

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Cuautitlán-Pachuca
(1508), Estado de México***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

DCLII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE MÉXICO							
1508	CUAUTITLÁN-PACHUCA	356.7	0.0	415.074597	751.3	0.000000	-58.374597

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

ACUIFERO 1508 CUAUTITLAN-PACHUCA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	98	24	7.0	19	58	17.4	
2	98	29	14.6	19	55	35.4	
3	98	29	45.7	19	52	6.5	
4	98	31	1.2	19	49	12.2	
5	98	32	11.8	19	49	44.4	
6	98	36	19.7	19	46	48.8	
7	98	36	15.3	19	46	2.4	DEL 7 AL 8 POR EL LIMITE ESTATAL
8	98	39	50.8	19	36	17.5	DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL
9	98	41	35.1	19	34	30.4	
10	98	46	41.1	19	35	25.6	
11	98	50	23.5	19	38	4.7	
12	98	52	9.8	19	35	24.2	
13	98	58	48.8	19	34	50.6	
14	99	1	0.7	19	35	11.6	
15	99	7	2.9	19	35	17.2	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	99	7	23.2	19	35	30.7	
17	99	16	40.2	19	35	28.2	
18	99	25	42.6	19	28	51.6	
19	99	30	6.3	19	33	27.0	
20	99	25	36.0	19	37	50.6	
21	99	25	1.9	19	40	50.6	
22	99	22	11.0	19	43	2.7	
23	99	21	4.4	19	46	31.0	DEL 23 AL 24 POR EL LIMITE ESTATAL
24	99	17	48.0	19	50	4.5	DEL 24 AL 25 POR EL LIMITE ESTATAL
25	99	13	8.5	19	54	5.6	
26	99	9	18.3	19	52	24.0	
27	99	9	16.5	19	50	25.4	
28	99	2	17.4	19	52	7.7	
29	98	58	22.3	19	54	49.9	
30	98	57	58.4	19	55	48.5	DEL 30 AL 31 POR EL LIMITE ESTATAL
31	98	56	57.9	20	1	43.3	
32	98	53	5.1	20	3	29.0	
33	98	51	33.1	20	5	3.8	
34	98	49	4.9	20	5	47.8	
35	98	47	10.2	20	8	3.9	
36	98	45	19.4	20	8	51.9	
37	98	44	25.9	20	13	13.9	
38	98	39	50.7	20	6	55.3	
39	98	37	42.0	20	7	37.6	
40	98	33	17.0	20	4	29.9	
41	98	33	37.1	20	0	43.4	
42	98	27	15.2	19	59	21.1	
1	98	24	7.0	19	58	17.4	



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO
CUAUTITLÁN-PACHUCA,
ESTADOS DE MÉXICO E HIDALGO***

México, D.F., 30 de abril de 2002

DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO DE CUAUTITLÁN-PACHUCA, ESTADO DE MÉXICO E HIDALGO.

Contenido

1 Generalidades

- 1.1 Localización
 - 1.1.1 Coordenadas
 - 1.1.2 Municipios

2 Estudios técnicos realizados con anterioridad

3 Fisiografía

- 3.1 Provincias fisiográficas
- 3.2 Clima
 - 3.2.1 Temperatura media anual
 - 3.2.2 Precipitación media anual
 - 3.2.3 Evaporación potencial media anual
- 3.3 Hidrografía
 - 3.3.1 Región hidrológica
 - 3.3.2 Subregión
 - 3.3.3 Cuenca
 - 3.3.4 Subcuenca
- 3.4 Geomorfología

4 Geología

- 4.1 Estratigrafía
- 4.2 Geología estructural
- 4.3 Geología del subsuelo

5 Hidrogeología

- 5.1 Tipo de acuífero
- 5.2 Parámetros hidráulicos
- 5.3 Piezometría
 - 5.3.1 Profundidad del nivel estático
 - 5.3.2 Elevación del nivel estático
 - 5.3.3 Evolución del nivel estático

6 Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo

7 Balance de aguas subterráneas

- 7.1 Entradas
 - 7.1.1 Recarga natural
 - 7.1.2 Recarga inducida
 - 7.1.3 Flujo horizontal
- 7.2 Salidas
 - 7.2.1 Evapotranspiración
 - 7.2.2 Descargas naturales
 - 7.2.3 Bombeo

