CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO CHALCO-AMECAMECA (1506), ESTADO DE MÉXICO

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES 1
Antecedentes 1
1.1 Localización 1
1.2 Situación Administrativa del acuífero 4
2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD 5
3 FISIOGRAFÍA 7
3.1 Provincias fisiográficas 7
3.2 Clima 8
3.3 Hidrografía 10
3.4 Geomorfología 11
4 GEOLOGÍA 12
4.1 Estratigrafía 13
4.2 Geología estructural 20
4.3 Geología del subsuelo 21
5 HIDROGEOLOGÍA 22
5.1 Tipo de acuífero 22
5.2 Parámetros hidráulicos 23
5.3 Piezometría 23
5.4 Comportamiento hidráulico 24
5.4.1 Profundidad al 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
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 25
7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 26
7.1 Entradas 26
7.1.1 Recarga Natural 26
7.1.2 Recarga Inducida 26
7.1.3 Flujo Horizontal 27
7.2 Salidas 27
7.2.1 Evapotranspiración 27
7.2.2 Descargas Naturales 28
7.2.3 Bombeo 28
7.2.4 Flujo Subterráneo 28
7.3 Cambio de almacenamiento 28
8 DISPONIBILIDAD 29
8.1 Recarga total media anual (R) 29
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 29
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 30
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 30
9 BIBLIOGRAFÍA 31

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-2000 "Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 Chalco-Amecameca, definido con la clave 1506 por la Comisión Nacional del Agua se localiza al sur de la Cuenca de México y de la zona urbana de la Ciudad de México.

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.

