



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO TECOCOMULCO (1319), ESTADO DE
HIDALGO.**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación administrativa del acuífero	5
2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3 FISIOGRAFÍA	9
3.1 Provincia fisiográfica.....	9
3.2 Clima.....	9
3.3 Hidrografía	11
3.4 Geomorfología	12
4 GEOLOGÍA.....	13
4.1 Estratigrafía	14
4.2 Geología estructural.....	16
4.3 Geología del subsuelo.....	18
5 HIDROGEOLOGIA.....	19
5.1 Tipo de acuífero.....	20
5.2 Parámetros hidráulicos.....	20
5.3 Piezometría.....	20
5.4 Comportamiento hidráulico	21
5.4.1 Profundidad del nivel estático	21
5.4.2 Elevación del nivel estático	21
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	21
5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	21
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	22
7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	23
7.1 Entrada.....	23
7.1.1 Recarga Natural.....	23
7.1.2 Recarga Inducida	24
7.1.3 Flujo Horizontal.....	24
7.2 Salidas	25
7.2.1 Evapotranspiración	25
7.2.2 Descargas Naturales.....	25
7.2.3 Bombeo	25
7.2.4 Flujo Subterráneo.....	25
7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO	25
8 DISPONIBILIDAD.....	26
8.1 Recarga total media anual (R)	26
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	27
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	27
9 BIBLIOGRAFIA.....	29

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 Tecocomulco, definido con la clave 1319 por la Comisión Nacional del Agua, cubre 476 km² aproximadamente pertenece a la Cuenca del Valle de México la que a su vez corresponde a la Región Hidrológica XIII y que constituye la Cuenca Alta del Río Pánuco, dicha región está conformada a la vez por dos subcuencas, la del Valle de México y la del Río Tula atendiendo el parteaguas de estas cuencas; la superficie física de la Región XIII es de aproximadamente 16,150 km² sin embargo administrativamente cubre esta región 17,126 km² ajustándose a la conveniencia de conservar la unidad municipal evitándose en lo posible los problemas político-administrativos (figura 1).

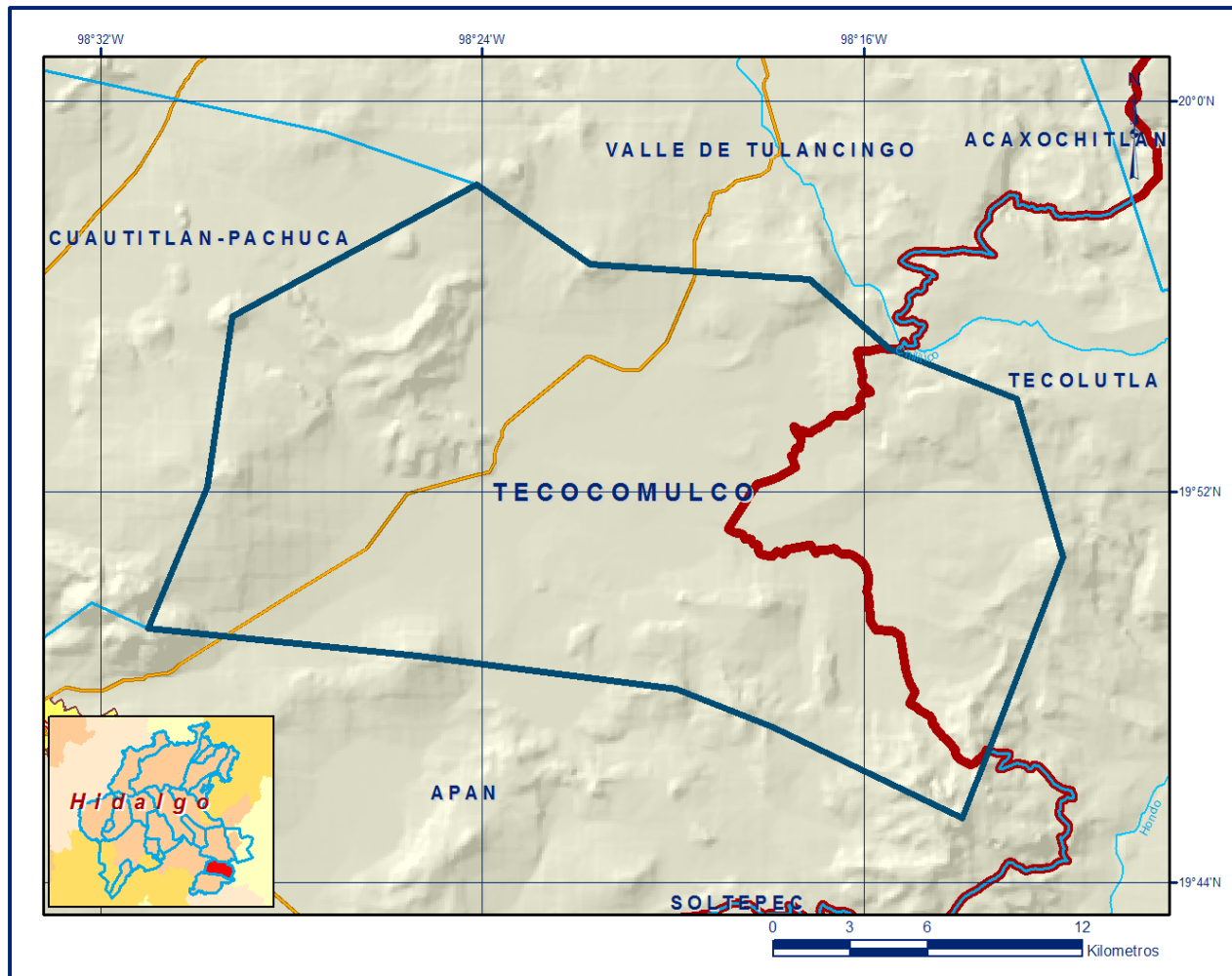


Figura 1. Localización del acuífero

Por lo tanto, la zonificación correspondiente indica:

Para la subregión Valle de México se tiene lo siguiente:

- La Zona I (ZMCM) tiene una superficie de 6,267.2 km² constituida por 16 Delegaciones del D.F. y 46 Municipios conurbados del Estado de México.
- La Zona II avenidas de Pachuca tiene 2,276.4 km² y la forman 3 municipios del Estado de México y 11 del estado de Hidalgo.
- La Zona III Apan en el oriente de la Subregión Valle de México con una superficie de 1,403.2 km² integrada por 4 municipios del Estado de Hidalgo y 4 del Estado de Tlaxcala.

