiempo de Chimalpopoca, su tercer Tlatoani (1417-1427), vivían en "chozas y casas de poco valor", aunque ya habían empezado a edificar con piedra, madera, cal y adobe obtenidos por comercio con los pobladores de tierra firme a cambio de productos lacustres. Continuaron ampliando el terreno urbano "cegando al lago" con céspedes y estacadas. Fue en esta época que hicieron el primer intento por conducir el agua de los manantiales de Chapultepec a través de un caño de barro y cuyos materiales solicitaron, en uno de esos desafíos tributarios de provocación previa a su independencia, a los tepeneca de Azcapotzalco, a quienes estaban aún sujetos. Los mexicanos continuaron construyendo sus obras y ampliando su ciudad sin "ayuda" hasta que en tiempo de Itzcoatl, su cuarto Tlatoani (1427-1440), lograron liberarse del yugo de Azcapotzalco (en 1428).

Los primeros señoríos conquistados estuvieron en el Valle de México. A ellos no exigieron solamente materiales y trabajadores sino también, en algunos casos, la construcción de obras en sus jurisdicciones pero hechas en beneficio de la ciudad. Este fue el caso de la calzada dique de Xochimilco y Coyoacan a México, de unos 20 kilómetros de largo.

En los dos años que duraron estas campañas se realizaron muchas obras en Tenochtitlan, que según Alva Ixtlilxochitl fueron dirigidas por Nezahualcoyotl, Tlahtoani de Texcoco, cuando se encontraba refugiado en ellas mientras podía recobrar su ciudad de manos de los tepanecas. Entre las que se mencionan aparecen: la "cerca" (probablemente un muro para represar los manantiales) y el acueducto de Chapultepec por atarjea (que hasta entonces iba por una zanja), algunos palacios y la calzada de Tepeyac.

En 1449 se inundó por primera vez la ciudad y el primer Moctezuma, quinto Tlatoani mexicana (1449-1469), pidió auxilio a Nezahualcoyotl por "ser hombre de mucha razón y buena iniciativa para cualquier cosa que se ofrecía". El le aconsejó hacer una "cerca de madera y piedra", conocida en la época colonial como la albarrada vieja y ahora como de Nezahualcoyotl (12 kilómetros aproximadamente), con la que se logró separar en dos secciones las aguas salobres del lago de Texcoco y crear así un gran compartimento para recibir las aguas dulces del poniente y del sur del valle, precisamente allí en donde la ciudad de los mexicanos estaba fundada. Otros ejemplos del patrón organizativo los encontramos con motivo de la bien documentada "aventura" de Ahuizotl (octavo

Tlatoani, 1486-1502) que fue la conducción de los manantiales de Acuecuxco (Coyoacan) a Tenochtitlan, así como en la reconstrucción de la ciudad luego de la tremenda inundación que aquella provocó.

En los primeros siglos después de la construcción de la ciudad española, a la traza sobre las ruinas de Tenochtitlan se le nombró Ciudad de México. El crecimiento de ésta se orientó hacia las tierras firmes y las resultantes del desecamiento de los lagos. Esta preocupación de la colonización española transformó y consolidó el territorio dominado anteriormente por los aztecas. En trescientos años, la extensión Tenochtitlan-México no rebasó los límites de la antigua isla, que a su vez fue ganando terreno a las aguas del Lago de México.

La expansión bastante moderada bajo la colonización sufrió un primer fuerte aumento después de la independencia de México. Esta expansión se tradujo en dos tendencias: la primera, hacia el oeste, la anexión de la superficie del barrio Ex-Hipódromo de Peralvillo; la segunda, hacia el este, la prolongación de la superficie hacia Lecumberri. Entre 1800 y 1900, la superficie urbana pasó de 1000 a 2700 hectáreas. Durante este siglo aumenta la extensión urbana. La tendencia observada en los siglos anteriores se acentúa hacia los antiguos centros prehispánicos del Anahuac y hacia las zonas boscosas. Así, entre 1910-1940, la superficie urbana pasa de 4,000 a 11,000 hectáreas y la población asciende de 56,000 a 1,000,000 de habitantes en ese mismo periodo, (Lina Manjarez, 1998).

Comprender que la actual Ciudad de México es heredada de un territorio urbano con carácter de metrópoli del siglo XVI y que ha sido un territorio urbano planificado es sustentar una nueva alternativa de concepción de la planificación para la ciudad del siglo XXI. Reflexionar al respecto, es pensar que en sus inicios la Ciudad de México expresó un equilibrio de ciudades aledañas a Tenochtitlan y que en los cuatro siglos posteriores las sociedades correspondientes transformaron la armonía espacio urbano-naturaleza. Se trata de un proceso que ha debastado, por una parte, bosques y lagos, y por otra, ha acrecentado el espacio urbano.

La actual Ciudad de México se ha caracterizado por su crecimiento acelerado, invadiendo una gran parte del antiguo territorio: valles, antiguos lagos, cerros, colinas, y barrancas,

que ante la geografía y topografía del terreno, no ha encontrado límites. Ante este hecho, es necesario pensar y concebir una nueva Ciudad de México, bajo perspectivas de sustentabilidad que reestructuren equitativamente ese territorio heredado de la Tenochtitlan del siglo XVI, y que hoy vemos profundamente desequilibrado, debido precisamente al aumento de la población, a la dispersión y concentración de los grupos humanos, así como a la falta de planeación de los asentamientos. Es necesario desarrollar los mecanismos de planeación y desarrollo urbano que eviten que un fenómeno natural como sismos, erupciones volcánicas, huracanes, incendios, deslizamientos, zonas minadas, hundimientos y agrietamientos se conviertan en desastre; prueba de ello es la existencia del Servicio Geológico Metropolitano, además de conocer el ordenamiento, territorial, urbano, municipal, así como ampliar la capacidad legislativa. Lo anterior debe quedar sustentado en los lineamientos que marquen los estudios de Geología Urbana con el fin de recuperar espacios naturales y preservar los aún no invadidos.

1.2 Objetivos.

- Identificar los efectos producidos por el hundimiento del terreno (grietas y hondonadas).
- Conocer el ritmo de abatimiento del nivel estático y/o dinámico.
- Calcular la velocidad de hundimiento del terreno debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos de Ciudad Nezahualcoyotl.
- Calcular el coeficiente de compresibilidad del acuífero (α).
- Calcular la transmisibilidad del acuífero con la información disponible.
- Si el acervo de datos observados y recopilados es suficiente, predecir la extensión espacial de los colapsos del terreno que puedan poner en riesgo a las obras hidráulicas de desalojo de aguas residuales.

1.3 Método de trabajo.

a) Recopilación y análisis de información en dependencias municipales, estatales y federales.

- Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Nezahualcoyotl, Estado de México. (O.D.A.P.A.S.).

- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.).

- Gobierno del Distrito Federal (G.D.F.).

- Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.).

- Asociación Geohidrológica Mexicana A.C.

- Comisión de Aguas del Estado de México (C.A.E.M.).

b) Medición de niveles de agua en los pozos (estático y dinámico).

c) Nivelación topográfica de brocales.

d) Cálculo de hundimiento del terreno.

e) Toma de caudales.

f) Toma de presiones en la tubería de descarga.

g) Revisión de los cortes litológicos.

h) Revisión y análisis de vídeos de siete pozos para diferentes fechas.

i) Ejecución de pruebas de bombeo en diferentes pozos.

j) Cálculo de la transmisibilidad (T) y coeficiente de almacenamiento (S), indirectos.

1.4 Localización de la Cuenca de México.

“La Cuenca de México está situada entre las latitudes norte 19° 03' 53" y 20° 11' 09", y las longitudes 98° 11' 53" y 99° 30' 25" al oeste de Greenwich.

Comprende una superficie aproximada de 9600 km², y la limitan al norte las sierras de Tezontlalpan y Pachuca; al sur, la Sierra de Chichinautzin-Ajusco; al oriente, las sierras: Nevada, Río Frío y Calpulapan ; y al poniente la Sierra de Las Cruces.

La Cuenca de México la delimitan al norte las cuencas del Río Tula y de la Laguna de Metztitlán ; al sur la del alto Amacuzac ; al oriente las cuencas de los ríos Tecolutla, Atoyac y Mixteco, y al poniente la Cuenca Alta del Río Lerma.

De sus 9600 km² de superficie, la Cuenca de México comprende aproximadamente: 4800 km² de la porción oriental del Estado de México; 2540 km² del sur del de Hidalgo, 840 y 100 km² de los sectores orientales de los Estados de Tlaxcala y Puebla, respectivamente, y por el Distrito Federal con 1320 km². Es decir, que el 50% de la superficie total de la Cuenca de México corresponde al Estado de México, consecutivamente le siguen el de Hidalgo (26.46%), el Distrito Federal (13.75%), Tlaxcala (8.75%) y Puebla (1.04%).

En la **Figura 1** se muestra la Cuenca de México.

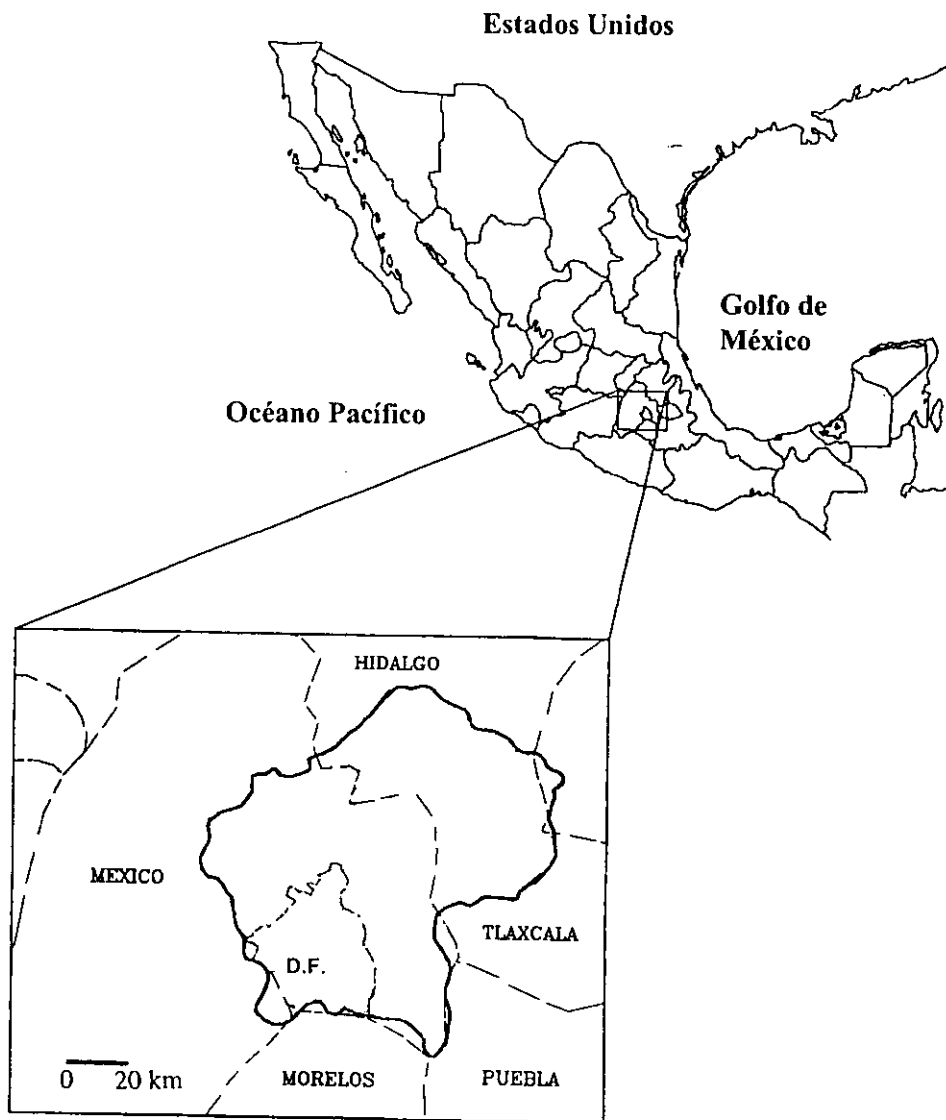
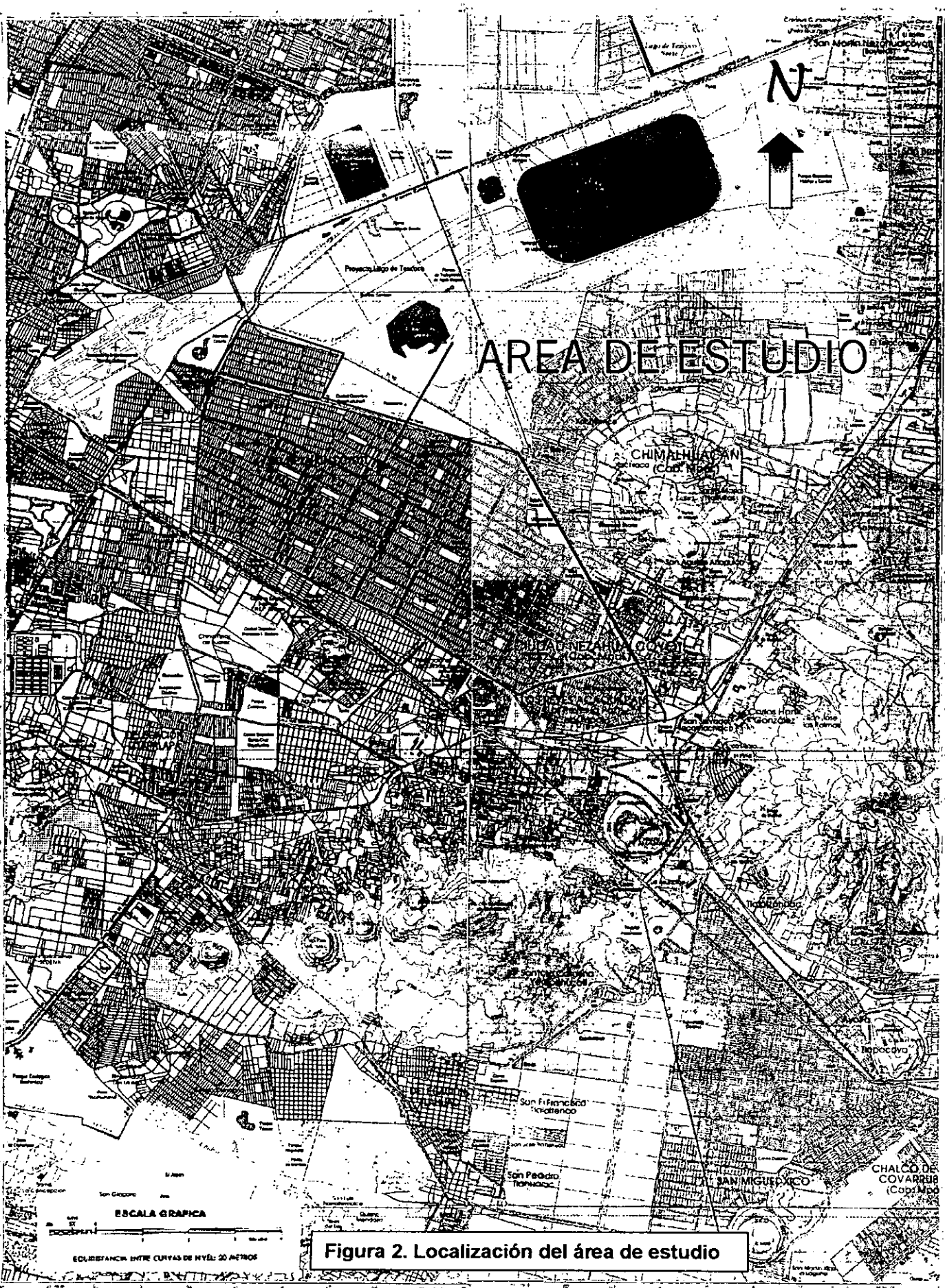


Figura 1. Localización de la Cuenca de México, Birkle *et al* 1988.

1.4.1 Localización del área en estudio.

Dentro de la Cuenca de México se localiza la subcuenca del Lago de Texcoco con una superficie de 1,147 km² que alberga al Ex-lago de Texcoco cuyo fondo, se encuentra en la parte más baja de la misma. Este lago, antiguamente de gran extensión, está en proceso de desecación. La extensión de la superficie inundada varía en función de la intensidad de las precipitaciones, su promedio es de unas 50 Km². Pertenecen a esta subcuenca en el oriente: los ríos Teotihuacan, Papalotla, Magdalena, Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Santa Mónica ; en el sur, el Río la Compañía ; en el poniente : los ríos de Los Remedios, Tlalnepantla y San Javier. Los demás ríos que provienen de la parte occidental de la subcuenca son los ríos Magdalena, San Jerónimo y Mixcoac, que se unen a formar el Río Churubusco, los ríos Becerra y Tacubaya, que forman el Río de la Piedad y los ríos Tecamachalco y San Joaquín, que forman el Río Consulado ; el primero ha sido desviado hacia el Lago de Xochimilco y los otros dos hacia el Gran Canal del Desagüe, situado al norponiente.

El área de estudio es Ciudad Nezahualcoyotl, que es uno de los veintisiete municipios conurbados del Estado de México. La traza urbana de Ciudad Nezahualcoyotl tiene una extensión de 63.44 Km², dicho municipio está constituido por 86 colonias y se encuentra limitado de la siguiente manera: al Poniente por las delegaciones Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero del Distrito Federal, hacia el Norte el límite natural es el antiguo Lago de Texcoco y por el límite político del municipio de Ecatepec de Morelos; al Oriente el municipio conurbado de Chimalhuacán y hacia el Sur la Delegación Iztapalapa del Distrito Federal. Hidrológicamente el área de estudio está delimitado al Norte por el Dren Xochiaca, al Oriente por el Río la Compañía y al Poniente por el Río Churubusco tal como se muestra en la **Figura 2**.



AREA DE ESTUDIO

ESCALA GRAFICA

EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 20 METROS

Figura 2. Localización del área de estudio

2. GEOLOGÍA.

2.1 Geomorfología.

La actividad volcánica en la Faja Volcánica Transmexicana dió lugar a un gran número de cuencas endorreicas y el consecuente desarrollo de lagos, lo que da al paisaje geomorfológico una apariencia muy característica.

Los aparatos volcánicos que constituyen la faja mencionada, son de diversos tipos y alturas (algunos de los cuales constituyen las mayores elevaciones del país).

Resaltan como los más importantes: el Pico de Orizaba, La Malinche, el Popocatepetl, Iztaccihuatl, el Nevado de Toluca y el Nevado de Colima, todos ellos formados por emisiones alternadas de productos piroclásticos y derrames lávicos.

En la región central de la faja volcánica se han reconocido siete fases de vulcanismo, ocurridas a partir del Oligoceno; las más importantes son la quinta, ocurrida a fines del Mioceno, que dio origen a la Sierra de las Cruces, Río Frío y Nevado de Toluca (límites poniente y oriente) y la sexta, en la que se desarrollan los conos y los domos del Iztaccihuatl, así como la fase de edad Cuaternaria, son las responsables de la actividad volcánica que interrumpió el drenaje del Valle de México y dio ésta su carácter de cuenca endorreica.

Debido a sus límites y morfología, la Cuenca de México tiene características montañosas; sin embargo, actualmente está dividida en cuencas de diversas dimensiones y niveles, que aparecen como planicies originadas por levantamientos del Pleistoceno Tardío, con las cuales se encuentran relacionadas estructuras como fallas y volcanes. Se ha dividido, por su actividad volcánica en tres áreas:

Tezontepec, al noreste de la Ciudad de México; Chichinautzin, al surcentro y los campos volcánicos del vaso del Valle de la Cuenca de México.

2.2 Geología y estratigrafía regional.

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es el arco volcánico que se desarrolla sobre la margen suroccidental de la Placa de Norteamérica como resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos a lo largo de la trinchera de Acapulco, es una cadena montañosa de origen volcánico de edad Cenozoica, que pertenece a la provincia fisiográfica Faja Volcánica Transmexicana (Lugo, 1990), y presenta una orientación general E-W, que atraviesa el territorio de México de costa a costa con una extensión de 920 Km desde Bahía Banderas en el Estado de Jalisco hasta Punta Delgada en el Estado de Veracruz, que se extiende a groso modo entre los paralelos 19° y 21° de latitud norte, Ferrari (2000).

La FVTM presenta características peculiares tal como una gran variabilidad del estilo volcánico y de la composición química de sus productos, la oblicuidad de su parte central y oriental con la trinchera y la notable variación del ancho del arco: A pesar de los avances en su estudio, no se ha aclarado completamente el origen y la evolución de la FVTM. Las futuras investigaciones tendrán que enfocarse al conocimiento detallado de la geología del arco volcánico y de la estructura físico-química de la corteza y manto por debajo de él.

Los estudios de la FVTM comenzaron en la década de los sesentas, en los que se propone el primer modelado de la estructura de arco. En los ochenta se llevaron a cabo trabajos volcanológicos y geoquímicos que aportaron conocimientos significativos sobre la mayoría de los grandes aparatos y campos volcánicos cuaternarios y se publicaron los primeros modelos sobre la tectónica de la parte occidental de la FVTM.

La Cuenca de México comprende una de las porciones centrales de la FVTM, y en la parte suroccidental se asienta la Ciudad de México. Por su ubicación dentro de la cuenca presenta problemas diversos, uno de ellos es el riesgo sísmico, además de su estructura particular que presenta altos estructurales y depresiones locales a diferentes niveles estratigráficos, lo que indica un hundimiento del basamento.

La Cuenca de México, cuya superficie es de 9,600 km², tiene un contorno irregular de forma alargada, cuyo eje mayor está orientado NE-SW con una extensión de unos 148 Km, desde la Sierra de las Cruces al suroeste hasta la Sierra de Pachuca al noreste, atravesando al Lago de Texcoco; la zona más angosta comprende la porción meridional de la región, desde la Sierra de Tezontlalpan al noroeste hasta el cerro de Tlaloc al sureste, su longitud es de unos 65 km.

La secuencia estratigráfica de la Cuenca de México consiste de rocas volcánicas, depósitos aluviales, fluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que sobreyacen discordantemente a rocas calcáreas y calcáreo-arcillosas del Cretácico.

La distribución de las unidades volcánicas y sedimentarias es errática, tanto vertical como horizontalmente; por lo que, la definición cronoestratigráfica de la columna geológica no es sencilla además de que no existen evidencias paleontológicas en abundancia y distribución que ayuden a establecerla. Por otro lado los métodos de radiometría se han utilizado localmente, con estos datos de edades radiométricas y con los criterios básicos de superposición estratigráfica, se han logrado situar los eventos magmáticos y sedimentarios a los que ha estado sujeta la Cuenca de México durante su evolución (Bryan y otros, 1948; Arellano, 1953; Mooser, 1956 y 1962; Sánchez-Díaz, 1989).

Posteriormente Schlaepfer (1968) y Mooser (1975), lograron establecer la secuencia estratigráfica con información y criterios más actualizados, en diferentes sectores de la cuenca.

Los datos estratigráficos recabados de trece pozos profundos han ayudado vislumbrar el tipo y la distribución de los horizontes litoestratigráficos en el subsuelo, estos pozos se perforaron después del sismo de 1985. De los trece pozos profundos que se mencionan, cinco los perforó Petróleos Mexicanos (Texcoco-1 a 2065m; Copilco-1 a 2258m; Tulyehualco-1 a 3000m; Mixhuca-1 a 2452m y Roma-1 a 3200m). Los otros nueve pozos estuvieron a cargo del Departamento del Distrito Federal (Avenida Cien Metros-1 a 2233 m; San Juan de Aragón -2 a 2232m; Tlahuac-3 a 2241m; Río San Joaquín-4 a 2267m; La Castañeda-5 a 2317m; Avenida Centenario-6 a 2350m; Coapa-7 a 2236 m y Coapa-8 a 2234m). Por los resultados, se determinó la complejidad estratigráfica y estructural de la

Cuenca, ya que los sedimentos fueron transportados de muy diversas fuentes, por lo que su textura, composición y ubicación son diversos. Esto aunado a la presencia de derrames volcánicos y de piroclastos intercalados e interdigitizados con los horizontes sedimentarios, hace aún más compleja a la columna estratigráfica.

Las rocas marinas del Cretácico son el basamento de la secuencia volcánica y sedimentaria continental del Terciario y del Cuaternario en la Cuenca de México. En el pozo Mixihuca-1 el tramo de calizas arcillosas de la Formación Morelos del Cretácico Superior se encontró a 1550 metros de profundidad; en el Tulyehualco-1 a 2100 metros, las calizas no son arcillosas de la Formación Cuautla del Cretácico Medio, lo que denota el estilo de deformación y de fallamiento en bloques que conforma el basamento de la Cuenca.

Entre las rocas del Cretácico y las del Terciario, existe una gran discordancia, puesto que no hay evidencias de rocas del Paleoceno hasta el Eoceno Medio. La discordancia está representada por los Grupos Morro y Balsas del Eoceno-Superior y del Oligoceno. El grupo Balsas aflora en la porción sur de la Cuenca y el Morro al norte de la misma, cerca de Amajac, Hidalgo. Estos dos grupos consisten de conglomerados rojizos por oxidación, con clastos calcáreos bien consolidados; los estratos son masivos y lenticulares de origen fluvio-aluvial.

Localmente los estratos conglomeráticos tienen intercalaciones de tobas y de lavas de composición andesítica y basáltica.

El pozo Texcoco-1 cortó una sección de 85 metros de conglomerados El Morro a 1980 m de profundidad; estos sedimentos terrígenos están asociados con evaporitas y arcillas, lo que indica la presencia de depresiones locales endorreicas, producto del fallamiento en bloques distensivos de la secuencia calcárea cretácica, durante el Eoceno Tardío.

Durante el Mioceno Inferior y Medio, en la Cuenca nuevamente hubo reactivaciones tectónicas, con el consecuente fracturamiento y fallamiento de la misma. Los sistemas estructurales son conjugados SW-NE y SE-NW, probablemente generados por los

esfuerzos compresivos de la placa de Cocos (Mooser, 1975; Aguayo y Marín, 1987;). El fracturamiento suroeste-noreste está representado por la falla Apan-Tlaloc que incide en el extremo sur del Tepozteco. El otro sistema estructural sureste-noroeste corresponde a los alineamientos Popocatepetl-Cerro de los Pitos-Cerro de Chimalhuacán y Sierra de Guadalupe.

El desarrollo de fracturas y fallas está asociado con actividad volcánica de diversa composición, desde andesíticas y riocitas hasta andesitas básicas y dacitas. A este complejo volcánico, Mooser (1962; en: Sánchez-Díaz, 1989) lo denominó Formación Xochitepec, que aflora en la Sierra de Xochitepec al noroeste del poblado de Xochimilco. Aparentemente la formación está muy extendida en el interior de la Cuenca; Mooser (1962) propone que aflora en la base de la Sierra de Guadalupe y en los cerros de Chapultepec, el Peñón de los Baños, Tlapacoyan, Santa Isabel, el Tigre, Zacatepetl, en la base del Iztaccihuatl y del Ajusco. Schlapfer (1968) coincide con Mooser, con la salvedad que únicamente sitúa a la secuencia volcánica de la Formación Xochitepec en la Sierra del mismo nombre, y del resto de la secuencia volcánica fuera de esa localidad la denomina "Rocas Volcánicas del Terciario Medio".

Durante el Mioceno tardío la secuencia anteriormente descrita, estuvo sujeta a procesos fluviales, derivándose los conglomerados de la Formación Tepoztlán (Schlapfer, 1968); su localidad tipo se localiza en el poblado del mismo nombre en el estado de Morelos. En este tiempo también hubo actividad volcánica, lo que se manifiesta en las Sierras de Guadalupe, Tepetzotlán y Tepozán. La secuencia volcánica está compuesta por andesitas, dacitas y latitas, y las que denominó Mooser (1975) como: "Grupo de las Sierras Menores".

En el Plioceno nuevamente existió una fuerte reactivación tectónica, con la formación de sistemas de fallas y de fracturamientos conjugados SE-NW y SW-NE, formando fosas y pilares. El primer fracturamiento incide en la Sierra de Salazar, mientras que el segundo afecta a la Sierra las Palmas en el poniente de la Cuenca, lo cual es visible en la barranca de Contreras. La actividad volcánica se manifestó en toda la Cuenca con la emisión

de andesitas y dacitas porfídicas en las Sierras Nevada y Río Frio, al oriente, y en la Sierra de las Cruces y Zempoala, al poniente de la misma, denominadas por Mooser (1975) como "Grupo de Sierras Mayores".

Al pie de las sierras que circundan a la Cuenca de México se depositaron abanicos aluviales y lahares, intercalados con capas de pómez, cenizas, suelos, gravas y arenas de origen fluvial; a todo este complejo volcano-sedimentario, se le conoce como Formación Tarango (Bryan, 1948; en: Sánchez-Díaz, 1989) cuya localidad tipo está al sur-poniente en la Ciudad de México. Posteriormente, otros autores la redefinieron y la subdividieron en varios miembros de acuerdo a la naturaleza de su composición (por ejemplo Arellano, 1951; Segerstrom, 1962; Mooser, 1961; Gasca y Reyes, 1977; y otros; en: Sánchez-Díaz, 1989).

