



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE  
MÉXICO (0901), CIUDAD DE MÉXICO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1 GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
1.1 Localización .....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero .....	4
<b>2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>4</b>
<b>3 FISIOGRAFÍA .....</b>	<b>7</b>
3.1 Provincia fisiográfica .....	7
3.2 Clima .....	8
3.3 Hidrografía .....	10
3.4 Geomorfología .....	12
<b>4 GEOLOGÍA .....</b>	<b>12</b>
4.1 Estratigrafía .....	13
4.2 Geología Estructural .....	20
4.3 Geología del Subsuelo .....	21
<b>5 HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
5.1 Tipo de acuífero .....	22
5.2 Parámetros hidráulicos .....	23
5.3 Piezometría .....	23
5.4 Comportamiento Hidráulico .....	23
5.4.1 Profundidad del Nivel Estático .....	24
5.4.2 Elevación al Nivel Estático .....	24
5.4.3 Evolución del Nivel Estático .....	24
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	24
<b>6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>26</b>
<b>7 BALANCE DE AGUS SUBTERRÁNEAS .....</b>	<b>26</b>
7.1 Entradas .....	27
7.1.1 Recarga vertical .....	27
7.1.2 Recarga Inducida .....	28
7.1.3 Flujo Horizontal .....	28
7.2 Salidas .....	28
7.2.1 Evapotranspiración .....	28
7.2.2 Descargas Naturales .....	29
7.2.3 Bombeo .....	29
7.2.4 Flujo Subterráneo .....	29
7.3 Cambio de almacenamiento .....	29
<b>8 DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>29</b>
8.1 Recarga total media anual (R) .....	30
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) .....	30
8.3 Volumen de extracción de agua subterránea (VEAS) .....	30
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea .....	30
<b>9 BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>32</b>

## **1 GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1 Localización**

El acuífero Zona Metropolitana de la Cd. De México, definido con la clave 0901 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se encuentra ubicado en el sur poniente de la Cuenca del Valle de México, ocupa el 17% de la superficie de la cuenca endorreica, abarca la totalidad de la Ciudad de México y una porción del Estado de México (figura 1). La Ciudad de México y su área conurbada dependen fundamentalmente para abastecimiento de agua potable del suministro del acuífero.

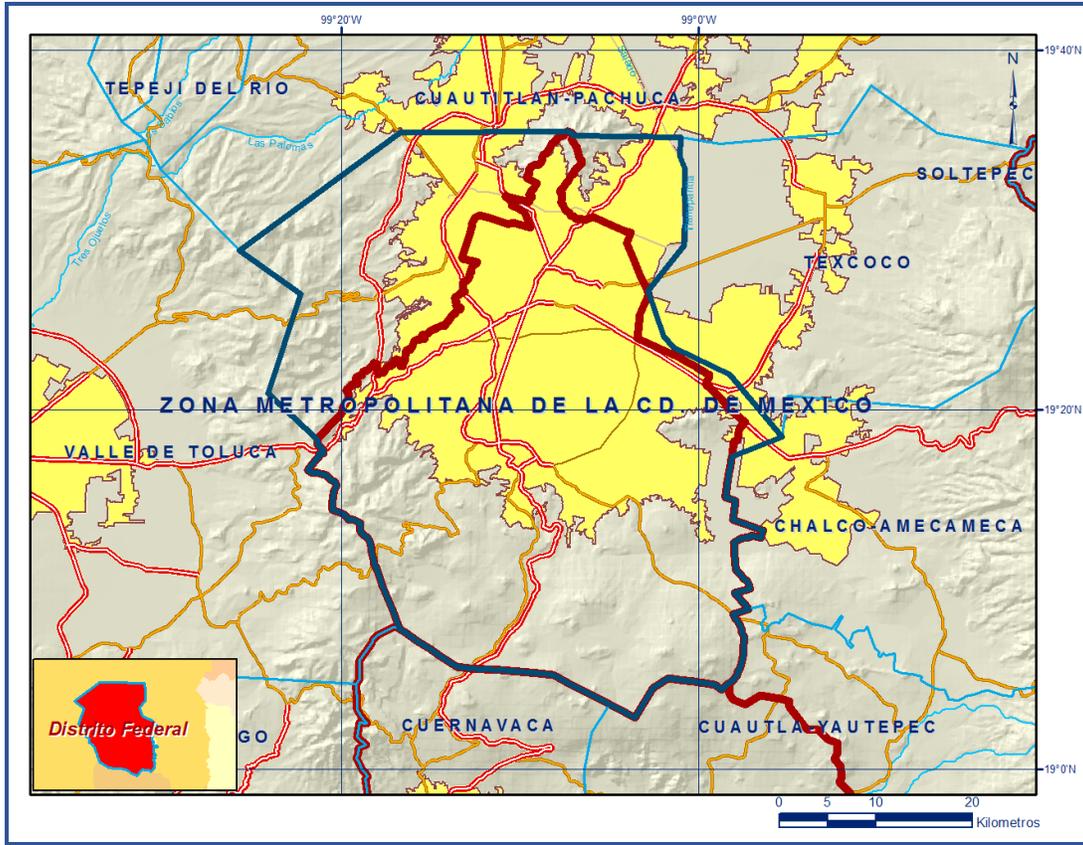


Figura 1. Localización del acuífero

La Cuenca de México es una cuenca endorréica de carácter lacustre, donde la corteza ha sufrido grandes esfuerzos, produciéndose un intenso fracturamiento. Está circundada por montañas y cubierta en diferentes puntos por áreas lacustres producto de lagos que existieron al final de la época glacial. Al cerrarse la cuenca en el Cuaternario Superior, las aguas pluviales quedaron encajonadas, formando un conjunto de lagos someros. Podrían mencionarse hacia el centro el Lago de México, al este el de Texcoco, al sur los de Xochimilco y Chalco, que formaban uno solo y al norte el de Zumpango. El fondo de la Cuenca es una planicie lacustre de 1,431 km<sup>2</sup>, a una altitud que varía entre 2,230 y 2,240 msnm, y se mantiene seca artificialmente. El parteaguas de la cuenca se extiende por la zona montañosa circundante, la que frecuentemente se eleva por encima de los 3,000 msnm.

La ciudad y el acuífero están separados, en su mayor parte por un acuitardo arcilloso, el espesor del acuitardo es de alrededor de 50 metros, el acuífero alcanza profundidades mayores a 800 metros; y en él se encuentran pozos con profundidades que oscilan entre 100 y 400 m.

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0901 ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE MEXICO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	21	22.1	19	18	22.7	
2	99	24	5.5	19	20	55.5	
3	99	22	14.9	19	26	27.3	
4	99	25	42.6	19	28	51.6	
5	99	16	40.2	19	35	28.2	
6	99	7	23.2	19	35	30.7	DEL 6 AL 7 POR EL LIMITE ESTATAL
7	99	7	2.9	19	35	17.2	
8	99	1	0.7	19	35	11.6	
9	99	1	4.5	19	34	8.8	
10	99	0	48.6	19	33	27.9	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE
11	99	0	50.2	19	29	9.4	
12	99	2	50.0	19	26	37.3	
13	99	1	59.0	19	24	8.4	
14	99	1	25.4	19	23	28.2	
15	98	58	17.4	19	21	59.0	
16	98	55	21.5	19	18	29.8	
17	98	58	9.3	19	17	24.0	DEL 17 AL 18 POR EL LIMITE ESTATAL
18	98	58	19.5	19	4	47.8	DEL 18 AL 19 POR EL LIMITE ESTATAL
19	99	5	0.1	19	3	37.7	DEL 19 AL 20 POR EL LIMITE ESTATAL
20	99	16	44.9	19	7	50.0	DEL 20 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	99	21	22.1	19	18	22.7	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

Los decretos de veda por los cuales se rigen tanto las Delegaciones como los Municipios del Estado de México son: El decreto de Veda de la Cuenca del Valle de México publicado el 19 de agosto de 1954 en el Diario Oficial de la Federación y el decreto de Veda en el Valle de Toluca desde el 23 de septiembre de 1965 fecha de publicación en el Diario Oficial.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos del año 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

## 2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Los estudios que se han realizado dentro del área incluyen tesis, artículos, así como diversos estudios técnicos; a continuación, se presenta un breve resumen de los puntos más importantes que se desarrollaron durante estos trabajos.