Para la Subregión del Río Tula se tiene:

La Zona A El Salto al poniente de la subregión está constituida por la cuenca del Río Tepeji tiene un área de 2,868.8 km² constituida por 5 municipios del Estado de México y 6 del Estado de Hidalgo. La Zona B El Salado está en la porción Sur-Oriente, tiene una superficie de 1,994.3 km² y contiene 3 municipios del Estado de México y 11 municipios del Estado de Hidalgo. La Zona C Tasquillo se ubica al norte de la subregión tiene 2,316.0 km² y la conforman 7 municipios del Estado de Hidalgo. Por consiguiente, respectivamente administrativamente la Subregión Valle de México tiene 9,946.8 km² y la Subregión Tula 7,179.1 km².

Tomando en consideración lo anterior para la subregión Valle de México se identifican en la Zona I ó sea la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Zona II o a la cuenca del Río de las Avenidas de Pachuca y la Zona III Apan incluyendo Tochac y Tecocomulco asimismo para la Subregión Tula se consideran la Zona A El Salto, Zona B El Salado, Zona C Tasquillo. Por lo tanto, en la Subregión Valle de México se tiene conceptuado que el agua subterránea se almacena mediante 6 acuíferos denominados Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Cuautitlán-Pachuca, Texcoco, Chalco-Amecameca, Apan y Tecocomulco.

Coordenadas

El acuífero Tecocomulco y asimismo toda la Subregión del Valle de México se localiza en el Eje Neovolcánico. Se anexa tabla del cálculo de las coordenadas de los vértices que enmarcan el polígono del acuífero en estudio:

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1319 TECOCOMULCO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	98	24	7.0	19	58	17.4
2	98	21	43.8	19	56	39.7
3	98	17	8.5	19	56	20.8
4	98	15	28.5	19	54	55.9
5	98	12	47.5	19	53	54.2
6	98	11	48.7	19	50	40.1
7	98	13	22.5	19	46	42.9
8	98	13	55.6	19	45	19.4
9	98	17	54.1	19	47	11.5
10	98	19	55.3	19	47	57.6
11	98	25	20.8	19	48	38.3
12	98	31	1.2	19	49	12.2
13	98	29	45.7	19	52	6.5
14	98	29	14.6	19	55	35.4
1	98	24	7.0	19	58	17.4

Municipios

Los municipios que forman parte del polígono del área del Acuífero Tecocomulco son: Apan, Almoloya, Tepeapulco, Cuauhtémoc, Singuilucan del Estado de Hidalgo y una parte de Chignahuapan del Estado de Puebla. De los municipios antes mencionados solo el de Cuauhtémoc se cubre totalmente.

Población

Las principales poblaciones son de carácter suburbano y son: Tecocomulco, Francisco Sarabia, San Miguel Allende, El Paredón, San Juan, Santa. Ana, Palo Hueco, San Jerónimo, Tultengo, Las Mositas, Tres Cabezas.

De los datos procesados en el INEGI se mencionan los últimos datos de crecimiento demográfico de los municipios principales:

CLAVE	MUNICIPIO	1990	1995	TASA PROM. ANUAL
008	Apan	35572	37170	0.74
007	Almoloya	8973	10340	2.54
057	Singuilucan	12201	12865	0.94
016	Cuauhtémoc de Hinojosa	36519	43906	3.31
061	Tepeapulco	47214	48241	0.38

El crecimiento poblacional se da en mayor índice en los Municipio de Tepeapulco y Cuauhtémoc de Hinojosa Sus principales actividades son la agricultura, ganadería y comercio local con algunas de tipo agropecuario sobre todo en Tecocomulco donde hay acuacultura y pesca en pequeña escala.

1.2 Situación administrativa del acuífero

Decretos de Veda

Según el Decreto de Veda del Valle de México de fecha 19 de agosto de 1954. Todos los municipios que se ubican dentro del acuífero Tecocomulco se encuentran vedados de manera parcial

Decretos de reserva o reglamento

Del Catálogo de Zonas de Veda se mencionan los decretos para el alumbramiento de agua del subsuelo de la República Mexicana en donde enmarcan que el área del acuífero Tecocomulco que involucra a los municipios de Cuauhtémoc, Apan, Almoloya, Tepeapulco, Singuilucan, del Estado de Hidalgo y Chignahuapan del Estado de Puebla.

Corresponde al tipo de Veda No. 1 en dicho catalogo se menciona que desde el año de 1943 se intuía llevar a cabo una desecación parcial y una total en el año de 1951 correspondiente a la Laguna de Tecocomulco haciendo de esto una petición de ampliación en junio del año 1957.

Zonas de Disponibilidad

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el año de 1987 la extinta Comisión de aguas del valle de México dependiente de la también extinta SARH realizó a contrato con el Instituto de Geología de la UNAM el Estudio de Geología en el Valle de México con fines Geohidrológicos asimismo se han efectuado también a contrato en 1987 con el Instituto de Geofísica de la UNAM el estudio de perfiles Geofísicos en las Zonas Pachuca-Zempoala, Emiliano Zapata, Apan-Teotihuacan-Tepexpan, Otumba-Cd. Sahagun en el Valle de México lo que permite en forma general conocer parte de los aprovechamientos hidráulicos del subsuelo, asimismo la ubicación y sentido de algunas de las fallas transcurrentes más significativas del Valle de México, también se han efectuado estudios de Geotecnica de Mecánica de Suelos en la descarga de la Laguna de Tecocomulco hacia su conexión con el Río Papalote afluente del Río de las Avenidas de Pachuca.

A continuación, se presenta un breve resumen de los estudios consultados para la elaboración de este documento.