Hacia el suroeste de la Ciudad de México la Formación Tarango se encuentra cubierta por lavas del Grupo Chichinautzin, pertenecientes a los derrames del Xitle en la zona del Pedregal de San Angel. En la porción occidental de la Cuenca, la Formación Tarango está al pie de la Sierra de las Cruces, desde la región norte de Cuajimalpa hasta la parte occidental, de San Pedro Atlapulco, al sur de la Marquesa.

Debido a que las capas inferiores de la Formación Tarango sobreyacen y en parte se interdigitizan con los derrames de la secuencia volcánica de la Sierra de las Cruces, se le asigna al Plioceno tardío. Por otra parte, las cenizas superiores están en contacto con las primeras emisiones volcánicas de la Sierra de Chichinautzin, por lo que la secuencia superior de la Tarango puede corresponder al Plio-Pleistoceno. La parte inferior de la formación está constituida por tobas, aglomerados, depósitos fluvio-aluviales y horizontes de pómez. En su parte superior predominan las cenizas volcánicas, arenas gruesas de pómez y fragmentos andesíticos; todo el material volcano-sedimentario está mezclado, dando la apariencia de nubes ardientes.




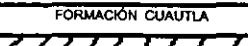

Hacia el centro de la Cuenca de México y hacia el norte, son comunes los suelos tobáceos y pumíticos; en la región de Tesquiaquiac, Nochistongo y Tula, además de éstos existen tobas lacustres bentoníticas, denominada como Serie Nochistongo y Requena (Mooser, 1975).

Durante el Plioceno tardío y el Cuaternario temprano continuó la actividad volcánica en las zonas de las Grandes Sierras, formando comúnmente domos andesíticos, riódacíticos y dacítas. La cuenca presentó una nueva reactivación tectónica, en la que los sistemas oeste-este fueron dominantes en la zona de la Malinche, al norte de Puebla, y en el Nevado de Toluca. Los nuevos sistemas estructurales tuvieron flexiones con dirección oeste-suroeste y este-noreste, uno de estos sistemas está representado por la Sierra del Ajusco, así como por los pequeños conos alineados que conforman la Sierra de Santa Catarina y la Sierra del Chichinautzin que contiene abundantes materiales volcánicos piroclásticos. La actividad tectónica dio origen a efusiones de andesitas y sucesivamente, andesitas basálticas; en el Cuaternario tardío, los basaltos fueron abundantes, dando lugar a la acumulación de más de 1,000 km³ de rocas volcánicas que constituyen a la Sierra del Chichinautzin, con más de 120 conos cineríticos. Este edificio de rocas volcánicas se desarrolló en los últimos 700,000 años y sirvió de barrera, que ocasionó la Cuenca endorreica de México.

Del Cuaternario tardío al Reciente los valles se cerraron entre el Popocatepetl, al este y la Sierra de Zempoala, al sur y las cabeceras del sistema hidrográfico al norte. Por esta causa la Cuenca se fue azolvando rápidamente por un aporte considerable de acarreo fluviales en forma de deyección, formados por los ríos: Hondo, Mixcoac, Contreras y por otros ríos sepultados por las lavas del Ajusco.

Hacia el norte de la Cuenca, el río de Las Avenidas de Pachuca y el de Teotihuacan, también formaron conos de deyección. Hacia el centro de la Cuenca los sedimentos limo-arenosos se estratificaron con cenizas volcánicas y pómez provenientes de las erupciones volcánicas de la Sierra Ajusco-Chichinautzin. En la **Figura 3** se muestra la estratigrafía regional.

Figura 3. COLUMNA ESTRATIGÁFICA REGIONAL.
(Modificada de Aguayo et al, 1989).

| ERA | PERIODO | ÉPOCA | CUENCA DE MÉXICO Y AREAS ADYACENTES | LITOLOGÍA | |
|----------------------------|--|-------------|---|--|---|
| CENOZOICO | CUATERNARIO | HOLOCENO | SERIE FLUVIAL ALUVIAL  SERIE CHICHINAUTZIN | Derrames de andesitas, andesitas basálticas, basaltos y tobas. Depósitos lacustres, aluvión compuesto por fragmentos de roca volcánica del tamaño de grava, arena, limo y arcilla. Derrames de lava, toba y aglomerados. | |
| | | PLEISTOCENO | | | |
| | TERCIARIO | NEÓGENO | PLIOCENO | FORMACIÓN TARANGO  ANDESITAS | Complejo volcano-sedimentario abanicos aluviales y lahares, intercalados con capas de pómez, cenizas, suelo, gravas, arenas de origen fluvial y tobas. Derrames andesíticos, riolíticos y dacíticos. |
| | | | MIOCENO | FORMACIÓN XOCHITEPEC | INCONFORMIDAD Derrames de andesitas, riolacitas hasta andesitas básicas y dacitas. Así como rocas piroclásticas. |
| | | PALEÓGENO | OLIGOCENO | GRUPO BALSAS | Conglomerados calcáreos compactos con matriz limo-arcillosa, rojizos por oxidación. Escasos derrames de lava andesítica. |
| | | | EOCENO | FORMACIÓN EL MORRO | Conglomerados calcáreos compactos con matriz limo-arcillosa, rojizos por oxidación. Escasos derrames de lava andesítica. |
| | | | PALEOCENO |  | DISCORDANCIA |
| | | MESOZOICO | CRETÁCICO | TARDÍO | FORMACIÓN MEXCALA |
| | FORMACIÓN CUAUTLA | | | | Calizas Mudstone, de plataforma. |
| |  | | | | DISCORDANCIA |
| FORMACIÓN MORELOS (DOCTOR) | Calizas Mudstone con estratificación delgada con nódulos y lentes de pedernal e interdigitaciones con lutitas. | | | | |
| TEMPRANO | NEOCOMIANO | |  | | |

La Cuenca de México, además de la actividad volcánica y del drenaje fluvial y aluvial, también estuvo afectada por periodos glaciales e interglaciales en los últimos 100,000 años, además de la precipitación pluvial; estos fenómenos meteorológicos formaron grandes lagos que frecuentemente se comunicaban entre sí como se muestra en la **figura 4**.

Mooser (1972) divide a los lagos formados en el Pleistoceno y del Reciente de la siguiente forma:

- a) Lagos formados en las partes bajas y que constituyen vasos de evaporación por ejemplo: Xaltocan y Texcoco.
- b) Lagos de piamonte de la Sierra de Chichinautzin alimentados de manantiales de agua dulce por ejemplo: Xochimilco y Chalco. El antiguo lago de Tenochtitlan, es un caso intermedio entre los otros dos descritos, en ciertas épocas del año de agua dulce debido al suministro de los manantiales de Chapultepec y Tlalpan, así como de las redes de arroyos provenientes de las Lomas. En épocas de estiaje, en la porción oriental del Lago de Tenochtitlan se incrementa la salinidad por evaporación.

Es posible que la salinidad del Lago de Texcoco no deba su origen exclusivamente a procesos de evaporación, puesto que está situada en una zona distensiva NW-SE, la cual incide en los manantiales termales de Pathé, Tecozautla y otros en el Estado de Hidalgo; por lo que, parte de su salinidad puede ser de origen hidrotermal.

Durante las fluctuaciones glaciales e interglaciales (épocas de deshielo) el nivel del lago variaba, lo que es evidente en San Juan de Aragón en donde el espesor de arcilla lacustre es de 90 metros, y se acuña hacia el poniente, en donde el piamonte de las Lomas de Chapultepec, así como en los altos topográficos formados por conos volcánicos que aparecen en las partes inferiores de la cuenca. Esto se ilustra en la **Figura 5**.

El espesor de la arcilla lacustre varía desde unos cuantos centímetros en el perímetro de la Cuenca hasta 100 a 200 metros en el Lago de Xochimilco-Chalco y en el de Texcoco.

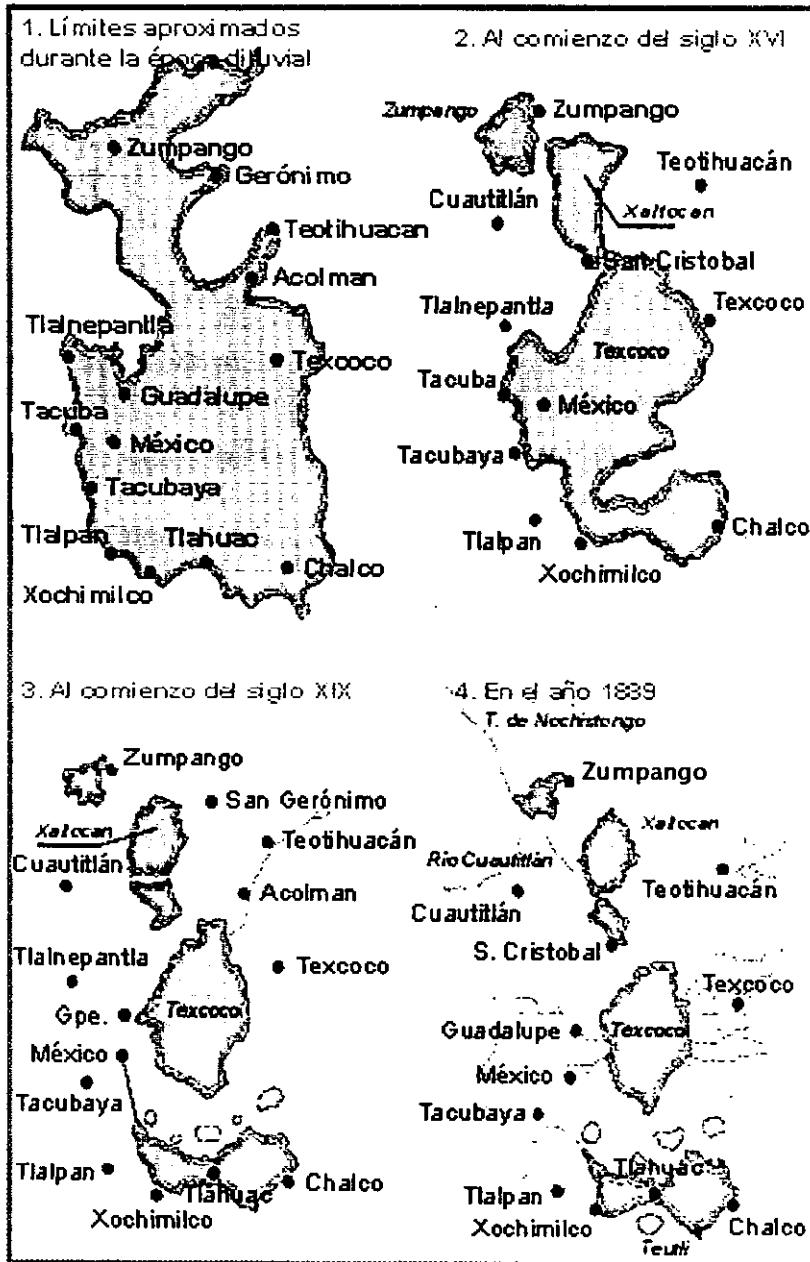
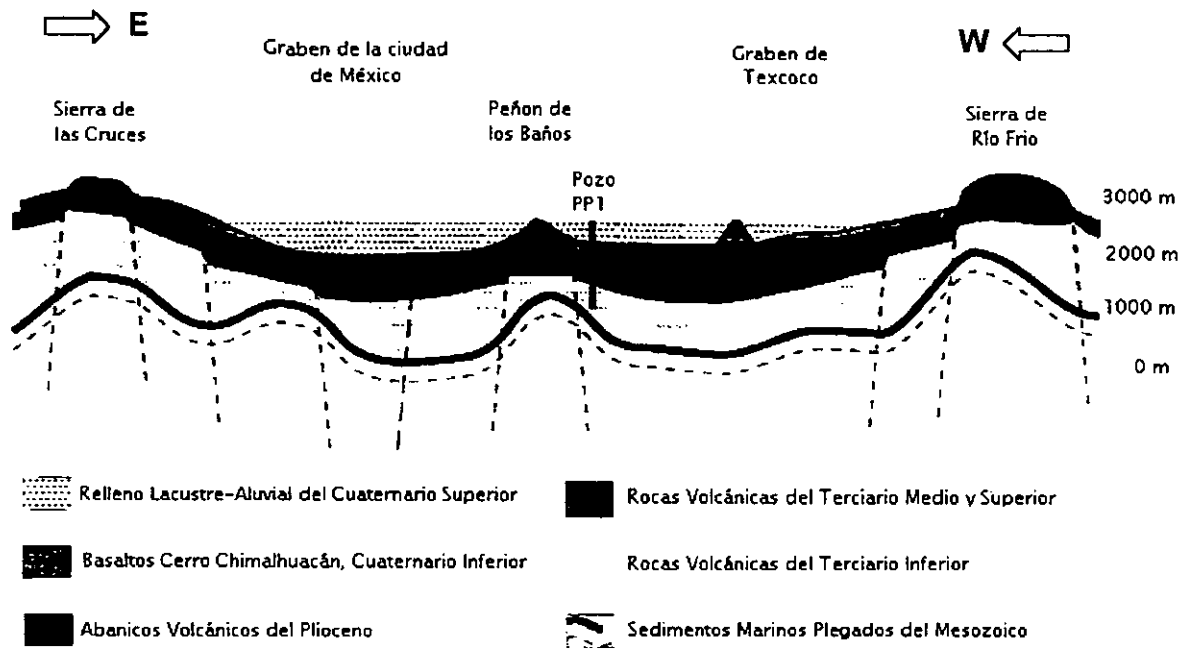


Figura 4. Croquis de la evolución de los Lagos, Elizabeth Schling 1938; en Aguayo et al 1989.

Figura 5. Sección geológica de la Cuenca de México. Graben de la Ciudad de México y Texcoco, Cruickshank García 1988.



La distribución de los sedimentos en la Cuenca de México es un factor importante en el comportamiento mecánico del subsuelo durante el desarrollo urbano, ya que intervienen propiedades tales como: variaciones texturales, de composición mineralógica y química, forma geométrica de los estratos y espesor de los mismos, como controladores de sus propiedades petrofísicas.

En consecuencia es posible establecer para el relleno Cuaternario de la Cuenca de México las siguientes seis reglas que rigen la estratigrafía, Mooser 1978.

La primera regla de sedimentación es desde luego su irregularidad. Ello es lógico ya que el relleno se formó en un ambiente continental.

La segunda regla de valor general, consiste en el hecho de que a partir de los abanicos volcánicos se puede notar en el relleno aluvial una transición de clásticos que varían de gruesos a finos a medida que uno se acerca al centro de la Cuenca.

La tercera regla establece que en el sur de la Cuenca el contacto entre los basaltos y los depósitos aluviales y lacustres es abrupto, ya que de los basaltos nunca bajaron arroyos que transportaron clásticos.

Esto se debe a la gran permeabilidad de las formaciones basálticas que provocaban la rápida infiltración de las lluvias.

La cuarta regla establece que en el centro de la cuenca se depositaron arenas finas, limos y arcillas, en vista de que hasta aquí los arroyos solamente podían transportar material muy fino, el cual se mezcla con los depósitos de tolvaneras originadas en las sierras.

La quinta regla se refiere a los lagos recientes. Entre ellos los lagos centrales por formarse en vasos de evaporación, fueron salobres. En ellos se depositaron, debido a las aportaciones de agua lodosas, arcillas floculadas con alto contenido de agua. En tales lagos no podían desarrollarse turbas, por el contrario, en los lagos de Chalco y Xochimilco, que se extendían a los pies de la esponja basáltica del Chichinautzin y que eran de agua dulce y limpia, las arcillas depositadas eran más escasas y con menor contenido de agua. En estos lagos abundaban las turbas.

La sexta regla de sedimentación está relacionada con la elevada actividad volcánica en el sur de la Cuenca de México. Es debido a esta actividad que los depósitos en la región de Chalco y Xochimilco abundan en gruesas capas de ceniza basálticas y estratos de pómez, mientras que tales productos escasean en la parte central y norte de la Cuenca.

2.3 Geología estructural en la Cuenca de México.

La Cuenca de México comprende una de las porciones centrales de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), varios factores geológicos se conjuntan para hacer de la Cuenca una provincia de alto riesgo sísmico. Por un lado la actividad ígnea y sus sistemas complejos de fallas y fracturas conjugadas, actualmente activas, y que forman sistemas de fosas y pilares. Las fosas están azolvadas con espesores potentes de sedimentos lacustres intercalados con lavas y piroclastos, lo que indica que el hundimiento del basamento, debido a la emersión regional de la FVTM, está acompañado por la actividad magmática de la placa oceánica de Cocos. Dentro de la Cuenca de México se manifiestan altos estructurales y depresiones locales a diferentes niveles estratigráficos, los cuales se manifiestan por la influencia regional de fallas y fracturas conjugadas SW-NE y SE-NW, que afectan a toda la República Mexicana, desde el Pacífico hasta el Golfo de México.

Es importante hacer mención que para el trabajo estratigráfico-estructural de la Cuenca de México existen tres sectores de mayor riesgo sísmico, que de norte a sur son los siguientes:

1.- Sector comprendido entre las fallas distensivas 12 y 13 (como se muestra en la **Figura 6**) conforman un graben, que incide en la Sierra de las Cruces hacia el Suroeste, y continua hacia el Noreste hacia el Valle de Tizayuca y al poblado de Pachuquilla, Hidalgo. Esta graben al cruzar la zona distensiva orientada NW-SE forma la Laguna de Zumpango.

2.- Sector entre las fallas 8 y 9 (ver **Figura 6**) que también conforman un graben en la Cuenca de México, en el que se sitúan los poblados de San Mateo Tlaltenango y San

Bartolo Ameyalco y Contreras; hacia el noreste incide en las colonias: Nápoles, Del Valle, Narvarte, Roma, Doctores. Juárez, Cuahutemoc y otras adyacentes afectadas severamente por los sismos de 1957 y 1985; el graben continua hacia el noreste hasta el poblado de Singuilucan, Hidalgo. Esta estructura geológica cruza la zona distensiva NW-SE, formando la depresión en la que se encuentra el Lago de Texcoco.

3.- Sector entre las fallas 5 y 7 (**ver figura 6**), conocido como depresión Chalco, en donde existe un espesor considerable de sedimentos lacustres de aproximadamente 500 metros. De acuerdo a resultados de los estudios sísmicos presentados por Pérez Cruz, 1988; en Aguayo *et al* 1989, se identificaron tres tipos de fallas geológico-estructurales, considerando que todas son de origen distensivo.

(1) **Fallas profundas** que solo afectan a la parte inferior de la columna estratigráfica, y que de acuerdo a la interpretación del autor (Pérez Cruz, 1988; en Aguayo *et al* 1989), se desactivaron desde el Mioceno (por ejemplo la falla Mixhuca, con orientación NW-SE, cuyo salto hacia el poniente varía entre 1,650 a 2,050 metros; Graben Copilco, con orientación N-S, y salto promedio de 130 metros de corta extensión; dos fallas de corta longitud, N-S y salto de unos 30 metros, formando un graben debajo de la colonia Narvarte).

(2) **Fallas locales** causadas por desplazamientos superficiales en zonas de inestabilidad de los flancos de promontorios estructurales por ejemplo: Falla Aeropuerto de corta longitud, con rumbo N-S y con salto de unos 20 metros al oriente, presente en la calzada Ignacio Zaragoza, al sur del Aeropuerto; dos fallas de corta longitud con rumbo N-S y salto de 30 metros, formando el graben al oriente del Peñón del Marqués, Graben de Tenochtitlán que se extiende N-S desde el Viaducto Piedad hasta la colonia Morelos, en la depresión del antiguo lago de la Ciudad de México.

(3) **Fallas locales alrededor del Cerro de la Estrella y el Peñón de los Baños**; que deben su origen a movimientos verticales por deslizamiento de los estratos volcánicos y sedimentos superficiales. No obstante, que se definieron los sistemas de fallamientos

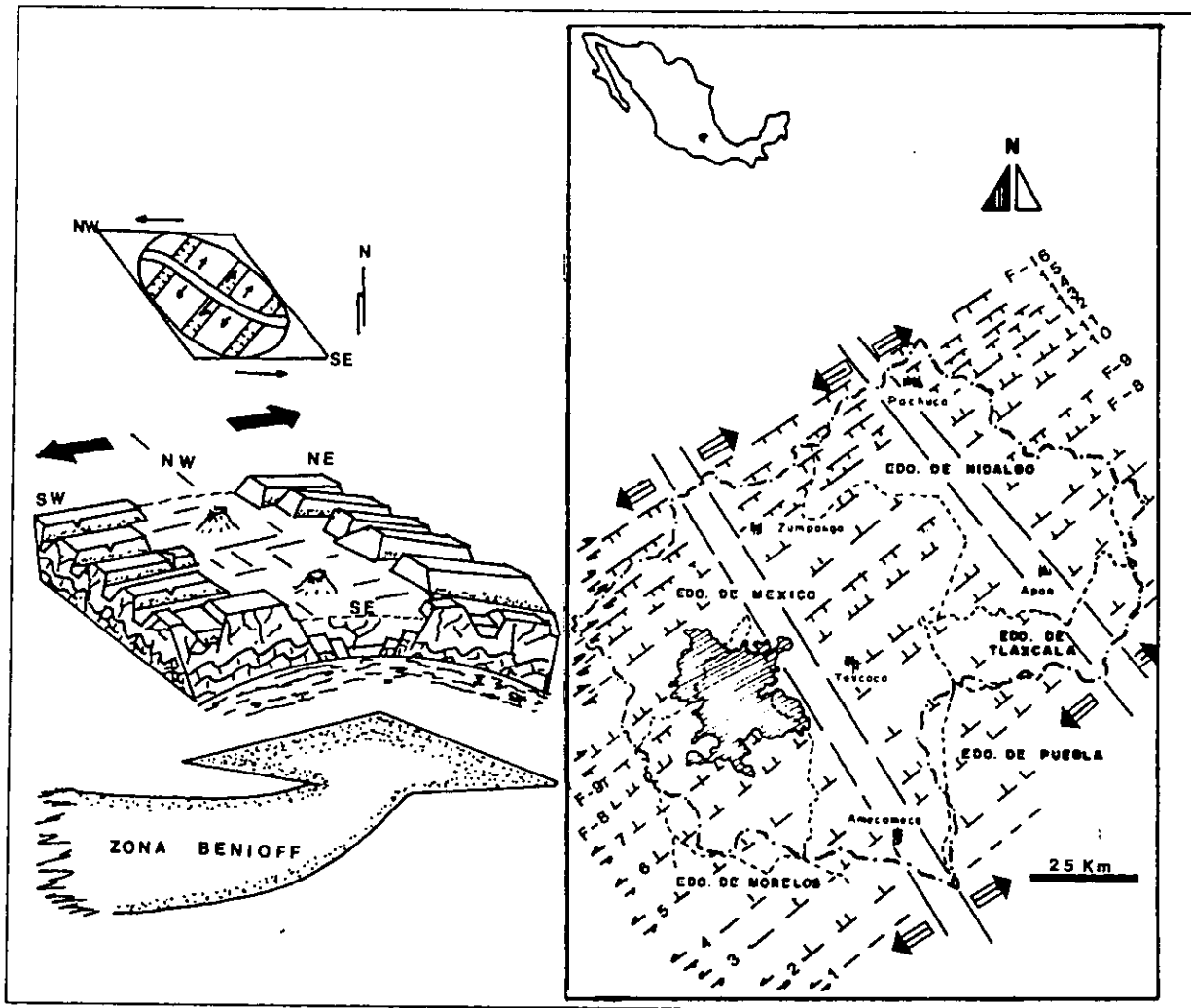


Figura 6. Modelo tectónico-estructural de la Cuenca de México, Aguayo *et al*, 1989.

locales en la ciudad, estos a su vez están controlados por sistemas estructurales regionales, y que inciden afectando a la FVTM.

En el interior de la Cuenca de México se identificaron 16 fallas distensivas principales con rumbo NE 45°-55° SW, delimitando a 15 bloques estructurales mayores de acuerdo a los estudios realizados por Marín y Aguayo.

Las fallas afectan a los sitios que se señalan a continuación de norte a sur.

F-1 En el extremo sur de la Cuenca de México, incide el volcán Popocatepétl.

F-2 Cruza entre los volcanes Sierra Nevada.

F-3 Atraviesa el cerro del Sacramento, al norte de Amecameca y el poblado de Santiago Cuatengo, hasta el cerro del Tezoyo al noroeste.

F-4 Cruza a unos 300 metros al norte de los poblados Tenango del Aire y Tlalmanalco, hasta el cerro del Papagayo y en la ladera izquierda del cerro Tepozan.

F-5 Al suroeste incide en Milpa Alta y hacia el noreste incide en Chalco, Lago las Animas y el poblado de Huehuetoca.

F-6 Al suroeste cruza el poblado de Tlahuac, atraviesa hacia el noreste al cerro El Pino, al poblado Emiliano Zapata, Lago de Apan y continua en los límites geográficos de los estados de Hidalgo y Puebla.

F-7 Al suroeste incide en el pueblo del Ajusco, hasta la Lago de Tecocomulco al noreste.

F-8 En el suroeste incide con el pueblo de Contreras, afecta a la zona centro, en las colonias: Nápoles, Del Valle, Narvarte, Roma, Doctores, Juárez, Cuauhtemoc y otras adyacentes. Hacia el noreste continúa hacia el Caracol en el Lago Tlanalapan y Cuatepec de Hinojosa.

F-9 En el suroeste incide en el poblado El Zarco, hacia el noreste es paralela a la Avenida Constituyentes-Reforma, cruza la avenida porción norte del Caracol en el Lago de Texcoco, San Martín de las Pirámides hasta el poblado de Singuilucan al noreste.

F-10 Al suroeste cruza el poblado de Huixquilucan de Degollado y hacia el noreste incide en los cerros el Chiquihuite y el Madroño, hasta Ecatepec y el Cerro de Tecajete.

F-11 Afecta al centro industrial de Tlalnepantla hacia el noreste incide en Coacalco, Tezontepec y Epazoyucan.

F-12 En el suroeste incide en el vaso de la Presa Guadalupe, hacia el noreste continúa hasta Tizayuca y Pachuquilla.

F-13 De suroeste al noreste, incide en los poblados de Tepozotlán y San Andrés Jaltenco, Zumpango, Zapotlán de Juárez y Mineral de Reforma.

F-14 Atraviesa a los poblados: Coyotepec y la porción suroriental de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

F-15 y F-16 No inciden en poblaciones importantes dentro de la Cuenca de México.

Los sistemas de fallas descritos de la F-1 a F-16 delimitan a quince bloques distensivos escalonados, con dos depresiones mayores (grabens) paralelas entre sí, una de estas depresiones corresponde a los límites de las fallas 8 y 9; la otra depresión corresponde al valle de Tizayuca-Pachuca y está limitado por las fallas 12 y 13 como se muestra en la **Figura 6**.

Los sistemas de fallas transcurrentes y distensivos tienen direcciones de movimientos izquierdo de la 1 a la 8 y son derechos de la 9 a la 16, debido a que la zona del Lago de Texcoco, es un centro de distensión, orientado NW 35° SE, paralelo al de las cuencas de Toluca -Malinalco, estado de México, y de la Actopan-Tlaxcala, al occidente y oriente, respectivamente (**Figura7**).

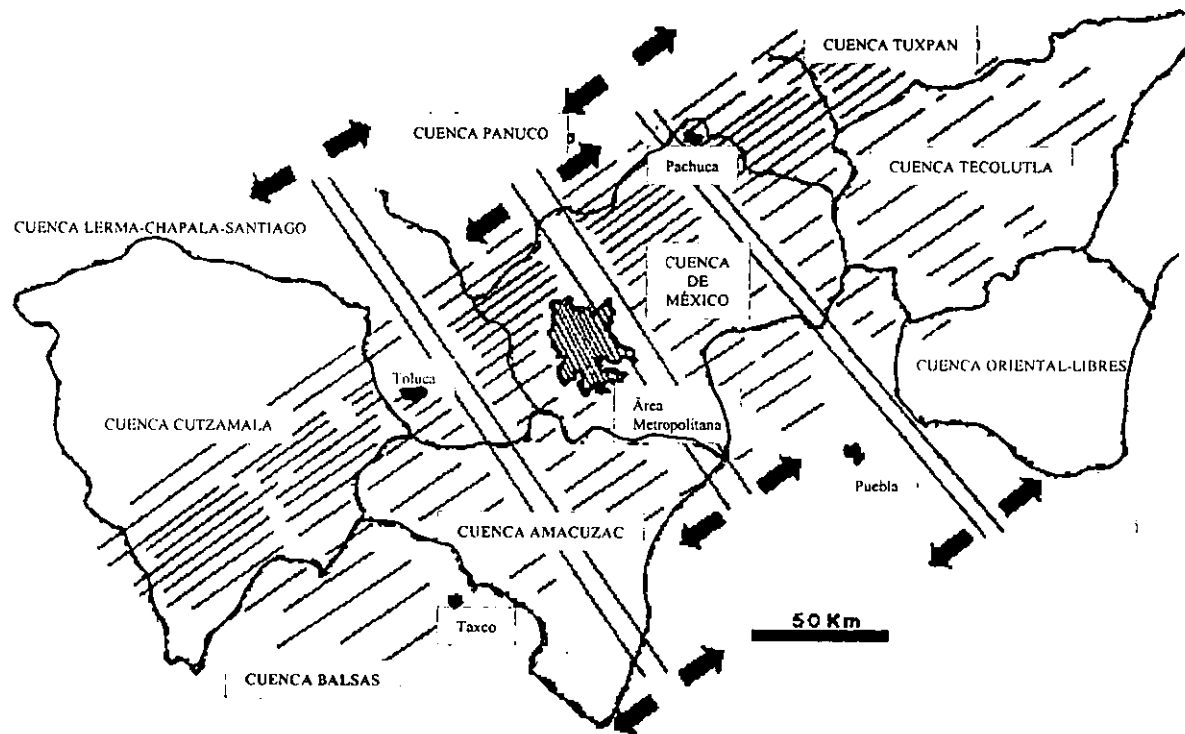


FIGURA 7. Sistemas de fracturas y fallas conjugadas en la Cuenca de México y zonas aledañas, Aguayo *et al*, 1989.