## GEOQUÍMICA DEL AGUA SALINA DEL ACUITARDO LACUSTRE Y RIESGO DE CONTAMINACIÓN AL ACUÍFERO SUBYACENTE QUE ABASTECE A LA CIUDAD DE

**MÉXICO.** (tesis) Se realizó una simulación hidrogeoquímica utilizando el proceso de evaporación a partir del agua del acuífero, se determinó que si existe una mezcla de 3% del agua del acuitardo con el agua del acuífero se rebasaría la Norma para uso potable en pH y sodio, las condiciones de equilibrio de la fase sólida con el agua de poro son importantes para evaluar los procesos de atenuación de contaminantes que se dispone en la superficie del acuitardo.

**VARIACIÓN HORARIA DE LA CARGA HIDRÁULICA EN EL ACUITARDO LACUSTRE DEL EXLAGO DE CHALCO D.F. Y ESTADO DE MÉXICO.** (tesis) Dentro de este trabajo se estudió la relación entre el acuífero y el acuitardo en la Subcuenca de Chalco, ya que debido a las extracciones del agua en el acuífero existe una contribución de agua proveniente del acuitardo que se manifiesta en la consolidación de los sedimentos lacustres, así como la inversión del gradiente hidráulico. Se realizó un análisis de las condiciones hidráulicas de la Subcuenca de Chalco con 15 piezómetros electrónicos del tipo "Drive Point" conectados a un lector automatizado donde se registraron lecturas cada dos horas durante el periodo de 1992-1993. Con base en la medición se determinó que el movimiento preferencial del agua subterránea es descendente.

**MIGRACIÓN DE COMPUESTOS INORGÁNICOS DERIVADOS DE UN CANAL DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN URBANO E INDUSTRIAL A TRAVÉS DE ARCILLAS FRACTURADAS HACIA EL ACUÍFERO SUBYACENTE, CHALCO-IXTAPALUCA. MÉXICO.** (tesis) Con el fin de evaluar la migración de contaminantes inorgánicos derivados de un canal de aguas residuales de origen doméstico e industrial hacia el acuífero subyacente, se realizó un estudio sistemático de campo, complementado con modelación matemática en la porción nororiental de la Subcuenca de Chalco; se instrumentaron 26 puntos de monitoreo químico e hidráulico. Los resultados muestran gran actividad hidrológica asociada a la presencia de fracturas, acompañada de gran movilidad de contaminantes en el tiempo y espacio. Por medio de simulaciones numéricas de transporte de contaminantes no reactivos se confirmó esta movilidad.

**GEOLOGÍA DE LA CUENCA DE MÉXICO E. VÁZQUEZ-SÁNCHEZ Y R. JAIMES PALOMERA.** (artículo) Con base en el análisis estratigráfico, estructural y petroquímico se propone la evolución geológica, desde el Cretácico. Los resultados indican que del Aptiano al Turoniano Tardío prevaleció la sedimentación calcárea, posteriormente cambió a tipo flysh entre el Conaciano y Campaniano Temprano. Las

secuencias se plegaron del Maestrichtiano al Eoceno Temprano debido a la Orogenia Laramide, en el eoceno Tardío-Oligoceno Temprano ocurrió un fallamiento normal con desplazamiento lateral derecho, contemporáneo con sedimentación continental tipo molasa y con efusiones fisurales basálticas alcalinas. Los eventos volcánicos que se asocian genéticamente con el Arco volcánico Transmexicano y con fallas normales del Plio-Cuaternario. El régimen endorreico de la Cuenca de México y la consecuente sedimentación lacustre del Pleistoceno-Holoceno se originaron como consecuencia del intenso volcanismo que edificó la Sierra Chichinautzin.

### **CIUDAD DE MÉXICO, ACUITARDO SUPERFICIAL Y CONTAMINACIÓN ACUÍFERA**

**JAIME DURAZO.** (artículo) La Ciudad de México se asienta sobre un acuitardo arcilloso y un acuífero que abastecen a la ciudad, el espesor del acuitardo es de alrededor de 50 m; el acuífero alcanza profundidades mayores a 800 metros; los pozos se localizan entre las profundidades de 100 a 400 metros, en este estudio se hizo una revisión realizada desde una perspectiva global de la cuenca. El sistema de flujo subterráneo de agua y las sustancias asociadas es cerrado con descargas en pozos, las extracciones del acuífero indujeron nueva recarga desde el acuitardo y las fracturas agilizan el flujo.

### **MODELO GEOQUÍMICO CONCEPTUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL VALLE DE MÉXICO ANTONIO CARDONA Y NOEL HERNÁNDEZ.**

(artículo) A partir de la interpretación de resultados de análisis químicos (elementos mayores y traza) de agua subterránea y del reconocimiento de la interacción agua-roca así como del cálculo del balance de masa se propone un modelo conceptual de la evolución química del agua subterránea con la identificación de los procesos geoquímicos dominantes en el contexto hidrogeológico y dinámico del área de estudio. Las principales reacciones que condicionan la evolución de la composición química del agua subterránea en la dirección del flujo analizado son: mezcla de aguas entre diferentes miembros extremos inducidos por el bombeo de pozos, intercambio iónico fijando calcio y magnesio en la matriz arcillosa del acuífero y liberando sodio y potasio al agua subterránea, procesos de oxidación- reducción que condiciona las concentraciones de sulfato, bicarbonato, nitrato, hierro manganeso y posiblemente arsénico.

### **DIAGNÓSTICO DE LA REGIÓN XIII VALLE DE MÉXICO DEMM CONSULTORES S.A**

**DE C.V.** Dentro de este estudio se presenta de manera general las condiciones actuales cualitativas y cuantitativas y sus efectos al ambiente de los ecosistemas

acuáticos, también se identificó la infraestructura hidráulica actual y se determinó la demanda actual y futura de los diferentes tipos de usuarios y las interrelaciones con otras regiones debido al intercambio de agua. Así mismo se identificaron los problemas relevantes del uso del agua de la región y se definieron prioridades a corto mediano y largo plazo del uso del agua en la región, se realizó una estimación de las necesidades actuales y futuras de infraestructura definiendo el tipo de obras requeridas, los costos estimados y las probables fuentes de financiamiento.

### **3 FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

El Valle de México forma parte del denominado Eje Neovolcánico o Faja Volcánica Transmexicana, la cual se extiende en dirección este-oeste atravesando la República Mexicana. Esta zona se considera una provincia fisiográfica independiente al resto de la República. Manuel Álvarez Jr (1958), denominó a esta provincia como Zona de Fosas Tectónicas y Vulcanismo Reciente. Menciona que está caracterizada por predominar en ella derrames basálticos, numerosos volcanes y lagos, cuya morfología, orientación y distribución sugieren estar situados en fosas tectónicas y de ahí se le asigna dicho nombre.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México se encuentra limitada por elevaciones topográficas de origen volcánico como son la Sierra de Guadalupe al norte, la Sierra de Las Cruces al poniente, La Sierra Chichinautzin al sur, el volcán del Ajusco al suroeste y la Sierra Nevada al oriente. Dentro de este valle existen algunos aparatos volcánicos aislados, siendo los principales los que forman la Sierra de Santa Catarina y existiendo algunos otros que aparecen en forma aislada como son el Peñón del Marqués, el Peñón de los Baños y el Cerro de La Estrella.

Lo que ahora constituye el Valle de México, antiguamente drenaba hacia el sur. Las corrientes superficiales que circulaban en dicha dirección fueron interrumpidas por las salidas de productos volcánicos a través de conos que dieron origen a la Sierra de Chichinautzin, dejando el área del Valle de México sin drenaje al exterior, razón por lo que se acumuló agua en la parte central dando origen a los lagos de Zumpango, Texcoco, Xochimilco y Tláhuac.

Los materiales que constituyen el subsuelo corresponden a intercalaciones de productos volcánicos tales como lavas, tobas y cenizas que incluyen materiales granulares transportados por ríos y arroyos provenientes de las partes topográficamente altas que circularon hacia los valles. Cubriendo a dichos materiales

y en espesores variables, se encuentran arcillas y arenas finas que son el producto del sedimento de los antiguos lagos.

### **3.2 Clima**

Debido a las características topográficas existentes dentro De la Región XIII Valle de México, se encuentra una gran diversidad de climas. Sin embargo dentro de esta variedad predomina el templado o mesotérmico. Los climas templados se concentran en los valles altos de la parte noroeste del Estado de México, así como en el centro y este de la Subregión Valle de México, ocupando más del 45% de la superficie total de la región XIII; siguen en importancia los climas secos y semisecos que predominan principalmente en la porción centro-norte del Estado de México.