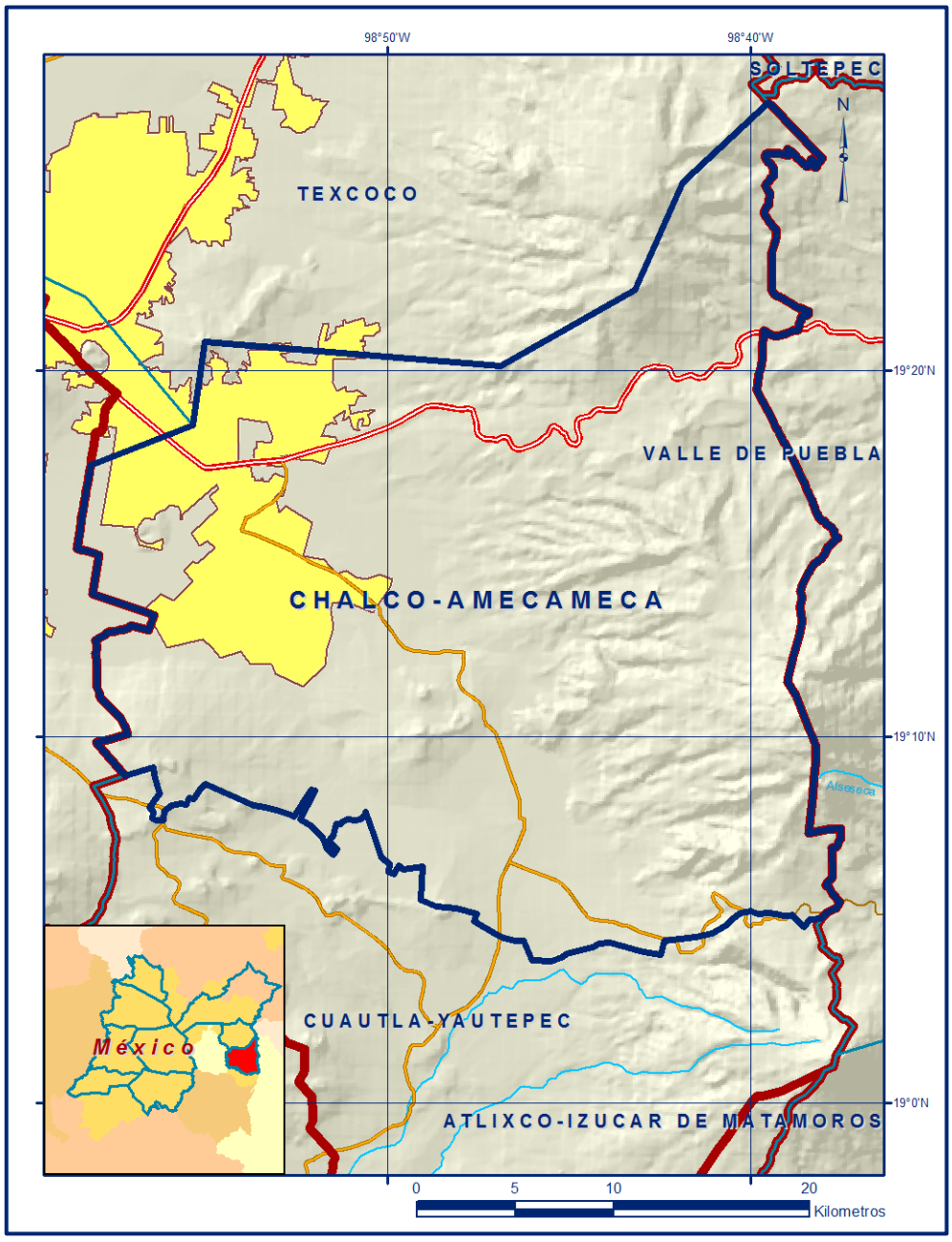

Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO1506 CHALCO-AMECAMECA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	98	58	9.3	19	17	24.0	
2	98	55	21.5	19	18	29.8	
3	98	55	1.0	19	20	46.4	
4	98	46	52.6	19	20	6.7	
5	98	43	11.0	19	22	11.6	
6	98	41	51.6	19	25	6.9	
7	98	39	30.5	19	27	18.0	DEL 7 AL 8 POR EL LIMITE ESTATAL
8	98	37	38.7	19	1	18.8	DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL
9	98	58	19.5	19	4	47.8	DEL 9 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	98	58	9.3	19	17	24.0	

El fondo de la Cuenca es una planicie lacustre de 1,431 km^2, a una altitud de entre 2,230 y 2,240 msnm, que se mantiene seca artificialmente. El parteaguas de la cuenca se extiende por la zona montañosas circundante, la que frecuentemente se eleva por sobre los 3,000 msnm. Queda limitada al norte por las estribaciones de la Sierra de Santa Catarina. Al sur por la Sierra Chichinautzin en la parte este se localiza la Sierra de Río Frío con orientación N-S.

Hacia el sur la Sierra Nevada con estructuras importantes como el volcán Popocatépetl e Iztlacíhuatl. Hacia el límite oeste se ubica el área chinampera de Tláhuac y en la porción central se ubica el área del ex-lago de Chalco. Dentro del acuífero Chalco- Amecameca se considera la delegación de Milpa Alta Tláhuac, así como diez municipios del Estado de México que se mencionan a continuación:

ESTADO	DELEGACIÓN O MUNICIPIO
D.F.	MILPA ALTA
	TLÁHUAC
MÉXICO	AMECAMECA
	ATLAUTLA
	AYAPANGO
	COCOTITLÁN
	CHALCO
	IXTAPALUCA
	JUCHITEPEC
	TEMAMATLA
	TENANGO DEL AIRE
	TLALMANALCO

La población existente dentro de la Subcuenca de Chalco fue obtenida de INEGI y se desglosa a continuación por Delegaciones y Municipios.

ESTADO	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	POBLACIÓN 1995
D.F.	MILPA ALTA	81,1022
	TLÁHUAC	255,891
MÉXICO	AMECAMECA	41,671
	ATLAUTLA	22,634
	AYAPANGO	4,858
	COCOTITLÁN	9,290
	CHALCO	175,521
	IXTAPALUCA	187,690
	JUCHITEPEC	17,487
	TEMAMATLA	7,720
	TENANGO DEL AIRE	7,282
	TLALMANALCO	38,396

El índice de población más elevado se localiza en la Delegación de Tláhuac, en el Distrito Federal, mientras que en el Estado de México el índice más alto se localiza en el Municipio de Ixtapaluca.

1.2 Situación Administrativa del acuífero

Decretos de veda

Las delegaciones de Milpa Alta y Tláhuac se encuentran vedadas de manera total desde 1954. Los municipios considerados dentro de este acuífero que se encuentran vedados de manera total son: Ayapango, Cocotitlán, Chalco, Temamatla y Tenango del Aire; parcialmente están vedados los municipios de Amecameca, Ixtapaluca, Juchitepec y Tlalmanalco; los municipios antes mencionados del Estado de México se encuentran vedados según el decreto de la Veda de la Cuenca del Valle de México del 19 de agosto de 1954, fecha de su publicación en el Diario Oficial.