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 acuitado 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 hidráulica. 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 arcillosas 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.

(Trabajo por Contrato). 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

La cuenca del Valle de México se ubica en la provincia fisiográfica denominada "Eje Neovolcánico Transmexicano" que cruza al Territorio Nacional del Golfo al Pacífico quedando su mayor área entre los paralelos 19° y 21° de Latitud Norte. La litología que lo constituye está representada como su nombre lo indica por rocas volcánicas principalmente tanto coladas de lava como por materiales piroclásticos, en gran parte depositados en ambientes lacustres hasta fechas recientes, se había considerado que a excepción de la región Oeste, el Eje Neovolcánico no había sufrido perturbaciones de tipo tectónico, sin embargo se han definido estructuras de tipo de fallas transcurrentes en un número y dimensión importante que lo afectan como se evidencia la inflexión en la sierra de las Cruces por el desplazamiento de varias fallas.

El área en general del acuífero Tecocomulco corresponde a una planicie aluvial con características endorreicas en donde se encuentran arcillas de alta plasticidad y dispersamente arcillas duras; donde se presentan aparatos volcánicos con sus respectivas lavas, brechas, cenizas y cuya composición litológica va desde rocas basálticas a riolíticas con edades que varían desde el Plioceno Tardío hasta el reciente lo que ha originado alteración por intemperismo en las rocas superficiales, asimismo se abren llanuras y cuencas formadas por rellenos aluviales o lacustres que contienen gran variedad de rocas mezcladas con cenizas volcánicas. La dirección principal de los fracturamientos regionales es de Este a Oeste.

3.2 Clima

Estando el acuífero Tecocomulco en la Región XIII del Valle de México y derivado por las características topográficas existentes, se tiene una gran diversidad de climas sin embargo dentro de esa variedad predomina el templado ó mesotermico siguiendo en importancia los climas secos y semisecos y en menor grado los climas fríos y semifríos. De acuerdo a la clasificación de Koppen modificado por E. García y derivado a las diferencias de relieve y altitud se tienen identificados siete grupos de climas:

Semiseco Templado	(BsiKW (W))
Templado Subhúmedo	(Cb(Wo)(W))
Templado Subhúmedo	(Cb(W2)(W))
Templado Subhúmedo	(Cb(W1)(W))

Semicálido	(BsiKw)
Semifrío Subhúmedo	(Cb´ (W2)(W))
Climas Fríos	E (T) H

Por lo cual se identificó que la región donde se ubica el acuífero Tecocomulco le correspondería un Clima Templado Subhúmedo (Cb(Wo)(W) con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5%.

Temperatura Media Anual

La temperatura media anual de la región oscila entre los 8° y 11° C con una media más cálida durante el mes de junio entre 12° y 15° C y la más fría de diciembre a febrero entre los 3° y 5° C.

Precipitación Media Anual

El régimen pluvial medio oscila entre los 500 a 600 mm con una mayor precipitación a fines de junio con valores que van de 100 a 110 mm y una mínima en diciembre y febrero con valores menores de 5 mm. Debido que el valor de la precipitación media anual es variable en el acuífero Tecocomulco, con base en datos de las estaciones climatológicas existentes dentro de este acuífero se obtuvo la precipitación media anual, por medio de las Isoyetas.

Primeramente se ubicó en un plano escala 1:200,000 las estaciones climatológicas existentes dentro del acuífero; se obtuvo un promedio de la precipitación media anual para cada una de las estaciones 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 669 mm. Dicho dato será utilizado durante el Balance.

Evapotranspiración Potencial Media Anual

En la Región XIII el Servicio Meteorológico Nacional tiene 117 estaciones Climatológicas y mediante su sistema de información ERIC, (Extractor Rápido de Información Climatológica) y de las Normales Climatológicas ha obtenido diversos parámetros medios a través de los años de 1940 a 1990 por lo que para esta región del acuífero Tecocomulco considera sucintamente: Con una evaporación total anual del orden de 1413mm. y una media mensual de 118mm. una máxima de 159.5 mm (en el mes de abril) y una mínima de 85.6 mm en (el mes de diciembre).

Los datos anteriores se obtuvieron del Diagnóstico de la Región XIII Valle de México elaborado por DEMM CONSULTORES S.A DE C.V

3.3 Hidrografía

La red hidrográfica en la cuenca del Valle de México está representada por un gran número de corrientes; estas integran un sistema general bastante definido; controlado principalmente por los sistemas de fracturamiento y fallamiento por lo que sus cauces son de dimensiones reducidas y con paredes escarpadas. Muchas de ellas están controladas por el sistema de fallas del Pliocuatrnario, como es el caso de las Sierras de las Cruces, la de Calpulalpan, las de la Sierra de Río Frío, etc.

La mayor parte de los escurrimientos en la cuenca son de régimen intermitente, con fuertes avenidas y transporte de gran cantidad de azolves generados por la intensa pendiente y por la deforestación. Las condiciones naturales de los escurrimientos, han sido modificados con el transcurso del tiempo debido a los crecimientos de las áreas urbanas.

Anteriormente el Lago de Texcoco recibía escurrimientos de las corrientes existentes y de las excedencias de los lagos periféricos a él y topográficamente eran más altos, las únicas corrientes que no aportaban directamente al Lago de Texcoco eran las que se ubican al Noreste de la Cuenca del Valle de México específicamente son las que corresponden a las Subcuencas de Tecocomulco, Apan y Tochac que mediante obras actuales de drenaje vierten parte de sus aguas hacia el Río Papalote y al Río de las Avenidas de Pachuca para descargar al Lago de Zumpango. Las alimentaciones principales de La Laguna de Tecocomulco son el Río Coatlico que nace en el manantial Alcantarillas y el Río Canal que viene del Tepozan.