La depresión distensiva NW 35° SE, es consecuencia de los desplazamientos simultáneos que ocurren entre la placa de Norteamérica hacia el W-SW, de Cocos hacia el NE y de la del Caribe hacia el Este franco. El eje distensivo se manifiesta hacia el noroeste de la Cuenca en el tajo de Nochistongo, y hacia el sureste de Amecameca, su porción central está en el vaso de Texcoco, además una dos porciones de bajo relieve, como son: Amecameca-Otumba (2460 m.s.n.m.) y Tequisquiac-Huehuetoca (2250 m.s.m.n.), quedando alineadas zonas de hidrotermalismo como son: Cuautla al sureste y Apaxco-Pathé-Tecozautla al noroeste, y la zona termal del Peñón de los Baños.

La situación actual de la provincia geológica en general, y del subsuelo de la Ciudad de México, en particular, es consecuencia de la actividad antrópica, desordenada que ha sobreexplotado en forma irracional, los niveles piezométricos, al grado tal, de agotar los manantiales, modificar la calidad del agua en el subsuelo, y no menos importante, causar hundimientos diferenciales irreversibles permanentes del subsuelo en el área metropolitana, sin mencionar problemas de otra índole, no menos importantes.

2.4 Estratigrafía local.

De acuerdo con la integración y depuración de toda la información recopilada, en la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), Órgano Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Ciudad Nezahualcoytl (ODAPAS), Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.), Proyecto Lago de Texcoco, publicaciones de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS), tesis profesionales e informes inéditos, se determinó la estratigrafía del subsuelo en el área del municipio de Ciudad Nezahualcoytl. Es importante resaltar que la estratigrafía descrita a continuación corresponde con la típica del Lago de Texcoco. Las profundidades que aparecieron en cada uno de los depósitos, se aprecia a detalle en las columnas estratigráficas que se pueden observar en la **Figura 9**. De los ocho pozos de agua potable de Ciudad Nezahualcoytl solo se cuenta con un corte litológico.

2.4.1 Descripción estratigráfica.

En los estudios consultados se puede establecer que en el área comprendida entre el Ex-lago de Texcoco y el municipio de Ciudad Nezahualcoyotl, el depósito más somero es de 2 a 3 metros de espesor y es llamado **Unidad Superficial** estando constituido por limos y arcillas plásticas como lo definieron (Ortega Guerrero, 1989, y Cruickshank García, 1988).

Subyaciendo a esta formación se encuentra un depósito de 33 metros de espesor en promedio conocida como **Unidad Arcillosa Superior (U.A.S.)**; constituida por capas de arenas arcillosas muy compresibles, saturadas y plásticas, así la nombraron (Matíaz Santiago, 1989, Ortega Guerrero, 1989, Cruickshank García, 1988); por otra parte a esta formación la describen (Marsal y Mazari, 1959) como un paquete constituido por capas arcillosas muy compresibles y saturadas que de acuerdo a estudios realizados por la Comisión Federal de Electricidad en 1988, reportan velocidades de propagación sísmica del orden de 250 m/s a 1,100 m/s, lo que indica su poca consistencia.

A una profundidad promedio de 33 a 36 metros se encuentra la **Primera Capa Dura** con un espesor promedio de 3 metros; está constituida por materiales limo arenosos compactos y rígidos. Esta capa es fácilmente identificable en la zona del Ex-lago de Texcoco como se puede observar en la **Figura 9** en las distintas columnas estratigráficas propuestas en diversos estudios.

Abajo de la Primera Capa Dura se encuentra un paquete de 8 a 12 metros de espesor denominado **Unidad Arcillosa Inferior (U.A.I.)**; integrada por capas de arenas arcillosas saturadas y plásticas como lo definieron (Ortega Guerrero, 1989, Martíaz Santiago, 1989 y Herrera *et al* 1974).

Subyaciendo a la formación anterior se encuentra a una profundidad promedio de 53 metros un depósito constituido por arcillas, intercaladas por estratos limoarenosos y vidrio volcánico de 10 metros de espesor llamado **Depósitos Aluviales Profundos** por Ortega Guerrero, 1989 y Herrera *et al*, 1974 ó **Segunda Capa Dura** (Matíaz Santiago, 1989) presentando velocidades de propagación de 800 m/s a 1,500 m/s de acuerdo a los

estudios realizados por la C.F.E. en 1988 en la zona del Lago de Texcoco. Esta velocidad también, indica poca consistencia.

Abajo de los Depósitos Aluviales Profundos se localiza a una profundidad de 64 metros en promedio la **Unidad Arcillosa Profunda** constituida por arcillas y limos de color verde tiene un espesor de 125 metros aproximadamente. De acuerdo a estudios de la C.F.E. éstos materiales presentan velocidades de propagación del orden de 1,700 m/s a 2,000 m/s, lo que indica un material poco consolidado. En el pozo 1BIS realizado en el Proyecto Lago de Texcoco lo describen como un paquete de arenas finas de color gris claro a oscuro incluidas en una matriz arcillosa plástica.

A continuación se describen a detalle cada una de las capas del subsuelo que constituyen los depósitos de materiales en los primeros 53.5 metros en la zona de Ciudad Nezahualcoyotl (Matías Santiago, 1989):

- 1 Relleno constituido por arena limosa, con restos de construcción de tabique y vidrio, presenta un metro de espesor.
- 2 Arcilla poco limosa, color verde olivo y café olivo claro de alta compresibilidad y consistencia semirígida, de dos metros de espesor.
- 3 Arena fina, color gris claro, con espesor de 0.5 a 1 metro.
- 4 Arcilla poco limosa, color café olivo claro, de alta compresibilidad y consistencia semirígida, con fósiles, de seis metros de espesor.
- 5 Arena fina color negro, con espesor promedio de 0.5 metros.
- 6 Arcilla poco limosa, color café olivo oscuro, café rojizo y verde olivo, de alta compresibilidad y consistencia semirígida, con fósiles, con espesores de 4.0 a 4.5 metros.
- 7 Arcilla poco limosa y arcilla limosa color verde olivo, café rojizo y café olivo de alta compresibilidad y consistencia semirígida con fósiles, con espesor variable de 0.3 a 1 metro.

- 8 Arcilla poco limosa y arcilla limosa color verde olivo, café rojizo y café olivo de alta compresibilidad y consistencia semirígida con fósiles, de seis metros de espesor.
- 9 Limo y arena color café rojizo, con arena negra, presenta 1 metro de espesor.
- 10 Arcilla poco limosa y arcilla color verde olivo, café rojizo y café olivo, de alta compresibilidad y consistencia semirígida con fósiles, de 5 metros de espesor.
- 11 Limo y arena color café rojizo, con arena negra, de un metro de espesor.
- 12 Arcilla poco limosa y arcilla limosa color verde olivo, de alta compresibilidad y consistencia rígida, teniendo un espesor variable de 5.0 a 5.5 metros.
- 13 Limo arenoso y arena fina limosa color gris claro, gris oscuro y gris verde olivo, de baja compresibilidad, denso a muy denso, en algunas partes cementadas, con espesor de 1.5 metros (**Primera Capa Dura**).
- 14 Arcilla poco limosa y arcilla limosa, color verde olivo, café rojizo y café olivo, de alta compresibilidad y consistencia muy rígida con fósiles, con 2 metros de espesor.
- 15 Vidrio volcánico blando fino, con espesor de 0.5 metros.
- 16 Arcilla poco limosa y arcilla limosa color verde olivo, café rojizo y café olivo de alta compresibilidad, denso a muy denso, con algunas partes cementadas, con un espesor promedio de 1.5 metros.
- 17 Vidrio volcánico fino, con 1.5 metros de espesor.
- 18 Arcilla poco limosa y arcilla limosa color verde olivo, café rojizo y café olivo de alta compresibilidad y consistencia muy rígida con fósiles, presentando 5 metros de espesor.
- 19 Limo arenoso y arena fina limosa color gris claro, gris oscuro y gris verde olivo, de baja compresibilidad, denso a muy denso, con algunas partes cementadas, con 7 metros de espesor.

En función de las capas antes descritas se puede distinguir:

- 1.- La Unidad Arcillosa Superior denominada **U.A.S.**
- 2.- La Unidad Arcillosa Inferior denominada **U.A.I.**
- 3.- Entre las unidades denominadas UAS y UAI se encuentra **la Primera**

Capa Dura.

2.4.2 Correlación estratigráfica del municipio de Ciudad Nezahualcoyotl y su entorno en el Ex-lago de Texcoco.

Para tener una visión de las diferentes unidades estratigráficas que presenta el subsuelo en el municipio de Ciudad Nezahualcoyotl, se realizó una sección denominada A - A' cuya longitud es de 10 kilómetros. Dicha sección parte del pozo Neza No.5 y de ahí se continúa hasta un sondeo en el Ex-lago de Texcoco en las cercanías del Bordo de Xochiaca como se puede apreciar **en la Figura 8**. Posteriormente la sección se continúa hacia el pozo ubicado en el Bordo Poniente para después prolongarse a las cercanías del Lago Nabor Carrillo en donde se sitúa el pozo 1 BIS que pertenece a la batería de pozos del Ramal Peñón-Texcoco. Finalmente la sección termina en los terrenos de la E.N.E.P. Aragón en donde se encuentra el pozo SM-1.

En el Pozo de agua potable Neza No.5 los primeros treinta y tres metros pertenecen a la Unidad Arcillosa Superior (U.A.S.), depósito que hacia el Ex-lago de Texcoco se profundiza presentando 39 metros en el Bordo Poniente y 35 metros en la E.N.E.P. Aragón; esta unidad presenta en el Lago Nabor Carrillo 36 metros de espesor de acuerdo con los resultados del Pozo 1BIS.

Subyaciendo a la U.A.S. se encuentra la Primera Capa Dura a 33 metros de profundidad en el Pozo Neza No.5, a 34 y 39 metros en las cercanías del Bordo de Xochiaca y Bordo Poniente respectivamente ambos localizados en el Ex-lago de Texcoco y finalmente se

Figura 8. Planta topográfica que muestra la distribución de la sección A-A', modificado de Mooser 1978.

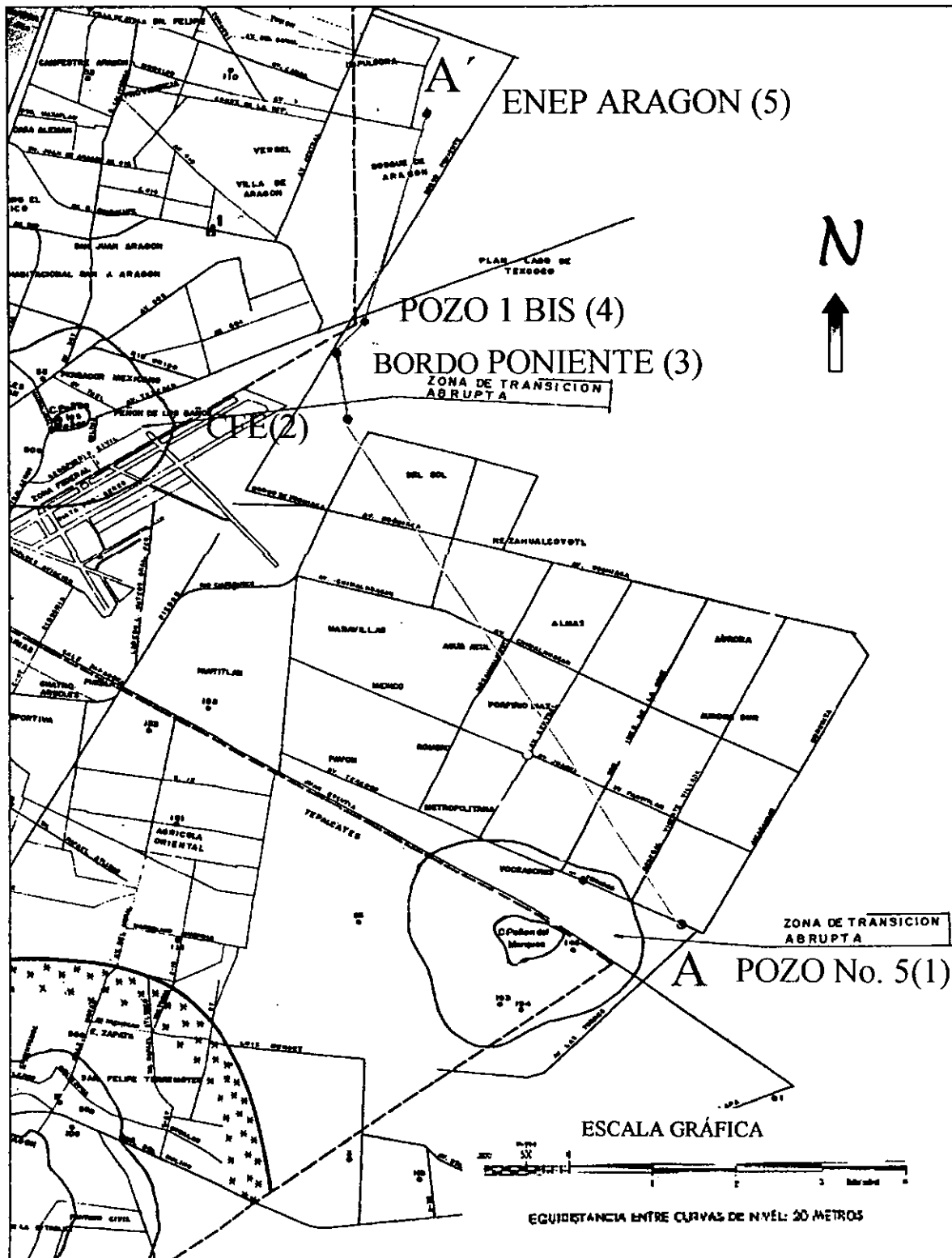
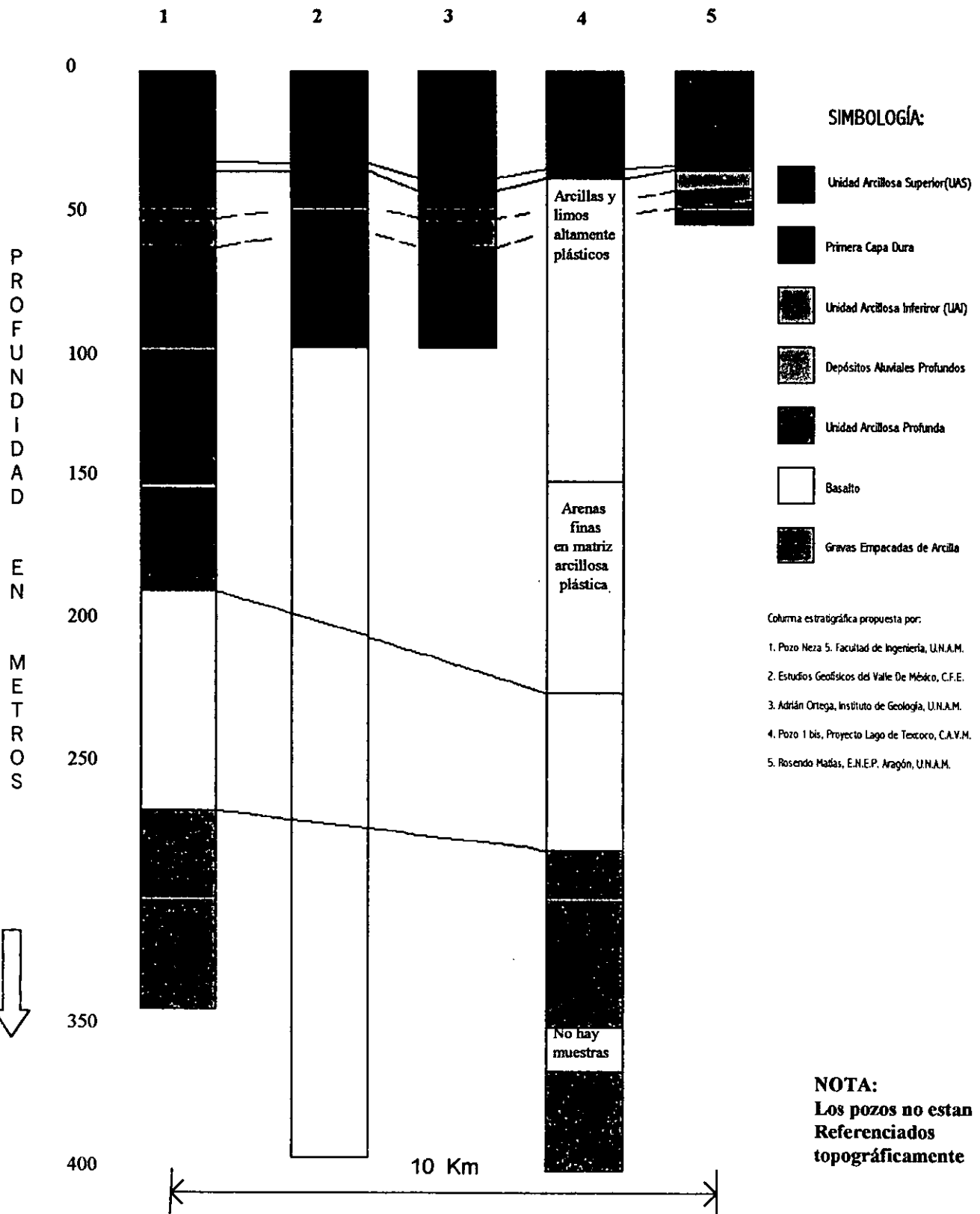


Figura 9. Sección estratigráfica en Ciudad Nezahualcoyotl y su correlación con el Ex lago de Texcoco



encontró a 35 metros en el pozo 1 BIS y en el pozo SM-1 de la E.N.E.P. Aragón, en promedio el espesor de la capa dura es de 3 metros de espesor.

Abajo de la primera Capa Dura se encuentra la Unidad Arcillosa Inferior (U.A.I.) de espesor variable; 17 metros en el Pozo Neza No.5, 10 metros en el Bordo Poniente y 5 metros en la E.N.E.P. Aragón.

Subyaciendo a la Unidad Arcillosa Inferior se encuentra un paquete llamado Depósitos Aluviales Profundos; éste estrato tiene un espesor de 11 metros en los Pozos Neza No.5 y Bordo Poniente y 7 metros de espesor en la E.N.E.P. Aragón a esta capa se le conoce como Segunda Capa Dura.

Subyaciendo a los Depósitos Aluviales Profundos se encuentra un paquete denominado Unidad Arcillosa Profunda; en el Pozo Neza No.5 se le conocen 124 metros de espesor mientras que en el Pozo 1 BIS cerca del Lago Nabor Carrillo alcanza un espesor de 108.5 metros.

Subyaciendo a la Unidad Arcillosa Profunda a partir de una profundidad de 188 metros en el pozo Neza No.5 se presentan dos coladas de basaltos de 10 y 70 metros de espesor respectivamente, las coladas se correlacionan con las obtenidas del pozo 1 BIS ubicada cerca del Lago Nabor Carrillo en donde presentaron un espesor de 58 metros.

La última Unidad profunda explorada por el Pozo Neza No.5 es un depósito de gravas empacadas de arcilla que cuenta con 72 metros de espesor, misma que aparece en el Pozo 1 BIS del ramal Peñón-Texcoco en donde presenta un espesor de 98 metros.

3. HIDROGEOLOGÍA.

3.1 Entorno hidrológico y zonas hidrológicas de la Cuenca de México

Existen once subcuencas hidrológicas con gran cantidad de ríos y arroyos, son las siguientes: Xochimilco (I, con 522Km²), Churubusco (II, con 234 Km²), Ciudad de México (III, con 725 Km²), Cuautitlan (IV, con 972 Km²), Pachuca (V, con 2087 Km²), Teotihuacan (VI, con 930 Km²), Texcoco (VII, con 1147 Km²), Chalco (VIII, con 1124 Km²), Apan (IX, con 637 Km²), Tochac (X, con 690 Km²) y Tecocomulco (XI, con 533 Km²), como se observa en la **Figura 10 y en la Tabla 1**.

La zona en estudio pertenece a la subcuenca hidrológica Texcoco (VII), que es la que incide con sus escurrimientos al área de Ciudad Nezahualcoyotl.

El lago de Texcoco es alimentado por los siguientes afluentes:

Río Churubusco. Es el de mayor caudal del sistema; sus aguas ingresan por el bombeo de la planta del lago del GDF y provienen del suroeste de la Cuenca.

Río de la Compañía. Este cauce conduce aguas provenientes del sureste de la Cuenca, del Dren Xochiaca de Ciudad Nezahualcoyotl y de los Drenes Chimalhuacán I y II.

Río de los Remedios. Ha quedado con flujo irregular dado que sus aguas provenientes del poniente descargan principalmente en el Gran Canal del desagüe y el tramo entre este canal y la Zona Federal del lago, a veces vacían hacia el Dren General de la Cuenca.

Río San Juan Teotihuacan. Su cauce natural llega a la Zona Federal por el noreste, en el estiaje su caudal es reducido porque sus aguas se aprovechan en zonas ejidales contiguas.

Río Papalotla. Es el más caudaloso de la zona oriente, y llega a la Zona Federal por dos brazos, el Santa Rosa y el San Bartolo.

Río Xalapango. Es uno de los tributarios, cuya Cuenca es necesario manejar y controlar.

Río Coxacoaco. También requiere manejo y control como los anteriores.

Río Texcoco. Actualmente funciona como desagüe y drenaje sanitario de la zona conurbada de Texcoco.

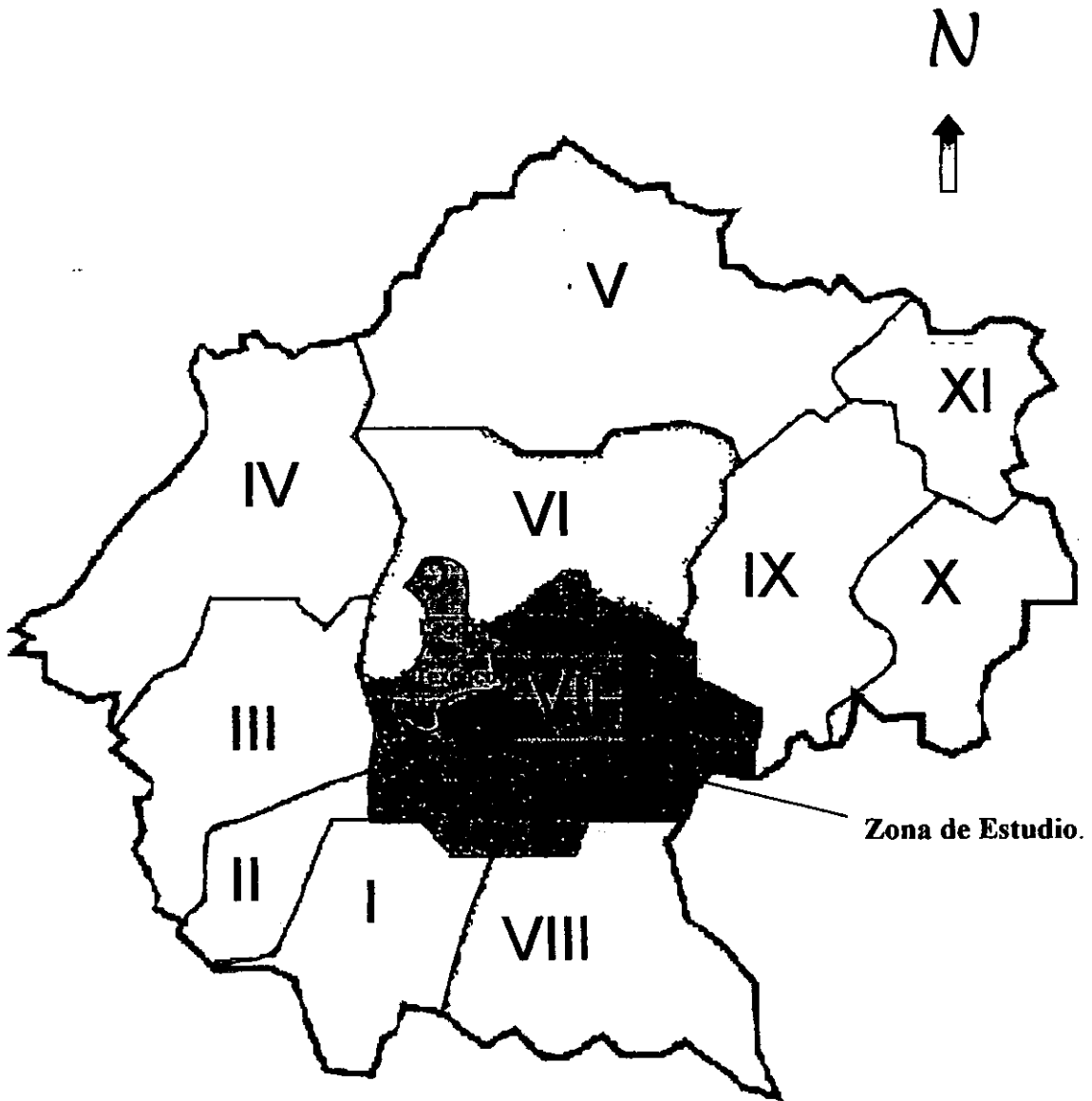


Figura 10. Croquis de las Zonas hidrológicas de la Cuenca de México, Cruickshank Garcia 1988.

Río San Bernardino. Es necesario aprovecharlo en el manejo integral de la cuenca.

Río Chapingo. Este cauce funciona como desagüe de la zona de riego de San Bernardino.

Río Coatepec. Descarga en terrenos agrícolas de la zona de Chimalhuacán.

Río Santa Mónica. Se incorpora al río coatepec en la misma zona de Chimalhuacán.

El entorno hidrológico se muestra en la **Figura 11**.

Características de las principales subcuencas de la Cuenca de México:

| Región y subcuenca | Área en km ² | Precipitación media en (mm) | Escorrentamiento medio anual en (Hm ³) | % de la Subcuenca en la Cuenca de México |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|--|--|
| I | 522 | 910 | 5.4 | 5.4 |
| II | 234 | 870 | 31.8 | 2.4 |
| III | 725 | 760 | 149 | 7.6 |
| IV | 972 | 720 | 123.7 | 10.1 |
| V | 2087 | 550 | 16.7 | 21.7 |
| VI | 930 | 610 | 5.9 | 9.7 |
| VII Zona de estudio | 1146 | 810 | 53.1 | 11.9 |
| VIII | 1124 | 850 | 39.7 | 11.7 |
| IX | 637 | 720 | 18.6 | 6.6 |
| X | 690 | 670 | 23.1 | 7.2 |
| XI | 533 | 670 | 12.3 | 5.6 |
| TOTAL | 9600 | 740 | 479.3 | 100.0 |

Tabla 1. FUENTE : Gerencia de Estudios y Evaluación: Gerencia de Aguas del Valle de México; en Cruickshank García, 1988.