El decreto de veda por el cual se rigen tanto las delegaciones como los municipios que se encuentran dentro de la Subcuenca de Chalco, es 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.

Zonas de disponibilidad

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 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 DF. 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 acuitado 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 Provincias fisiográficas

La Subcuenca de Chalco se localiza en la parte central del Eje Neovolcánico; en el sureste de la Cuenca de México y está limitada al norte por las estribaciones de la Sierra de Santa Catarina, constituida por lavas basálticas principalmente y tobas del Plioceno y Cuaternario, (Demant, 1978). Al sur se encuentra la Sierra Chichinautzin de edad cuaternaria, constituida por derrames lavicos vesiculares muy extensos, masivos o lajeados de composición andesíticos y basáltico de textura fina a media, que pertenece al grupo Chichinautzin, (Fries, 1960).

En la parte este de la Cuenca de Chalco se localiza la Sierra de Río Frío, con orientación N-S y conformada en su mayor parte por derrames riodacíticos, hacia el sur esta prominencia se conoce como Sierra Nevada, con estructuras importantes como el volcán Iztaccíhuatl y Popocatépetl, (Schlaepfer, 1968).

Hacia el límite oeste se ubica el área chinampera de Tláhuac sobre depósitos lacustres y aluviales, constituidos por cenizas volcánicas, material piroclástico tobas, brechas y arcillas. En la parte central se encuentra el área del exlago de Chalco que corresponde a una planicie lacustre.

A la altura del antiguo nivel de agua del lago, se encuentra un anillo de roca piroclástica de 100 metros de altura y 1,500 metros de diámetro, resultado de la interacción de magma basáltico con agua, llamado Cerro el Xico que se fusiona con otro semejante conocido como el Xico Viejo, (De Cerna et.al) al), 1988.

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 Köppen, 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 de la Subcuenca de Chalco se tienen dos tipos de clima que son: un clima Templado Subhúmedo (Cb(Wo) (W)) y un clima Semifrío Subhúmedo (Cb´(W_2) (W)).

Clima Templado Subhúmedo (Cb(Wo) (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 Semifrío Subhúmedo (Cb´(W_2) (W)). - Es el más húmedos de los semifríos, con lluvias en verano, con una precipitación en el mes más seco inferior de 5 mm y un porcentaje de lluvia invernal menor a 8%.

Se encuentra distribuido en algunas regiones del centro y oriente de la Región XIII, ocupando el 7.5% de su área, en los municipios de Tlalmanalco, Amecameca e Ixtapaluca en el Estado de México, y en Pachuca, Mineral del Monte, Mineral de la Reforma, Epazoyucan y Singuilucan en el Estado de Hidalgo.

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(Wo) (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 5mm. 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 Semifrío Subhúmedo (Cb´(W_2) (W), la precipitación media anual es cercana a los 500 mm; la temperatura media anual oscila entre 8° y 10° C. La mayor incidencia de lluvias se registra en el mes de julio con un rango que fluctúa entre 80 y 90 mm; la mínima corresponde a diciembre con un valor menor a 6 mm.

La máxima temperatura promedio se presenta en los meses de junio y julio, con un valor de entre 12° y 13° C; los meses más fríos son enero y febrero, con una temperatura media que oscila entre 4° y 6° 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 la Subcuenca de Chalco, con base en datos de las estaciones climatológicas existentes dentro de este acuífero se obtuvo la precipitación media anual para el acuífero Chalco-Amecameca, por medio de Isoyetas.

Primeramente se ubicó en un plano escala 1:200,000 las estaciones climatológicas existentes dentro del acuífero que son: Juchitepec, San Pedro Nexapa, Amecameca, San Luis Ameca II, Santa Ana Tlacotenco, Chalco, San Rafael y Tlamanalco; 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 810 mm. Dicho dato será utilizado durante el Balance.