- 7.2.4 Flujo subterráneo horizontal
- 7.3 Cambio de almacenamiento

8 Disponibilidad

- 8.1 Recarga total media anual
- 8.2 Descarga natural comprometida
- 8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en la REPDA
- 8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

Índice de figuras

- Figura 1 Localización del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca, Estado de México e Hidalgo.
- Figura 2 Plano del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca, Estado de México e Hidalgo
- Figura 3 Profundidad del nivel estático 1991
- Figura 4 Elevación del nivel estático 1991
- Figura 5 Evolución del nivel estático 1984-1991

Índice de tablas

- Tabla 1 Vértices de la poligonal del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca, Estado de México e Hidalgo 1

DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO DE CUAUTITLÁN-PACHUCA, ESTADOS DE MÉXICO E HIDALGO

1 Generalidades

1.1 Localización

El acuífero de Cuautitlán-Pachuca se localiza al norte de la Ciudad de México, en el límite sureste del Estado de Hidalgo, comprendiendo alrededor de un 10% de su superficie total al Estado de México. El acuífero cubre una superficie 2850 km².

1.1.1 Coordenadas

La superficie del acuífero se encuentra dentro de la poligonal cuyos vértices se enlistan a continuación:

Tabla 1. Vértices de la poligonal del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca.

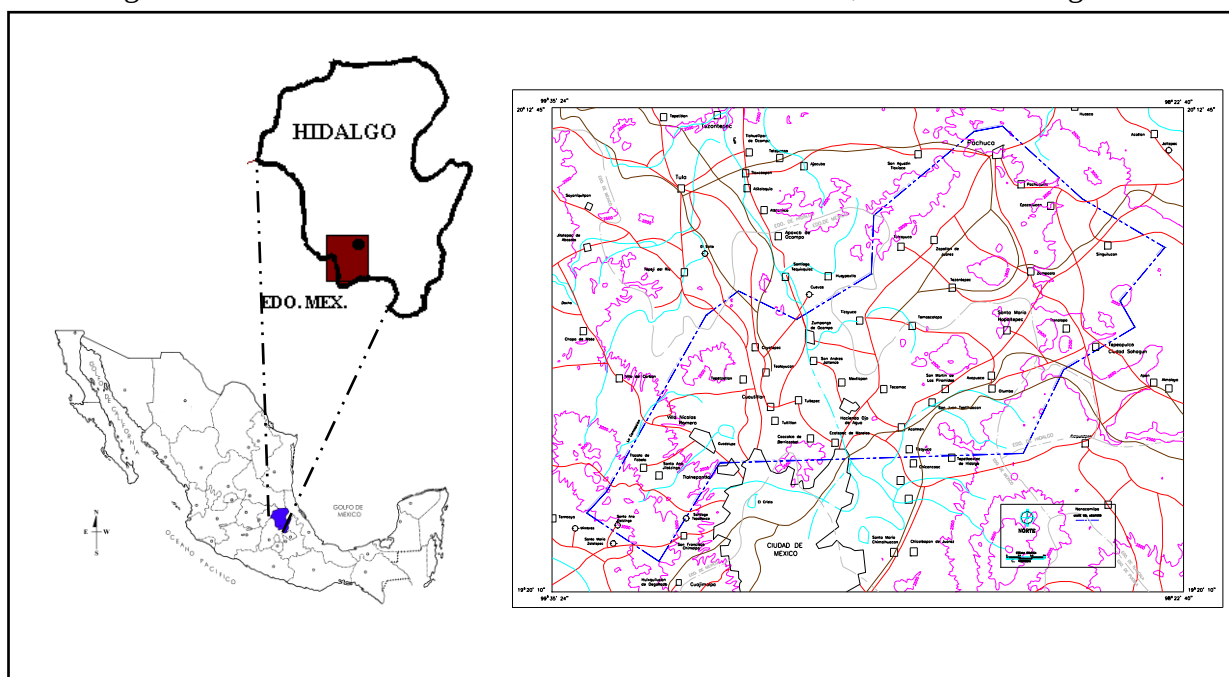
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	98	28	4.8	19	55	19.2	
2	98	28	51.6	19	52	15.6	
3	98	30	3.6	19	51	43.2	
4	98	28	19.2	19	48	54.0	
5	98	32	2.4	19	45	21.6	
6	98	36	10.8	19	44	27.6	Del 6 al 7 por el límite estatal
7	98	39	50.4	19	36	18.0	Del 7 al 8 por el límite estatal
8	98	41	24.0	19	35	6.0	
9	98	50	31.2	19	35	42.0	
10	98	59	6.0	19	34	12.0	
11	99	7	1.2	19	35	16.8	Del 11 al 12 por el límite estatal
12	99	8	6.0	19	34	55.2	
13	99	16	8.4	19	34	15.6	
14	99	19	15.6	19	28	4.8	
15	99	23	9.6	19	23	31.2	
16	99	28	22.8	19	25	22.8	
17	99	31	15.6	19	28	44.4	
18	99	30	57.6	19	30	25.2	
19	99	29	31.2	19	31	4.8	
20	99	23	24.0	19	47	2.4	Del 20 al 21 por el límite estatal
21	99	17	49.2	19	50	6.0	Del 21 al 22 por el límite estatal
22	99	13	26.4	19	52	48.0	
23	99	9	18.0	19	52	22.8	
24	99	7	48.0	19	49	51.6	
25	99	6	21.6	19	50	2.4	
26	99	3	39.6	19	52	4.8	