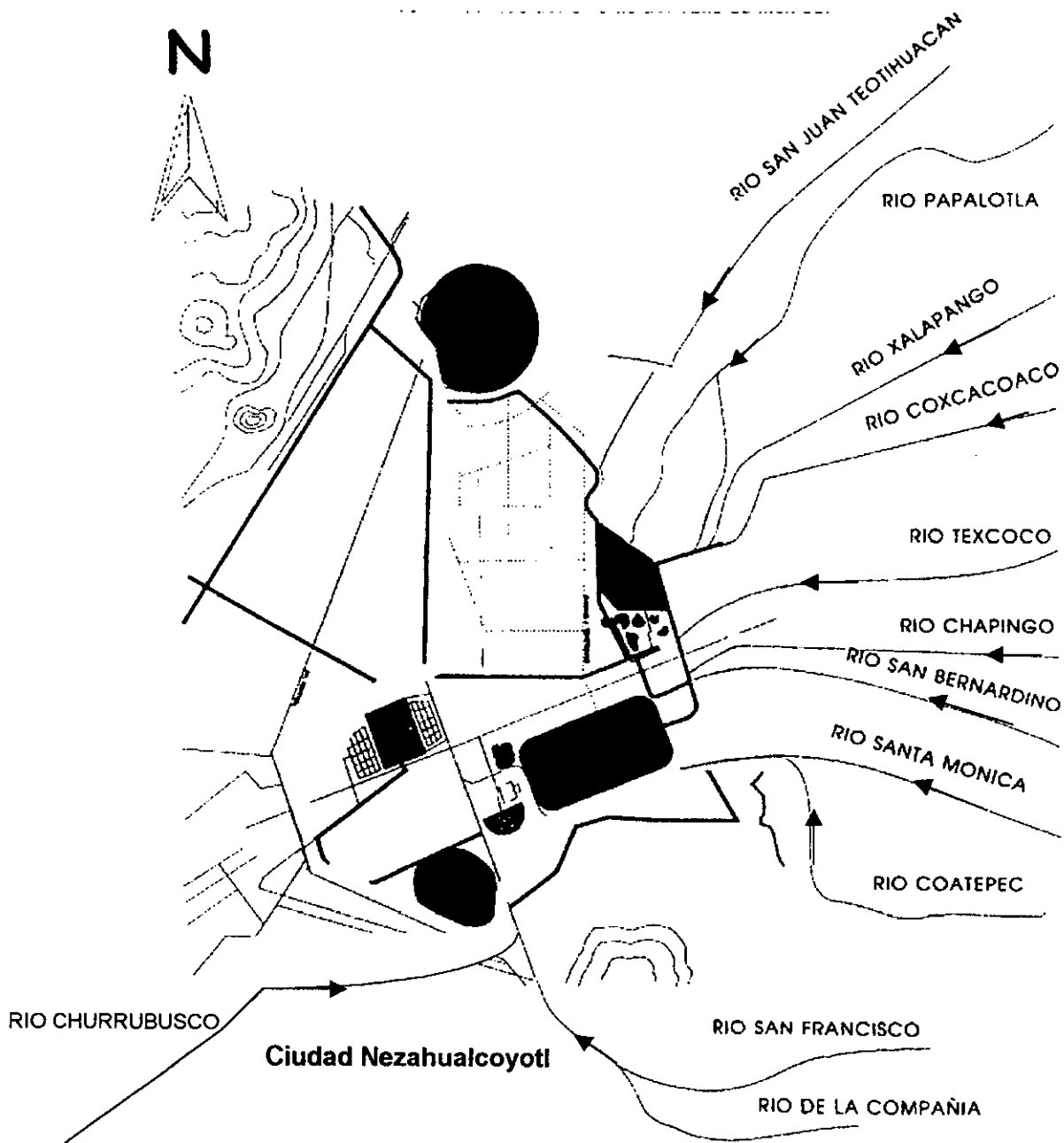


Figura 11. Croquis entono Hidrológico del oriente de la Cuenca de México, Cruickshank García 1988.

3.2 Recarga del acuífero (Ex-lago de Texcoco).

La recarga que se genera en el acuífero del Ex-lago de Texcoco, proviene de la filtración de las sierras más cercanas en medios fracturados y porosos con movimiento vertical.

Al noroeste de la Sierra de Guadalupe, y al oeste el Cerro del Peñón de los Baños, hacia el sur actúa la Serie Volcánica Basáltica y al sureste el Cerro de Chimalhuacán juega un papel muy importante, siendo el aparato volcánico más cercano a la zona de estudio. Al suroeste se localiza la Sierra de Santa Catarina, de gran importancia como zona de captación.

Al este la Sierra Nevada, la más importante dada su extensión y su línea de nieve perenne.

3.3 Propiedades físicas de los depósitos.

Las formaciones acuíferas se encuentran albergadas, en medios porosos como es el caso de los depósitos aluviales y también en medios fracturados como en los basaltos.

En particular la matriz porosa presenta heterogeneidad y anisotropía debido principalmente a que los procesos naturales de sedimentación han sido alterados por la alternancia de material ígneo, producto de la intensa actividad volcánica de la cuenca.

Lo anterior complica una correlación estratigráfica basada en los materiales recuperados de los pozos, pudiéndose no discernir además, una correlación de rangos resistivos. A esta situación hay que agregar los fenómenos de "impermeable" debidos a la presencia de arcilla.

3.4 Tipo de acuífero.

El sistema del acuífero de la Ciudad Nezahualcoyotl es de tipo semiconfinado. Debido a la alta porosidad y compresibilidad natural, el estrato de arcilla adyacente al acuífero actúa como acuitardo de semiconfinamiento y provee de agua a los acuíferos cuando así lo demanden. La filtración es derivada del almacenamiento de los sedimentos arcillosos.

3.5 Unidades hidrogeológicas en la zona del Ex-lago de Texcoco.

Para la Zona Federal del Ex-lago de Texcoco, los resultados más recientes que se han obtenido de acuerdo a estudios, indican que existen tres acuíferos semiconfinados de poco espesor. Estos acuíferos están limitados por acuitardos de alta comprensibilidad, los cuales proporcionan enormes volúmenes de agua a los acuíferos por infiltración.

Considerando las proposiciones expuestas en el apartado de estratigrafía y en la reinterpretación del corte litológico del Pozo Neza No.5, se adopta y se propone sin menoscabo de particularidad, al contexto de lo expuesto por Arias, 1990, Marsal y Mazari, 1959, Ortega Guerrero, 1989, con respecto a las unidades hidrogeológicas del sitio como sigue :

Unidad 1: Acuitardo lacustre arcilloso. Alternancia de limos y cuatro lentes arenosos de 1 metro de espesor, denominado U.A.S. (Unidad Arcillosa Superior) con espesor de 33 metros. El contenido natural de agua es de 303% (Murillo *et al*, 1978).

Unidad 2: Acuífero semiconfinado. Capa de arena dura mezclada con limo de 3 metros de espesor, a una profundidad de 33 a 36 metros. El contenido natural de agua es de 59% (Murillo *et al*, 1978).

Unidad 3: Acuitardo. Unidad Arcillosa Inferior (U.A.I.), arcilla con limos de 17 metros de espesor. Profundidad de 36 a 53 metros. Contenido natural de agua 255% (Murillo *et al*, 1978).

Unidad 4: Acuífero semiconfinado. Depósitos Aluviales Profundos de 11 metros de espesor. Profundidad de 53 a 64 metros. El contenido natural de agua es de 49% (Murillo *et al*, 1978).

Unidad 5: Acuitardo. Unidad Arcillosa Profunda. Estrato semiconfinante de 124 metros de espesor. Arcillas y limos plásticos con arenas finas incluidas en matriz arcillosa. En la base se reportan depósitos aluviales profundos de compactación media.

Profundidades de 64 a 188 metros. El contenido natural de agua es de 147% (Murillo et al, 1978).

Unidad 6: Acuífero semiconfinado. Basaltos de 80 metros de espesor, con una profundidad de 188 a 268 metros de espesor.

Unidad 7: Capa Acuitardo (no bien definido). Gravas empacadas en arcilla de 72 metros de espesor.

3.6 Funcionamiento hidrogeológico.

De acuerdo a información proporcionada por ODAPAS, de los ocho pozos activos se extrae anualmente un promedio de 0.921 m³/s en una superficie de 63.44 km².

Esta extracción, iniciada en poca escala en 1966, empezó a provocar en la década de los noventa subsidencia en los terrenos aledaños a los pozos. Esta subsidencia alcanza en algunos puntos 20 centímetros anuales según información proporcionada por técnicos operadores de los pozos, la cual es congruente de acuerdo a los resultados obtenidos en la nivelación del Pozo No.7; ya que en cuatro meses (marzo, abril, mayo y junio de 2000) el hundimiento diferencial fue de 6.05 cm situación que extrapolada en un intervalo de un año puede llegar alrededor de los veinte centímetros (**Fotografía 1**).

La manifestación más clara de estos fenómenos es la emergencia de ademes de los pozos, en algunos de los cuáles es necesario recortar el tramo de ademe emergido cuando menos una vez al año.

El fenómeno de la subsidencia del terreno en zonas lacustres fue estudiado por primera vez por el Dr. Nabor Carrillo en 1948. En 1952, a raíz de las grandes inundaciones que sufrió la Ciudad de México en 1951 y 1952, se empezó a correlacionar el fenómeno del hundimiento de los suelos blandos con la extracción del agua subterránea en los

acuíferos del Centro Histórico de la Ciudad de México y del Ex-lago de Texcoco.

Actualmente el fenómeno de subsidencia por extracción de agua subterránea no es exclusivo de la Ciudad de México y del Ex-lago de Texcoco; Celaya, Querétaro, Aguascalientes, León, Torreón, Ixtlahuaca, etc. son ciudades y regiones donde el fenómeno alcanza grandes dimensiones.

En la zona de Ciudad Nezahualcoyotl, la información disponible sobre los cortes litológicos de sus ocho pozos es casi nula; ya que se dispone de un sólo corte (Pozo Neza No.5), por lo que para reconstruir y proponer la ocurrencia de Unidades Hidrogeológicas del sitio se han ocupado los datos de CFE, 1988; Arias Paz, 1990; Ortega Guerrero, 1989; Matías Santiago, 1989 y ODAPAS, 1999.

Por lo que respecta a la historia piezométrica de esos ocho pozos, ocurren las mismas circunstancias desfavorables. Debido a que son pozos de suministro de agua potable, operan continuamente por lo que sólo se tiene oportunidad de leer niveles estáticos cuando se reparan equipos de bombeo. No obstante aunque esto ha ocurrido en varias ocasiones no se registraron los niveles estáticos en esas oportunidades, salvo aquellos observados en videograbaciones en fechas anteriores a este trabajo de tesis.

La campaña de recolección de los niveles de este trabajo de tesis logró observar 6 niveles estáticos en los pozos en que se realizaron pruebas de bombeo y dinámicos en los restantes (**ver Tabla 2**), que muestra la evolución de los niveles dinámicos en los ocho pozos de agua potables. A estos datos se adicionan las profundidades de niveles estáticos tomados durante los videos que se efectuaron en 1998 y 1999. Se cuenta además con 6 niveles dinámicos para cada pozo registrados durante este estudio.

El objetivo de estas mediciones fue registrar la tasa de hundimiento del terreno o compresión de la Unidad Arcillosa Inferior bajo el siguiente modelo conceptual de funcionamiento que se propone en este trabajo bajo las siguientes consideraciones:

- a) Se identificaron tres unidades acuitardos y tres unidades acuíferas semiconfinadas.
- b) Los niveles estáticos se encuentran en un rango de 35 a 39 metros mientras

que los niveles dinámicos se localizan de 38 a 51 metros.

c) Las tuberías ranuradas inician a los 35, 55, 71 y 212 metros en seis de los pozos de agua potable.

Tabla 2. Evolución de los niveles dinámicos en los pozos de agua potable

| NUMERO DE POZO | MARZO 2 DEL 2000 | MARZO 30 DEL 2000 | ABRIL 27 DEL 2000 | MAYO 15 DEL 200 | MAYO 30 DEL 2000 | JULIO 15 DEL 2000 | DIFERENCIA DE ELEVACION |
|----------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| NEZA 3 | ND 45.465 m | ND 45.905 m | ND 45.785 m | ND 45.643 m | ND 45.965 m | ND 45.628 m | 0.163 m |
| NEZA 4 | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable |
| NEZA 5 | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable | No sondeable |
| NEZA 7 | | ND 41.447 m | ND 41.639 m | ND 41.720 m | ND 41.855 m | ND 41.580 m | 0.133 m |
| NEZA 8 | | NE 39.190 m ND 49.458 m | ND 51.637 m | ND 51.530 m | ND 51.32 m | ND 51.455 m | 1.997 m |
| NEZA 303 | | NE 39.836 m ND 43.757 m | ND 43.727 m | ND 43.790 m | ND 44.00 m | ND 43.997 m | 0.477 m |
| NEZA 329 | ND 41.955 m | ND 41.811 m | ND 42.150 m | ND 42.250 m NE 38.880 m | ND 42.23 m | ND 42.187 m | 0.232 m |
| NEZA 330 | | ND 44.035 m | ND 44.108 m | ND 44.050 m | ND 43.85 m | ND 44.364 m | 0.329 m |

Donde:

N.E. es el nivel estático y N.D. el nivel dinámico.

La despresurización de las unidades acuíferas produce una aportación descendente de los acuitardos. Al perder agua, la presión de poro en las arcillas disminuye y se compacta.

Si se toma como válido y confiable el corte litológico del Pozo Neza No.5. Es claro que la unidad productora es el basalto y que funciona como acuífero semiconfinado, dado que el nivel estático se encuentra a 39.62 metros. La despresurización en las fracturas de la capa superior del basalto podría inducir un aporte del acuitardo que lo semiconfina en

su base y por lo tanto la compactación de este último. Para que esto ocurra, es necesario que la formación basáltica presente densidad de fracturamiento en el contacto con el acuitardo, de tal manera que pueda recibir volúmenes importantes de agua por depresión de las arcillas y éstas a su vez se compacten por pérdida de agua.

Por otra parte, el Pozo Neza 3 presenta características similares al Pozo Neza 5 en cuanto a su diseño y funcionamiento hidrogeológico. La tubería ranurada se inicia a los 198 metros, lo que lleva a pensar que el horizonte de aportación está conformado también por la formación basáltica. En este sitio el acuífero es semiconfinado; los depósitos granulares no consolidados funcionan como capas de semiconfinamiento e intervienen por despresurización con volúmenes considerables. Para este caso no se cuenta con corte litológico por lo que la validez del modelo está sujeto a críticas y sugerencias. Como en el caso anterior se reitera que su nivel estático se encuentra a 36.80 metros.

De acuerdo con la ubicación de los pozos antes descritos, los derrames de lava del aparato volcánico denominado Peñón del Marques localizado al suroeste pueden correlacionarse con las coladas lávicas de esos pozos. Estos depósitos reportados a profundidad (80 metros de espesor en el Pozo Neza 5), son los principales productores y que al estar semiconfinados por granulares, presentan tal presión que elevan el nivel de agua en los pozos, aún en operación, a casi 39 metros antes de alcanzar la superficie del terreno.

El funcionamiento hidrogeológico anteriormente descrito, pudiera tal vez relacionarse a los Pozos Neza 4, 7 y 8, por localizarse en las inmediaciones del citado cerro.

Siguiendo el mismo orden de ideas, existe una situación muy similar con el comportamiento hidrogeológico de los Pozos Rey Neza, 303, 329 y 330, ya que al no contar con cortes litológicos, se sugiere la presencia de derrames volcánicos asociados al Cerro de Chimalhuacán, y que los horizontes de aportación sean dichos derrames en un acuífero igualmente semiconfinado.

Esta analogía se sustenta en la mayoría de los pozos del área ya que tanto sus niveles estáticos como dinámicos son relativamente someros (entre 39 y 51 m.), aún cuando los tramos ranurados para otros pozos, se inician a los 32.52 y 55.78 metros, (Pozos 7 y 303 respectivamente).

Por otro lado, los pozos localizados dentro de la Zona Federal del Ex-lago de Texcoco, han reportado 13 secuencias de derrames lávicos a profundidad (Pozo Profundo No. 1 perforado a 2065 m), uno de los cuales corresponde con el Cerro de Chimalhuacán, localizado a mayor distancia en comparación con los de Nezahualcoyotl.

En resumen, la extracción de agua subterránea se lleva a cabo en un acuífero fracturado el cual es alimentado por una gran recarga de agua en las zonas altas induciendo un nivel de saturación somero en profundidades donde se reportan depósitos de tipo granular. Esto indica una excelente carga hidráulica.

3.7 Pruebas de Bombeo.

Se realizó 1 prueba de abatimiento y 1 de recuperación en los pozos Neza 8 y Neza 303 respectivamente. El tiempo de observación en el primer caso fue de 50 minutos con un abatimiento máximo de 10.268 metros y para el segundo de 15 minutos y el nivel se recuperó 3.66 metros.

Ya que no se cuenta con información litológica puntual de cada pozo, sino más bien general de la zona de Nezahualcoyotl, la realización de pruebas de bombeo y su interpretación son un recurso mas para investigar las propiedades físicas y el tipo de acuífero.

Existió, como en todos los acuíferos en explotación, la problemática de contar con la posibilidad de realizar las pruebas de bombeo como se requiere en forma ideal, es decir, iniciar la prueba de bombeo con un nivel estático de por lo menos 12 horas de recuperación sin bombeo y medir niveles en un pozo de observación adyacente.

Lo anterior no fue posible ya que los pozos son de suministro a la población y en caso

de parar la operación de alguno de ellos, dicha población se vería seriamente afectada. Este es el motivo por el cual se registraron niveles dinámicos en la mayoría de las visitas a los pozos.

Los datos de campo fueron interpretados en el paquete computacional denominado Aquitest arrojando los siguientes resultados:

Para el Pozo Neza 8 se tiene que el comportamiento fue el de un acuífero típicamente semiconfinado. La Transmisibilidad de $16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ sugiere buena capacidad transmisora del acuífero. Como se dijo anteriormente se carece de cortes litológicos pero la curva obtenida sugiere un ambiente mixto (rocas granulares y fracturadas). Cabe resaltar que el volumen de aportación proviene de los materiales granulares por pérdida de presión, lo cual ocasiona que los niveles dinámicos se estabilicen en tiempos cortos de bombeo, esto también indica una buena recarga.

Para el Pozo Neza 303, se interpretaron los datos de la prueba de recuperación considerando el abatimiento residual. El método utilizado fue el de la recta de Jacob, la que arrojó una transmisibilidad de $11.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, del mismo orden de la prueba de abatimiento.

En sólo 15 minutos el acuífero recupera su nivel estático, lo cual indica la ocurrencia de aportes verticales significativos.

Debido a lo anterior las pruebas de abatimiento y de recuperación son de corta duración por la rápida estabilización de los niveles.

3.8 Análisis y comentarios de las videograbaciones realizadas en los pozos.

Al haber realizado una revisión minuciosa de las videograbaciones de seis pozos de agua potable, a continuación se comenta las características principales de cada uno.

Pozo Neza 3

Fecha de la toma: 24/07/97

Ademe: 20 pulgadas

El pozo presenta el nivel estático a una profundidad de 36.80 metros.

El inicio de la tubería ranurada se localiza a los 197.82 metros, observándose incrustaciones en todo el pozo. De manera particular se observaron dos colapsos en la tubería a 138 m y 156 m; la profundidad libre inspeccionada fue de 292.91 metros presentando azolve a esta profundidad.

Pozo Neza 5

Fecha de la toma: 27/02/99

Ademe: 20 pulgadas

El pozo presenta el nivel estático a una profundidad de 39.62 metros; a los 37.88 metros se observa una manguera atorada.

El inicio de la tubería ranurada se da a los 212.45 metros; la profundidad libre inspeccionada del pozo fue de 286.82 metros y no hay azolve en el fondo.

Pozo Neza 7

Fecha de la toma: 26/02/98

Ademe: 20-14 pulgadas

El pozo presenta el nivel estático a los 35.36 metros; observándose una filtración a los 26.82 metros. En general el pozo tiene incrustaciones desde los 19.50 metros hasta el

fondo, por otra parte la tubería ranurada inicia a los 32.52 metros.

Se observaron dos colapsos en la tubería a los 22.25 m y 115.52 m de profundidad.

La profundidad libre inspeccionada fue de 189.59 metros y en el fondo se observaron restos de tubería y herramienta.

Pozo Neza 8

Fecha de la toma: 28/03/98

Ademe: 20 pulgadas

El nivel estático se presenta a una profundidad de 36.58 metros, observándose tres colapsos a 24.38m, 31.39 m y 192.94 m. Además se logró detectar una filtración a los 27.73 m y en general el pozo tiene incrustaciones a partir de los 22.55 metros hasta el fondo.

La profundidad libre inspeccionada es de 226.16 metros detectando herramienta abandonada en el fondo.

Pozo Neza 303

Fecha de la toma: 12/02/99

Ademe: 16 pulgadas

En el pozo se observó presencia de gas de los 0 a 15 metros, además presenta basura suspendida en el agua y todo el ademe tiene incrustaciones.

El nivel estático es de 38.71 metros y se detectaron tres colapsos en la tubería a los 68.88 m, 107.9 m y 184.40 metros.

El inicio de la tubería ranurada se presenta a los 55.78 metros hasta el fondo.

La profundidad libre inspeccionada es de 189.59 metros estando azolvado el fondo.

Pozo Neza 303

Fecha de la Toma: 27/02/99

Ademe: 16 pulgadas

La toma realizada es posterior a la comentada anteriormente. En este video se nota que el pozo fue rehabilitado ya que el video muestra mejores condiciones.

El nivel estático se encuentra a 38.71 metros, únicamente se detectó un colapso en la tubería a los 107.59 metros y la profundidad libre inspeccionada ésta a los 189.59 metros.

En el video ya no se observa basura ni gas en el agua y no se detectaron incrustaciones.

Pozo Neza 303

Fecha de la Toma: 28/02/99

Ademe: 16 pulgadas

El nivel estático se presenta a los 38.71 metros, el agua se aprecia muy turbia para la toma actual y se observa que en el intervalo de 107.59 a 109.63 metros el tubo esta encamisado.

La profundidad libre inspeccionada del pozo es de 189.59 metros.

Pozo Neza 329

Fecha de la Toma: 03/06/99

Ademe: 16 pulgadas

El nivel estático se localiza a los 37.19 metros, se observa una filtración a los 19.20 metros y hay un colapso en la tubería a los 71.93 metros.

Es importante mencionar que las incrustaciones inician a los 47.24 metros y el agua del pozo en general es turbia.

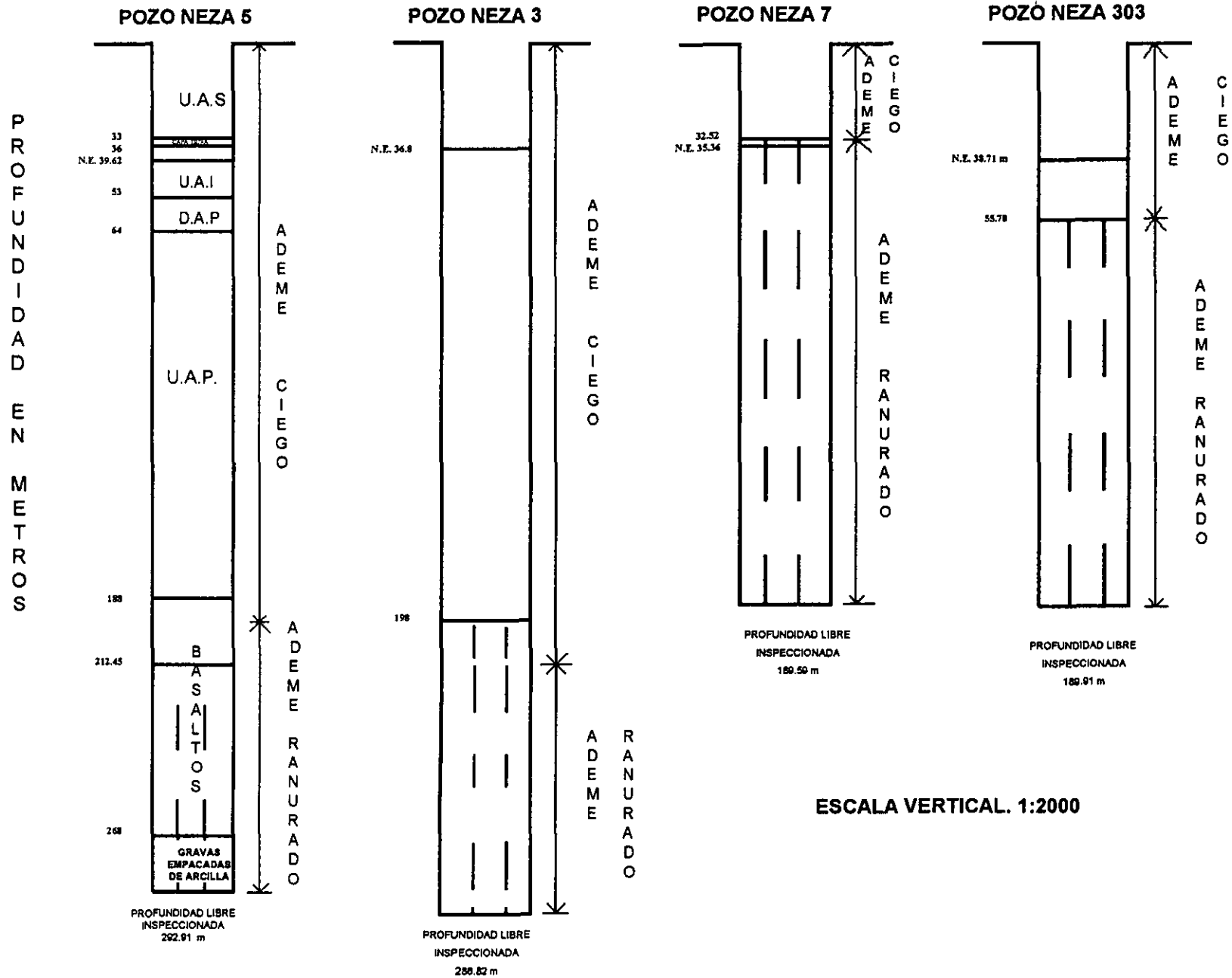
La profundidad libre inspeccionada es de 77.72 metros, a los 74.37 metros se detectó

restos de tubería y herramienta que impiden bajar a mayor profundidad en la toma del vídeo.

De acuerdo al análisis de las videograbaciones, la presencia de ademes cuyas ranuras y canastilla se ven seriamente afectadas por incrustaciones, en algunos casos todo el tramo perforado, (Pozos 3, 7, 8 303 y 129), no ha sido motivo para dejar de generar muy buenos caudales.

En la siguiente figura se muestra la relación entre los diferentes pozos que se revisaron vídeos (**Figura 12**).

Figura 12. Secciones esquemáticas de los pozos de agua potable en Ciudad Nezahualcoyotl.



4. COMPACTACIÓN DE LA CAPA ARCILLOSA SUPERIOR.

4.1 Nivelación diferencial de los pozos de agua.

Con el fin de poder cuantificar el ritmo del hundimiento diferencial en los pozos del municipio de Ciudad Nezahualcoyotl; se realizaron cuatro levantamientos topográficos en los brocales de los ocho pozos que están a cargo de ODAPAS, esto es con la finalidad de obtener las elevaciones de cada uno de los brocales durante un cierto período de tiempo y detectar diferencias significativas en la elevación del brocal debido a la compactación de la capa de arcilla y la constante emergencia de los brocales de los pozos (**Fotografía 2**).

4.1.1 Método empleado para el levantamiento topográfico

Partiendo del Banco de Nivel maestro, ubicado en la calzada General Ignacio Zaragoza y calle Balbanera en la Delegación Iztapalapa, propiedad de la D.G.C.O.H. del Gobierno del Distrito Federal y con clave **M(S04E07)02 con una elevación de 2,229.620** se realizó un circuito de elevación diferencial tocando los ocho brocales de los pozos de agua potable.

El levantamiento se realizó con nivel automático y doble altura de aparato; lo que permite tener precisión de 0.5 milímetros en la cota de cada brocal. Por otra parte se colocaron puntos de liga (P.L.) en todo el circuito, lo que permite conocer con exactitud el comportamiento de los pozos.

Se ubicaron Bancos de Nivel a cada 500 metros sobre el circuito, con la finalidad de que se revisan con una nivelación de ida y regreso para comprobar la precisión de este banco.

El método de doble altura de aparato consiste en colocar el aparato en medio de dos puntos de liga (P.L.) y modificar la altura del aparato; lo cual permite conocer el nivel de cada (P.L.) con una precisión de 0.5 mm.

4.1.2 Resultados obtenidos en la nivelación topográfica.

De las mediciones realizadas en el período comprendido del día 2 de marzo al 30 de junio, se obtuvieron los siguientes resultados de la nivelación de los brocales en cada uno de los pozos de agua potable.

En la **Tabla 3** se presentan los resultados obtenidos en el periodo de nivelación antes referido, en la **Tabla 4** se observa la relación de los niveles dinámicos y la elevación del terreno; así como en las **Gráficas 1 a 7**, se puede comparar el ritmo de emergencia del brocal de cada pozo, registrado mediante una nivelación diferencial de alta precisión, y descenso del nivel dinámico.