Evapotranspiración Potencial Media Anual

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 Chalco- Amecameca se cuenta con 56 estaciones climatológicas, sin embargo, solo reportan valores de evaporación nueve estaciones, ya que las restantes carecen de evaporómetrose, en el anexo se presenta la tabla No. 1 de las estaciones que se ubican dentro de la zona hidrológica Chalco que tienen valores registrados de evaporación potencial.

El volumen de evaporación potencial promedio para el periodo de 1978 a 1997 en las estaciones Amecameca, Atlautla, Col. Manuel Avila Camacho, Ixtapaluca, Juchitepec, San Rafael, santa Ana Jilotzingo, San Luis Ameca II y San Pedro Nexapa el volumen promedio de evaporación potencial es de 1478.18898 mm de evaporación potencial, el resumen por año de cada una de las estaciones antes mencionadas se muestra en la tabla 1.

3.3 Hidrografía

Región Hidrológica

La Subcuenca de Chalco pertenece a la región Hidrológica No. 26 Alto Pánuco.

Subregión

Corresponde a la región VIII.

Cuenca

La cuenca a la que pertenece la Subcuenca de Chalco es la Cuenca del Valle de México.

Subcuenca

La Subcuenca de Chalco, se puede manejar como Zona Hidrológica, esta zona corresponde a número VIII Chalco con un área de 1,124 km^2.

Infraestructura Hidráulica

La zona hidrológica I Chalco se localiza en la porción sur-oriente de la Cuenca del Valle de México, comprende los ríos Milpa Alta, Amecameca, Barranca Juchitepec, además del Río de la Compañía y sus afluentes (San Francisco, Arroyo Santo Domingo, Barrancas Popotla y Paso del Jagüey) todas las corrientes presentan un régimen perenne y una condición de estabilidad, debido a que parte de sus cauces han sido encauzados al ubicarse dentro del área urbana. En esta zona se localizan cinco estaciones hidrométricas, las más representativas de las condiciones de escurrimiento de esta es la estación San Lucas, localizada sobre el Río de la Compañía, corriente principal de esta zona.

De acuerdo a los registros de esta estación, el volumen de escurrimiento medio anual es de 5.7 millones de m^3, el periodo de lluvias abarca de julio a octubre, y tiene un escurrimiento medio de 4.5 millones de m^3, que representa el 79 % del total anual. La época de estiaje abarca de enero a mayo, y en esta el volumen de escurrimiento es de apenas 0.2 millones de m^3. Cubre una extensión de 1,124 km^2, la longitud de los principales cauces es de 90 km.

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 9,600 km^2.

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.

Dentro de la Subcuenca de Chalco existe una gran variedad de formas volcánica como son los conos del Xitle, del Tecate de la Sierra de Santa Catarina y elevadas estructuras volcánicas como el estratovolcán del Popocatépetl, otra de las geoformas importantes es el Iztaccíhuatl que se encuentras erosionado gracias al impacto de varias glaciaciones, producto de la erosión ocurrida hacia varios millones de años se encuentra desgastada la Sierra de Río Frío.

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.