De acuerdo al sistema de clasificación de Köpen, modificado por E. García y debido a las diferencias de relieve y altitud, para la región en estudio se han identificado siete grupos de climas en la cuenca del Valle de México. Dentro del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México se tienen dos tipos de clima que son: un clima Templado Subhúmedo (Cb(W<sub>0</sub>) (W)) y un clima Templado Subhúmedo (Cb(W<sub>2</sub>) (W)).

Clima Templado Subhúmedo (Cb(W<sub>0</sub>) (W)).- Este tipo de clima es la variante menos húmeda de los templados, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5%. Es a la vez el tipo más importante de este grupo de climas, pues se le encuentra distribuido en un 22% de la superficie de la Región XIII, se localiza principalmente en la mayor parte del Distrito Federal, así como en la porción central y oriente del Estado de México, en parte de los municipios de Chalco, Ixtapaluca, La Paz, Texcoco, Atenco, Tepetlaoxtoc y Otumba; se localiza también en la mayor parte de los municipios de Emiliano Zapata, Apan, Almoloya, Tepeapulco, Tlanalapa y Zempoala del Estado de Hidalgo.

Clima Templado Subhúmedo (Cb(W<sub>2</sub>) (W)). Este tipo de clima que se presenta dentro de este acuífero es el más húmedo de los templados con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor del 10%. Se encuentra distribuido en un 13.6 % de la superficie de la Región XIII, se localiza principalmente en la porción occidental del Estado de México, en los municipios de Huixquilucan, Naucalpan, Tlanepantla, Atizapán de Zaragoza, Jilotzingo, Nicolás Romero Tepetzotlán Villa del Carbón, Morelos, Chapa de Mota y Jilotepec entre otros.

Debido a que dentro de este acuífero existen dos tipos de climas el régimen pluvial que se presenta en las zonas con clima Templado Subhúmedo (Cb(W<sub>0</sub>) (W)), es entre 500 y 600 mm y la temperatura media anual varía entre 8° y 11° C. La mayor precipitación pluvial se registra en junio con un valor que oscila entre 100 y 110 mm y la mínima en febrero y diciembre, con valores menores a 5 mm. La temperatura media más cálida se presenta en el mes de junio, con un valor entre 12° y 15° C y la más fría de diciembre a febrero, con valores entre los 3° y los 5° C.

Para la región donde se presenta un clima de tipo Templado Subhúmedo (Cb(W<sub>2</sub>) (W)), la precipitación media anual es mayor de 700 mm y la temperatura media anual oscila entre 12° y 18° C. La máxima incidencia de lluvias se presenta en julio, con un valor que fluctúa entre 150 y 160 mm. La menor precipitación se presenta en los meses de febrero y diciembre, con un valor menor de 5 mm. El mes más cálido es mayo con una temperatura media que varía de 14° a 16° C. El mes más frío es enero, con temperaturas medias de 5° a 8° C. Los datos anteriormente mencionados de climatología y precipitación se obtuvieron del estudio de Diagnóstico de la Región XIII Valle de México.

Debido que el valor de la precipitación media anual es variable en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, con base en datos de las estaciones climatológicas existentes dentro de este acuífero se obtuvo la precipitación media anual por medio de Isoyetas.

Primeramente se ubicó en un plano escala 1:200,000 las estaciones climatológicas existentes dentro del acuífero que son: El Guarda, San Francisco Tlanepantla, Milpa Alta, Tláhuac, Los Reyes La Paz, Lago Nabor Carrillo, Granjas Guadalupe, Las Arboledas, San Mateo Tecoloapan, Calacoaya, El Salitre, San Luis , Molino Blanco, Presa Totolica, Magdalena Chichicapa, Huixquilucan, Monte Alegre y Presa Anzaldo; se obtuvo un promedio de la precipitación media anual para cada una de las estaciones antes mencionadas y se trazaron las curvas de las isoyetas con los valores de precipitación promedio anual ; posteriormente se procedió al cálculo de la precipitación media anual para este acuífero, el valor resultante es de 768. 5 mm. Dicho dato será utilizado durante el Balance.

En la Cuenca del Valle de México solo se cuenta con la estación Potrerito (en el Estado de Hidalgo), dicha estación cuenta con el equipo de evapotranspirómetro,

por medio del cual se hace la medición de la evapotranspiración, por lo que en este acuífero no se cuenta con datos de evapotranspiración.

Dentro del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México se cuenta con 45 estaciones climatológicas, sin embargo solo reportan valores de evaporación 10 estaciones, ya que las restantes carecen de evaporómetros, la tabla de las estaciones que se ubican dentro de las zonas hidrológicas Xochimilco, Churubusco y Ciudad de México que tienen valores registrados de evaporación potencial.

El volumen de evaporación potencial promedio para el periodo de 1978 a 1997 en las estaciones Ajusco-Pueblo, Ciudad Universitaria CU, Col. Santa Úrsula, km 6 + 250, Milpa Alta, San Juan de Aragón, Santa Ana, Sistema Meteorológico Nacional de Tacubaya y Tláhuac; el volumen promedio de evaporación potencial es de 1558.7566 mm de evaporación potencial.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México pertenece a la región Hidrológica No. 26 Alto Pánuco; las subregiones consideradas son la I, II, III y de manera parcial la VII. La cuenca a la que pertenece el Acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México es la Cuenca del Valle de México.

El acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México abarca de manera total a las zonas hidrológicas I Xochimilco, II Churubusco, III Ciudad de México y de manera parcial a la región hidrológica VII Texcoco. La Infraestructura hidráulica que se localiza en las zonas hidrológicas Xochimilco, Churubusco, Ciudad de México y Texcoco; está constituida por presas, ríos y canales entubados en su totalidad; las presas y los ríos se localizan principalmente en la zona poniente del área de estudio, mientras que los canales y ríos entubados se localizan en la porción central de la Ciudad de México. A continuación se hace mención de las presas, ríos y canales existentes en las zonas hidrológicas antes mencionadas.

#### **Zona I Xochimilco**

Esta zona abarca las cuencas de los ríos que descienden de la Sierra de Chichinautzin, la cual presenta formaciones basálticas de gran permeabilidad. Los principales ríos de la zona son: San Gregorio, Santiago, San Lucas y San Buenaventura. Tiene una superficie aproximada de 522 km<sup>2</sup>, la longitud de las corrientes es de 46.0 km. En esta zona se carece de información de escurrimientos,

los datos disponibles de las dos estaciones hidrométricas consisten básicamente en medición de niveles en las lagunas de Xochimilco y Tláhuac, las corrientes mencionadas tienen un régimen perenne, sus cauces son estables. Los principales canales que se encuentran dentro de esta zona son: Cuemanco, Nacional, Bordo, Apatlaco, Chalco y De Garat, los canales Cuemanco y Apatlaco no se encuentran entubados.

### **Zona II Churubusco**

Comprende principalmente las cuencas de los ríos Eslava, Magdalena, Barrancas San Jerónimo, Anzaldo, Barranca Coyotes, Barranca Texcalatlaco, Barranca Tetelpa, Barranca de Guadalupe, Barranca del Muerto, Tarango y Mixcoac. Debido a las características topográficas y morfológicas de los suelos que se localizan en los cauces son estables, el régimen de la mayoría de estas corrientes es intermitente, sobre todo en su parte alta, ya que aguas abajo las descargas de aguas residuales las han convertido en corrientes perennes, principalmente los ríos Mixcoac, Magdalena y Eslava. A partir de la confluencia de estos últimos se tiene un escurrimiento medio anual de 4.9 millones de m<sup>3</sup>, concentrándose en la época de lluvias, de los meses de julio a octubre, el 81% de estos escurrimientos, la época de estiaje abarca de febrero a mayo, en la que llegan a ser nulos los escurrimientos. Cubre una extensión de 234 km<sup>2</sup>, la longitud de las corrientes principales es de 28 km. Dentro de esta zona se localizan las presas Texcalatlaco y Mixcoac.

### **Zona III Ciudad de México**

Esta se constituye por las cuencas de los ríos Becerra, Tacubaya, Tecamachalco, San Joaquín, Tornillo, Hondo, Sordo, Barranca los Cuartos, Totolica, Chico de los Remedios, San Mateo Nopala, Barranca Tepaxtlaxco, Río de los Remedios, Tlanepantla, y San Javier. Incluye gran parte del área urbanizada de la Ciudad de México y los ríos que bajan hacia ella desde el poniente de la Subregión Valle de México. La gran mayoría de las corrientes son intermitentes, salvo los ríos Tacubaya, San Joaquín, Hondo, y Tlanepantla los cuales tienen escurrimientos perennes.