El objetivo de estas mediciones fue medir la tasa de hundimiento del terreno o compresión de la Unidad Arcillosa Inferior.

| Tabla 3. Nivelación topográfica realizada del 2 de marzo al 30 de junio del 2000 en el municipio de Ciudad Nezahualcoyotl, Estado de México | | | | | |
|--|--------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------------|
| NUMERO DE POZO | NIVELACIONES REALIZADAS | | | | DIFERENCIA DE ELEVACION |
| | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | |
| 3 | 2,235.1395 | 2,235.1280 | 2,235.1130 | 2,235.0940 | -0.0455 m |
| 4 | 2,233.0880 | 2,233.0930 | 2,233.0890 | 2,233.0680 | -0.0200 m |
| 5 | 2,235.9280 | 2,235.9765 | 2,235.9285 | 2,235.9095 | -0.0185 m |
| 7 | 2,232.5090 | 2,232.5040 | 2,232.4715 | 2,232.4485 | -0.0605 m |
| 8 | 2,233.3540 | 2,233.3485 | 2,233.3225 | 2,233.3445 | -0.0495 m |
| 303 | 2,234.6040 | 2,234.5995 | 2,234.5880 | 2,234.5665 | -0.0375 m |
| 329 | 2,233.3100 | 2,233.3030 | 2,233.2800 | 2,233.2545 | -0.0555 m |
| 330 | 2,234.7235 | 2,234.7175 | 2,234.6885 | 2,234.6675 | -0.0560 m |

Tabla 4. Relación de los niveles dinámicos y la elevación del terreno.

POZO 3

| Fecha | Nivel Dinámico (m) | Elevación (m) + 2200 m |
|----------|--------------------|------------------------|
| 02/03/00 | 45.465 | 35.1395 |
| 30/03/00 | 45.905 | |
| 27/04/00 | 45.785 | 35.128 |
| 15/05/00 | 45.683 | |
| 30/05/00 | 45.965 | 35.113 |
| 30/06/00 | | 35.094 |
| 15/07/00 | 45.628 | |

POZO 7

| Fecha | Nivel Dinámico (m) | Elevación (m) + 2200 m |
|----------|--------------------|------------------------|
| 02/03/00 | | 32.509 |
| 30/03/00 | 41.447 | |
| 27/04/00 | 41.639 | 32.504 |
| 15/05/00 | 41.72 | |
| 30/05/00 | 41.855 | 32.4715 |
| 30/06/00 | | 32.4485 |
| 15/07/00 | 41.58 | |

POZO 8

| Fecha | Nivel Dinámico (m) | Elevación (m) + 2200 m |
|----------|--------------------|------------------------|
| 02/03/00 | | 33.354 |
| 30/03/00 | 49.458 | |
| 27/04/00 | 51.637 | 33.348 |
| 15/05/00 | 51.53 | |
| 30/05/00 | 51.32 | 33.3225 |
| 30/06/00 | | 33.3045 |
| 15/07/00 | 51.455 | |

POZO 303

| Fecha | Nivel Dinámico (m) | Elevación (m) + 2200 m |
|----------|--------------------|------------------------|
| 02/03/00 | 43.757 | 34.604 |
| 30/03/00 | 43.52 | |
| 27/04/00 | 43.727 | 34.5995 |
| 15/05/00 | 43.79 | |
| 30/05/00 | 44 | 34.588 |
| 30/06/00 | | 34.5665 |
| 15/07/00 | 43.997 | |

POZO 329

| Fecha | Nivel Dinámico (m) | Elevación (m) + 2200 m |
|----------|--------------------|------------------------|
| 02/03/00 | 41.995 | 33.3645 |
| 30/03/00 | 41.811 | |
| 27/04/00 | 42.15 | 33.303 |
| 15/05/00 | 42.25 | |
| 30/05/00 | 42.23 | 33.28 |
| 30/06/00 | | 33.2545 |
| 15/07/00 | 42.187 | |

POZO 330

| Fecha | Nivel Dinámico (m) | Elevación (m) + 2200 m |
|----------|--------------------|------------------------|
| 02/03/00 | | 34.7235 |
| 30/03/00 | 44.035 | |
| 27/04/00 | 44.108 | 34.7175 |
| 15/05/00 | 44.05 | |
| 30/05/00 | 43.85 | 34.6885 |
| 30/06/00 | | 34.6675 |
| 15/07/00 | 44.364 | |

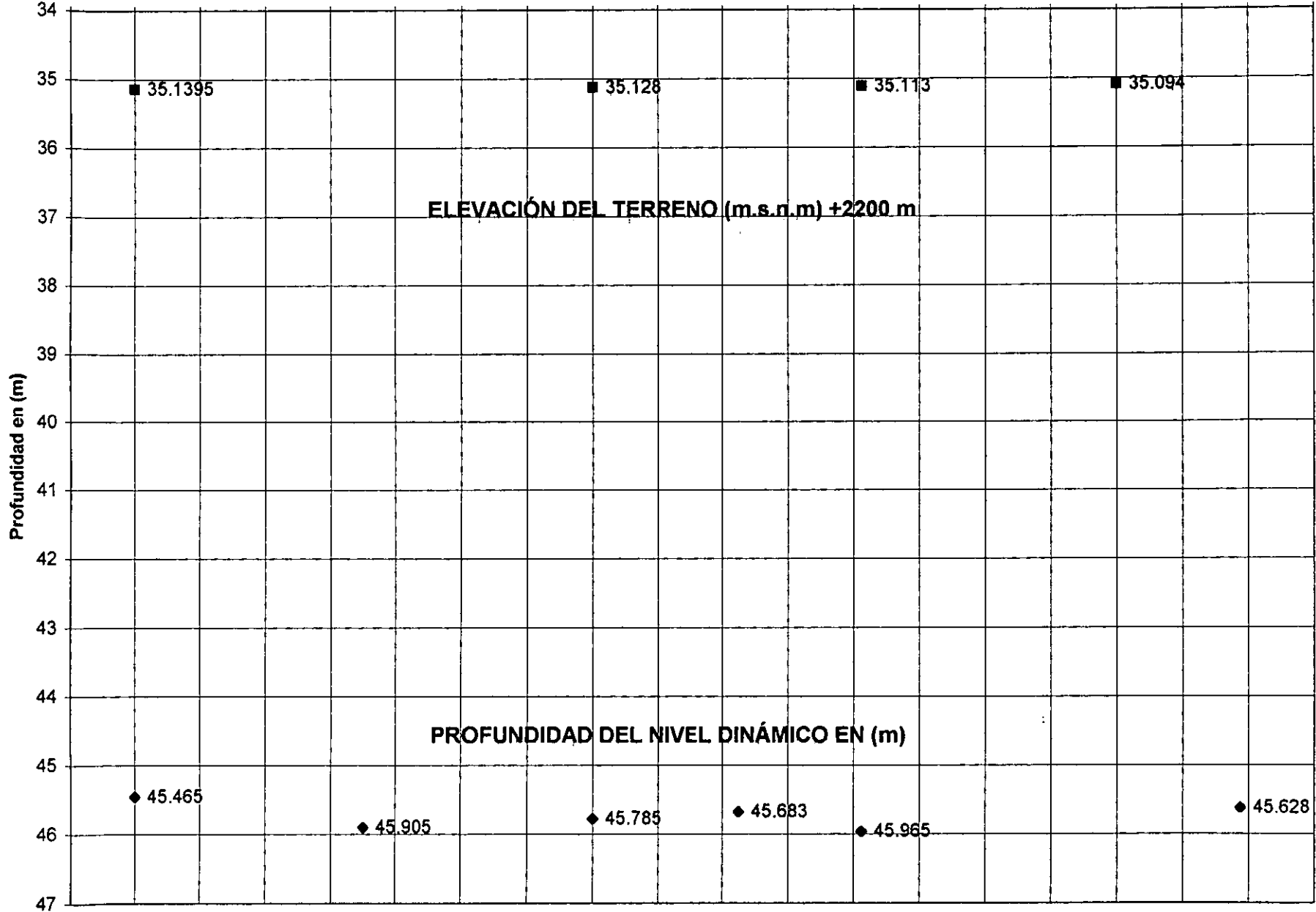
POZO 4 Y 5

| Fecha | Nivel Dinámico (m) | Elevación (m) + 2200 m |
|----------|--------------------|------------------------|
| 02/03/00 | 33.088 | 35.928 |
| 30/03/00 | | |
| 27/04/00 | 33.093 | 35.9765 |
| 15/05/00 | | |
| 30/05/00 | 33.089 | 35.9285 |
| 30/06/00 | 33.068 | 35.9095 |
| 15/07/00 | | |

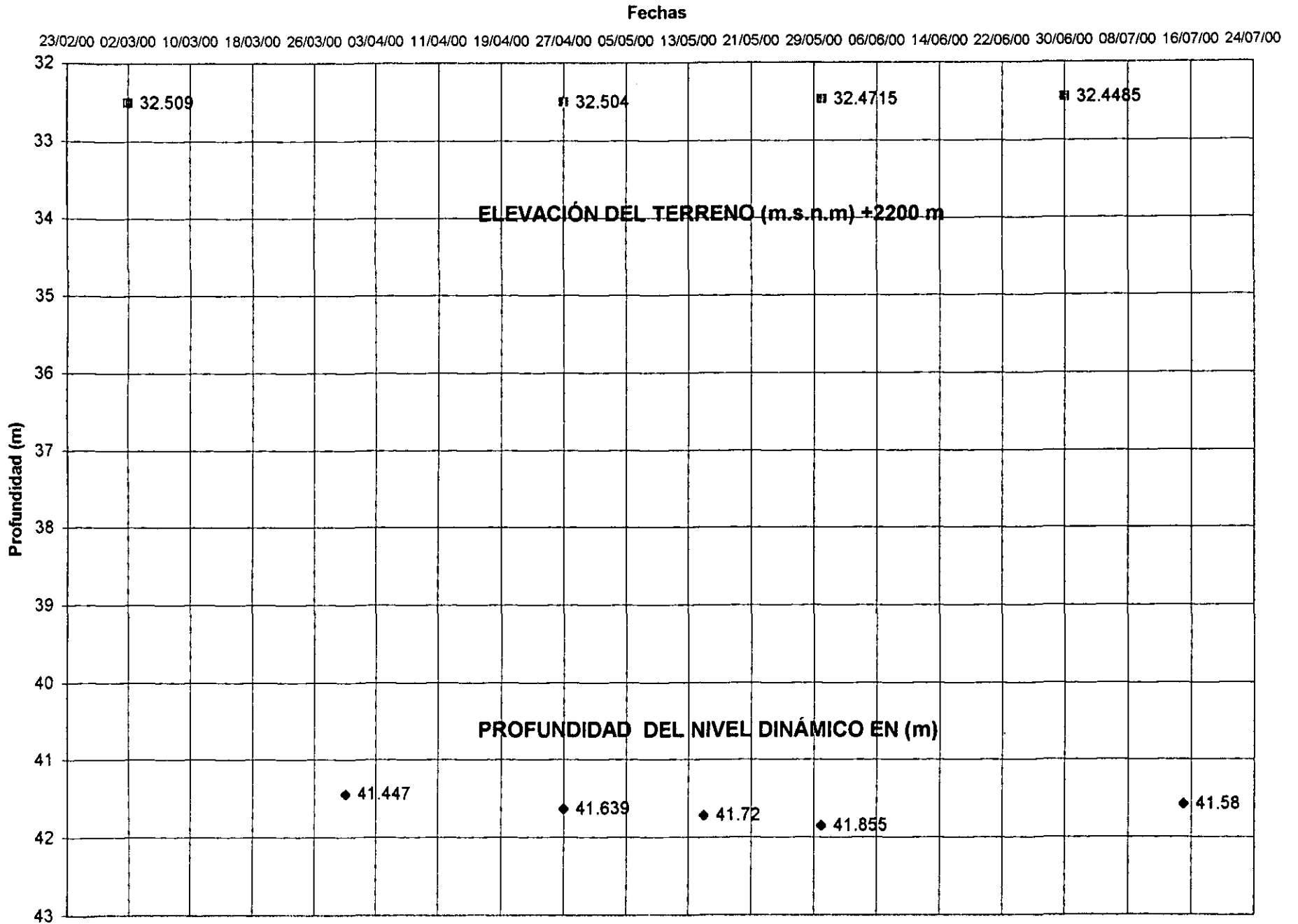
Gráfica 1. Pozo Neza 3

Fechas

23/02/00 02/03/00 10/03/00 18/03/00 26/03/00 03/04/00 11/04/00 19/04/00 27/04/00 05/05/00 13/05/00 21/05/00 29/05/00 06/06/00 14/06/00 22/06/00 30/06/00 08/07/00 16/07/00 24/07/00