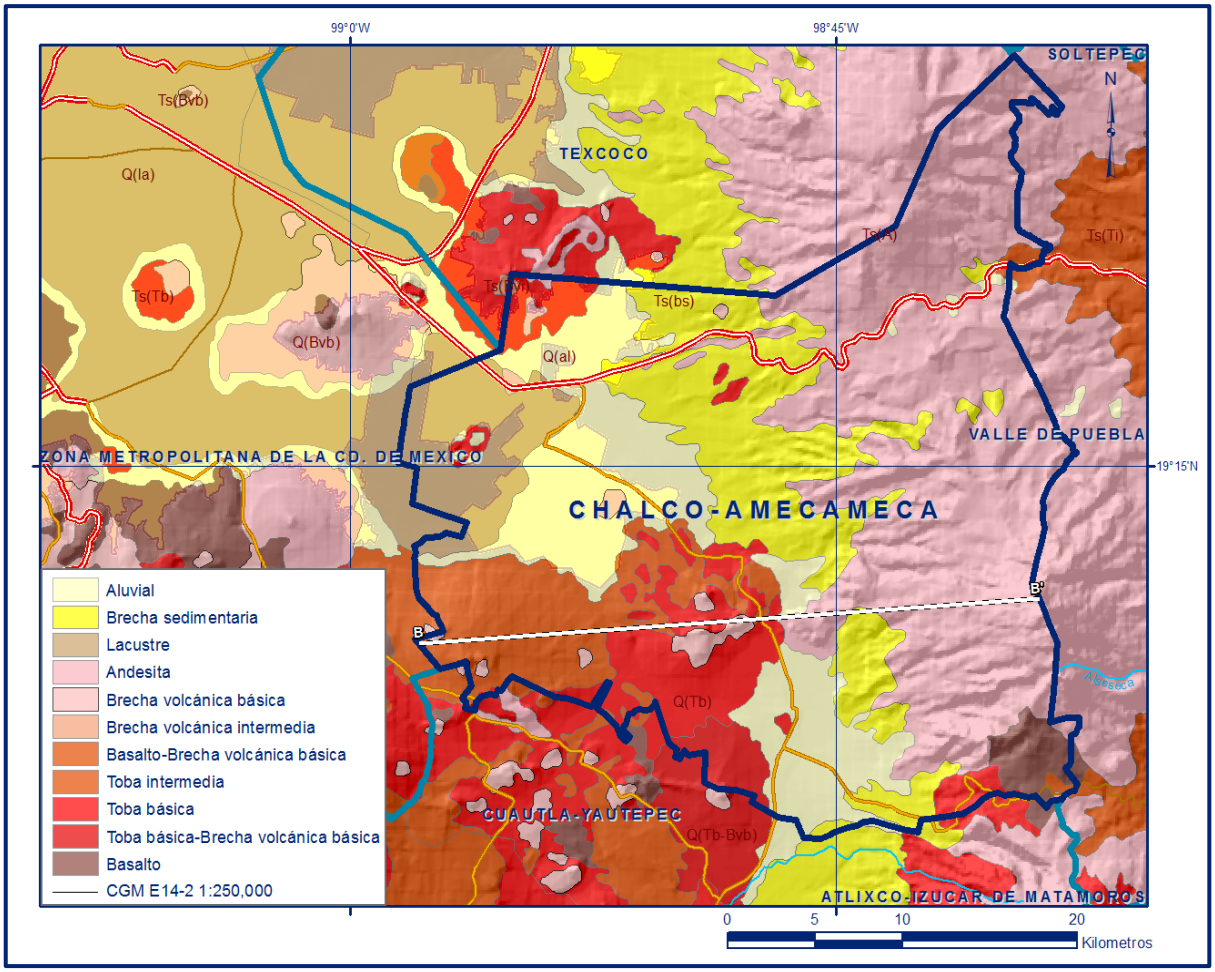

Figura 2. Geología general del acuífero

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 sónicos 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.

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 Tepozotlán a una altitud promedio de 1,500 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.

Cenozoico

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 deleznables 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 orienta 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 amplio valle su espesor máximo es del orden de 750 metros.

Cuaternario

Formación Llano Grande (Qllg)

Es una secuencia eruptiva de composición variable de andesitas y riodacitas, 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 Popocatépetl. 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 Popocatépetl. Se considera que tiene una edad en el intervalo de 0.6 a 0.08 millones de años.

Formación Popocatépetl (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 tienen 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 Popocatépetl 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 Cenozoico 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 correspondían 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 Cenozoico hasta épocas recientes.

En algunas áreas como en las sierras de Chichinautzin, Nevada y de Pachuca, se han calculado que las sumas de espesores de las formaciones volcánicas depositadas rebasan 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, pro 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 Chalco- Amecameca se cuenta con tres cortes litológicos que corresponden a los pozos 1, 7 y 13 que pertenecen al Ramal Mixquic. En dichos cortes geológicos se aprecia que existe una predominancia de materiales arcillosos (arcilla y tobas pumíticas areno-arcillosas), este tipo de material se localizan de cero meros hasta profundidades superiores a 100 metros, bajo este material se localiza material

granular constituido por arena fina y gruesa con intercalaciones de grava, la profundidad a la que se encuentra este material es de 100 metros hasta 250 metros aproximadamente, subyaciendo a estos materiales se tiene tobas arenosas.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El sistema acuífero Chalco-Amecameca está constituido por una formación arcillosa de baja permeabilidad (acuitardo) que actúa como un acuífero semiconfinado (Rodríguez, 1986) el cual sobreyace a un acuífero confinado en la parte central y libre hacia las márgenes. Este sistema presenta estratificación en la mineralización del agua subterránea.