27	98	58	22.8	19	54	50.4	
28	98	57	54.0	19	55	44.4	Del 28 al 29 por el límite estatal
29	98	56	56.4	20	1	44.4	
30	98	53	31.2	20	3	10.8	
31	98	49	33.6	20	7	22.8	
32	98	46	51.6	20	10	15.6	
33	98	43	30.0	20	10	51.6	
34	98	41	13.2	20	7	48.0	
35	98	39	54.0	20	8	6.0	
36	98	34	48.0	20	5	38.4	
37	98	34	30.0	20	3	43.2	
38	98	33	36.0	20	1	1.2	
39	98	32	6.0	20	0	0.0	
40	98	27	21.6	20	0	36.0	
41	98	24	54.0	19	57	36.0	
1	98	28	4.8	19	55	19.2	

1.1.2 Municipios

La zona esta comprendida en 38 municipios, dentro de los cuales, en función del numero de habitantes los de mayor importancia en el Estado de México son: Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Nicolás Romero, Coacalco, Tecamac, Zumpango, Tultepec y Cuautitlán; ahora bien en el Estado de Hidalgo los municipios más importantes en función del numero de habitantes, son: Pachuca, Tizayuca, Tezontepec de Aldama, Mineral de Reforma y Zempoala, figura 2. Los principales centros de población están concentrados en la cabecera municipal de Cuautitlán Izcalli, Méx., y Pachuca, Hgo.

Figura 1. Localización del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca, Edos. Méx. e Hgo.



La zona se encuentra en general bien comunicada, teniendo como principal vía de acceso, la carretera Federal No. 85, que va de la ciudad de México a Nuevo Laredo-Tamaulipas, así mismo, la región está enlazada con las Carreteras Federales 105, 130, 132 y 88, que comunican al área de estudio con distintas regiones del país. Otras vías de comunicación son las carreteras estatales pavimentadas y numerosas terracerías transitables en cualquier época del año.

El Ferrocarril es otra vía importante en el desarrollo económico de la región, comunicando a los principales núcleos de población con las ciudades de México y Pachuca.

Las principales actividades económicas en la zona estudiada corresponden con: la industria, el comercio, la ganadería y la agricultura.

2 Estudios técnicos realizados con anterioridad

“Geoquímica del agua salina del acuitardo lacustre y riesgo de contaminación a al acuífero subyacente que abastece a la Ciudad de México”, (tesis profesional, reportada por GRVAMEX, 1999). Se efectuó una simulación hidrogeoquímica utilizando el proceso de evaporación a partir del agua del acuífero, determinando que, de existir una mezcla del 3% del agua del acuitardo al acuífero, se rebasaría la Norma de PH y sodio, para uso potable, además de que 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 disponen en la superficie del acuitardo.