Estas corrientes no son caudalosas debido a que la precipitación pluvial en la zona es baja con una fuerte evaporación y permeabilidad vertical alta controlada por sus características geológicas principalmente en las brechas volcánicas, basaltos en bloques y riolitas verdes que han sido afectadas por el Tectonismo. Cabe agregar que las aguas de la Laguna de Tochac vierten sus aguas a la Laguna de Apan por el arroyo Calpulalpan a través de un canal y la de Apan y Tecocomulco por medio de obras artificiales al mencionado río Papalote. Por lo antes mencionado el Acuífero Tecocomulco pertenece a los depósitos lacustres o de planicie aluvial ocupada por las lagunas someras de Tecocomulco con 20 km² de área aproximada, Apan y Tochac con 5.5 km² entre otras de menor cuantía.

Región Hidrológica y Subregión

El acuífero Tecocomulco forma parte de la región Hidrológica No. 26 Alto Pánuco. Asimismo pertenece a la Zona XI

Cuenca

La cuenca a la que pertenece el acuífero Tecocomulco es la Cuenca del Valle de México. Subcuenca; Zona Tecocomulco

Infraestructura Hidráulica

La principal infraestructura hidráulica existente en la zona es el Canal Coatlico y Laguna del Puerco, alimentadoras de la Laguna de Tecocomulco con un volumen medio estimado de 12, 471, 000 m³/año. Así mismo se cuenta con un sistema de canales de tierra que permiten el riego aproximadamente a 200 hectáreas de la región.

3.4 Geomorfología

Relieve Terrestre: La cuenca del Valle de México está cerrada por una cadena de montañas y no cuenta con una salida natural que la modele, que clasifique que verdaderamente sea un valle, lo que no sucede con la cuenca anexa del Río Tula que es menos accidentada que la del Valle de México y que descarga sus aguas al Río Moctezuma.

La elevación preponderante en la planicie de la Cuenca del Valle de México es la 2250 msnm teniendo puntos naturales sobresalientes como el Cerro El Manantial al norte, con 3,190 msnm y el C. San Antonio con 2,570 msnm al este las Sierras Chichucuatlan y del Tepozan que se derivan de la Sierra Madre Oriental en la que destacan los cerros Agua Azul con 3,040 msnm; y la Paila con 3,200 msnm; Las Tetillas 3,020 msnm y la peñuela con 3,350 msnm. Al Sureste La Sierra Nevada donde sobresalen en su porción septentrional los cerros El Mirador y El Telapón que sobrepasan los 4, 000 msnm y en la meridional El Iztaccihuatl a 5,220 msnm y el Popocatepetl de, 5500 msnm. Al Sur La Sierra Chichinautzin con el pico del Aguila a 3,952 msnm en el Ajusco, al Suroeste, las sierras de las Cruces con elevaciones superiores a los 3,500 msnm; al Oeste las Sierras de Monte Alto y Monte Bajo y de la Catedral con elevaciones de más de 3,500 m. y al Noroeste la Sierra de Zimapán con alturas mayores a los 3,000 msnm.

Hay sin embargo dentro del Valle formaciones orográficas importantes como la Sierra Tezontlalpan al norte la de Guadalupe con cerro Gordo a 3,060 msnm, al Este la de Santa Catarina y la Caldera, el Volcán de Xico entre otros. La conformación brevemente descrita ha provocado una lucha contra la erosión de las tierras cultivadas con azolve de cauces naturales y con otras formas de deterioro de las riquezas naturales. En el caso del acuífero Tecocomulco se observa una tendencia de recarga natural de la Sierra de Tepozan hacia la Laguna Tecocomulco.

4 GEOLOGÍA

El acuífero Tecocomulco pertenece a la Región Hidrológica XIII Valle de México la que está comprendida dentro de dos provincias geológicas que son la del Eje Neovolcanico y la de la Sierra Madre Oriental, la provincia del Eje Neovolcanico llega a cubrir hasta un 92% de la región y está caracterizada geológicamente por el predominio de rocas volcánicas cenozoicas que datan del Terciario y del Cuaternario por lo cual se generó un sistema de fracturamientos y fallamiento que datan desde el Plioceno tardío hasta el reciente (figura 2).