Para el estudio de su funcionamiento hidráulico se dispone de 19 estaciones hidrométricas en operación, siendo las más representativas para este análisis por ubicarse a la salida de la cuenca. La estación San Juan Ixhuatepec, sobre el Río de los Remedios, antes de su descarga al Gran Canal del Desagüe; y de la estación km 0 + 286 sobre el Emisor Poniente que mide las descargas del Vaso de Cristo hacia el mencionado emisor, con lo cual se cubre prácticamente toda el área de drenaje de

esta zona. El volumen medio anual registrado en San Juan Ixhuatepec es de 50.9 millones de m<sup>3</sup>, concentrándose en la época de lluvias, de junio a octubre, el 73% de los escurrimientos, (37.4 millones de m<sup>3</sup>), mientras que en estiaje de enero a abril, el volumen medio es de 5.4 millones de m<sup>3</sup> en la estación km 0 + 286 el volumen de escurrimiento medio anual es de 65.9 millones de m<sup>3</sup>, mientras que en la época de lluvias es de 60.9 millones de m<sup>3</sup>. Los escurrimientos son de tipo intermitente y cubre la zona una extensión de 725 km<sup>2</sup> y la longitud de las corrientes principales es de 57.5 km. Las presas que se encuentran dentro de esta zona son: Madín, Los Cuartos, el Sordo, San Joaquín, Tecamachalco, Tacubaya y Becerra.

### **3.4 Geomorfología**

De contorno irregular la Cuenca de México está alargada de norte a sur, con una extensión amplia hacia el noreste; en su eje mayor, desde las chinampas de Xochimilco al suroeste, hasta las regiones semiáridas de Pachuca en el norte, mide aproximadamente 110 kilómetros en su eje menor desde los bosques que coronan la Sierra de las Cruces en el oeste, hasta las cimas nevadas del Iztaccíhuatl en el este, mide aproximadamente 80 km incluyendo la región de Apan, Tochac y Tecocomulco, situadas al pie de la Sierra de Calpulalpan; la Cuenca de México cubre un área de 9600 km<sup>2</sup>. La planicie central de la Cuenca de México está rodeada de montañas, siendo las del sur las más importantes, la gran planicie central tiene una altitud que oscila entre 2,240 metros en el sur y 2,390 en el norte.

La zona meridional de la Cuenca del Valle de México está limitada al oeste por las Sierras Nevada, y Río Frío, al oeste por la Sierra de las Cruces, al sur por la Sierra Chichinautzin y al norte por las elevaciones de la Sierra de Guadalupe, el Cerro de Chiconautla y la Sierra Patlachique, constituye la unidad que cuenta con mayores y menores elevaciones. En esta las lluvias son más abundantes que en cualquier otra parte de la cuenca.

## **4 GEOLOGÍA**

El inciso de Geología se obtuvo del artículo de Vázquez -Sánchez y R. Jaimes Palomera "Geología de la Cuenca de México", para el fin de este trabajo únicamente se consideró la información más representativa y se presenta de manera resumida a continuación (figura 2).

## **4.1 Estratigrafía**

La geología del subsuelo se obtuvo de diferentes estudios, los cuales consideraron la interpretación de cortes litológicos de multipiezómetros del Valle de México, Departamento del Distrito Federal (DDF) y de la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento del Estado de México (CEAS), de las perforaciones exploratorias profundas de (PEMEX 1987y SHC, 1969). También se interpretaron trabajos geofísicos: sondeos eléctricos verticales (SARH 1985 y 1987), perfiles de sísmica de refracción (SHCP y CFE 1987), sondeos de reflexión, así como registros sínicos de porosidad y densidad compensada de los pozos profundos de PEMEX.

### **CRETÁCICO**

#### **Formación Xochicalco (Kx)**

Es la formación más antigua reconocida, aflora en el límite sudoccidental del área, está constituida por una secuencia de calizas, principalmente calcilutíticas y calcilimolíticas, en capas que presentan laminación fina, contenido carbonoso variable y abundantes vetillas de calcita, preferentemente hacia la cima, esta formación se depositó en el Aptiano en ambiente marino.

#### **Formación Morelos (Km)**

Aflora al sur de la Sierra Chichinautzin el espesor máximo de 900 metros se adelgaza al oriente y poniente, esta formación se detectó en los pozos exploratorios Mixuca 1 y Tulyehualco 1 (PEMEX) a profundidades de 2,060 y 2,160 metros. Esta formación constituye una interestratificación de capas gruesas de calizas y dolomías concordantes a anhidritas laminares subyacentes.

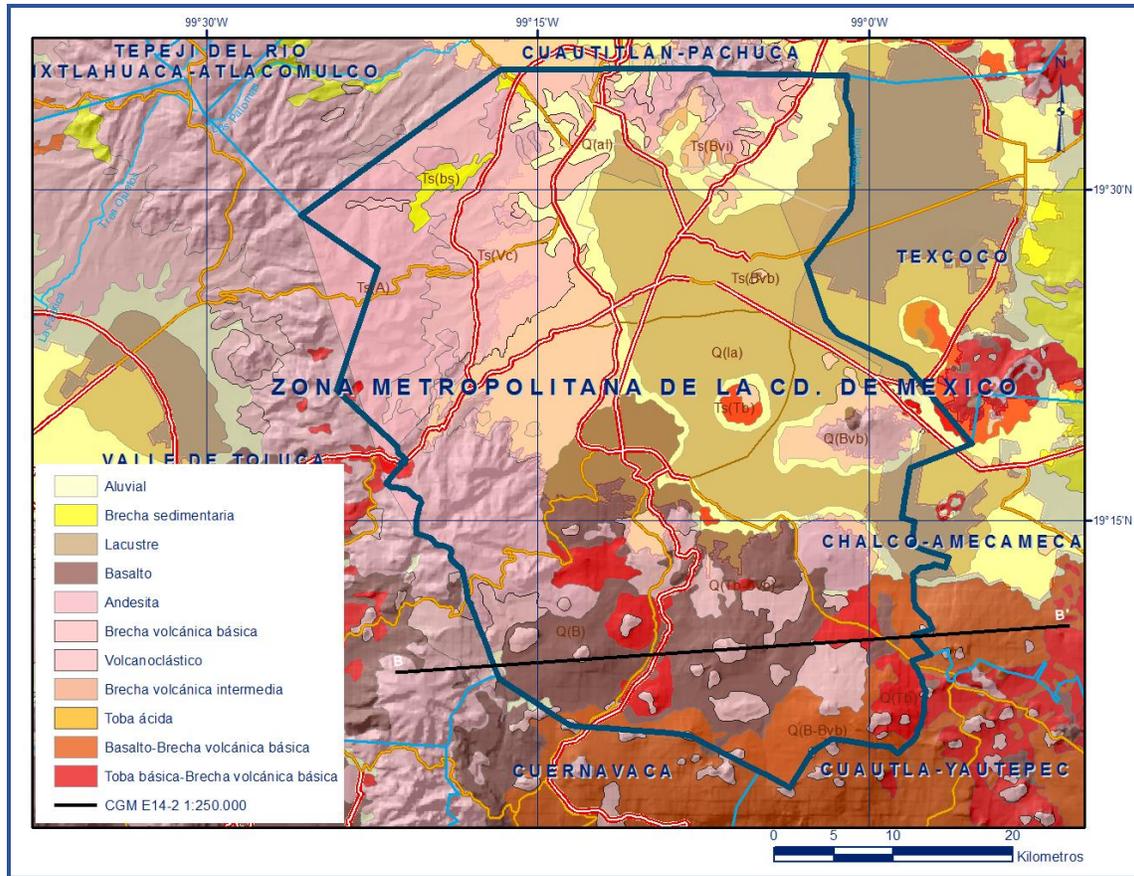


Figura 2. Geología general del acuífero

### Formación Doctor (Kid)

Son facies calcáreas de banco y cuenca del Albiano Medio-Cenomaniano Temprano. Estas facies forman una secuencia de 200 metros de espesor constituida por calizas mudstone en capas delgadas de nódulos y lentes de pedernal con intercalaciones de lutitas.