“Variación horaria de la carga hidráulica en el acuitardo lacustre del ex-lago de Chalco, D.F. y Estado de México”, (tesis profesional, reportada por GRVAMEX, 1999). Se estudio la relación del acuífero con el acuitardo en la Subcuenca de Chalco, ya que debido a la intensa extracción, existe una contribución de agua proveniente del acuitardo, la cual ocasiona la consolidación de los sedimentos lacustres y la inversión del gradiente hidráulico. Se analizaron las condiciones hidráulicas de la Subcuenca de Chalco con 15 piezómetros electrónicos (Drive Point), conectados a un lector automatizado donde se registraron lecturas cada dos horas, durante un periodo de 1992-1993. Con base a las mediciones se determino que el movimiento preferencial de las aguas subterráneas 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-Ixatapaluca, México”, (tesis profesional, reportada por GRVAMEX, 1999). Se realizo un estudio sistemático de campo, complementado con modelación matemática, en la porción nororiental de la Subcuenca de Chalco, para ello se instrumentaron 26 puntos de monitoreo químico e hidráulico. Los resultados muestran gran actividad hidrológica asociada a la presencia de fracturas, acompañada de una gran movilidad de contaminantes en el tiempo y espacio. Por medio de simulaciones numéricas de transporte de contaminantes no reactivos se confirmo esta movilidad.

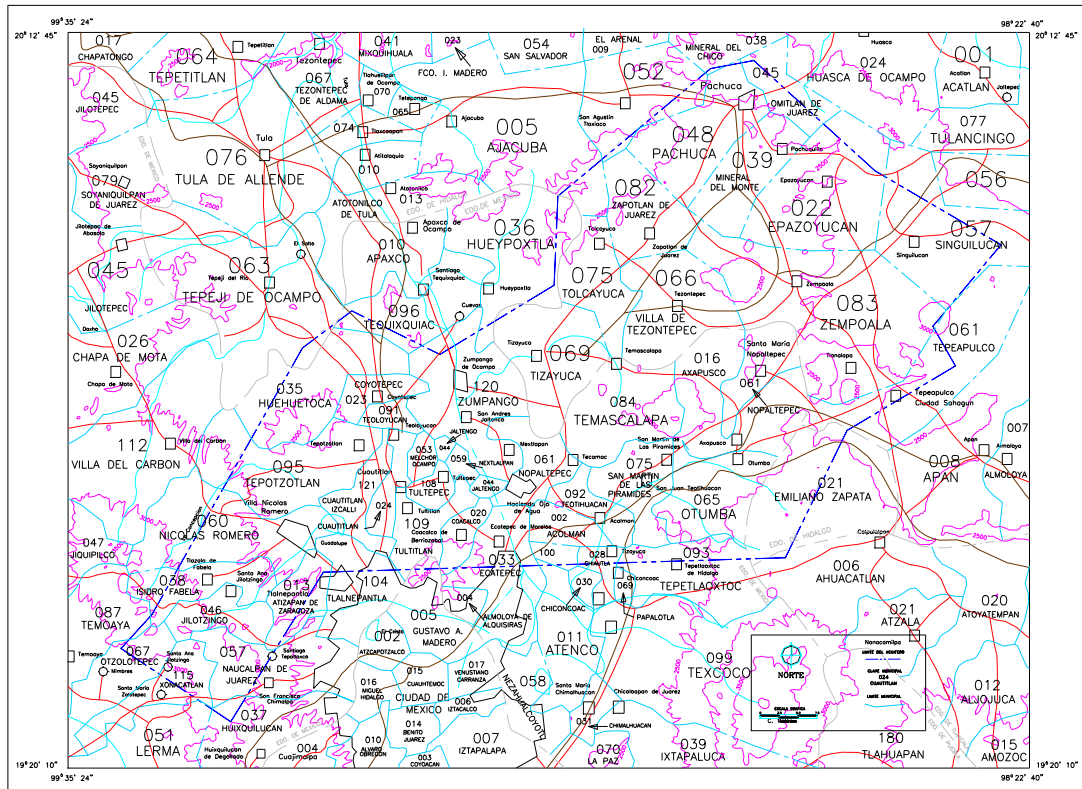


Figura 2. Plano del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca, Edos. Méx. e Hgo.