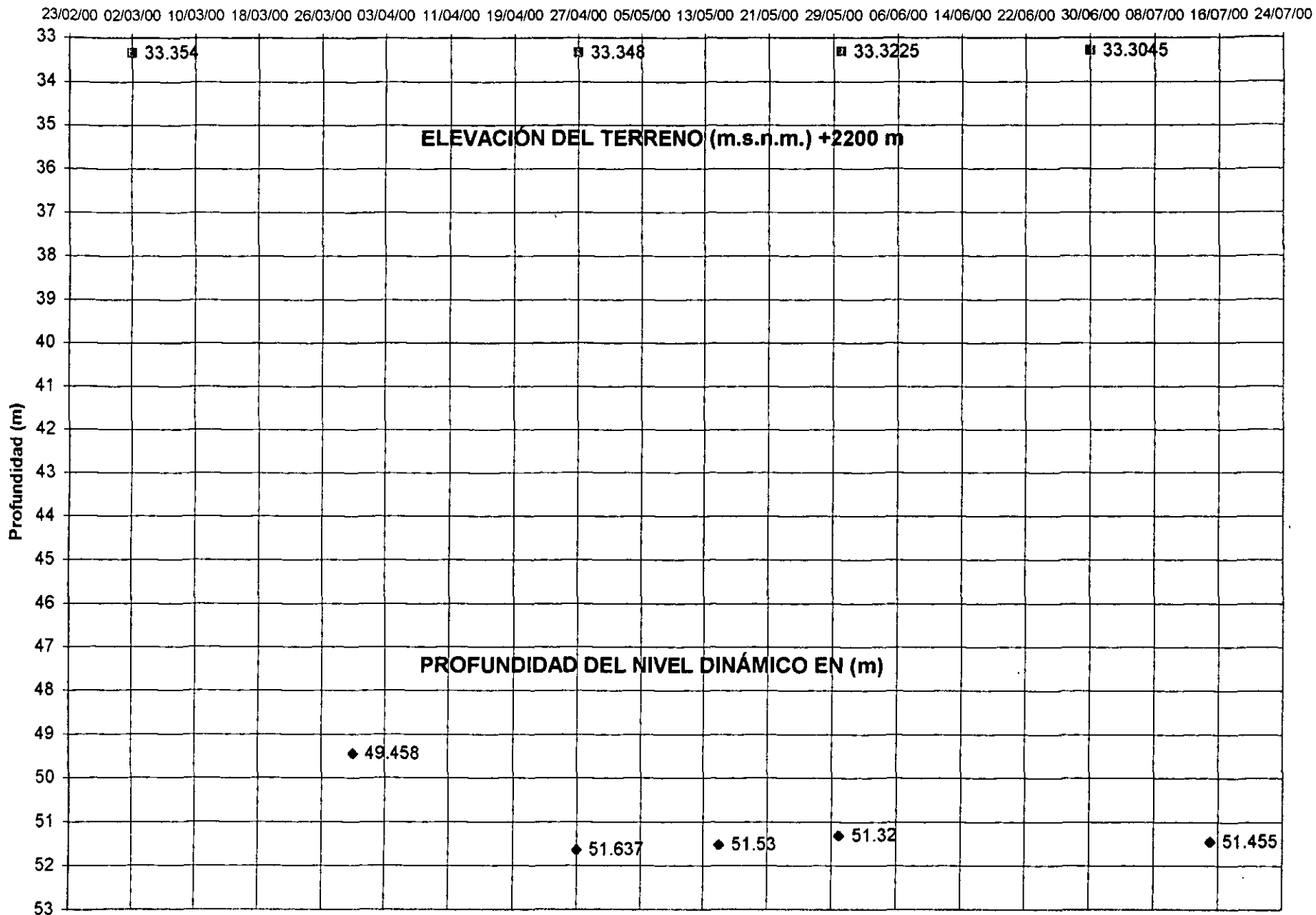


Gráfica 2. Pozo Neza 7



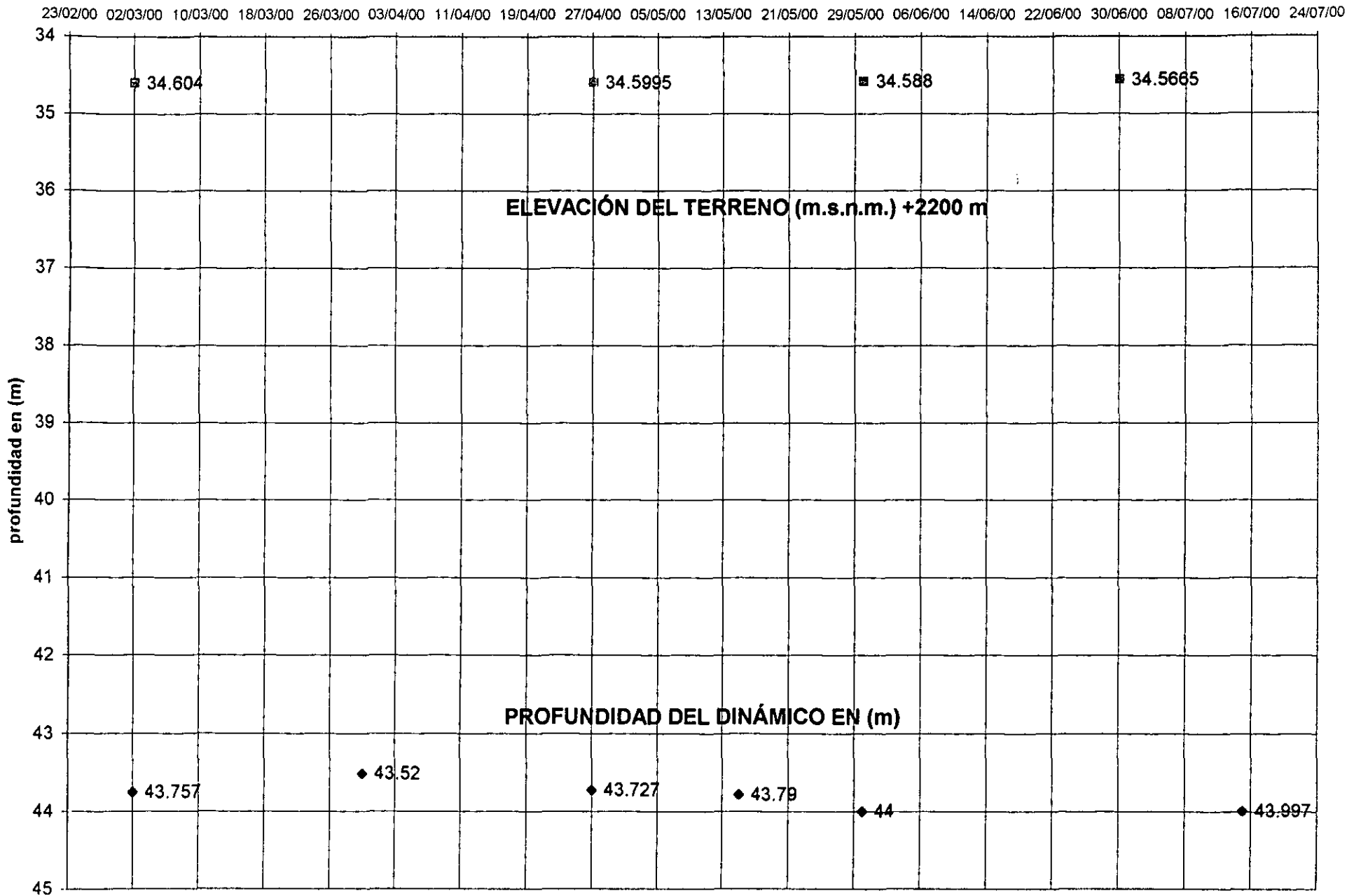
Gráfica 3. Pozo Neza 8

Fechas



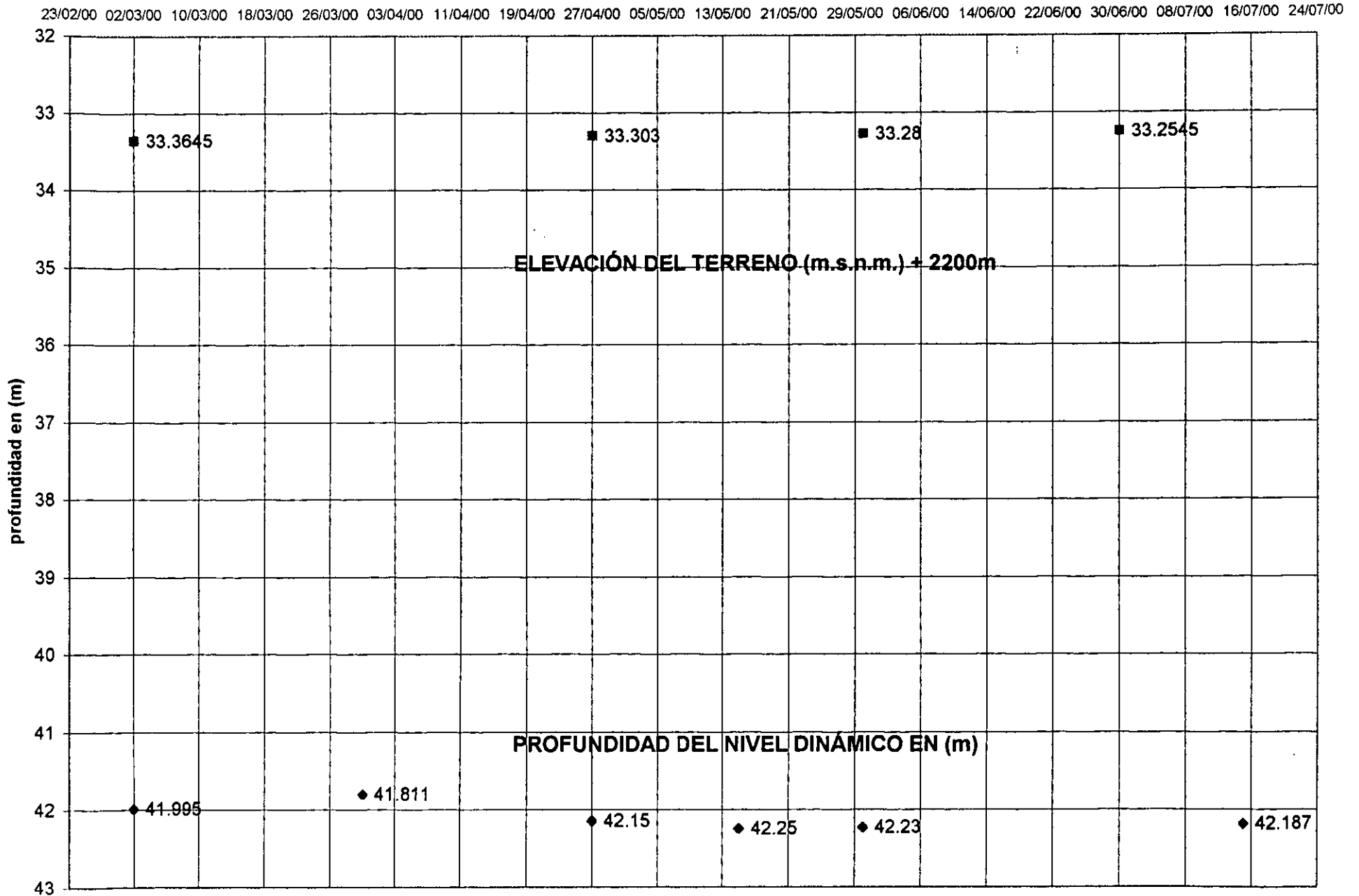
Gráfica 4. Pozo Neza 303

Fechas



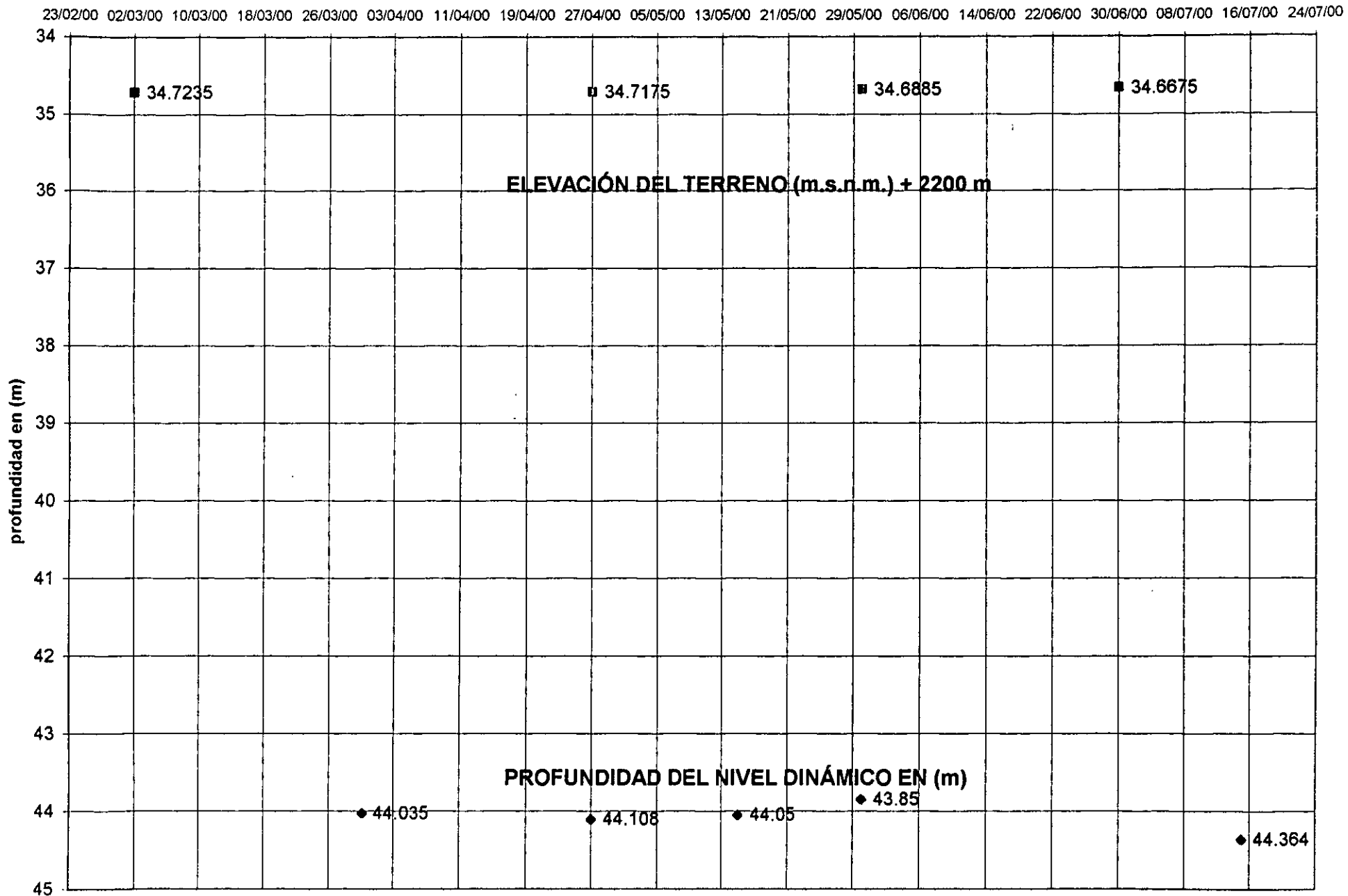
Gráfica 5. Pozo Neza 329

Fechas

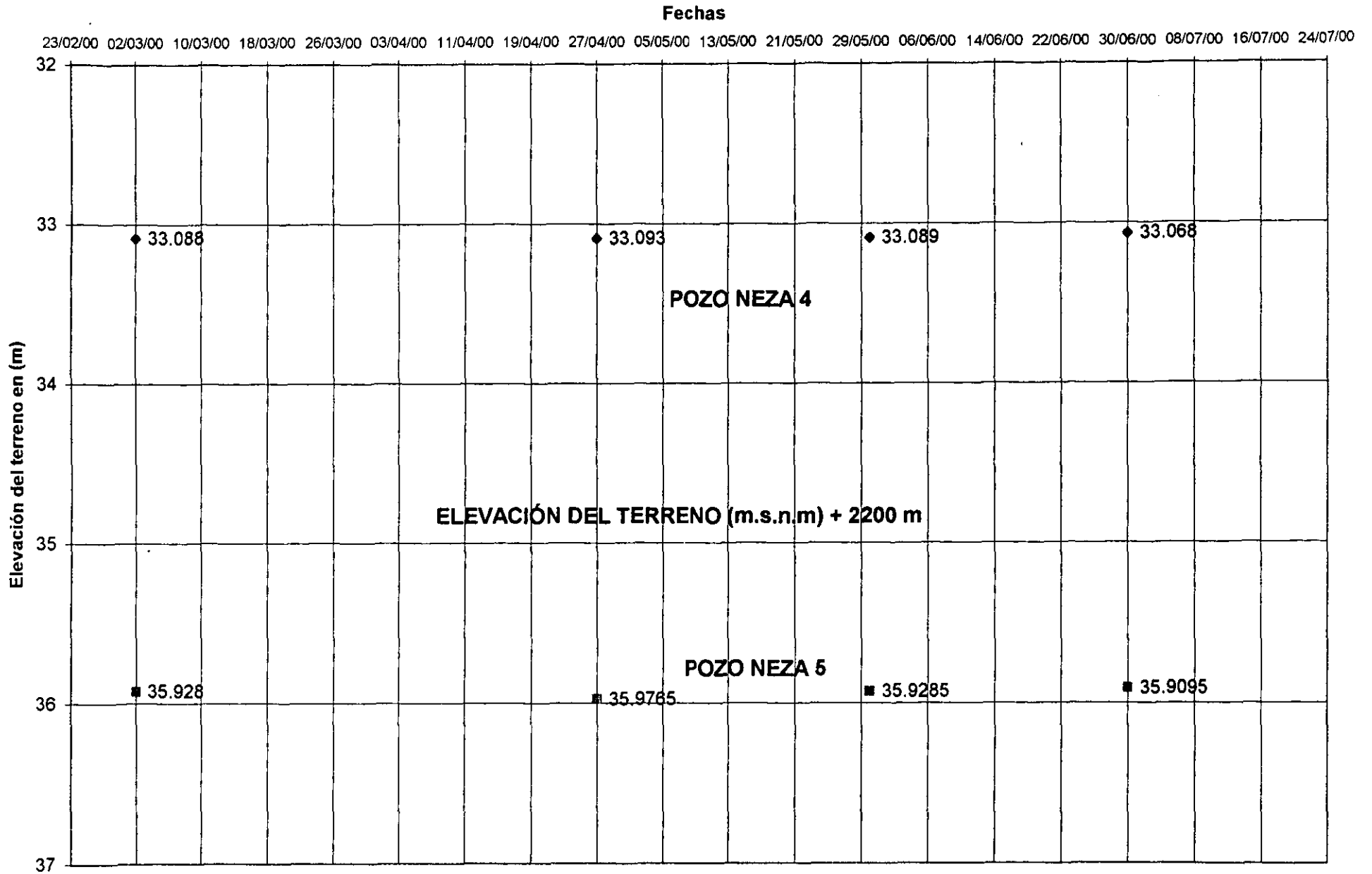


Gráfica 6. Pozo Neza 330

Fechas

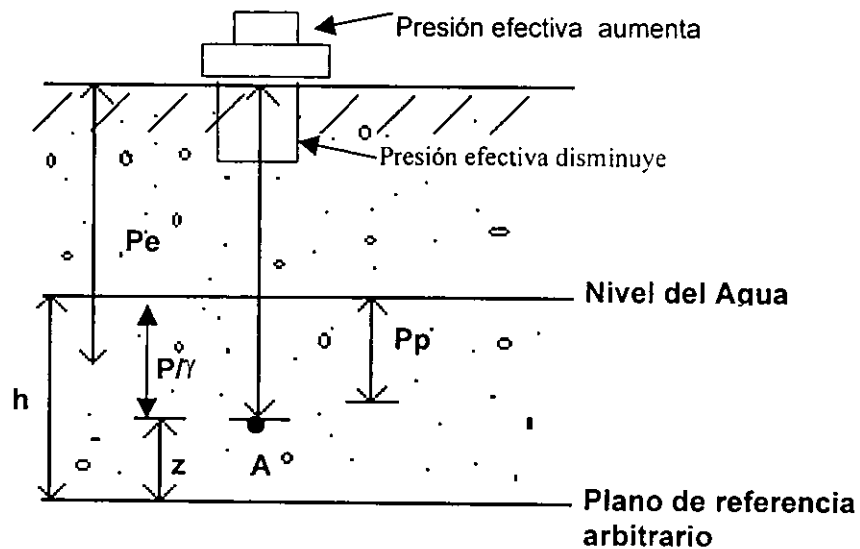


**Gráfica 7. Pozo Neza 4 y5
No sondeables**



4.2 Hundimiento del terreno en Ciudad Nezahualcoyotl zona centro.

En un punto cualquiera de un acuífero, la presión ejercida en los granos del mismo es producida por el peso del material y el agua, y se le llama presión total. La presión sobre el esqueleto sólido se llama presión efectiva y la presión del agua contenida en los poros se llama presión intersticial ó presión de poro. Cuando la presión de poro disminuye debido al descenso de la carga hidráulica, la presión efectiva aumenta en la misma proporción en que desciende la carga hidráulica debido a que la presión total permanece constante a menos que se haga una excavación o se construye una obra. Como se muestra en la siguiente figura:



La ecuación siguiente resume lo antes descrito para el punto A

$$P_t = P_e + P_p$$

Donde:

P_t = Presión Total

P_e = Presión efectiva

P_p = Presión de poro

Si el bombeo reduce la carga hidráulica (**dh**), la presión efectiva aumenta y el espesor del acuífero decrece (**db**). La compresibilidad del acuífero se expresa como:

$$\alpha = (db/b) / dh \quad (\text{Fetter, 1994})$$

donde:

α = Compresibilidad del acuífero expresada en (m²/Kg ó m²/N).

b = Espesor del acuífero en (m).

dh = Cambio en la carga hidráulica en (m).

db = Cambio en el espesor del acuífero en (m).

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos en campo así como los resultados calculados para la obtención de la compresibilidad del acuífero. Para realizar el cálculo se utiliza el espesor de la Unidad Arcillosa Inferior de acuerdo al corte litológico del Pozo Neza 5.

| Diferencias en elevación y hundimiento del brocal en los 8 pozos de agua potable en Ciudad Nezahualcoyotl | | | | |
|--|---------------|--------------------|---------------|---|
| Número de Pozo | db (m) | b (UAI) (m) | dh (m) | α (m²/Kg) |
| 3 | 0.0455 | 17 | 0.163 | 1.642X10 ⁻⁵ |
| 4 | 0.020 | 17 | - | - |
| 5 | 0.0185 | 17 | - | - |
| 7 | 0.0605 | 17 | 0.133 | 2.675X10 ⁻⁵ |
| 8 | 0.0495 | 17 | 1.997 | 1.458X10 ⁻⁶ |
| 303 | 0.0375 | 17 | 0.477 | 4.624X10 ⁻⁶ |
| 329 | 0.0555 | 17 | 0.232 | 1.407X10 ⁻⁵ |
| 330 | 0.056 | 17 | 0.329 | 1.001X10 ⁻⁵ |

Tabla 5. Coeficientes de compresibilidad de la Unidad Arcillosa Inferior (U.A.I).

En este punto del análisis es donde se reitera la necesidad de contar con cortes litológicos de pozos, bitácoras de perforación, aforos originales etc.

El cálculo del coeficiente de consolidación (difusividad hidráulica), se realizó de la siguiente manera; a partir de:

$$\alpha = (db/b) / dh$$

Pero por otra parte el coeficiente de almacenamiento específico (S_s) se define como la cantidad de agua almacenada que es liberada por una unidad de volumen de acuífero cuando existe una disminución unitaria de la carga hidráulica, y se expresa

$$S_s = \gamma (\alpha + n\beta) \quad (\text{Fetter, 1994})$$

En donde γ es el peso específico del agua, α el coeficiente de compresibilidad del acuífero, n la porosidad y β el coeficiente de compresibilidad del agua.

Y si además el coeficiente de almacenamiento (S) se define como la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad:

$$S = S_s \cdot b$$

En donde b es el espesor del acuífero y S_s es el coeficiente de almacenamiento específico. Por otra parte se sabe que el coeficiente de transmisibilidad (T) de un estrato está dado por el producto de su permeabilidad y su espesor saturado

$$T = b.K$$

Donde K es el coeficiente de conductividad hidráulica y se define como el caudal de agua que circula a través de un área unitaria normal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario, y " b " el espesor del acuífero.

Por otra parte, el coeficiente de consolidación (C_v) se define como la relación entre la transmisibilidad lineal y el coeficiente de almacenamiento:

$$C_v = T/S \quad (\text{Pérez, Franco 1982}).$$

Es utilizado también para conocer la compresibilidad de un suelo. A continuación se describe el método y sus principios fisicomatemáticos únicamente con carácter descriptivo.

$$C_v = T / S \quad (\text{Pérez, Franco 1982})$$

En el cálculo se toman en cuenta lo siguiente:

$$\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{La relación de vacíos } e = V_v / V_s$$

donde V_v es el volumen de vacíos y V_s el volumen de sólidos

$$e = 7.8 \text{ (Matíaz, 1989)}$$

$$\text{Se sabe que la porosidad } n = V_v / V_t = e / (1+e)$$

$$\text{Entonces } n = 7.8 / (1+7.8) = 0.886 = 88.6 \%$$

$$\beta = 4.42 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{Kg}$$

$$K = 1.44 \times 10^{-5} \text{ m/día (Herrera, 1974)}$$

α es conocido.

Por lo que como se dejo arriba también se puede calcular el coeficiente de consolidación C_v , a partir de α .

5. RIESGOS GEOLÓGICOS.

Históricamente las grietas que se generan en los suelos lacustres de la Cuenca de México han sido mencionadas desde épocas prehispánicas. La literatura las ha comentado en múltiples ocasiones y se han desarrollado modelos teóricos sobre su generación. Estas teorías demuestran la generación de esfuerzos de tensión en la masa del suelo son capaces de provocar agrietamiento a través de diversos mecanismos ocasionando daños a las obras asentadas en la superficie del terreno.

El rápido crecimiento de la población de la Ciudad de México obligó a que el municipio de Ciudad Nezahualcoyotl quedará asentado en el antiguo Lago de Texcoco. En este municipio se presentan las mismas características de agrietamiento del ex-vaso de Texcoco, si bien su incidencia se ha reducido debido a la propia urbanización, que mitiga los efectos de secado por evaporación y cubre la superficie del terreno de la saturación por precipitación.

A partir del año de 1982 se detectaron dos casos de agrietamiento el primero expuesto en la colonia López Mateos y el segundo en la Colonia Aurora. En el primer lugar, se formó una grieta de 30 cm de ancho que atravesó la manzana 32 de la Colonia López Mateos provocando daños de consideración a casas habitación de uno y dos niveles entre las calles Manuel Tello y Eduardo Bustamante. El agrietamiento se produjo como consecuencia de los sismos de 1985. En la Colonia son notables los hundimientos diferenciales que forman escalones del orden de 20 cm, en la actualidad disimulados por las reparaciones realizadas en las calles. En este mismo lugar el hundimiento regional fue de 27.2 cm por año de acuerdo a los resultados obtenidos por la Comisión Nacional del Agua en el período comprendido de 1982 a 1985, CNA 1991.

En el segundo caso se manifestó en la Colonia Aurora, específicamente en el estacionamiento del estadio de fútbol José López Portillo, con grietas que afectan a la pavimentación con aberturas del orden de medio metro de ancho. En esta zona los hundimientos regionales fueron del orden de 20 cm por año de acuerdo con las mediciones realizadas por la Comisión Nacional del Agua en el periodo de 1982 a 1985,

CNA, 1991.

5.1 Agrietamientos recientes detectados en Ciudad Nezahualcoyotl.

Durante las visitas realizadas en Ciudad Nezahualcoyotl se localizaron diversas estructuras geológicas que afectan a varias colonias del municipio; como son fracturas, grietas y hondonadas en los apartados siguientes se describen sus características de cada una de éstas.

5.1.1 Grietas principales.

Una de las estructuras más importantes es la **Grieta Calle 10** que tiene un rumbo N 62° W variando hasta N 70° W y se detectó desde la calle 10 hasta la calle 17 en la Colonia La Esperanza. La grieta tiene una continuidad mayor a 300 metros, en la calle 13 sobre la traza de la grieta se le midió una zona de 8.60 metros en el ancho de afectación al pavimento, observándose el asfalto roto y deformado; así como las paredes de las fachadas de las casas por donde atravesó la grieta como se muestra en la **Fotografía 3**.

Otro efecto negativo se muestra en la Avenida Tepozanes en donde se detectaron los registros de drenaje completamente fuera del terreno debido al hundimiento del piso.

Se le considera a la traza de la grieta Calle 10 como de alto riesgo potencial; debido a que se le observó a escasos 50 metros del bordo izquierdo del Canal La Compañía y a unos 100 metros del cárcamo de rebombeo La Esperanza (como se muestra en la **Figura13**) y de una estación de combustible del Nuevo Sistema de Transporte Troncal (NSTT), motivo por lo que se considera a la zona potencialmente riesgosa; ya que con el paso del tiempo y de seguir la grieta activa pudiera ocasionar daños a la red de drenaje, al cárcamo de rebombeo La Esperanza e incluso llegar a colapsar el bordo izquierdo del Canal de aguas negras.

Sin embargo es importante hacer mención que el día de la visita no se encontraron indicios sobre la presencia de la grieta en las cercanías del cárcamo ya que la traza aparentemente no llega hasta el canal, debido al continuo mantenimiento de los bordos; sin embargo es preciso un monitoreo continuo para determinar con suficiente certeza los límites reales del plano de grieta que es aledaña a las obras hidráulicas anteriormente señaladas.

Sistema de Grietas Colonia Loma Bonita; se localizaron dos grietas burdamente paralelas entre sí presentando un rumbo de N 63° W variando a N 70° W; desde la calle Guadalupe Victoria hasta la calle Libertad de la Colonia Loma Bonita; es importante mencionar que la referida colonia es el límite territorial de los municipios de Ciudad Nezahualcoyotl y Los Reyes La Paz (ver Figura 13).

Este sistema de agrietamiento es de alto riesgo en el municipio. Ya que se localizaron durante los diversos recorridos dos puntos críticos: el primero se ubica en la calle Nicolás Bravo en donde el hundimiento y colapso del asfalto provocó el cierre de la calle al tránsito de automóviles; sitio en donde se midió un desplazamiento vertical en la traza de la grieta de 32 centímetros. Esta situación ocasionó el rompimiento de la red de agua (de acuerdo a la información proporcionada de manera verbal por los propietarios de las casas habitación), haciendo intransitable esta calle tal como se muestra en las **Fotografía 4**.

El segundo punto crítico es la calle Ignacio Allende en donde el desnivel topográfico natural de la mencionada calle se encuentra escalonada, reflejo del colapsamiento y hundimiento del terreno propiciado por la cercanía del plano de grieta en esta área.

El área afectada a lo largo de la calle es de 68 metros, en donde se resaltan las consecuencias que ha ocasionado la grieta con el transcurso del tiempo.

Los efectos negativos provocados por la grieta Loma Bonita son los siguientes: rupturas y hundimiento del pavimento, agrietamiento y hundimiento en las fachadas de las casas habitación, inclinación de las paredes en los límites entre dos casas habitación, rompimiento de tuberías de drenaje en la calle y colapsamiento de la red de

suministro de agua, principalmente **Fotografía 5**.

Grieta localizada a lo largo de la Cuarta Avenida en el carril Sur (desde la avenida Cuauhtemoc hasta la calle 16) en la Colonia Estado de México, la estructura tiene un rumbo de N 76° W siendo sensiblemente paralela a la calle; presentan una longitud de 220 metros y se le observan aberturas hasta de 20 centímetros de espesor. La estructura es potencialmente peligrosa en caso de que se siga abriendo ya que puede originar colapsos en los automóviles que circulan en la avenida.

5.1.2 Grietas menores.

Las grietas se ubican a nivel local afectando por lo general a casas habitación, calles y bardas de contención, en general tienen la misma tendencia en orientación de las fallas profundas, a continuación se describen las que se detectaron durante los recorridos realizados en el Municipio:

- En la intersección de la avenida Bordo de Xochiaca y avenida Riva Palacio; en la barda de contención del Dren Xochiaca se aprecian pequeñas grietas de poca longitud y separación.
- En la avenida Bordo de Xochiaca y Avenida Cuauhtemoc se aprecian grietas pequeñas en la barda de contención del Dren Xochiaca.
- En las cercanías de la intersección de las avenidas Carmelo Pérez y Vicente Villada con la Cuarta Avenida hay una serie de grietas, siendo de corta longitud pero distribuidas densamente.
- La tubería de drenaje que se localiza sobre la avenida Salvador Allende en la colonia El Sol; se detectaron agrietamientos en las cercanías a las coladeras y incluso sobre las mismas.
- Grietas localizadas en la Cuarta Avenida y las Torres (calle Morenita) sobre la acera, éstas son continuas y marcadas en forma paralela, el riesgo potencial es que cerca de las grietas se encuentran las torres de conducción de energía eléctrica.

- En la calle Flor de la Colonia Benito Juárez se localizaron dos grietas marcadas sobre la calle teniendo una continuidad hasta la Cuarta Avenida y son del mismo patrón de fracturamiento que las comentadas anteriormente.
- A partir de la Cuarta Avenida hasta la calle Gustavo Baz se observa una grieta continua con un rumbo NW; la fractura afecta la calle que se encuentra frente del estacionamiento del centro comercial Bodega Aurrera La Aurora.

En la calle Guerrillera y la Cuarta Avenida, se localizaron dos grietas con una continuidad de aproximadamente 40 metros de longitud observándose hasta las cercanías de la intersección de la Cuarta Avenida y calle Rielera.

5.2 Hondonadas.

El efecto físico que se produce con los hundimientos diferenciales en las avenidas y obras civiles son hondonadas sobre la superficie del terreno. Se describen las detectadas en los recorridos realizados en Ciudad Nezahualcoyotl.

- Hondonada ubicada en la avenida Cuauhtemoc No.55 de la colonia Estado de México, se localiza un costado de la avenida teniendo aproximadamente 7.5 metros de radio.
- Hondonadas localizadas a lo largo de la avenida Chimalhuacán entre las calles 7 y 10 de la colonia Maravillas, el rumbo promedio de éstas es N75°W; es importante destacar que las estructuras se localizan a escasos 300 metros de la Planta de Rebombeo Ejército Oriente ubicada en Avenida 7 y Chimalhuacán, siendo un riesgo potencial; en caso de que llegarán a prolongar a las cercanías del cárcamo y de la red de drenaje, **Fotografía 6**.
- Hondonadas localizadas a lo largo de la avenida Chimalhuacán entre las calles 11 y 13 de la colonia Maravillas; en la zona la carpeta asfáltica (en un radio de 2 metros), esta prácticamente volando; ya que el material que sirve para sostener al

asfalto no existe como se muestra en la fotografía No.6. Es este un sitio con riesgo latente para los vehículos que circulan, ya que se puede colapsar el pavimento en cualquier momento.

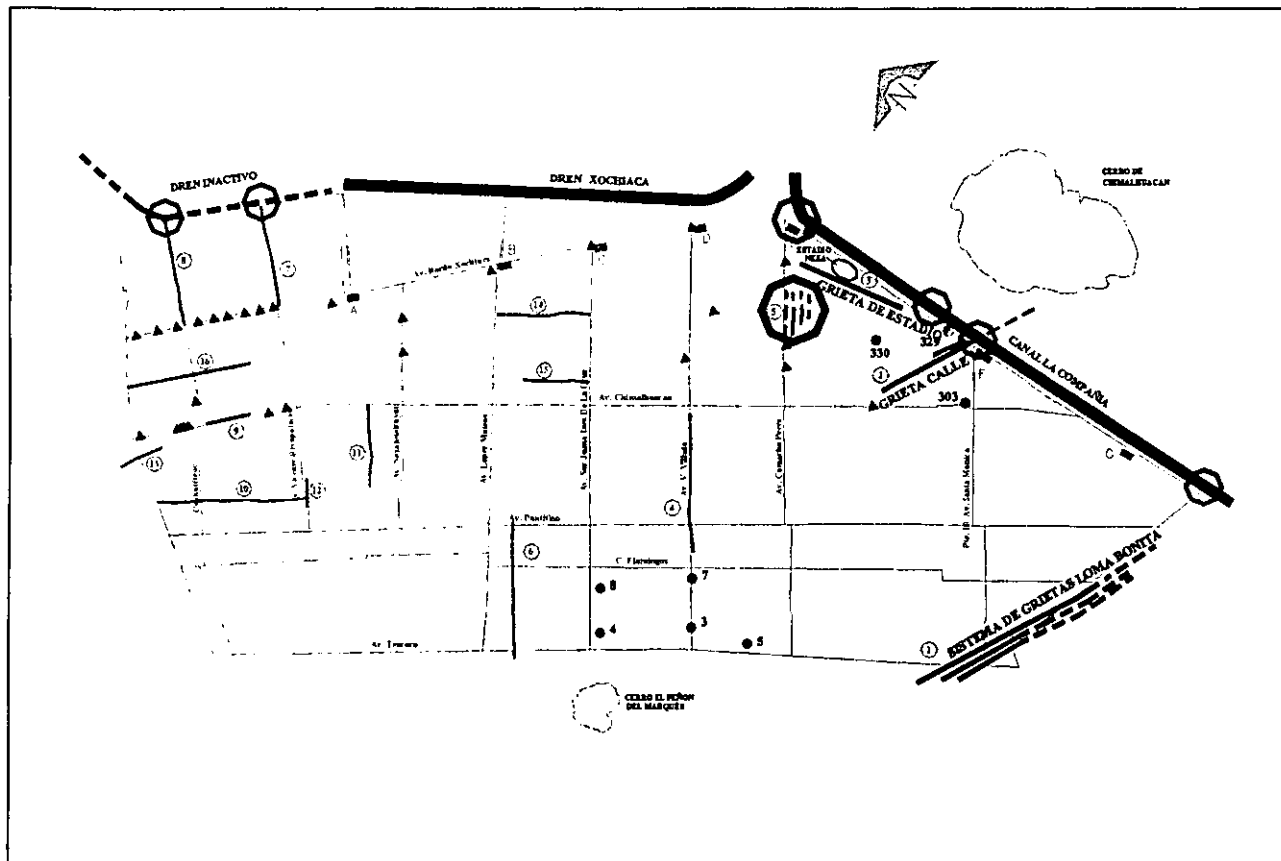
- Hondonada ubicada entre las calles Cielito Lindo y Amanecer Ranchero y la avenida Carmelo Pérez. La estructura ocasiona hundimientos en las casa y en la banquetta.
- A lo largo de la avenida Bordo de Xochiaca se detectaron varias hondonadas; la primera a la altura de la avenida López Mateos, la segunda se encuentra en el cruce con la avenida Sor Juana y la tercera en la cercanías de la escuela de Policía y el Hospital General Dr. Gustavo Baz Prada de la Secretaría de Salud. La carpeta asfáltica sobre la avenida presenta varias hondonadas pequeñas que continuamente afectan la circulación vehicular ya que forman baches en el pavimento.

El conjunto de las estructuras antes descritas se marcaron en la **Figura 13** con el fin de facilitar su localización en el municipio.

5.3 Riesgos de inundaciones.

El medio hidrográfico natural en donde se encuentra asentado el municipio de Ciudad Nezahualcoyotl es extenso y de condiciones particulares, dicho asentamiento ocupa 63.44 Km² de la porción sur del Ex-lago de Texcoco; con estas condiciones naturales durante miles de años numerosas corrientes de agua descendían a este municipio y es debido a esta situación que se han realizado en la últimas décadas obras hidráulicas artificiales para desaguar los excedentes por medio de canales a cielo abierto (Río Churubusco, Dren Xochiaca y Canal La Compañía rectificado).

Actualmente la red hidrográfica de Ciudad Nezahualcoyotl es complicada; ya que los controles hidrográficos artificiales que se han adecuado debido a exigencias del crecimiento de la zona urbana de la Ciudad de México y sus municipios conurbados.



SIMBOLOGÍA

- ▲ HONDONADA
- 303 ● POZO DE AGUA POTABLE
- GRIETA PRINCIPAL
- - - GRIETA INTERIDA
- GRIETA SECUNDARIA
- A CÁRCAMO DE BOMBEO MARAVILLAS
- B CÁRCAMO DE BOMBEO LÓPEZ MATEOS
- C CÁRCAMO DE BOMBEO SOR JUANA
- D CÁRCAMO DE BOMBEO VICENTE VILLADA
- E CÁRCAMO DE BOMBEO CARMELO PÉREZ
- F CÁRCAMO DE BOMBEO LA ESPERANZA
- G CÁRCAMO DE BOMBEO LOS REYES

- ① SISTEMA DE GRIETAS LOMA BONITA
- ② GRIETA CALLE 10
- ③ GRIETA ESTADIO
- ④ GRIETA VICENTE VILLADA
- ⑤ GRIETA CARMELO PÉREZ
- ⑥ GRIETA ANGEL DE LA INDEPENDENCIA
- ⑦ GRIETA VICENTE RIVA PALACIO
- ⑧ GRIETA CUAUHTÉMOC
- ⑨ GRIETA CHIMALHUACÁN
- ⑩ GRIETA PIRULES
- ⑪ GRIETA AVENIDA MÉXICO
- ⑫ GRIETA RIVA PALACIO Y PIRULES
- ⑬ GRIETA PERIFÉRICO ORIENTE
- ⑭ GRIETA DR. GUSTAVO BAZ
- ⑮ GRIETA CIELITO LINDO
- ⑯ GRIETA CUARTA AVENIDA
- ZONA DE RIESGO GEOLÓGICO



Figura 13. Riesgos Geológicos en Ciudad Nezahualcoyotl.

Para comprender la problemática particular a la que se enfrenta el municipio, se hace una descripción a detalle de las condiciones actuales en las que se encuentra:

Una visión general por el lado noroeste de Ciudad Nezahualcoyotl es la marcada influencia del Río Churubusco, cuando sus excedentes se desbordan en la planicie lacustre del ex lago de Texcoco.

Una visión más detallada acerca al hombro derecho del Canal Brazo Derecho del Río Churubusco a unos 115 metros del muro de contención de la Colonia El Sol en su parte más lejana y a escasos 50 metros del límite norte de Ciudad Nezahualcoyotl.

Las grandes crecidas y desbordes del Canal Brazo Derecho del Río Churubusco en el Lago de Texcoco y antes de su confluencia con el Río La Compañía han sido provocadas por lluvias extraordinarias, por obligadas transferencias entre el Sistema General de Drenaje de la cuenca y desechos de aguas negras ocurridas a muchos kilómetros al suroeste de la Colonia El Sol.

Las aguas negras colectadas por el Río Churubusco son llevadas a la planta de rebombeo que se ubica en el vértice oeste de la Colonia El Sol. En esta localidad el Río Churubusco se divide en dos brazos:

El izquierdo, que se aleja de la Colonia El Sol hacia el enorme Tanque Regulador Horaria denominado Cola de Pato y el derecho que bordea el límite norte de la Colonia El Sol, y que se aleja de ella al flexionar su trazo al noreste para confluir en el Río La Compañía después de 5.4 kilómetros de recorrido desde su salida en la planta de rebombeo.

El Dren Xochiaca está formado por un tramo seco e inactivo que bordea por el norte en su totalidad a la Colonia El Sol y por otro tramo que funciona como dren, a partir de la calle 40 de esa colonia, donde vierten en el dren las descargas del cárcamo de bombeo Maravillas. A partir de este sitio y hasta su confluencia con el Río La Compañía, el dren recibe las descargas de otros cuatro cárcamos de Ciudad Nezahualcoyotl en una plantilla sin gradiente topográfico.

El tramo seco del Dren Xochiaca que dejó de funcionar como tal en 1997, como

medida de protección a la Colonia El Sol, tiene un ancho mínimo de 10 metros y máximo de 20, bordes con elevaciones menores a los dos metros y totalmente cubierto de vegetación a la fecha del estudio(**Fotografía 7**).

Su traza es paralela, intermedia y casi equidistante a todo lo largo de la Colonia El Sol y al Brazo Derecho del Río Churubusco, así como al muro de contención de desbordes del brazo derecho del río que construyo la CNA en 1998 (**Fotografía 8**).

Las distancias del centro del Dren Xochiaca al centro del Brazo Derecho del Río Churubusco son variables; de 105 m en su longitud más distante, de 62 m como distancia intermedia y de 30 m en su separación más corta. Detrás del muro ya en la colonia El Sol la vía del ferrocarril México – Puebla está a escasos 20 m de la calle Salvador Allende (**Fotografía 9**).

Las anteriores precisiones tienen como propósito mostrar la vulnerabilidad de la colonia El Sol, ante una eventual crecida y desborde del Brazo Derecho del Río Churubusco, evento que además de los volúmenes de aguas negras, se le agregaría, en primer lugar, el desnivel negativo del piso de la Colonia El Sol con respecto al Brazo Derecho del Río Churubusco y como segundo factor adicional adverso, el deficiente funcionamiento de la planta de bombeo Churubusco – Lago. Esta planta esta a la fecha inundada y es muy posible que en pocos años se vea totalmente inutilizada.