### Formación Cuautla (Kc)

Esta formación fue propuesta por Fries (1960) quien reconoció facies de cuenca, de banco y de litoral del Cenomaniano Tardío al Turoniano Tardío. Las facies de banco predominan en la región y afloran al sur de la Sierra Tepoztlán a una altitud promedio de 1500 msnm y al norte de Zumpango a una elevación promedio de 2,400 msnm, la Formación Cuautla está constituida por calizas calcáreas de estratificación gruesa, con abundantes biostromas y rudistas, es concordante con la Formación Mexcala.

### **Formación Mexcala (Kmx)**

Aflora al sur de la Sierra Chichinautzin y en el cerro La Palma al noreste de la Cuenca, el espesor máximo es de 1500 m y constituye una interestratificación gradual rítmica de grauvacas (turbiditas) limolitas y lutitas. La Formación Mexcala se depositó en aguas someras durante el Conaciano-Campaniano.

## **TERCIARIO**

### **Granito Colotepec (Tgc)**

El tronco granítico Colotepec se encuentra en el extremo sudoccidental intrusionando a la formación Xochicalco en el núcleo del anticlinal de Colotepec, este tronco granítico está relacionado genéticamente con el tronco Coxcatlan del Eoceno-Medio

### **Grupo Balsas (Teob)**

Este grupo está formado por depósitos continentales del Eoceno Tardío al Oligoceno Temprano aflora en el sur de la cuenca, consta de un conglomerado calizo generalmente compacto con matriz limoarcillosa cementada por calcita y óxido de fierro, de estratificación masiva y espesor máximo de 500 metros, estas capas se interdigitan y están cubiertas por una secuencia de 800 a 2,000 metros de espesor, formadas por capas deleznales de arcilla, limo y arena, este grupo descansa discordantemente encima de las formaciones del Cretácico y la secuencia superior es discordante con la Riolita Tilzapotla.

### **Rocas volcánicas del Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano (Tomv)**

Esta secuencia volcánica aflora profundamente erosionada y fracturada en los cerros Picacho y Púlpito del Diablo, este grupo tiene espesores variables entre 390 a 1,750 metros, la composición varía de andesítica a riodacítica. Constituyen una secuencia de tobas líticas, cristalinas y vítreas, brechas tobaceas y aglomerados. Estas secuencias volcánicas contienen capas de clásticos aluviales de espesor promedio de 6 metros que indican tiempo de reposo en la actividad volcánica. En el subsuelo de la Cuenca de México estas rocas volcánicas cubren localmente en forma discordante a unidades cretácicas y, son discordantes por rocas volcánicas del Mioceno Medio y Tardío por formaciones del Plio-Cuaternario.

### **Grupo Pachuca (Tomp)**

Es un grupo volcánico que representa la actividad volcánica desde el Oligoceno hasta el Plioceno. Las lavas varían, en composición de basalto a riolitas, pero

predomina la andesita y la dacita. Las formaciones que constituyen la mayor parte del grupo y tienen grandes afloramientos que consisten en sucesiones de derrames lávicos de composición andesítica y dacítica, interestratificados con brechas volcánica y tobas, separadas por suelos que podrían indicar diferentes secuencias volcánicas correlacionables con rocas extrusivas del Mioceno Medio y del Tardío. Las formaciones superiores de este grupo consisten de brechas volcánicas, lavas y depósitos piroclásticos de composición que varía de dacitas a riolitas.

### **Rocas Extrusivas del Mioceno Medio y Tardío (Tmv)**

Se les llama así a las rocas volcánicas que difieren en composición litológica y posición estratigráfica con respecto a las rocas volcánicas del Oligoceno Tardío - Mioceno Temprano. Sus afloramientos se distribuyen por toda la cuenca en áreas pequeñas, en la mayoría de los casos se encuentran cubiertas por los materiales volcánicos más recientes. En la porción sur de la cuenca se encuentran principalmente en los cerros El Elefante, El Judío, Los Remedios, El Peñón de los Baños, la base de la Sierra Guadalupe, la base de la Sierra de las Cruces, El cerro Patlachique y en algunos otros afloramientos en el norte de Texcoco.

En el norte se encuentran ampliamente distribuidos en pequeños afloramientos entre los que destaca la Sierra de Tepozotlán; estas rocas están constituidas por una secuencia de tobas, brechas volcánicas y lavas que en algunos lugares se encuentran interestratificadas con brechas volcánicas. En el subsuelo de la porción sur de la Cuenca de México, esta unidad se distribuye ampliamente, cubre discordantemente a las rocas del Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano.

### **Depósitos volcánicos del Plioceno Temprano (Tpv)**

Es un conjunto de rocas extrusivas que representan un segundo periodo magmático, localmente aflora en los flancos de las Sierras Las Cruces, Zempoala y Río Frío, y en cerros aislados en el resto de la cuenca, también coronan las Sierras de Guadalupe y Tepozotlán; sobreyacen discordantemente a rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno y están cubiertas de la misma forma por unidades volcánicas del Plioceno Tardío y Cuaternario. La composición de estas rocas varía de andesítica a dacítica, las secuencias piroclásticas no son consolidadas, constituyen tobas cristalinas, vítreas, líticas y pumíticas.

### **Formación Otomí (Tpo)**

Son productos volcánicos emitidos durante la parte más temprana del Plioceno Tardío, que se encuentran al occidente de la Cuenca de México en lo que se conoce como Sierra de Monte Alto. Esta unidad se encuentra caracterizada por estar formada en su mayor parte por depósitos piroclásticos que se presentan como flujos lobulados, se deduce que existen varias secuencias volcánicas, dentro de esta unidad predominan los flujos piroclásticos. Las lavas de esta unidad se encuentran aflorando en las regiones altas de la Sierra de Monte Alto, en las que son características las intercalaciones de brechas volcánicas con las coladas lávicas, que presentan textura fanerítica en los derrames de mayor consistencia, el espesor máximo que se estima es de 1,300 m en el cerro Las Palomas.

### **Rocas Volcánicas Máficas del Plioceno Tardío (Tpb)**

Estas rocas están constituidas por derrames lávicos interestratificados, en ocasiones con capas de poco espesor de brechas volcánicas y/ó con piroclastos que se consideran pertenecientes a los depósitos piroclásticos del Plioceno.

### **Formación Las Cruces (Tpc)**

Esta formación se distribuye en el límite sudoccidental de la Cuenca de México, en donde una hilera de tres estratovolcanes, junto con sus depósitos piroclásticos, se orientan de NNW a SSE y dividen la Cuenca de México y del Río Lerma, aflora en un tramo del Desierto de los Leones - La Marquesa, en la carretera Naucalpan-Jiquipilco. Los depósitos piroclásticos pertenecientes a esta unidad consisten de pómez pliniana, cubiertos por flujos piroclástico generalmente no soldados, de cenizas cristalinas, vítreas y de pómez con o sin fragmentos y bloques e composición heterogénea. El espesor máximo de esta unidad es de 990 metros. Esta formación es el conjunto de tres estratovolcanes alineados en una dirección norte-sur, cuyas características morfológicas y variación de edades de lo más antiguo a lo más reciente, de norte a sur, podrían indicar una migración del volcanismo en la dirección mencionada. Tomando en cuenta lo anterior, podría considerarse este volcanismo como representativo del Plioceno Tardío en la Cuenca de México.

### **Formación Zempoala (Tpz)**

Es un conjunto de productos volcánicos de dos centros eruptivos alineados en dirección norte-sur, que se encuentran en la porción sudoccidental del área, son posiblemente contemporáneos del volcanismo de la Formación Las Cruces, esta unidad es una secuencia de lavas andesíticas afaníticas-porfiríticas, con escasos

cristales de anfíbol, el espesor aflorante máximo que se estima es de 1,000 metros en el cerro de Zempoala y se considera de edad Plioceno Tardío.

### **Riolita Navajas (Tpn)**

Esta formación tiene un espesor probable aflorante de 500 m en su parte central. Descansa discordantemente sobre el grupo Pachuca y rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno.

### **Depósitos piroclásticos y clásticos aluviales del Plioceno (Tppc)**

Son depósitos no diferenciados relacionados genéticamente con la actividad piroclástica y fluvial del Plioceno, afloran al poniente de Cuautla, el espesor máximo es de 400 m está constituido por gravas, arenas, limos y arcillas de constitución volcánica.

En el subsuelo de la porción meridional de la cuenca dichos depósitos constan de tobas, brechas volcánicas y aglomerados con horizontes de conglomerados, arenas y arcillas, se encuentran cubiertos discordantemente por aluvión del Cuaternario y están acumulados en fosas tectónicas (Graben de Chalco) y rellenando amplios valles su espesor máximo es del orden de 750 metros.