El primer paquete contiene agua con mineralización mayor o igual a 1,100 mg/l, en tanto que en el segundo ésta es del orden de 200-300 mg/l. La presencia de estos cuerpos de agua ha sido explicada en términos de la composición geológica del acuitardo, ya que está constituido por depósitos lacustres y formaciones arcillosas de baja permeabilidad (Rodríguez,1987).

En la parte central de esta subcuenca se encontraba el antiguo Lago de Chalco, que corresponde a una planicie lacustre a donde llegaban el Río de Ameca, que nace en la parte sur del Iztaccíhuatl y el Río de la Compañía.

El acuífero actualmente en explotación puede presentar entre 300 y 400 metros de espesor en sus partes más profundas. Los pozos de explotación ubicados en él son diseñados con ademe ciego en su parte superior y ranurados en la parte inferior, para evitar afectar el cuerpo de agua mineralizada.

El sistema acuífero local está constituido por un acuitardo y un acuífero confinado, cambiando su carácter hidráulico en las márgenes de la cuenca, donde actúa como libre. La permeabilidad del paquete sedimentario presenta un amplio rango de variación debido, sobre todo, a la heterogeneidad del material granular.

El régimen de flujo subterráneo, a nivel regional se caracteriza por tener una dirección preferencial N-S (Lesser, 1984) en la parte norte de la Subcuenca de Chalco y la dirección contraria en la parte sur, resultado de la ubicación de las sierras circundantes que actúan como zonas preferenciales de recarga del sistema.

Este flujo alimenta directamente al material granular, los piroclastos y rocas fracturadas que constituyen el acuífero en explotación y que se encuentran bajo los depósitos lacustres. En las márgenes sur de la Subcuenca de Chalco han existido manifestaciones superficiales del nivel freático (tanto manantiales de agua dulce como mineralizada) (Durazo, 1988), que han desaparecido en razón directa del descenso paulatino del nivel piezométrico, estas manifestaciones superficiales ubicadas en sumideros son aprovechados por los habitantes de la zona para canalizar sus desagües de aguas negras.

El acuífero inferior presenta contenidos entre 200-300 mg/l de sales. Dentro de esta zona se ubican pozos con alto contenido de PO_4 (< 4 mg/l), HCO_3(< 800 mg/l), Mn (< 1.6 mg/l) y como ya se mencionó alta dureza total (< 600 mg/l); de acuerdo a los análisis para los años 1992 a 1995 de muestreos realizados por la Comisión Nacional del Agua.

5.2 Parámetros hidráulicos

Para el acuífero Chalco-Amecameca, 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 material arcilloso, por lo que 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^{-9} a 10^{-13} m/s dichos valores se consideran representativos en el acuífero.

El rendimiento Específico o Porosidad Eficaz (Sy) tiene valores que varían del 1 al 10 % debido a que el material más abundante está constituido por arcillas. 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 $3.3*10^{-6.}$ El espesor del acuífero se consideró con base en la profundidad de perforación de los pozos.

5.3 Piezometría

En este acuífero se tienen evoluciones negativas que varían de –3 a –15 metros, los descensos de niveles son mayores en la parte norte con una diferencial de 11 que equivale a un descenso de 2.2 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. Según se observa en el piezómetro que se encuentra a 250 m de profundidad el nivel piezométrico ha descendido 3.17 metros en 4 años lo que reporta un abatimiento del nivel de 0.79 m por año.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Para este acuífero la profundidad del nivel estático en las inmediaciones de la Sierra Nevada presenta valores que fluctúan de 150 m a 80 metros, dichas profundidades se deben a que es la zona de recarga del acuífero, por lo que la profundidad del nivel es mayor; en la parte central del acuífero se localiza el nivel a una profundidad entre 8 y 35 metros, mientras que en la porción norte del acuífero Chalco-Amecameca que coincide con la Sierra de Santa Catarina, se presentan valores de profundidad que fluctúan entre 50 y 75 metros. Los datos anteriores se obtuvieron del Plano de profundidades del nivel estático de 1997.