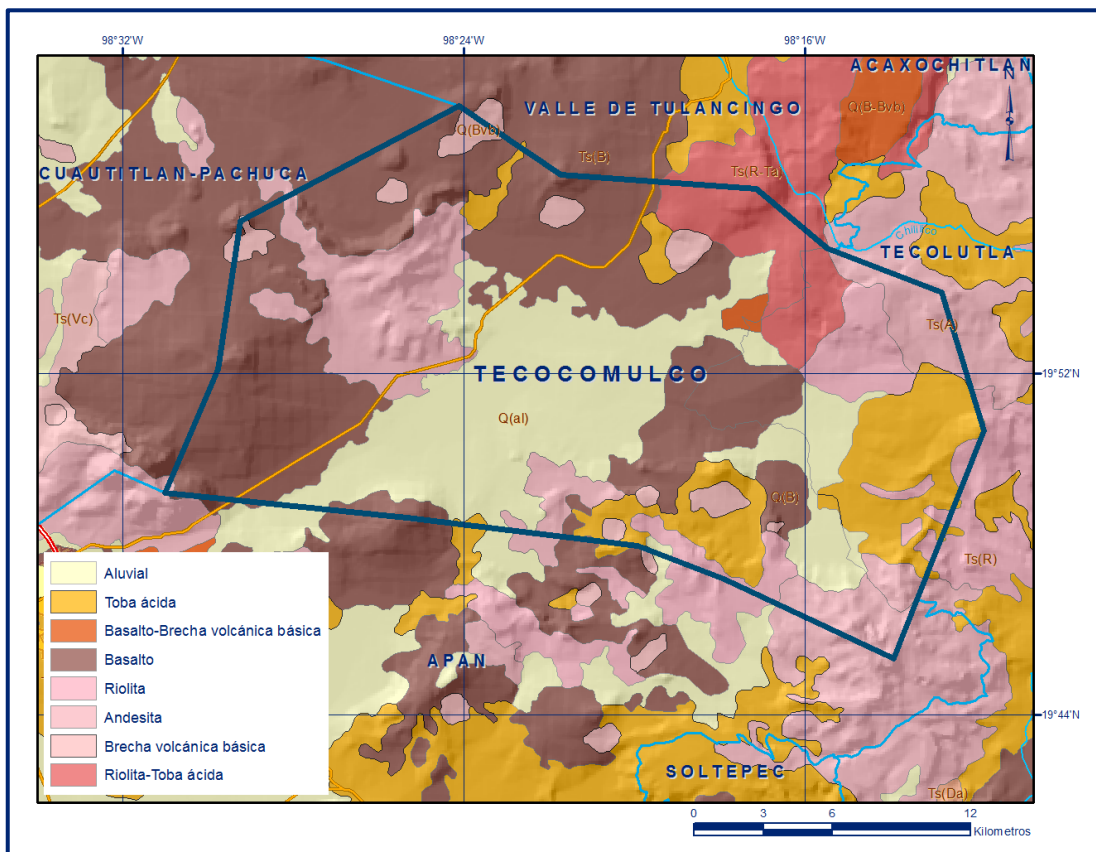


Figura 2. Geología general del acuífero

En la zona se presentan aparatos volcánicos con sus respectivas lavas, brechas y cenizas, cuya composición litológica va desde rocas basálticas a riolitas con edades que varían como se indicó, del Plioceno tardío hasta el reciente observándose la alteración por intemperismo de las rocas superficiales.

Asimismo, se abren llanuras y cuencas formadas en gran parte por los rellenos aluviales ó lacustres que contienen gran variedad de rocas mezcladas con cenizas volcánicas.

Esta provincia está considerada como una zona sísmica o de sismicidad frecuente. Los principales fenómenos de esta provincia están presentados por las fallas y fracturas que acompañan a las emisiones volcánicas. La dirección principal del fracturamientos en la región es de Este-Oeste.

Los cerros que se presentan rodeando la zona son El Cerro La Paila, Cerro Viejo de Tultengo, Cerro Agua Azul con elevaciones respectivas de 3 150; 2 950, y 3 000 msnm. Los aparatos volcánicos como Coatzatzengo, San Ignacio, El agua, el Tiololo de 2 900, 2 800, 2 950 y 2 850 msnm respectivamente lo cual confirma la presencia de rocas ígneas en la zona.

La mayor parte de los escurrimientos en la cuenca son de régimen intermitente con fuertes avenidas y transporte de gran cantidad de azolves motivados por deforestación y fuertes pendientes.

4.1 Estratigrafía

La estratigrafía de la Región Apan Tecocomulco es extraordinariamente compleja en virtud del intenso y continuo vulcanismo al que ha estado sujeta por encontrarse ubicada en la faja denominada Chapala-Acambay lo que ha permitido establecer una franca correlación de la secuencia estratigráfica.

De los estudios realizados se indica que existe en la zona, una pequeña zona de saturación regional entre los 65 y 71 m. de profundidad de ahí hasta los 120 o 130 m. de profundidad se aprecia que es desfavorable por lo que a la presencia de agua se refiere y de los 130 m. de profundidad en adelante la saturación de los mantos es más favorable y de los 180 m. de profundidad es de franca saturación.

Los niveles estáticos en la zona varían de 40 a 100 m. de profundidad con niveles freáticos en los entornos lagunares de Tecocomulco, Apan, Tochac a profundidades menores a 5 m. En el análisis estatigráfico se tiene una descripción litológica general de las unidades geológicas más antiguas a las más jóvenes primeramente como son las sedimentarias y posteriormente las ígneas.

En esta Región XIII hay afloramientos de rocas del Cretácico, rocas calizas correspondientes a unidades sedimentarias de origen marino, con afloramientos en Texcoco, Apaxco y Tula, El Salto y Vito. Del Terciario Inferior se tienen conglomerados constituidos por clastos de caliza y pedernal mal seleccionados que afloran hacia Zimapán. Del Terciario Superior se tienen Lutitas al Sur de Tula, Limolita arenisca hacia el Sureste de Tasquillo, Conglomerados con clastos de andesita, al Oeste de Tolcayuca y en los límites de Hidalgo con México, Volcanoclastico que es unidad de origen Continental y está constituida por alternancia de tobas, arenas y paleosuelos depositados en las cuencas lacustres de la mayor parte de la región.

Del Cuaternario se tiene un depósito clástico continental consistente en un conglomerado brechoide de pie de monte poco compactado y descansa de manera discordante sobre rocas ígneas del Terciario presentándose en forma de abanico aluvial y aflora en la mayor parte de las estribaciones de las serranías de la región.

La ultima unidad de esta época corresponde a los suelos aluviales que son depósitos clásticos no consolidados con gravas, arenas, limos y arcillas provenientes de las rocas preexistentes constituidas en forma de abanicos y planicies como relleno de la mayor parte de los valles de la región. En la región se tienen rocas ígneas del Terciario Superior como son andesitas que presenta pseudo estratificación y se intemperiza en forma de lajas presentándose morfológicamente como aparatos volcánicos de elevación media, lomas y cerros bajos.

También se encuentra andesita-brecha volcánica intermedia, unidades formadas por derrames andesíticos compactos alternados con productos piroclásticos compuestos por brechas, cenizas y lapilli con afloramientos localizados en Mineral del Monte. La brecha volcánica intermedia está constituida por fragmentos que varían desde lapilli hasta bloques inmersos en una matriz tobacea, su morfología es de lomeríos poco disectados, aflora hacia Tepeji Hgo. y Jilotepec México, así como en Milpa Alta D.F.

Se tienen también Riodacita que es una unidad constituida con fenocristales de plagioclasa sódica y se presenta en forma masiva y en algunos sitios se encuentra caolinizada, su morfología se presenta por cerros escarpados y aflora hacia el Noroeste de Emiliano Zapata Hgo, hacia el Norte de los Reyes La Paz y hacia Tlalnepantla Mex.

Basalto esta unidad está constituida por coladas basálticas de olivinos, piroxenos y andesitas generalmente acordonadas y vesiculares, su morfología está representada por mesetas disectadas y en ocasiones coronadas por conos cineríticos, afloran en la mayor parte de la zona central del Valle del Mezquital y hacia el Oeste de Zumpango.