Por el lado este, el Río La Compañía desaloja por su cauce las aguas negras desechadas por las colonias del oriente de la Ciudad de México y de los municipios de Chalco, Valle de Chalco, Ixtapaluca, Los Reyes, Chimalhuacan y Ciudad Nezahualcoyotl. A estos vertidos se agregan las aguas limpias, de lluvias y de los deshielos de los volcanes. Además en la colonia La Esperanza existe una serie de agrietamientos grandes que son perpendiculares al Río La Compañía, dichas grietas desaparecen a 50 metros del Río lo que resulta muy peligroso, ya que con el tiempo pueden llegar a afectarlo y provocar zonas de debilidad lo que podría producir el desbordamiento del Río hacia las zonas pobladas de Ciudad Nezahualcoyotl y de Chimalhuacan.

En la siguiente Tabla (6), se describe el estado actual y principales características de los cárcamos de aguas negras en Ciudad Nezahualcoyotl.

Las áreas potenciales de inundación son los siguientes:

Sobre el Dren Xochiaca:

- Colonia El Sol .
- Ciudad Deportiva.
- Hospital General Dr. Gustavo Baz.
- Reclusorio.

Sobre el Río La Compañía:

- Colonia Esperanza.

| Cárcamo | Caudal Instantáneo (m³/s) | Descarga a: | Observaciones |
|---------------------------|---------------------------|---------------|--|
| La Esperanza | 0.52 | Río Compañía | La tubería de descarga se encuentra ahogada, en esta zona de descarga existe mucha basura. El agua bombeada al Río se retorna al cárcamo (Fotografía 14). |
| Carmelo Pérez | 0.41 | Río Compañía | En este lugar existe un basurero municipal, por lo que gran cantidad de basura cae al canal. |
| Vicente Villada | 0.48 | Dren Xochiaca | Gran cantidad de basura y vegetación en el Dren obstruye el flujo del agua (Fotografía 10). |
| Sor Juana Inés de la Cruz | 0.46 | Dren Xochiaca | En el lugar existe un tiradero, por lo que hay gran cantidad de basura en los bordes del cauce (Fotografía 11). |
| Adolfo López Mateos | 0.55 | Dren Xochiaca | Vierte por gravedad al Dren Xochiaca. |
| Maravillas | 0.64 | Dren Xochiaca | La tubería de descarga se encuentra casi ahogada, en época de lluvias el nivel del agua llega a 20 cm del nivel de las vías del tren. Además la Colonia El Sol se encuentra en un nivel topográfico inferior, por lo que se considera zona crítica (Fotografía 12). |

Tabla 6.

Dada estas circunstancias se recomienda colocar pozos de observación a lo largo del Río La Compañía y el Dren Xochiaca, canales a cielo abierto; se sugieren 500 metros de separación entre los pozos, el primer caso canal Río La Compañía los pozos deben tener 12 metros de profundidad, el diseño se muestra en la **Figura 14**, en la **Figura 15** la sección esquemática de la instalación, y en la **Figura 16** la localización de los mismos (**Fotografía 15**). Es conveniente colocar pozos entre el canal La Compañía y los cárcamos de rebombeo.

En el segundo caso Dren Xochiaca 6 metros de profundidad, su diseño se muestra en la **Figura 17**, en la **Figura 18** la sección esquemática de la instalación, y el croquis de localización de los pozos en la **Figura 19** (**Fotografía 13**). Es conveniente colocar pozos entre el canal La Compañía y los cárcamos de rebombeo.

Figura 14. Diseño de los pozos de observación en el Río La Compañía:

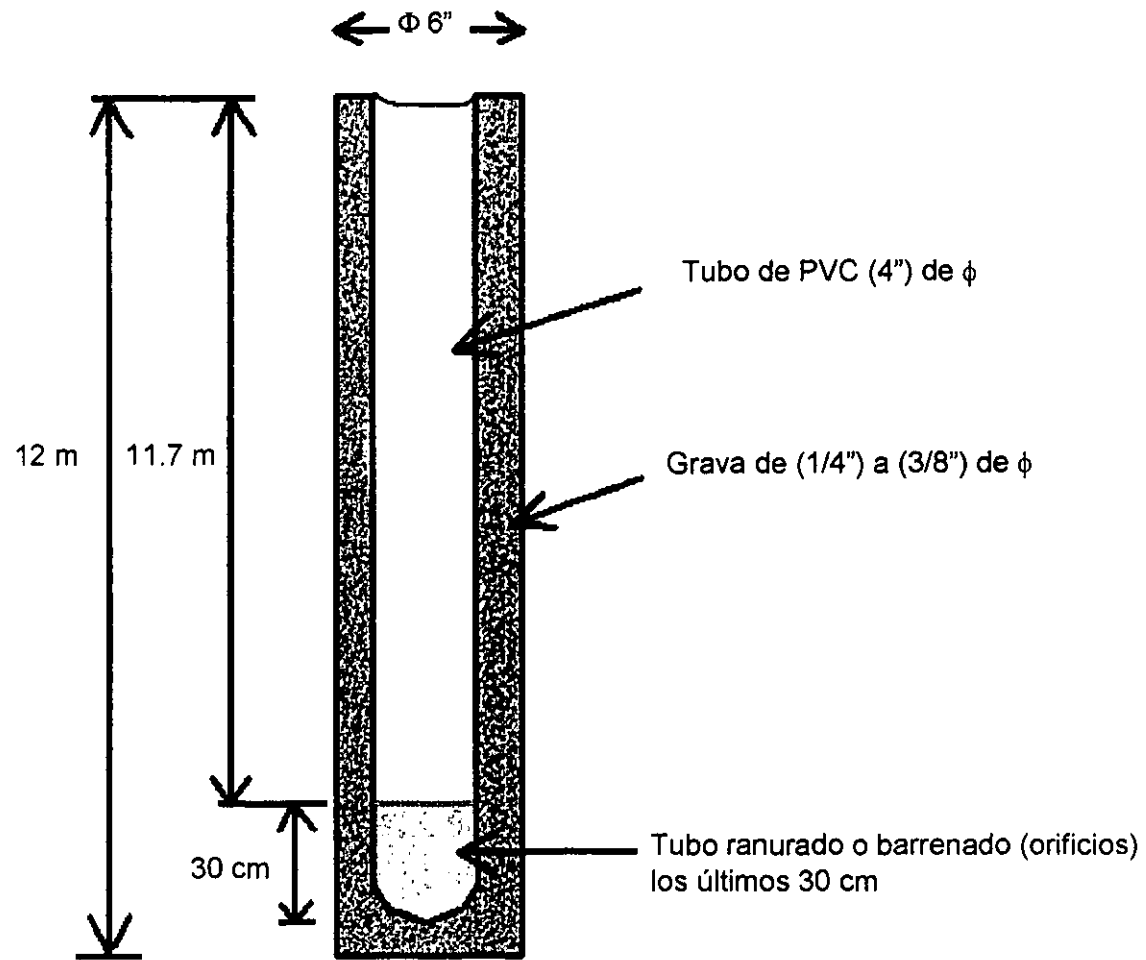


Figura 15. Sección Esquemática de la Instalación de los Pozos de observación en el Río La Compañía.

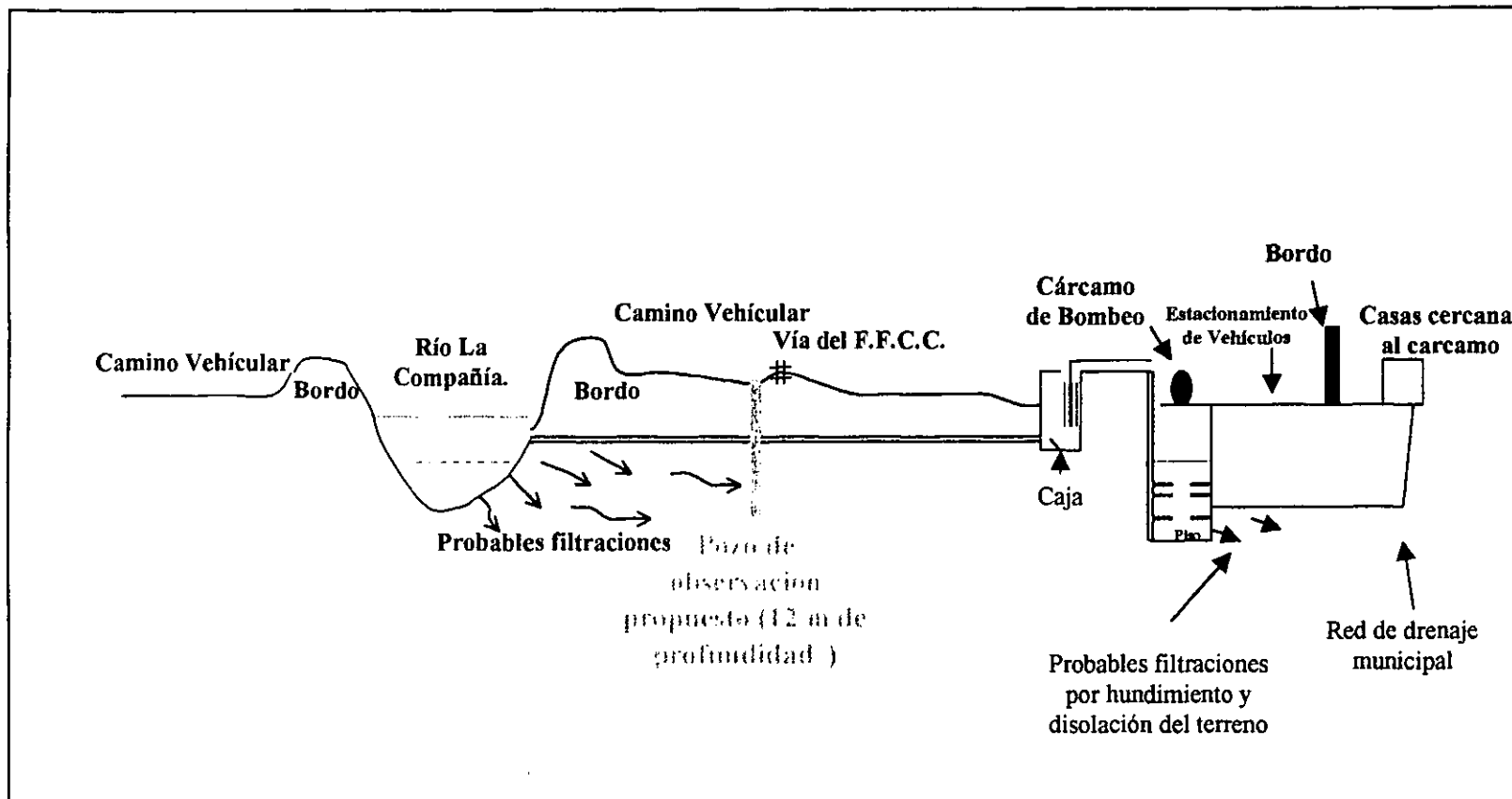


Figura 16. Croquis de localización para los pozos de observación en el Río La Compañía.

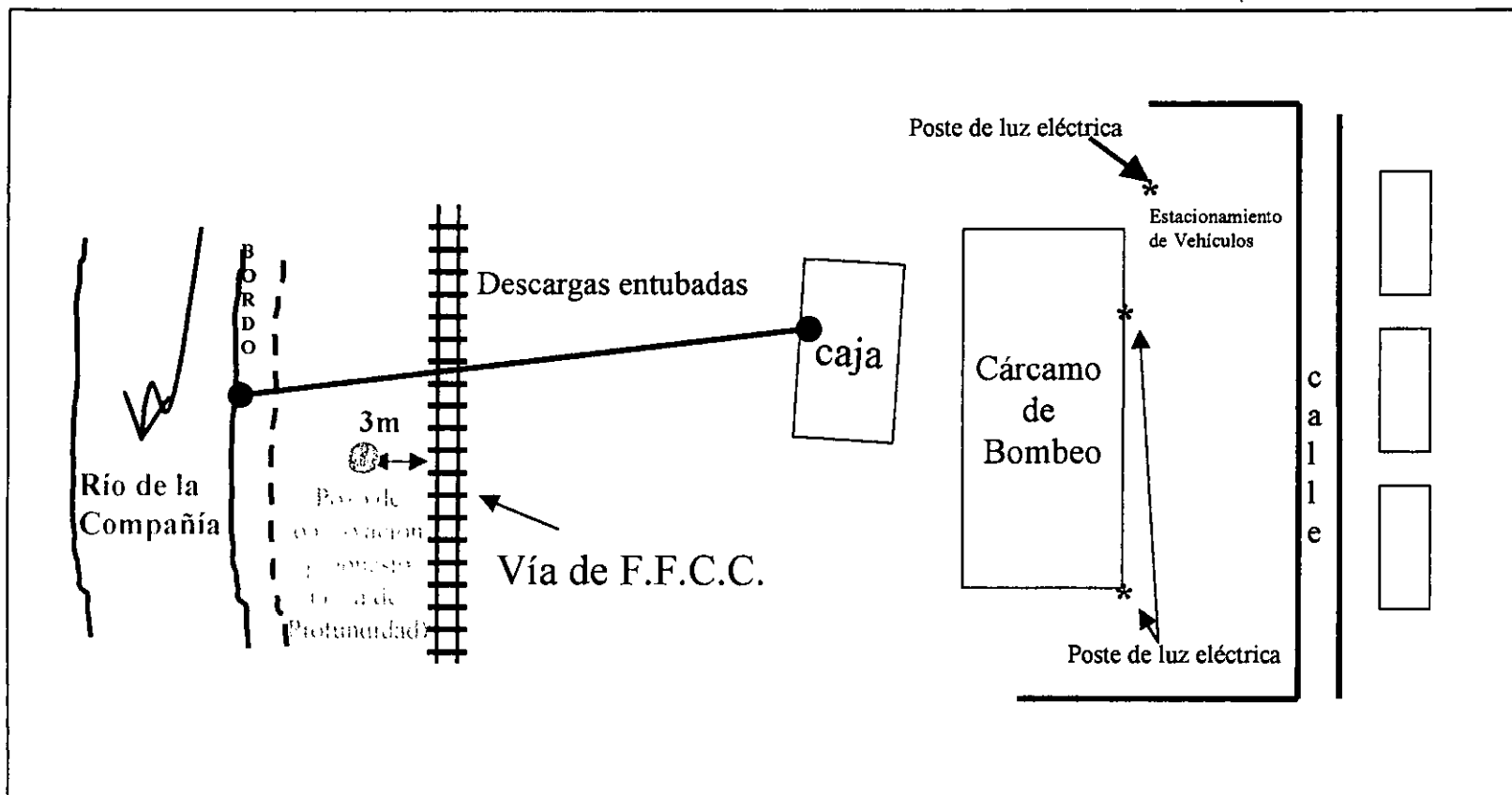


Figura 17. Diseño de los pozos de observación en el Dren Xochiaca:

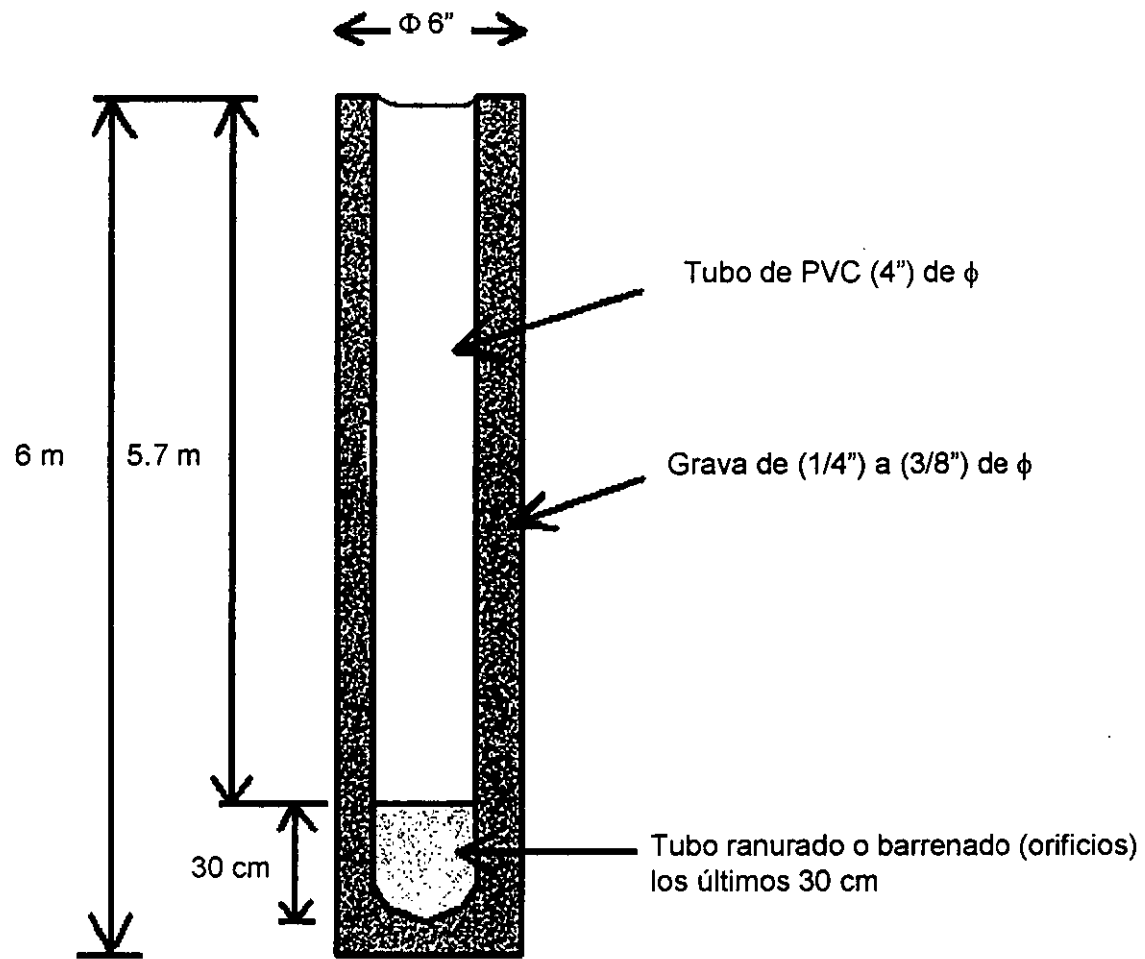


Figura 18. Sección esquemática de la ubicación de pozos de observación
En el Dren Xochiaca.

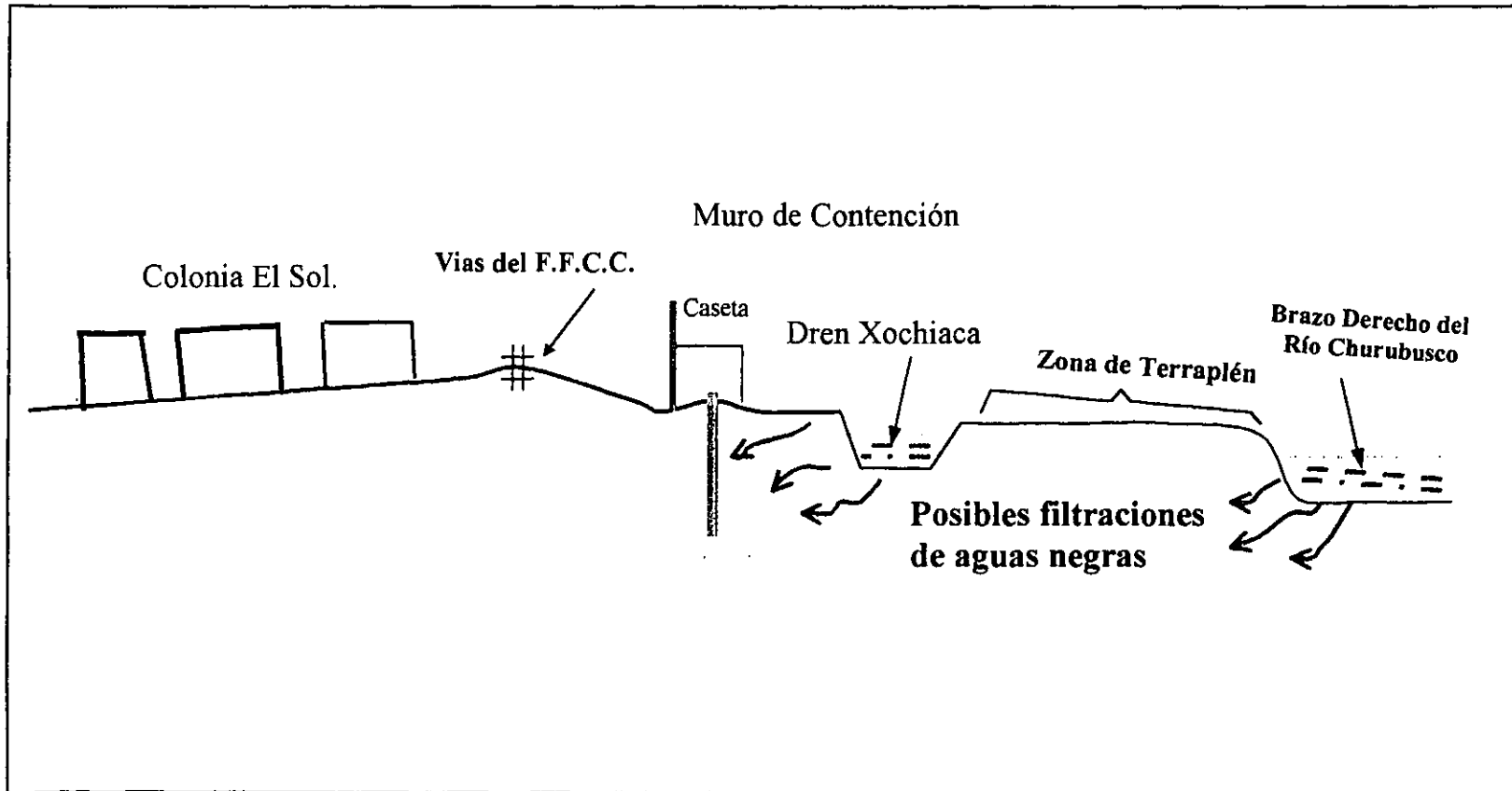
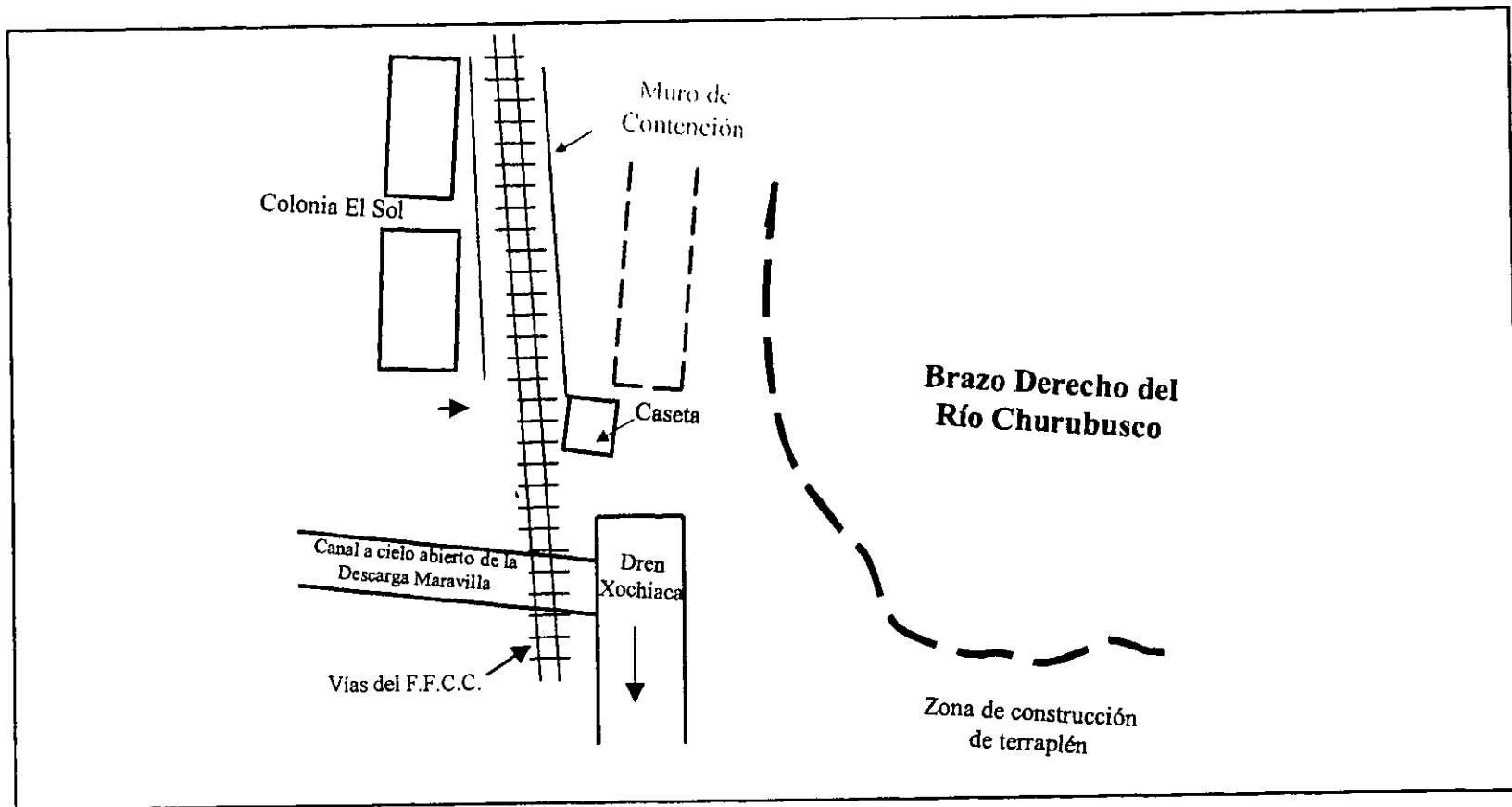


Figura 19. Croquis de localización para los pozos de observación en el Dren Xochiaca.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones

UNA

La característica natural más desfavorable de Ciudad Nezahualcoyotl es su lugar de asentamiento. A la planicie lacustre llana y sin pendientes apropiadas para desagües se añaden los drenes artificiales de aguas negras: el Dren Xochiaca de poca capacidad y el Río La Compañía con tramos también de capacidad de conducción reducida. A estos factores adversos de capacidad y pendiente se les añade el hundimiento progresivo del terreno a causa del bombeo para extracción de agua de un subsuelo altamente compresible.

DOS

En el suelo altamente compresible, la sobreexplotación de agua subterránea origina la subsidencia del terreno. El hundimiento en los brocales de los ocho pozos en los cuatro meses observados fue de 1.85 cm como mínimo (Pozo Neza 5) y de 6.05 cm como máximo (Pozo Neza 7). La compresibilidad del terreno calculada en estos puntos varía de 1.001×10^{-5} (m^2/kg) en el Pozo Neza 330 y 4.624×10^{-6} (m^2/kg) en el Pozo Neza 303.

TRES

El descenso del nivel del agua en los mismos pozos es más apreciable, ya que varía desde 0.133 metros (Pozo Neza 7), 1.997 metros en el Pozo Neza 8, para los mismos cuatro meses observados.

CUATRO

El fenómeno de consolidación del terreno es una amenaza creciente e irreversible sobre la infraestructura hidráulica de conducción de aguas negras, urbana y de la red de agua potable y alcantarillado.

CINCO

El mayor riesgo geológico detectado, es el posible rompimiento del bordo de la margen izquierda del Río La Compañía por el trazo de la grieta Calle 10 en la Colonia La Esperanza, la que es visible de manera impactante a 50 metros presentando una longitud es de 300 metros y una amplitud de 8.6 metros; además se localiza a 100 metros del Cárcamo de Rebombéo La Esperanza y a 50 metros de una estación de combustible del Nuevo Sistema de Transporte Troncal.

SEIS

En la zona urbana los efectos negativos originados en las estructuras por la subsidencia son los siguientes: rupturas y hundimiento del pavimento, agrietamiento y hundimiento en las casas habitación, inclinación de las paredes en los límites entre dos casas habitación, rompimiento de tuberías de drenaje en la calle y colapsamiento de la red de suministro de agua potable.

SIETE

El sistema de Cárcamos-Desacargas manejado por ODAPAS es operado con eficiencia. Factores externos al municipio como los vertidos de contaminantes y la ocurrencia cada vez mayor de volúmenes de agua evacuados por el municipio disminuyen la capacidad de la eficiencia del sistema.

OCHO

El Dren Xochiaca funciona como tal a partir del sitio de descarga del Cárcamo Maravillas con una amplitud constante, lo que ocasiona un azolve rápido por los depósitos de basura y sedimentos. Por este motivo desde este punto, la capacidad del dren se encuentra casi en su límite, por lo que un eventual desborde del Canal Brazo Derecho del Río Churubusco, que alcance al Dren Xochiaca en este sitio, podría inundar áreas próximas a La Colonia El Sol, La Ciudad Deportiva de Nezahualcoyotl, El Hospital General Dr. Gustavo Baz Prada de la S.S.A. y del Reclusorio.