## **CUATERNARIO**

### **Formación Llano Grande (Qllg)**

Es una secuencia eruptiva de composición variable de andesitas y riolacitas, aflora en la base noroccidental de la Sierra Nevada, las secciones tipo pueden observarse a lo largo de las cañadas El Agua, y Cosa Mala, las secuencias constan de capas delgadas de lapilli pumítico y lítico, flujos de cenizas vítreas. Esta unidad está cubierta discordantemente por las formaciones Telapón e Iztaccíhuatl.

### **Formación El Pino (Qpp)**

Son rocas volcánicas máficas que forman los cerros La Estrella, El Pino, Chimalhuacán, Chiconautla y los campos volcánicos de Tezontepec-Otumba, la expresión geomorfológica es de conos cineríticos terminales, de volcanes de escudo y de amplias coladas lávicas, principalmente en bloques. Los espesores máximos son del orden de 750 metros, se presentan en los centros eruptivos y se acuñan en la periferia. Constituyen secuencias de flujos lávicos con intercalaciones delgadas de tefra no consolidada formada por cenizas cristalinas y vítreas, lapillis líticos y escoria tamaño lapilli. Los flujos de lava son de grano fino a medio con fenocristales de

labradorita, olivino, pigeonita, hiperstena y augita, contienen también intercalaciones de piroxenos, la matriz es microcristalina.

### **Formación Tláloc (Qt)**

Esta unidad se refiere a las coladas lávicas que forman parte de la Sierra Río Frío, la composición de esta formación es andesítica latítica y dacítica; consta de varias sucesiones caracterizadas en su base por pómez y líticos accidentales angulosos, tamaño lapilli, de aproximadamente un metro de espesor y con gradación inversa que implica erupción pliniana con cristales de pómez. Esta formación cubre discordantemente rocas volcánicas del Mioceno Medio -Tardío y del Plioceno Temprano.

### **Formación Iztaccíhuatl (Qi)**

Se refiere a las rocas de los volcanes Llano Grande Iztaccíhuatl y Nexpayantla, este último, antecesor del volcán Popocatepetl. Los afloramientos en el volcán Iztaccíhuatl exponen un espesor máximo aproximado de 2,500 metros. Esta formación está constituida por una secuencia de andesita basáltica dacítica, la secuencia se inicia con derrames lávicos y los domos reconocidos en campo son andesitas de olivino y/o anfíbol y dacitas de anfíbol. Esta formación descansa con ligera discordancia encima de las formaciones Llano Grande Tláloc y suprayace en discordancia a las formaciones Chichinautzin y Popocatepetl. Se considera que tiene una edad en el intervalo de 0.6 a 0.08 millones de años.

### **Formación Popocatepetl (Qp)**

El espesor total de esta formación se desconoce, con base a la altitud de los afloramientos se infiere un espesor máximo del orden de 3,500 m. Esta formación cubre discordantemente la porción meridional de la Formación Iztaccíhuatl y probablemente se interdigita hacia el poniente con la formación Chichinautzin, ya que son contemporáneos, la interdigitación se presenta con clastos fluviales hacia las llanuras aluviales de Cuautla y Amecameca.

Con base a fechamientos isotópicos y polaridad magnética normal hacen suponer una edad del Pleistoceno Tardío-Holoceno.

### **Formación Chichinautzin (Qc)**

Las lavas de esta unidad en general son extensas, vesiculares, masivas o lajadas, estas lavas tiene una composición principalmente andesítico-basáltico y andesítica,

principalmente de grano fino y medio, con fenocristales de olivino y piroxenos en matriz vítrea y microcristalina. El espesor máximo que se le ha asignado a esta unidad es de 1,800 metros y se le asignó una edad por medio de polaridad magnética normal de 700,000 años.

### **Depósitos aluviales (Qal)**

Los espesores máximos de esta unidad son de alrededor de 500 m, en las zonas norte y sur incluyen material poco consolidado, compuesto por fragmentos con tamaño de grava, arena, limo y arcilla conteniendo localmente marga, los pozos para extracción de agua en el sector meridional de la Cuenca de México muestran gran heterogeneidad en la granulometría de estos depósitos. Descansan con discordancia sobre los depósitos piroclásticos y clásticos del Plioceno y localmente sobre rocas volcánicas más antiguas y sedimentarias del Cretácico, se interdigitan con formaciones volcánicas de la misma edad, se propone que su edad es del Pleistoceno al Holoceno.

### **Depósitos lacustres (Qla)**

Se agrupan sedimentos clásticos y productos piroclásticos relacionados con la actividad volcánica del Popocatepetl y de la Sierra Chichinautzin, los cuales se depositaron en ambiente lacustre, estos depósitos se extienden desde Zumpango hasta Chalco y desde Texcoco hasta el Cerro de Chapultepec con espesores que varían de 30 a 300 metros, los mayores se presentan en las planicies de la Ciudad de México, Texcoco y Chalco y disminuyen hacia las márgenes de las planicies.

## **4.2 Geología Estructural**

El relieve estructural original está íntimamente relacionado con una intensa actividad volcánica iniciada a principios del Terciario y desarrollada durante el Pleistoceno Inferior. El conjunto de estructuras que caracterizan al relieve de esta provincia evolucionaron sobre una paleogeografía constituida por sedimentos mesozoicos plegados los cuales corresponden a la Sierra Madre Oriental.

La evolución de los fenómenos volcánicos propició las condiciones para la formación de cuencas endorreicas que posteriormente fueron rellenadas con aportes de materiales volcanoclásticos, los cuales tienen características litológicas de rocas volcánicas depositadas en un medio lacustre y aparecen estratificados. Estos depósitos actualmente se encuentran en una etapa de rejuvenecimiento y están

siendo erosionados, pero sus antiguos niveles quedan como relictos que se observan en formas planas como mesetas.

La cantidad y espesor de este paquete volcánico formado por sucesivas coladas de lavas superpuestas, es testimonio de la durabilidad del fenómeno durante un lapso grande de tiempo que abarcó desde principios del Terciario hasta épocas recientes. En algunas áreas como en las sierras de Chichinautzin, Nevada y de Pachuca, se ha calculado que la suma de espesores de las formaciones volcánicas depositadas rebasa los 4,000 metros. En esta zona se aprecia un conjunto de aparatos volcánicos complejos algunos de los cuales se encuentran entre los más notables del país; el Popocatépetl, el Iztaccíhuatl, El Ajusco, y el Xitle entre otros. Además existen varios sistemas de fracturas y fallas regionales, pero son tres los principales, el primero tiene dirección noroeste-sureste, afectó previamente a las rocas mesozoicas y está asociado al patrón estructural de la Sierra Madre Oriental; los otros dos sistemas orientados norte-sur y este suroeste están asociados a los esfuerzos de tensión que afectaron a las rocas volcánicas del Mioceno. Estos sistemas de fracturas están asociados a los procesos de mineralización que concentraron yacimientos económicos en los distritos mineros de la región.

### **4.3 Geología del Subsuelo**

Dentro del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México se tienen cuatro cortes litológicos del Sistema Sur, que comprenden los pozos 1,7, 15 y 22 y cinco pozos del Ramal Tláhuac que comprenden los pozos 28, 1, 7, 15 y 18.

Los tipos de materiales predominantes para los pozos del Sistema Sur están constituidos por arena fina, mediana y gruesa en los primeros 50 metros, en algunos pozos se presenta limo hasta la profundidad de 70 metros aproximadamente y posteriormente se tienen intercalaciones de arenas y gravas hasta la profundidad de perforación de los pozos que es aproximadamente de 300 metros.

Los pozos del Ramal Tláhuac están constituidos principalmente por tobas alteradas y cristalinas con intercalaciones de arenas finas.

## **5 HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

Debido a que el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta de manera irregular material arcilloso que le sirve como confinante o semiconfinante el acuífero se clasifica como semiconfinado.

El contenedor impermeable del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México lo constituyen rocas volcánicas y calizas, en tanto que el paquete sedimentario da origen a un sistema acuífero complejo formado por tres grandes cuerpos: en la parte superior, un paquete arcilloso de alta porosidad, baja permeabilidad y gran heterogeneidad en su constitución, que forma un acuitardo de espesor variable y que actúa como semiconfinante en el centro de la cuenca. Bajo este paquete se encuentra el acuífero actualmente en explotación, formado por material granular más grueso que el del acuitardo, esto es, piroclastos y conglomerados de origen volcánico. Su espesor es variable (generalmente mayor de 200 m) así como sus propiedades hidráulicas. Le subyacen rocas volcánicas fracturadas, cuya base llega a estar a los 2000 m en el centro disminuyendo hacia las márgenes de la Cuenca.