Basalto brecha Volcánica básica esta unidad está constituida por una alternancia de derrames de basalto y brecha volcánica, su morfología es de mesetas y aflora principalmente hacia el Oeste de Tetepango Hgo.

Tobas Intermedias esta unidad ígnea piroclástica constituida por tobas de ceniza y lapilli de composición intermedia, dispuestas en pseudo estratos medianos y gruesos poco consolidados, aflora al Suroeste de Emiliano Zapata, Hgo. Y al Este de Amecameca Méx.

Del Cuaternario existe Basalto que es una unidad constituida por derrames vesiculares y bloques de basalto olivino, generalmente poco intemperizados, morfológicamente se presentan en forma de mesetas pequeñas y cerros bajos, afloran en las inmediaciones de la Serra de Chichinautzin, en Emiliano Zapata, Hgo. así como en Jilotepec, Tepetzotlan, Tultepec, Otumba, Chimalhuacan, Méx.

Toba básica se trata de una unidad piroclástica de composición básica, constituida por pseudo estratos deleznales y compactos de ceniza volcánica y lapilli, se presenta en forma de planicies o como conos cineríticos y aflora hacia el Noreste de Hueyapoxtlá Mex. al Suroeste de Apan Hgo. y al Este de Calpulalpan Tlaxcala.

4.2 Geología estructural

El relieve estructural en esta Región XIII 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 el 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 volcanoclasticos, los cuales tienen características litológicas de rocas volcánicas depositadas en un medio lacustre y aparecen estratificadas, 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 lava superpuestas, es testimonio de la durabilidad del fenómeno durante un lapso grande de tiempo que abarco desde principios del Terciario hasta épocas recientes.

En algunas zonas como las de las Sierras de Chichinautzin, Nevada y de Pachuca se ha estimado que la suma de espesores de las formaciones volcánicas depositadas rebasa los 4,000 m. Por lo cual en esta región se aprecia un conjunto de aparatos volcánicos complejos y además notables como son el Popocatepetl, Iztaccihuatl, Ajusco, Xitle etc.

Existen en la región sistemas de fracturas y fallas regionales siendo tres las principales: La primera tiene dirección Noroeste-Sureste y afectó previamente a las rocas mesozoicas y está asociada al patrón estructural de la Sierra Madre Oriental, los otros dos sistemas están orientados Norte Sur y Noreste-Oeste Sureste y están asociados a los esfuerzos de Tensión que afectaron a las rocas volcánicas del Mioceno. Estos sistemas de fractura están asociados a los procesos de mineralización que concentraron yacimientos económicos en los distritos mineros de la región.

Adicionalmente es necesario conocer que de los análisis estudiados de gran número de parámetros geológicos (morfológicos, hidrogeológicos y sísmicos), se induce la existencia de 16 fallas mayores de tipo transcurrente con rumbo NE 50° 5W y que divide a la cuenca del Valle de México en 15 bloques con la misma orientación. Y tomando en cuenta el análisis tectónico estos bloques se han separado a partir de un eje con rumbo aproximado NW 35° SE, considerando una franja de ancho de 7 a 8 km a partir del flanco poniente de la Sierra Nevada hacia la zona de Zumpango originando que los bloques mencionados se separen hacia al Noreste unos y hacia el Suroeste otros.

Con estas fallas transcurrentes se asocian otros de menor dimensión que han sido detectados con la interpretación fotogeológica. La distensión de las fallas mayores con los sistemas de fracturamiento han originado fallas normales con orientación cercanamente perpendiculares a ellas o sea NW 35° SE de menor dimensión y generalmente limitadas por dos de las fallas mayores.

Los sistemas de fallamiento de edad Premiocenica Este-Oeste, Norte-Sur, Noro-este, Sur-Este, están afectados por este sistema al que se le asigna una edad Pliocuaternaria que motiva pequeñas fallas y pliegues en las rocas tobaceas y lacustres más recientes. Los ángulos de echado de las 16 fallas antes mencionadas son cercanos a la verticalidad y ocasionaron la formación de dos fosas correspondientes al Valle de Otumba y de Tizayuca en donde se encuentran también los espesores mayores de sedimentos lacustres.

Asimismo, un número de fracturas y grietas en los rellenos del Valle de México están asociados a los lineamientos mayores, por ejemplo: las fracturas XICO NE50°SW, COCOTITLAN NW35°SE, IXTAPALUCA NW30°SE, PEÑON DEL MARQUEZ NE50°SW, CARACOL NW35°SE etc. acelerados por la explotación del acuífero superficial.

Es de hacerse destacar que en las unidades litológicas más antiguas (Andesitas y Riolitas) se manifiestan los dos sistemas de fracturamiento y fallamiento 1° Norte-Sur y Este-Oeste y 2° N-E 50° SW, y N-W 35° S-E y en las unidades más recientes (Basaltos, Tobas y Sedimentos Lacustres) predomina el fallamiento y en general estas apreciaciones son las que afectan principalmente el funcionamiento del agua subterránea.

4.3 Geología del subsuelo

Del estudio denominado Geología en el Valle de México con fines Geohidrológicos realizado en 1987 por el Instituto de Geología para la extinta CAVM, se desprende que en la región respectiva del acuífero Tecocomulco.

En un mayor porcentaje de la superficie afloran materiales de carácter piroclástico de diferente naturaleza y granulometría; desde tobas limo-arenosas hasta tobas arenosas pumíticas y líticas. También en muchos sitios se observa deleznable presentando sistemas de fracturamiento este-oeste, norte-sur NE50°SW y NW30°SE.

La permeabilidad generalizada se puede considerar media en menor superficie de cobertura respecto a los materiales tobaceos, se tienen los depósitos lacustres y aluviales de granulometría fina (arenolimososa) con permeabilidad media.

En algunas partes al NW del acuífero se presenta una extensión de basaltos escoriaeos (malpais) con planos de fluidez y sistemas de fracturamiento indefinidos, esta unidad se le considera de permeabilidad alta.

En algunas porciones del área en forma aislada afloran rocas andesíticas asociadas a aparatos volcánicos y riolitas con fracturas orientadas NW48°SE pero en muchos casos también indeferenciadas considerándose de permeabilidad media.