NUEVE

Las zonas de más alto riesgo de inundación de aguas negras en el Río La Compañía se localizan en las cercanías al cárcamo La Esperanza, donde el Río tiene bordes bajos, cauce angosto y la tubería de descarga funciona ahogada. La zona urbana aledaña a la margen izquierda de este tramo se encuentra más baja con respecto al borde del Río La Compañía por lo que podría inundarse con un eventual rompimiento de la margen izquierda del cauce.

6.2 Recomendaciones

UNA

Es conveniente localizar y conseguir los cortes litológicos de los ocho pozos de agua potable, así como los aforos originales y las bitácoras de perforación, con el fin de definir el espesor acuífero y así determinar el coeficiente de compresibilidad (α) para cada pozo.

DOS

Es necesario continuar con las mediciones periódicas de los niveles estáticos y/o dinámicos durante las temporadas de lluvias y estiaje, para determinar los valores de abatimiento del acuífero.

TRES

Marcar en cada uno de los ademes de los ocho pozos de agua potable que se ubican dentro del municipio de Ciudad Nezahualcoyotl un punto de calibración. Este punto, es recomendable que se nivele topográficamente cada seis meses con el propósito de medir el ritmo de hundimiento del terreno.

CUATRO

Es conveniente colocar testigos (varillas) ó puntos de instrumentación en la traza de la Grieta Calle 10; con la finalidad de diagnosticar la velocidad y dirección de su movimiento.

CINCO

Se recomienda realizar una campaña de revisión en el pavimento, guarniciones de las principales avenidas y calles, así como la red de drenaje y agua potable, en las zonas próximas en donde se ubican grietas y hondonadas. Para impedir que se siga deteriorando la infraestructura del municipio.

SEIS

Se sugiere elevar los bordos de los canales Dren Xochiaca y Río La Compañía o construir un terraplén de protección adecuado en toda la longitud, con lo que se protegería de inundaciones.

SIETE

Llevar a cabo un dragado integral desde el inicio del cauce del Río La Compañía hasta la confluencia del Dren Xochiaca con draga marina, con el fin de evitar los bajos y altos que quedan en los cauces con el dragado tradicional y que forman tapones que frenan el flujo del agua.

OCHO

Para conocer los índices de contaminación por probables filtraciones de aguas negras del Río La Compañía y El Dren Xochiaca, hacia la zona urbana de Ciudad Nezahualcoyotl y prevenir el asentamiento de sus bordes, se recomienda instalar pozos de observación cada 500 metros, colocados entre el cauce y la zona urbana.

Estas obras podrán estar construidas con tubo de PVC, con una profundidad de 12 metros, en el caso del Río la Compañía y de 6 metros en el Dren Xochiaca, ambos con un diámetro de 4".

BIBLIOGRAFÍA:

- ❖ Aguayo-Camargo, J.E., Marin-Cordova, S. y Sánchez-Díaz, F., 1989. **Evolución Geológica de la Cuenca de México**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, simposio sobre tópicos geológicos de la cuenca del valle de México, p. 25-41.
- ❖ Arias-Paz, A., 1990. **Evolución de la calidad de la calidad del agua subterránea en el Exlago de Texcoco**. Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Tesis Profesional.
- ❖ Birkle P., Torres-Rodriguez, V. y González-Partida, E., 1988. **The water balance for the Basin of Valley of México and implications for future water consumption**. Hydrogeology Journal, Volume 6, Number 4. P. 500-517.
- ❖ Comisión Federal de Electricidad, 1988. **Estudios Geofísicos del Valle de México**. Departamento de Estudios Geofísicos, Superintendencia de Estudios Zona Centro, México, D.F.
- ❖ Comisión Nacional del Agua, 1991. **"Boletín 10 de Mecánica de Suelos"**, México.
- ❖ Cruickshank-García G., 1998. **Proyecto Lago de Texcoco, Rescate Hidrogeológico**, segunda edición, p.50-79.
- ❖ Ferrari, L. 2000. **Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década**. Sociedad Geológica Mexicana, vol XX, p. 84-92.
- ❖ Fetter, C, W. 1994. **Aplied Hydrogeology**. Third Edition. Prentice-Hall. P. 691.
- ❖ Herrera, I., Alberro, J., León J.L. y Chen B., 1974. **Análisis de asentamientos para la construcción de los lagos del plan Texcoco**. Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.

- ❖ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1988.

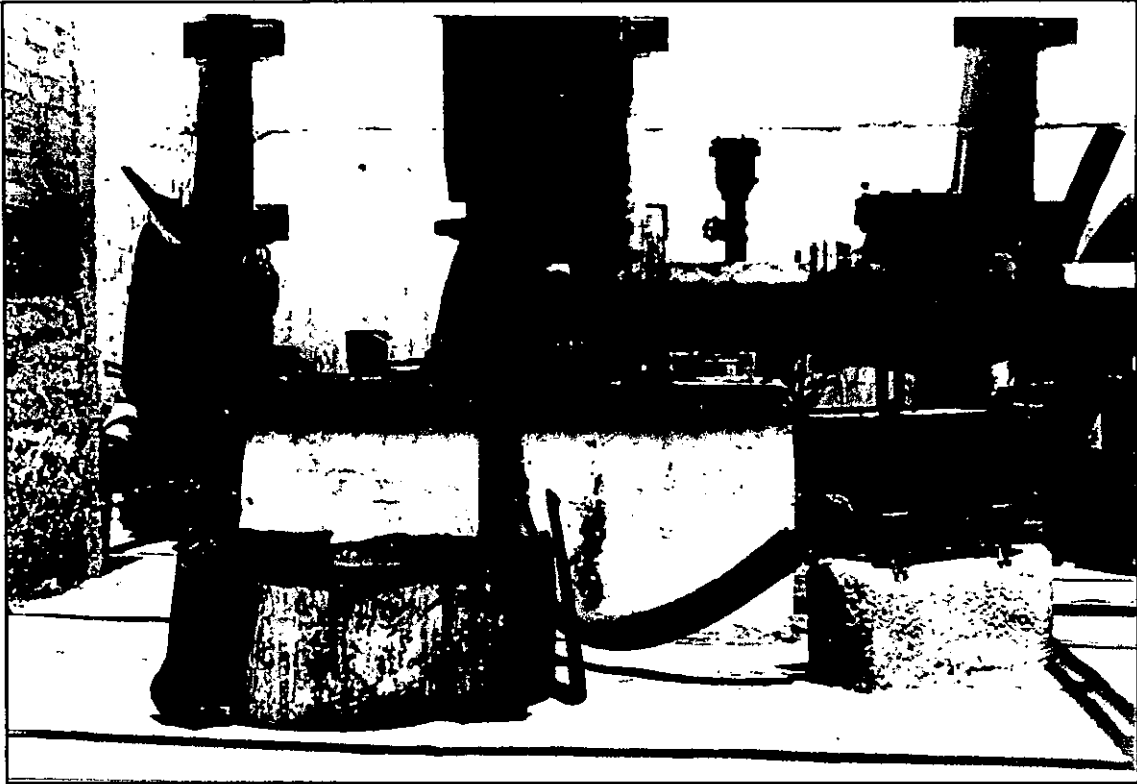
Cartas Topográficas:

Ciudad de México, escala 1:50000, clave: E14A39.

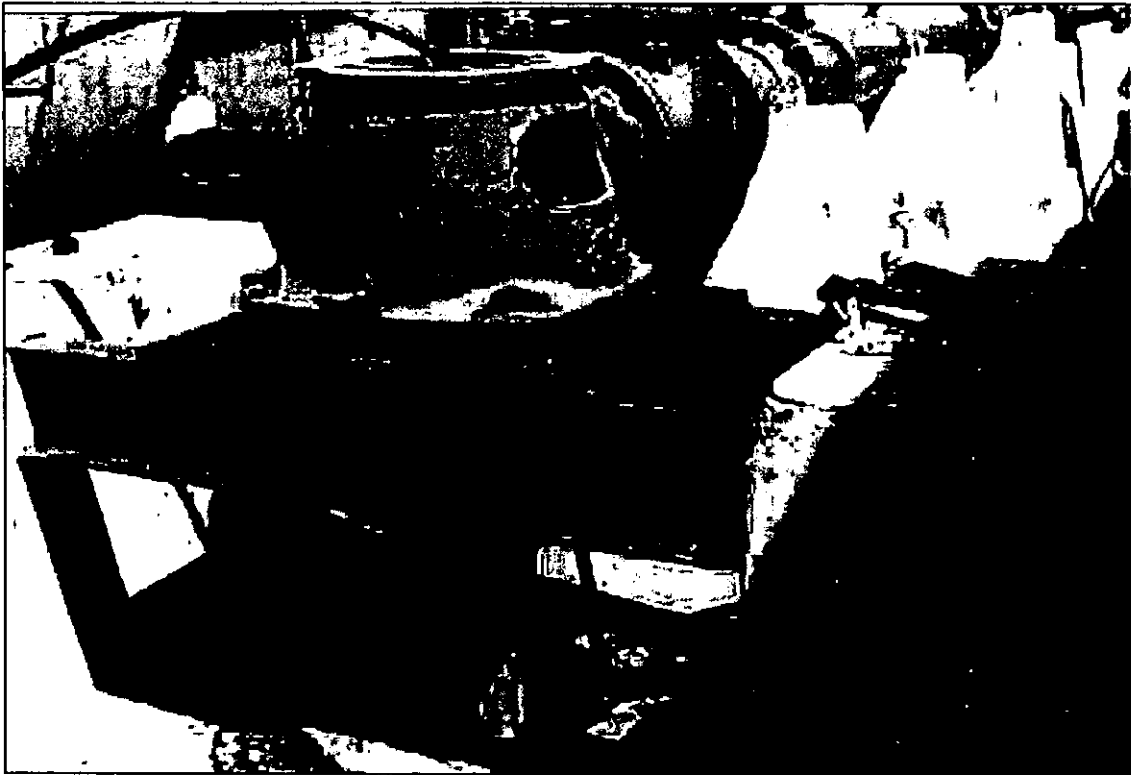
Chalco, escala 1:50000, Clave: E14B31.

- ❖ Lina-Manjarrez, P., 1998. **La vitalidad histórica de Tenochtitlan en la ciudad de México (del siglo XVI al XXI).** Investigación hoy IPN, No. 85, p.43-49.
- ❖ Lugo-Hubp, J.,1990: **El Relieve de la Republica Mexicana.** Revista del Instituto de Geología, U.N.A.M., Vol. 9 Núm. 1 pp. 82-111.
- ❖ Marsal, Raúl, J. Y Mazari, M., 1959. **El subsuelo de la Ciudad de México. (The subsoil of México City).** Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
- ❖ Matíaz-Santiago, R.,1989. **Estudio geotécnico en la ENEP Aragón,** Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, UNAM. Tesis Profesional.
- ❖ Mooser, Federico, 1972. **The Mexican Volcanic Belt. Structure and tectonics.** Instituto de Geofísica, U.N.A.M., Vol.12, p.55-70.
- ❖ Mooser, Federico, 1975. **Historia Geológica de la Cuenca de México, D.D.F. En:** Memoria de las Obras del sistema del Drenaje Profundo del Distrito Federal, Tomo I, p. 477-575.
- ❖ Mooser, Federico, 1978. **Geología del relleno cuaternario de La Cuenca de México,** Dirección General de Obras Hidráulicas, D.D.F. , Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Simposio el subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México.

- ❖ Murrilo, F. R. y García, A. G., 1978. **Ex-lago de Texcoco**, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, el subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México, p. 51-79.
- ❖ O.D.A.P.A.S., 1988. **Aforos de entrada y salida de residuos de agua municipal, industrial y de escurrimientos naturales**. Informe interno.
- ❖ Otega-Guerrero, A., 1989. **Características geológicas y geotécnicas del Ex-Lago de Texcoco**. Informe inédito.
- ❖ Pérez-Franco, D., 1982. **Hidráulica subterránea**, Editorial científico-técnica de la Ciudad de la Habana, Cuba.
- ❖ Solís, Felipe, Revista de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, 1992. **El diseño urbano de México-Tenochtitlan**. P. 12-16.
- ❖ Sánchez-Díaz, L.F., 1989. **Los acuíferos de la Ciudad de México, su estado actual y alternativas de solución para su control y conservación**. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional, ESIA. 382 p.
- ❖ Schlaepfer, C.J., 1968. **Resumen de la geología de la Hoja México, Distrito Federal, Estado de México y Morelos**. Carta Geológica de México. Instituto de Geología, U.N.A.M.



Fotografía 1. Pozo Neza 7. En donde se muestra la tubería recortada debido al continuo hundimiento en la zona de la Ciudad Nezahualcoyotl.



Fotografía 2. Que muestra el brocal y equipamiento del Pozo Neza 3; nótese que el pozo cuenta con una manguera de color negro que sirve para introducir la sonda facilitando la medición de los niveles dinámicos. Por otra parte se observan los puntos marcados en color rojo que sirven para la medición de los asentamientos diferenciales.



Fotografía 3. Muestra el desplazamiento de la grieta Calle 10; nótese el hundimiento del pavimento de 30 cm. Es importante resaltar que la grieta provocó en el sitio la ruptura de la red de agua potable y del drenaje.



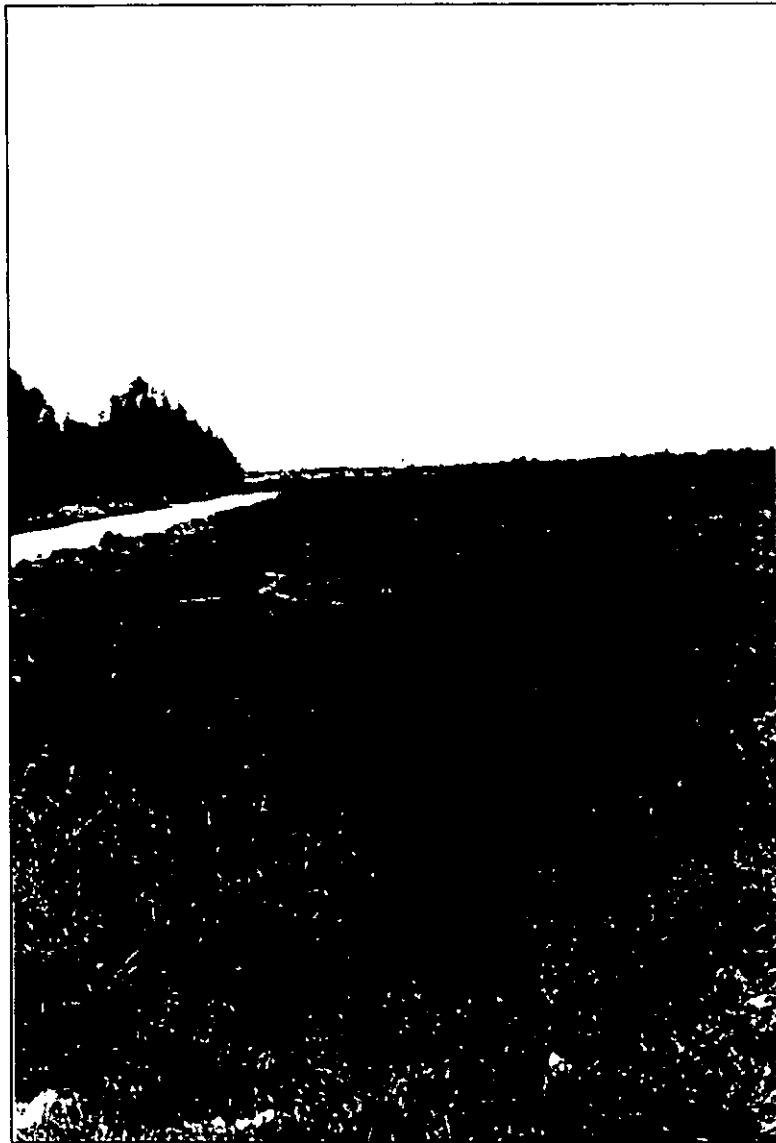
Fotografía 4. Que muestra la traza de la grieta Loma Bonita; nótese las grietas en la pared de la casa habitación que es prácticamente inhabitable por el riesgo a caerse en cualquier momento, además se observa como el pavimento y la guarnición están hundidos y rotos.



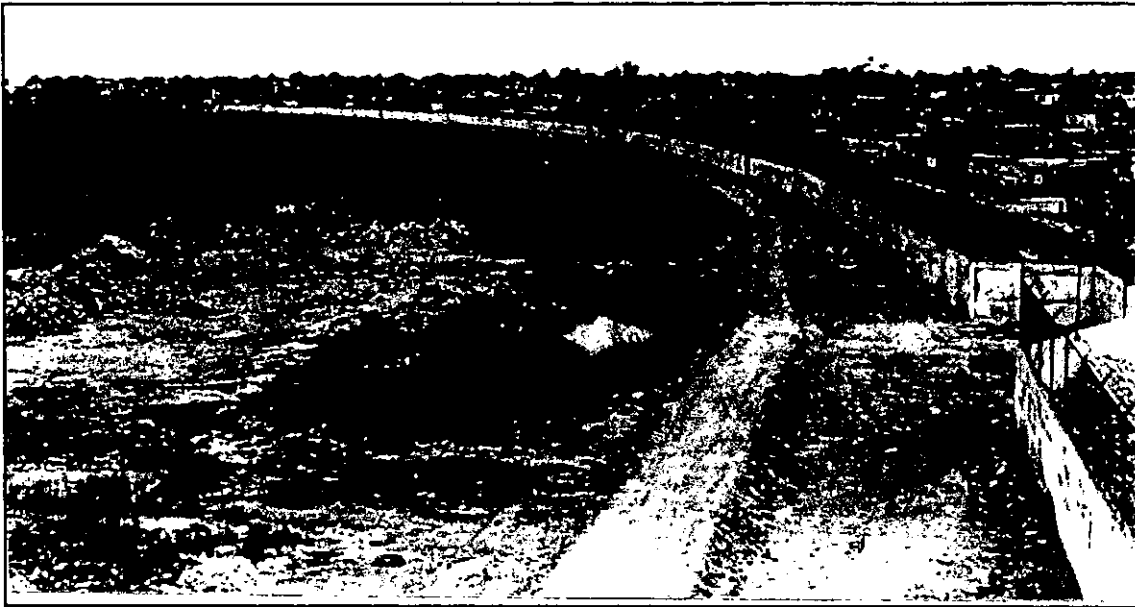
Fotografía 5. Muestra el desplazamiento del sistema de grietas Loma Bonita, el hundimiento del pavimento es de 32 cm. En la calle Nicolás Bravo ocasionó rompimiento en la red de agua potable y drenaje, además de encontrarse cerrada al tránsito de automóviles.



Fotografía 6. Muestra dos hondonadas ubicadas en la Avenida Chimalhuacán, entre las calles 11 y 13 de la colonia Maravillas, en donde se observa la carpeta asfáltica y la guarnición de la banqueta totalmente destruidas siendo un riesgo latente para los vehículos que cotidianamente transitan por la referida avenida.



Fotografía 7. Las condiciones actuales del canal Dren Xochiaca inactivo; observe la gran cantidad de vegetación y azolve que presenta desde el periférico hasta el Cárcamo Maravillas.



Fotografía 8. Panorámica de la Colonia El Sol en donde se observa el Dren Xochiaca inactivo, el muro de contención y terraplén (de reciente construcción). A la derecha se ubica la colonia el sol, y 50 metros a la izquierda se localiza el Brazo Derecho del Río Churrubusco.



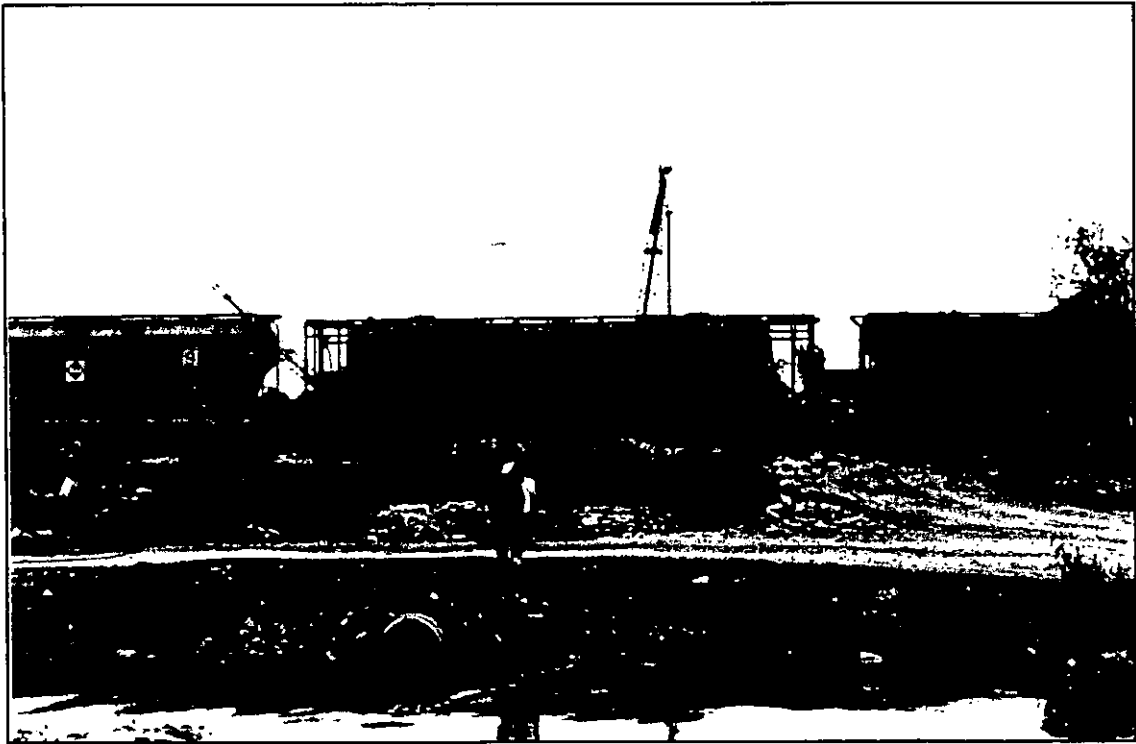
Fotografía 9. En la cual se observa el canal a cielo abierto de descarga de aguas negras del Cárcamo Maravillas que trabaja deficientemente. Nótese que el espacio que hay entre las vías del tren y el espejo de agua es mínimo.



Fotografía 10. En donde se observa la descarga del Cárcamo Vicente Villada al Dren Xochiaca. Nótese la gran cantidad de basura y vegetación en el Dren que obstruye el flujo de agua.



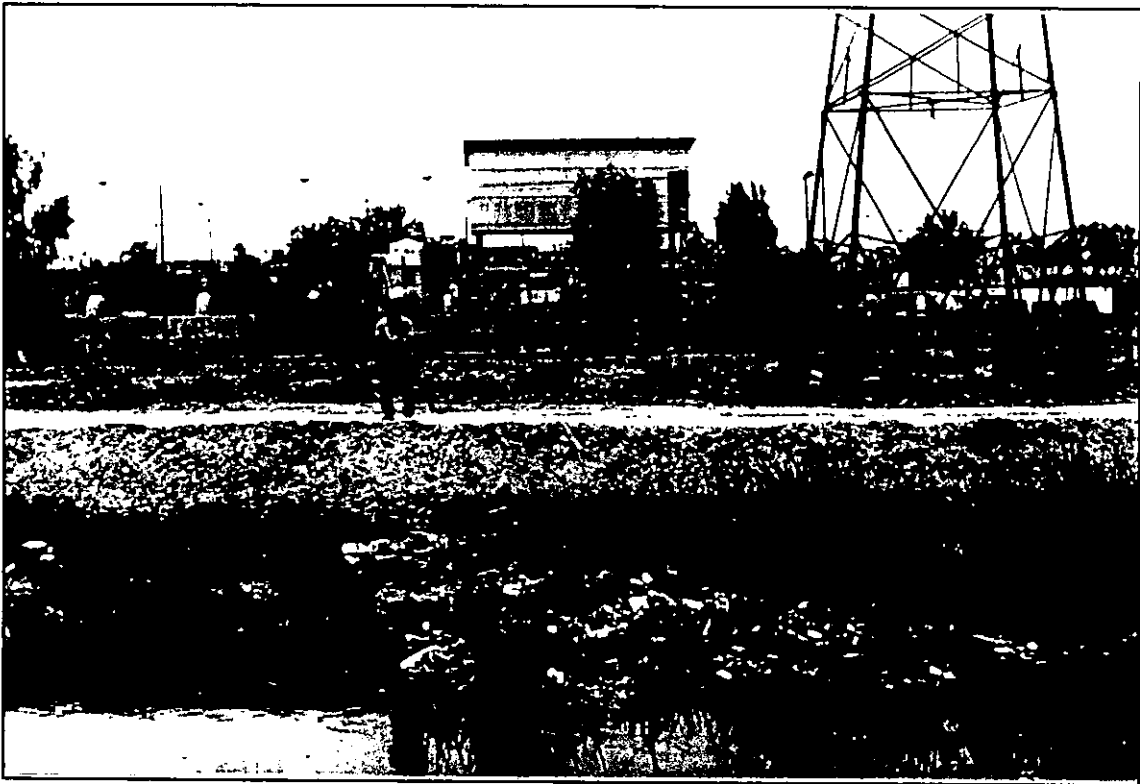
Fotografía 11. Muestra la descarga del Cárcamo Sor Juana en el canal a cielo abierto; en donde se observa la mucha basura en los bordos e invadiendo parte del cauce.



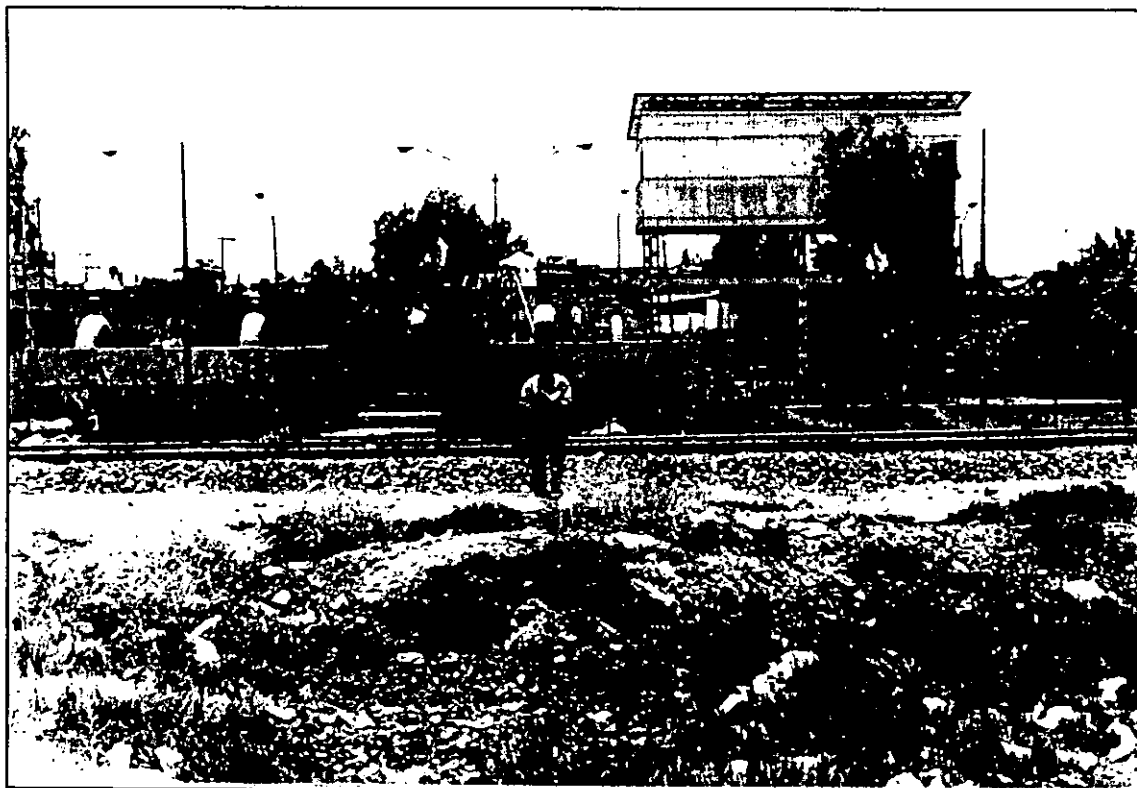
Fotografía 12. Muestra la salida del Cárcamo Maravillas (casi ahogado) a partir del cual se inicia el Dren Xochiaca; también se observa el poco espacio que existe entre el espejo de agua y el piso actual del camino.



Fotografía 13. Muestra el terraplén que existe entre el Dren Xochiaca y El Brazo Derecho del Río Churrusco, el bordo y el espacio es deficiente ya que cualquier exceso de agua provocaría una inundación en esa área. Muestra también el sitio para instalar un pozo de observación, por posibles filtraciones a la Colonia El Sol.



Fotografía 14. Detalle de la salida de aguas negras del Cárcamo La Esperanza al Río La Compañía; nótese que se encuentra completamente ahogado bajo el nivel del agua del Río y con gran cantidad de vegetación y basura.



Fotografía 15. Muestra el sitio propuesto para instalar un pozo de observación en el Cárcamo La Esperanza localizado a 3 metros de las Vías del tren.