5.4.2 Elevación al nivel estático

Las elevaciones del nivel estático presentan valores de 2,235 msnm en las estribaciones de la Sierra Nevada y 2,230 msnm en la porción sur del Municipio de Chalco, las menores elevaciones del nivel se presentan en las Sierras de Chichinautzin y Sierra de Santa Catarina con valores de 2,200 y 2,205 msnm. respectivamente.

5.4.3 Evolución del nivel estático

La evolución de los niveles estáticos en un periodo de diez años 1987-1997 es negativa en las estribaciones de la Sierra Nevada, el descenso de niveles en esta zona fluctúa de –25 a –8 metros; en la porción central de este acuífero al sur de Chalco se presentan valores que varían de cero a dos metros, lo que significa que los niveles han sufrido nula variación, o bien ascenso de niveles de hasta 2 metros.

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.

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. Se utilizaron los planos del estudio anteriormente referido para describir las concentraciones de algunos iones.

De acuerdo a los planos de igual contenido de bicarbonato para el año de 1995 en la zona de Chalco existen concentraciones iguales al límite permitido por la Secretaría de Salud, con respecto al contenido de amonio en esta zona existen concentraciones de 70 mg/l, referente al residuo seco total en el periodo 1987-1995 se presentó un incremento hasta de 600 mg/l; así mismo la dureza en el mismo periodo se detectó un incremento de 200 mg/l.

La dureza total en 1995 existe concentraciones de 66 % sobre el límite permitido por la Secretaría de Salud. Lo que respecta a cloruros del periodo de 1987-1995 se presentan incrementos de 130 mg/l y por último del plano de curvas de igual evolución de sulfatos de 1987 – 1995 en Chalco en la región de Tláhuac existen incrementos de hasta 1,000 mg/l.

La zona de Chalco está situada al este del Lago de Chalco en la que se rebasan los límites permisibles de calidad del agua en los elementos de bicarbonatos y residuo seco total cabe señalar que esta zona tiene influencia con la zona de Tláhuac.

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 por GRAVAMEX.

De acuerdo a los volúmenes de extracción del censo, el agua que se extrae del acuífero Chalco-Amecameca, se utiliza principalmente para uso Público-Urbano, con un total de 107.484 M de m^3 anuales el segundo volumen más importante de extracción es para uso Agrícola con 16.290 M de m^3 anuales y el tercer uso en importancia es el uso Industrial con 3.678 M de m^3 anuales.

De las dos delegaciones que se incluyen dentro del acuífero Chalco-Amecameca, en la Delegación Tláhuac es donde se reporta el mayor volumen de extracción con 47.762 M de m^3 anuales, el uso para este volumen de agua es Público-Urbano y de los diez municipios contemplados en el acuífero el mayor volumen de extracción se da en el Municipio de Ixtapaluca con una extracción de 27.208 M de m^3 anuales. El volumen total de extracción para el acuífero Chalco-Amecameca es de 128.379 M de m^3 anuales. En el Anexo se agrega el listado de aprovechamientos por uso y por delegaciones y municipios.

ACUÍFERO CHALCO-AMECAMECA
EXTRACCIONES POR USO EN M3 ANUALES

EDO	Municipio	Agrícola	Doméstico	Industrial	Público Urbano	Pecuario	Recreativo	Comercial O Servicios	Total
D.F.	MILPA ALTA				22,295,952				22,295,952
	TLÁHUAC				47,762,839				47,762,839
MEX	COCOTITLÁN	69,120	12,960		1,357,339	35,478			1,474,897
	CHALCO	4,108,397	4,545	27,432	17,525,608	44,172	7,523		21,717,677
	IXTAPALUCA	11,932,773	1,080	2,769,393	11,738,164			766,716	27,208,126
	TEMAMATLA	180,576			433,620	53,493			667,689
	TENEGO DEL AIRE				4,784,011				4,784,011
	TLALMANALCO			881,280	1,586,892				2,468,172
	AMECAMECA								0
	ATLAUTLA								0
	AYAPANGO								0
	JUCHITEPEC								0
	TOTAL	16,290,866	18,585	3,678,105	107,484,425	133,143	7,523	766,716	128,379,363

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga Natural

Debido a que en el acuífero Chalco-Amecameca se encuentra un gran espesor de arcilla, no es posible tener una recarga natural debido a que la casi impermeabilidad del material no permite la infiltración del agua hacia el acuífero.