También en las estribaciones orientales de la Sierra de Calpulalpan contiene material brechoide andesítico en donde la permeabilidad generalizada de este material es media. Morfológicamente esta zona es de las indicativas de los sistemas de fallas mayores detectándose hacia el Noroeste, notándose también por medio de los sistemas de drenaje N-S y E-O.

De los análisis obtenidos se induce que en la región NW de esta zona se debe presentar flujo subterráneo hacia el poniente es decir hacia el Valle de Otumba debido a las condiciones de alta permeabilidad de las rocas basálticas (malpais) que ahí afloran. Por el contrario en la porción S.E debe en cierta forma fluir hacia el valle de Tlaxcala-Apizaco.

5 HIDROGEOLOGIA

En este acuífero los valores reportados por las curvas de igual elevación del nivel estático indican abatimientos de bajos a nulos. La recarga observada es en dirección NE-SE y proviene de la Sierra de Tepozan, hacia Tepeapulco Se estima que la recarga actual es más alta que la extracción provocada por aproximadamente 21 aprovechamientos entre los que se cuentan pozos, norias y manantiales.

Este subsistema de Apan Tecocomulco muestra un mínimo abatimiento de los niveles estáticos con registros de niveles positivos en algunas zonas, valores que presentan una condición de subexplotación.

5.1 Tipo de acuífero

La información disponible indica que se trata de un acuífero semiconfinado subexplotado. Su condición administrativa es de veda intermedia.

5.2 Parámetros hidráulicos

Para el acuífero Tecocomulco, no se cuenta con pruebas de bombeo, por lo cual los parámetros hidráulicos que se mencionan a continuación se infirieron del tipo de material predominante en la zona, constituido por materiales de carácter piroclástico de diferente naturaleza y granulometría; desde tobas limo-arenosas hasta tobas arenosas pumíticas y líticas

Por el tipo de material mencionado anteriormente, el valor de Conductividad Hidráulica (K) para esta zona varía de 10^{-2} a 10^{-5} m/s dicho valor en este caso se considera representativo del acuífero. El rendimiento Específico o Porosidad Eficaz (Sy) tiene valores que varían del 10 al 30 % debido a que el material más abundante está constituido por arenas y limos. El valor de Coeficiente de Almacenamiento S= .00033 el valor anterior se obtuvo multiplicando el espesor del acuífero el cual se consideró de 100 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

En el área del acuífero Tecocomulco se carece totalmente de instalaciones adecuadas para llevar a cabo piezometría sin embargo en los estudios realizados a la fecha han medido niveles estáticos en poco más de 64 pozos y norias en la región, mismos que se refirieron a elevaciones sobre el nivel del mar, esto permitió dibujar curvas para igual elevación de niveles estáticos si bien, estas no representan el régimen piezométrico de cada horizonte acuífero por lo menos dan una idea aproximada sobre el esquema general del flujo en las zonas que abarcan.

Estas apreciaciones corresponden a la cuenca de las riberas de la Laguna de Tecocomulco y la de Tochac lo anterior ha permitido conocer la tendencia del flujo que es hacia el Noroeste es decir de la cuenca de Tochac y Tecocomulco hacia Apan.. Por lo que en general se puede decir que el nivel freático en el entorno de las lagunas se encuentra a profundidades menores de 5.0 m. y las profundidades de los niveles estáticos someros en las planicies fluctúan a partir de unos 20 m. de profundidad.

5.4 Comportamiento hidráulico

En el acuífero Tecocomulco la profundidad promedio de los pozos es de 120 m. Los arroyos que alimentan principalmente la Laguna de Tecocomulco son de tipo efímero e intermitente ya que solo presentan escurrimientos en época de lluvias y en algunos casos sólo después de fuertes lluvias los cauces son en su mayoría estables. Se dispone una estación hidrométrica localizada sobre el canal de descarga de la laguna de Tecocomulco y en el promedio de su registro se determinó un volumen de escurrimiento medio anual de 1.4 millones/ m³ de junio a septiembre y que concentra el 88% de los escurrimientos, su época de estiaje abarca de diciembre a marzo; la extensión de sus cauces se estima en 7 km y una precipitación anual de alrededor de 669 mm.

5.4.1 Profundidad del nivel estático

Según los datos de las curvas de igual profundidad de 1997 el nivel estático varía de 10 a 25 metros, estos valores se localizan en el entorno de la Laguna de Tecocomulco, solo se cuenta con los datos anteriormente mencionados en dicho plano

5.4.2 Elevación del nivel estático

Conforme al plano de curvas de igual elevación del nivel estático de 1995 se observa que la elevación en la zona cercana a la Laguna de Tecocomulco varía de 2516 a 2525 msnm por lo que se infiere que la dirección del flujo es noroeste.

5.4.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático correspondiente al periodo de 1987 a 1997 se observó un decremento de 3.0 m lo que equivale a un promedio anual de 0.30 cm por año según la información del plano de curvas de igual evolución del nivel estático del periodo antes mencionado, este abatimiento se presenta en el área de influencia de la Laguna de Tecocomulco y sus zonas aledañas.

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El acuífero Tecocomulco dadas sus características población dispersa, industria básicamente nula y zonas de riego muy pequeñas, y de acuífero subexplotado no presenta variedad en la calidad de sus aguas por lo que pueden considerarse aceptables en cuanto a los sulfatos, cloruros, nitratos, amonio, residuo seco, dureza total, y bicarbonatos determinando que las aguas subterráneas que bordean al Lago de Texcoco y zona de Chalco son las que contienen mayores concentraciones de contaminantes.

Por lo que se considera que este acuífero aún es confiable es decir por ejemplo en cuanto a nitratos se tienen detectados entre 1 y 8 mg/lt. Dichos valores están dentro de la Norma.