Las tres unidades presentan un amplio rango en sus parámetros hidrodinámicos (permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, transmisividad) (Lesser,1984). Están comunicadas hidráulicamente sobre todo las dos últimas (rocas volcánicas y material granular). La interrelación de la primera (paquete arcilloso) con la segunda (material granular) ha quedado demostrada por la subsidencia que afecta la Ciudad de México.

Este acuífero es recargado por infiltraciones de la precipitación, actuando como áreas de recargas más importantes las sierras circundantes. La precipitación media anual varía de 400 a 600 mm en la parte baja de la cuenca, en los lomeríos circundantes la precipitación está entre 700 y 1,000 mm y en las sierras que limitan la cuenca las precipitaciones son mayores de 1,000 mm anuales. La extracción de agua subterránea en la cuenca de la Ciudad de México es del orden de 50 m<sup>3</sup>/s, a través de obras hidráulicas, predominando pozos con profundidades superiores a 100 m. La extracción de agua subterránea de la cuenca representa cerca del 70% del abastecimiento.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

Para el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, no se cuenta con pruebas de bombeo, por lo cual los parámetros hidráulicos que se mencionan a continuación se infirieron de los cortes litológicos que se tienen dentro de la zona.

Debido a que el material de los cortes litológicos está constituido por grava, arena gruesa, media y fina el valor de Conductividad Hidráulica (K) para este tipo de material varía de  $10^{-1}$  a  $10^{-9}$  m/s. Sin embargo, si se considera que el material predominante en los cortes litológicos es arena, por lo cual el valor de Conductividad Hidráulica  $K = 10^{-2}$  a  $10^{-9}$  m/s dicho valor se considera representativo del acuífero.

El rendimiento Específico o Porosidad Eficaz ( $S_y$ ) tiene valores que varían del 10 al 30 % debido a que el material más abundante está constituido por grava, arena gruesa, media y fina.

El valor de Coeficiente de Almacenamiento  $S = .000825$  el valor anterior se obtuvo multiplicando el espesor del acuífero el cual se consideró de 250 metros por la constante  $3.3 \cdot 10^{-6}$ . El espesor del acuífero se consideró con base en la profundidad de perforación de los pozos.

## **5.3 Piezometría**

Según el plano de curvas de igual evolución del nivel estático del periodo 1993 – 1998 se presentan en el acuífero valores que varían de -10 en San Lorenzo Tezonco a +7 en el Vaso de Cristo.

Al SW de la Sierra de Guadalupe se presentan las mayores evoluciones positivas, mientras que en la parte sur de la Ciudad de México existen valores de -7 a + 4 obteniéndose una diferencial de 11, lo que representa que el ascenso de niveles ha sido de .8 metros y en donde se presenta descensos estos son de 1.4 metros por año.

## **5.4 Comportamiento Hidráulico**

El comportamiento hidráulico del acuífero refleja un descenso de niveles tanto en los pozos piloto como en los piezómetros registrados en la zona. De los datos presentados anteriormente se detecta un descenso de los niveles debido a la sobreexplotación del acuífero.

#### **5.4.1 Profundidad del Nivel Estático**

La profundidad de los niveles existentes en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, presenta los valores más bajos, de 20 a 40 m en la porción sur de la Sierra de Guadalupe, mientras que los valores más altos de profundidad se localizan en la zona de recarga de la Sierra de Las Cruces en donde el nivel estático se localiza a una profundidad que varía de 70 a 170 metros, en la porción central de la Ciudad de México se encuentran valores que fluctúan de 60 a 65 metros; estos datos se obtuvieron del Plano de Profundidades del Nivel estático de 1997.

#### **5.4.2 Elevación al Nivel Estático**

La elevación del nivel estático en el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México presenta valores de 2,310 a 2,390 msnm en las inmediaciones de las Sierras Monte Alto y Sierra de las Cruces, en la porción central de la Ciudad de México las elevaciones del nivel estático fluctúan de 2,185 a 2,200 msnm. Los datos anteriores se obtuvieron del Plano de Elevaciones de 1997.

#### **5.4.3 Evolución del Nivel Estático**

Se realizó un análisis en el periodo de 1987 a 1997, se detectaron valores de evolución negativa de hasta 15 metros en la parte sur del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, que comprende las estribaciones de la Sierra Chichinautzin, lo que indica que el descenso de los niveles varía de 1 a 1.5 metros en un lapso de 10 años; en la parte central de la Ciudad de México la evolución varía de -5 a -12 metros por lo que se puede apreciar que los valores de evolución negativa dan un promedio de descenso de los niveles de 0.5 a 1.2 m anuales, en la porción poniente de la Ciudad de México; en las estribaciones de las Sierras de Monte Alto y Las Cruces, en este periodo se tiene una evolución positiva que fluctúa entre 5 y 10 metros, lo que significa que los niveles ascendieron en dicha zona con un promedio de 0.5 a 1 metros anuales. En la zona cercana al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México no se presenta ningún cambio en la evolución de los niveles, por lo que se tiene un valor de cero. Los datos anteriores fueron obtenidos del Plano de Evoluciones del periodo 1987-1997.

### **5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

El agua subterránea dentro de la cuenca del Valle de México es de vital importancia para el abastecimiento de la población, por lo que se requiere que este recurso sea apto para consumo humano, sin embargo la descarga de aguas residuales en zonas permeables puede alterar la calidad de la misma.

Dentro de las zonas más importantes de recarga del acuífero del Valle de México, está la Zona Poniente de la cuenca, en donde se ubica la Sierra de las Cruces, constituidas por lavas y tobas altamente fracturadas con alta porosidad que facilita la infiltración de agua. La profundidad del nivel freático en la Sierra de las Cruces es de 200 a 250 metros.

Sin embargo, el crecimiento poblacional del Distrito Federal y zonas conurbadas ha provocado que gran cantidad de asentamientos irregulares se encuentren en esa zona ya que no cuentan con un sistema de drenaje regularizado, los habitantes vierten sus aguas residuales a corrientes o ríos, los cuales desembocan a las corrientes del Río Chico de los Remedios, Río de los Remedios y Río Becerra, siendo éstos tres los principales ríos en esa zona.

A este problema hay que sumar la presencia de sistema de fracturas y fallas transcurrentes post cretácicas derechas e izquierdas alineadas paralelamente a las corrientes y ríos en la zona, asociadas a etapas avanzadas del hundimiento regional, hay obras civiles que no son capaces de seguir soportando deformaciones mayores, las que destacan en esta zona son el "Vaso El Cristo", así como las presas Guadalupe y Madín.

A manera de resumen la calidad del agua en este acuífero rebasa las concentraciones de la Norma, los datos que a continuación se describen, se obtuvieron del estudio Procesamiento e Interpretación de los Niveles Piezométricos y de Calidad del Agua, del Acuífero del Valle de México correspondiente a 1995. Los planos a los que se hace referencia corresponden al estudio antes mencionado.

En los planos de curvas de igual contenido de cloruros para el año 1995 en la Ciudad de México exceden las concentraciones en 250 % más del límite permisible; la evolución de los cloruros durante el periodo de 1987 – 1995 se presentaron fuertes variaciones en la parte noreste en el Municipio de Ecatepec con incrementos de 400 mg/l.

La evolución de la dureza total durante el periodo 1987-1995 en la parte norte de la Ciudad de México se presentó un incremento de 200 mg/l. Lo anterior muestra que las aguas subterráneas del Valle de México principalmente en la zona geohidrológica de la Ciudad de México cuenta con las concentraciones mayores sobrepasando la norma establecida; así mismo el residuo seco total durante el periodo 1987 – 1995

tiene un incremento de 900 mg/l ; referente al elemento amonio del periodo 1987-1995 en la parte noreste de la ciudad se presentó un decremento hasta de 10 mg/l, de lo que se deduce que en general no sobrepasa la norma establecida.

Al norte del distrito federal colindando con la parte sureste del Lago de Texcoco se rebasan los límites referentes a calidad del agua subterránea en los contenidos de amonio, lo que indica que existe contaminación de las aguas, lo anterior posiblemente se debe al drenaje de la ciudad, así como posible infiltración de aguas residuales provenientes de asentamientos humanos irregulares.