“Geología de la Cuenca de México, E. Vázquez-Sánchez y R. Jaimes Palomera”, (artículo reportado en GRAVAMEX, 1999). Se propone la evolución geológica desde el Cretácico, con base en el análisis estratigráfico, estructural y petroquímico. Los resultados indican que del Aptiano al Turoniano Tardío prevaleció la sedimentación calcárea, posteriormente cambio a tipo flysch, 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 la sedimentación continental de tipo molassa y con efusiones fisurales basálticas alcalinas. Los eventos volcánicos 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 Chichinautzín.

“Ciudad de México, Acuitardo superficial y contaminación acuífera, Jaime Durazo”, (artículo reportado en GRAVAMEX, 1999). La Ciudad de México se asienta sobre un acuitardo arcilloso y un acuífero que abastecen a la ciudad, el espesor del acuitardo es alrededor de 50 m; el acuífero alcanza profundidades mayores a 800 m; los pozos se localizan entre las profundidades de 100 a 400 m, en este estudio se efectuó una revisión, 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, A. Cardona y N. Hernández”, (artículo, reportado en GRAVAMEX, 1999). 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 de 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 del 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.”, (reportado en GRAVAMEX, 1999). Dentro de este estudio se presenta de manera general las condiciones actuales cualitativas y cuantitativas, sus efectos al ambiente de los ecosistemas acuáticos, se edificó la infraestructura hidráulica actual, 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 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.

En 1991, THORSA, Ingenieros Consultores y Constructores S.A. de C.V., realizó el trabajo de Actualización Geohidrológica en el Valle de Pachuca-Tizayuca, Estado de Hidalgo, en el cual sus principales objetivos fueron, el determinar la recarga del acuífero, mediante un estudio directo de agua subterránea, definir las condiciones de explotación en las que se encuentra el acuífero, establecer el volumen aprovechable de agua subterránea y proponer recomendaciones para la explotación futura del acuífero. El resultado más importante arrojado por este estudio es que de acuerdo con la interpretación de los perfiles electro-estratigráficos, las resistividades con mejores posibilidades acuíferas se encuentran entre los 250 y 500 m de profundidad.

Finalmente en 1999, GRAVAMEX elabora un soporte técnico de la disponibilidad del Acuífero de Cuautitlán-Pachuca.

3 Fisiografía

3.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas hecha por Raiz (1964), la zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico. La cual se caracteriza por conformar una extensa altiplanicie rodeada por sierras volcánicas, con innumerables abanicos y llanuras aluviales.

3.2 Clima

Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación de las estaciones climatológicas que cubren la zona de estudio, y con apoyo en la carta de climas, se observa que está caracterizada por cuatro tipos de climas, como a continuación se indica: Semiseco Templado

(BS1kw(W)) ocupa la mayor parte de la región; Templado Subhúmedo (Cb(W2)(W)) este tipo de clima es el más húmedo, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor al 10%; Templado Subhúmedo (Cb(W1)(W)) es intermedio en cuanto a humedad, con lluvia de verano y porcentaje invernal menor al 8%; y por último tenemos el clima Semifrío Subhúmedo (Cb'(W2)(W)) que es el más húmedo de los semifríos, con lluvias en verano y con un porcentaje invernal menor a 8%.

3.2.1 Temperatura media anual

La temperatura media anual varía entre 12 y 18° C; el período caluroso del año es de mayo a julio, siendo enero y febrero los meses más fríos, en los que se han registrado las temperaturas más bajas que fluctúan entre los 4 y 6° C.

3.2.2 Precipitación media anual

La precipitación promedio anual según el estudio de GRAVAMEX (1999), es de 578.55 mm; el período de lluvias es de julio a agosto, siendo julio el mes con mayor incidencia de lluvias, mientras que el período de diciembre a febrero es el más seco, de los cuales febrero es el mes más seco.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media anual es del orden de 1630.92 mm; el mes con índice mayor de evaporación media es marzo, y el de menor corresponde a diciembre.