Con las evidencias expuestas se considera que no existe contaminación del agua subterránea

En el área del acuífero Tecocomulco las redes de alcantarillado municipales descargan en las siguientes estructuras:

Municipio	Descarga Primaria	Receptor Principal
Apan	Barranca el Cura	Arroyo Mixcapa
Almoloya	Barranca Buenavista	Barranca Buenavista
Tepeapulco	Arroyo Grande	Arroyo Grande
Cuautepec	Laguna	Río Papalote
Singuilucan	Tecocomulco	Barranca Prieto
	Arroyo Las Fuentes	

Por otra parte, en el estudio Modelo Conceptual de la Evolución del Agua Subterránea en el Valle de México por Antonio Córdoba y Noel Hernández en el año de 1995, de la UNAM y CNA respectivamente, mencionan que las principales reacciones que condicionan la evolución de la composición química del agua subterránea en la dirección de flujo analizada son mezcla de aguas entre diferentes miembros extremos inducida 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 condicionan las concentraciones de sulfato, bicarbonato, nitrato, hierro, manganeso y posiblemente arsénico.

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 uno municipios que se encuentran dentro del acuífero denominado Tecocomulco. Lo anterior de acuerdo al censo realizado en 1990 GRAVAMEX.

De acuerdo a los volúmenes de extracción del censo, el agua que se extrae del acuífero se utiliza principalmente para uso Público-Urbano, con un total de 12.398 M. de m³ anuales el segundo volumen más importante de extracción es para uso Industrial con .686 M de m³ anuales y el tercer uso en importancia es el uso Pecuario con El municipio en donde se extrae el mayor volumen de agua es en Tepeapulco con un total de 12.965 M. de m³ anuales.

ACUÍFERO TECOCOMULCO					
EXTRACCIONES POR USO EN M ³ ANUALES					
Estado	Municipio	Industrial	Público Urbano	Pecuario	Total
HGO	CUAUTEPEC		127,584	16,200	143,784
	TEPEAPULCO	686,191	12,270,960	8,331	12,965,482
	1.1 TOTAL	686,191	12,398,544	24,531	13,109,266

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1 Entrada

7.1.1 Recarga Natural

La información disponible indica que se tiene una infiltración considerando la fisiografía mencionada, así como la estratigrafía regional, por lo cual las entradas por recarga natural se obtuvieron del estudio Diagnóstico de la Región XIII Valle de México y se presentan a continuación:

RIOS	CUERPOS DE AGUA	TOTAL
0.01	1.58	1.59 hm ³ /año

Las entradas por flujo vertical se calcularon tomando en consideración el área del acuífero sin incluir la zona de recarga, la precipitación media anual y el coeficiente de infiltración de la zona.

$$\text{Precipitación} = 669 \text{ mm/año} = .669 \text{ m}$$

$$\text{Área del acuífero} = 365.12 \text{ km}^2 = 365,120,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Índice de Infiltración} = 0.02797 = 2.8 \%$$

De lo anterior se obtuvo el valor de 6.83 hm³ /año

Volumen Infiltrado al acuífero por precipitación $6.83 \text{ hm}^3/\text{año}$
Volumen infiltrado por cuerpos de aguas superficiales $1.59 \text{ hm}^3/\text{año}$
Volumen Total por Recarga Natural = $8.42 \text{ hm}^3/\text{año}$

7.1.2 Recarga Inducida

En este caso se considera que no existe recarga inducida debido a que el área de este acuífero corresponde a una planicie aluvial con características endorreicas, en donde se tienen arcillas de alta plasticidad y dispersamente arcillas duras, asimismo se presentan aparatos volcánicos con sus respectivas lavas, brechas, cenizas etc. Por consiguiente, las aperturas de llanuras y cuencas están formadas por rellenos aluviales ó lacustres.

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. A pie de la sierra que limita 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 seis celdas para el sistema acuífero Tecocomulco, 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 1993, 1995 y 1997, se obtuvo el promedio de los datos obtenidos.

Los valores de las cargas equipotenciales se tomaron directamente de los planos, 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 de las celdas 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 $19.344 \text{ hm}^3/\text{año}$

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

Dadas las características descritas del acuífero Tecocomulco y tomando en cuenta que los niveles se localizan a profundidades superiores a 10 metros no se considera que existan pérdidas por evapotranspiración.

7.2.2 Descargas Naturales

En virtud de ser una cuenca endorreica no se estima que existan pérdidas hacia otras cuencas, sin embargo, se consideran salidas por manantiales, el volumen por este concepto es de $0.5 \text{ hm}^3/\text{año}$

7.2.3 Bombeo

Según los datos del censo de 1990; los pozos registrados en los municipios que conforman el área del acuífero Tecocomulco según la tabla anexa, son aproximadamente 21 pozos que extraen un volumen anual estimado de 13.109 hm^3

7.2.4 Flujo Subterráneo

Según los datos disponibles se induce que no existen por flujo subterráneo hacia otros acuíferos.

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

La recarga Total o Entradas están consideradas como:

Entradas por recarga natural con un volumen de $8.42 \text{ Mhm}^3/\text{año}$

Flujo horizontal con un volumen de $19.350 \text{ hm}^3/\text{año}$

Entradas = $27.770 \text{ hm}^3/\text{año}$

La descarga total está considerada como el volumen de salidas por descargas naturales y por bombeo

Los volúmenes registrados como salidas son los siguientes:

Volumen de bombeo $13.109 \text{ hm}^3/\text{año}$

Descargas naturales $0.52 \text{ hm}^3/\text{año}$

Salidas = $13.629 \text{ hm}^3/\text{año}$

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

Entradas – Salidas = Cambio de Almacenamiento

$\Delta V (S)$ = Cambio de Almacenamiento

$$27.770 - 13.629 = \Delta V (S)$$

Por lo que el $\Delta V (S)$ = 14.141

$$\Delta V (S) = 14.141 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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:

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

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 *Tecocomulco*, en el Estado de Hidalgo es de **27.8 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso, su valor es **DNC = 0.5 hm³ anuales.**

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 **9,955,644 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 27.8 - 0.5 - 9.955644 \\ \text{DMA} &= 17.344356 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **17,344,356 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFIA

Catálogo de Zonas de Veda decretadas para el alumbramiento de Agua del Subsuelo en la República Mexicana de la Subdirección General Técnica de la CNA