7.1.2 Recarga Inducida

La recarga inducida se da ya sea por medio de pozos de inyección, o bien por áreas de riego, sin embargo, dentro de este acuífero no se tienen pozos de inyección y las áreas de riego se encuentran en material arcilloso, por lo que no se considera que exista una Recarga Inducida hacia el acuífero.

7.1.3 Flujo Horizontal

El flujo subterráneo se calculó utilizando la Ley de Darcy, en donde se establece que el caudal que pasa a través de una sección de terreno es igual a la transmisividad del material por la longitud del área considerada multiplicada a su vez por el gradiente hidráulico.

Al pie de las sierras que limitan el valle se trazaron celdas para el cálculo de la entrada de agua subterránea. Cada celda corresponde al área delimitada entre dos curvas equipotenciales y dos líneas de corriente.

De esta manera se marcaron 26 celdas para el sistema acuífero Chalco-Amecameca, estas se ubicaron en las estribaciones de las Sierras Nevada y Santa Catarina, así como en la porción central del acuífero, en donde según el plano de elevaciones la dirección del flujo subterráneo proviene en una pequeña porción de la parte central del acuífero, las celdas se identificaron con números progresivos.

Para realizar el cálculo de entradas por flujo horizontal se tomaron datos del Plano de igual elevación del nivel estático de 1995, se escogió este año, debido a que después de haber revisado planos para los años de 1993 y 1997 no se tenía información completa.

Los valores de las cargas equipotenciales se tomaron directamente del plano, se realizaron mediciones para obtener los valores del espesor y longitud de cada una de las celdas, el valor de Transmisividad se tomó de un plano de isotransmisividades y se asignó el valor más cercano para cada una de las celdas, posteriormente se procedió a obtener los gastos de entrada para cada una celda y se obtuvo la suma de los volúmenes de entrada para obtener el volumen total por flujo horizontal en el acuífero. Según la información calculada el volumen de entradas por flujo horizontal es de **74.0 Mm^3/año**

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

Debido que los niveles dentro del acuífero se encuentran por debajo de los 8 metros, así como una capa de arcilla con espesores superiores a 60 metros, por lo que 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 nivele, así como la desaparición de manantiales, por lo que para el presente balance esta salida tiene un valor de cero.

7.2.3 Bombeo

El bombeo es la única salida que se presenta en el acuífero Chalco-Amecameca, se tienen reportados dentro del censo de 1990, un total de 194 aprovechamientos, en donde se incluyen pozos, norias y pozos combinados, el volumen de extracción que se obtuvo de los datos del censo es de **128.4** hm^3 anuales.

7.2.4 Flujo Subterráneo

Ya que la cuenca del valle de México es una cuenca endorreica no se presentan salidas hacia otras cuencas, y 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 Ciudad de México, por lo que el volumen reportado por este concepto es cero.

7.3 Cambio de almacenamiento

La recarga Total o Entradas están consideradas como: Entradas por flujo horizontal únicamente con un volumen de 74.0 hm^3/año.

Entradas = 74.0 hm^3/año

La descarga total está considerada como el volumen de bombeo únicamente. El volumen registrado como salida en el Censo de 1990 es el siguiente:

Volumen de bombeo 128.4 h^3m anuales.

Salidas = 128.4 hm^3/año

Para el cálculo del Cambio de Almacenamiento se plantea la siguiente Ecuación:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$
$$\Delta V\,(S) = \text{Cambio de Almacenamiento}$$
$$74.043 - 128.379 = \Delta V\,(S)$$

Por lo que el ΔV (S)= -50.4

ΔV (S) = -54.4 h³m/año

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:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	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 Valle de Toluca es de **74.0 hm³/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 Chalco-Amecameca, no existe una descarga natural comprometida. Por lo que, **DNC= 0.0 hm³/ año.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (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 (REPDA), 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 **109,993,539 m³ anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) 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 (DMA)

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.

$$DMA = R - DNC - VEAS$$
$$DMA = 74.0 - 0.0 - 109.993539$$
$$DMA = -35.993539 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **35,993,539 m³ anuales.**

9 BIBLIOGRAFÍA

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