## **6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

En la Cuenca del Valle de México se han realizado recorridos con la finalidad de conocer el número de aprovechamientos, así como los volúmenes de extracción del agua subterránea y los usos a los cuales se destina dicha extracción. A continuación, se presenta una tabla resumen de los volúmenes de extracción para cada una de las delegaciones y municipios que se encuentran dentro del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México. De acuerdo al censo realizado en 1990 el volumen calculado de extracción conjunta es de **623.8 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 448.5 hm<sup>3</sup> (71.9 %) son para uso público urbano, 0.5 hm<sup>3</sup> (0.1%) corresponden al uso agrícola y 174.8 hm<sup>3</sup> (28.0 %) para uso industrial y otros.

## **7 BALANCE DE AGUS SUBTERRÁNEAS**

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\text{Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de masa}$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento en el acuífero:

$$\text{Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento}$$

Para evaluar el cambio de almacenamiento, esta componente se considera la incógnita de la ecuación de la ecuación de balance planteada que es la siguiente:

$$R_v + R_i + E_h - B = \pm \Delta V(S)$$

Donde:

**R<sub>v</sub>**: Recarga vertical

**E<sub>h</sub>**: Entradas por flujo subterráneo horizontal

**R<sub>i</sub>**: Recarga Incidental

**B**: Bombeo

**ΔV(S)**: Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando el cambio de almacenamiento, se obtiene lo siguiente:

$$\Delta V(S) = R_v + E_h + R_i - B$$

## 7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos y arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (R<sub>v</sub>), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E<sub>h</sub>).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (R<sub>i</sub>) Para este caso, debido a que el volumen de agua para uso agrícola es mínimo, solo se considera la recarga incidental originada por agua destinada al uso público-urbano.

### 7.1.1 Recarga vertical

Del balance hidrometeorológico planteado para el área del acuífero de 2,139 km<sup>2</sup>, considerando lámina media de lluvia y evapotranspiración de 769 mm y 585 mm anuales, respectivamente, se obtuvo como volumen llovido de 1,645 hm<sup>3</sup> anuales, volumen de evapotranspiración de 1,251 hm<sup>3</sup> y volumen de escurrimiento de 169 hm<sup>3</sup>. Por lo tanto el volumen de la infiltración es de **225 hm<sup>3</sup> anuales**. Se considera que de este volumen susceptible de infiltrarse, sólo el 20 % recarga de manera efectiva al acuífero. Por lo tanto la recarga vertical es de 45.0 hm<sup>3</sup> anuales.

### 7.1.2 Recarga Inducida

En esta componente se incluye la infiltración de las fugas en la red de abastecimiento de agua potable y del drenaje y alcantarillado. El volumen promedio anual de agua que se utiliza para dotación de agua potable y servicios en la zona metropolitana es de 1807 hm<sup>3</sup> (57.3 m<sup>3</sup>/s), desglosados de la siguiente manera; 448.5 hm<sup>3</sup> (14.2 m<sup>3</sup>/s) de agua subterránea extraída mediante pozos localizados dentro del acuífero, la importación de 760 hm<sup>3</sup> (24.1 m<sup>3</sup>/s) provenientes de baterías de pozos localizados en los acuíferos vecinos Ixtlahuaca-Atlahcomulco, Texcoco y Cuautitlán-Pachuca; así como 598.5 hm<sup>3</sup> (19.0 m<sup>3</sup>/s) de agua superficial proveniente del Sistema Cutzamala.

Si consideramos que el 20% de este volumen total, recarga de manera efectiva al acuífero, entonces **Ri = 361.4 hm<sup>3</sup> anuales.**

### 7.1.3 Flujo Horizontal

El flujo subterráneo se calculó utilizando la configuración de elevación del nivel estático del año 1995 y la Ley de Darcy, en donde se establece que el caudal (Q) que pasa a través de una sección de terreno es igual a la transmisividad (T) del material por la longitud (B) del área considerada multiplicada a su vez por el gradiente hidráulico (i).

$$Q = T * B * i$$

A pie de las sierras que limitan el valle se trazaron 34 celdas para el cálculo de la entrada de agua subterránea. El volumen total de entradas por flujo horizontal es de **106.4 hm<sup>3</sup>/año.**

## 7.2 Salidas

No existen salidas naturales del acuífero y la cuenca es endorreica, la única salida es por medio de la extracción por bombeo (B).

### 7.2.1 Evapotranspiración

Debido que los niveles dentro del acuífero se encuentran a 20 metros de profundidad, así como la existencia de pavimentación en una gran área del acuífero, no se considera que existan salidas por evapotranspiración para el acuífero.

### 7.2.2 Descargas Naturales

La gran extracción que se tienen del agua subterránea ha ocasionado el descenso de niveles, así como la desaparición de manantiales, por lo que para el presente balance esta salida tiene un valor de cero.

### 7.2.3 Bombeo

Como se menciona en el censo a hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es de **623.8 hm<sup>3</sup> anualmente**.

### 7.2.4 Flujo Subterráneo

Ya que la cuenca del Valle de México es una cuenca endorreica no se presentan salidas hacia otras cuencas; con la utilización de planos de elevación del nivel estático no se detectaron salidas del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México hacia los acuíferos aledaños de Texcoco y Chalco, por lo que el volumen reportado por este concepto es cero.

## 7.3 Cambio de almacenamiento

De acuerdo con la ecuación de balance definida:

$$\begin{aligned}\Delta V(S) &= (R_v + E_h + R_i) - B \\ \Delta V(S) &= 45.0 + 106.4 + 361.4 - 623.8 \\ \Delta V(S) &= -111.0 \text{ hm}^3/\text{año}\end{aligned}$$

## 8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\text{DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO} = \text{RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL} - \text{DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA} - \text{EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS}$$

Donde:

DMA= Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

### **8.1 Recarga total media anual (R)**

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero *Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, es de **512.8 hm<sup>3</sup>/año**.

### **8.2 Descarga natural comprometida (DNC)**

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el acuífero *Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Distrito Federal y Estado de México, no existe una descarga natural comprometida.

### **8.3 Volumen de extracción de agua subterránea (VEAS)**

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **993'229,914 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

### **8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea**

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga

natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 512.8 - 0.0 - 993.229914 \\ \text{DMA} &= -480.429914 \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **480,429,914 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFIA**

- Diagnóstico de la Región XIII Valle de México, noviembre de 1997; realizado por DEMM Consultores S.A. de C.V. para CNA contrato GP-0001-GAVM-96
- Estudio de Geología en el Valle de México con fines Geohidrológicos; realizado a contrato en 1987 para CAVM por el Instituto de Geología de UNAM
- Relación de Zonas de Veda en la República Mexicana de la Subsecretaria de Infraestructura Hidráulica de EX SARH por la Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos, efectuados en 1987.
- Catálogo de las Zonas de Veda para el alumbramiento de Agua del Subsuelo en la República Mexicana de la Subdirección General Técnica de la CNA
- Hidrología de la Cuenca del Valle de México. Tomo IV, noviembre de 1964; Secretaria de Recursos Hidráulicos. - Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.
- Procesamiento e Interpretación de los Niveles Piezométricos y de Calidad de Agua Del Acuífero del Valle de México correspondiente al año 1995, elaborado por EFE Asesores; contrato N° EE-402-GAVM-95
- Estudio de Actualización Geohidrológica para el Valle de Pachuca-Tizayuca, estado de Hidalgo (1991), elaborado por THORSA Ingenieros Consultores y Constructores S.A. de C.V., para la Gerencia Estatal de Hidalgo.
- Levantamiento Topográfico, Estudio Hidrológico y de Geología de Superficie para la Ubicación de una Presa para Control de Avenidas en la Cuenca del Río Tepozotlán (1996), elaborado por HIME Ingenieros Consultores, S.C. N° contrato EE-420-GAVM-95
- Estudio Hidrológico y Políticas de Operación del Sistema de Presas del Río Cuautitlán (1997), elaborado por EFE Asesores N° de Contrato GT-108-GAVM-96
- Estudio de Saneamiento Integral de los Ríos del Poniente de la Ciudad de México "Informe de Avance" (1999), elaborado por DEMM Consultores S.A. de C.V., para la GRAVAMEX.
- Comisión Técnica de Saneamiento de la Cuenca del Valle de México y Cuenca del Río Tula, enero del 2000; Grupo de Trabajo Técnico.
- XI Censo General de población y Vivienda 1990 y Conteo de Población y Vivienda 1995 (INEGI)