3.3 Hidrografía

De acuerdo con la subdivisión hidrográfica realizada por la Gerencia Técnica de la GRAVAMEX, la Cuenca del Valle de México se encuentra dividida en once zonas hidrológicas que son: Xochimilco, Churubusco, Ciudad de México, Cuautitlán, Pachuca, Teotihuacán, Texcoco, Chalco, Apan, Tochac y Tecocomulco; mientras que la Cuenca del Río Tula está conformada por: El Salto, El Salado, Alfajayucan e Ixmiquilpan. En estas zonas se encuentran distribuidos los principales ríos de la región que son: Eslava, Magdalena, Mixcoac, Tacubaya, San Joaquín, Río Hondo, Río de los Remedios, Tlalnepantla, San Javier, Tepozán, Cuautitlán, de la Avenidas de Pachuca, San Juan Teotihuacán, Papalotla, Amecameca y de la Compañía para el Valle de México; y para Tula el Río El Salto, El Salado, Alfajayucan, Actopan y el Río Tula.

3.3.1 Región Hidrológica

El acuífero de Cuautitlán-Pachuca pertenece a la Región Hidrológica No. 26 “Alto Pánuco”.

3.3.2 Subregión

Se encuentra dentro de las subregiones IV, V y VI.

3.3.3 Cuenca

El área en estudio está localizada dentro de la Cuenca del Valle de México.

3.3.4 Subcuenca

Dentro del área de estudio se encuentran las Subcuencas:

Río Tepotzotlán: esta integrada por cuatro tipos de estructuras geomorfológicas, que son la Sierra Madre Occidental, El Eje Neovolcánico, La Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur. Es uno de los principales tributarios o afluentes del Río Cuautitlán, tiene su origen en la Sierra de las Cruces, específicamente en el incidente orográfico denominado Cerro Río Frío, con el nombre de arroyo los Tepozanes, con una orientación hacia el noroeste, recibe las precipitaciones del arroyo Esclavo, Río El Ocote y Agua Caliente.

Además se encuentran tres subcuencas: Subcuenca Hidrológica de la Presa La Concepción, Subcuenca de los Arroyos Tierra Colorada, El Gavilán y El Capulín, y la Subcuenca Hidrológica del Río Lizarote.

En Tizayuca-Pachuca la hidrología superficial es relativamente simple y de poca consideración, existiendo solo pequeños escurrimientos de carácter torrencial, presentando un drenaje de tipo radial y subdendrítico.

La corriente superficial más importante es el Río de la Avenidas de Pachuca, el cual se origina en la parte norte de la Ciudad capital y desemboca en la Laguna de Zumpango. Este río drena anualmente unos cuantos millones de metros cúbicos y tiene como afluentes al Río Papalote, Arroyo Azoyatla y la Arroyo La Palma.

Las cuatro corrientes superficiales referidas son de origen intermitente, las avenidas extraordinarias poseen corta duración, cabe señalar que el Río Papalote recibe las aguas de las antiguas cuencas cerradas de Apan y Tecocomulco.

El Río San Juan Teotihuacán es el único que presenta un cauce estable y régimen perenne.

3.4 Geomorfología

Dentro de las formas de relieve de origen endógeno, tenemos a las cadenas montañosas, como las Sierras de Tezontlalpan y Pachuca, las elevaciones aisladas, Cerro de los Pitos, y una gran cantidad de volcanes pequeños, mesetas y elevaciones de poca extensión asociadas a derrames de lava.

Hacia los flancos de los cerros, en la Sierra de Pachuca y Tezontlalpan, y en el flanco occidental del Cerro de los Pitos la infiltración se realiza a través de fallas. Además de las fallas, las fracturas se encuentran controlando gran parte de la red fluvial, observándose dos orientaciones preferenciales en el sistema de fracturas, que son NE-SW y NW-SE.

De las formas de origen exógeno, originadas del Pleistoceno al Reciente, se presentan: regueros y barrancos, valles erosivos y circos erosivo-denudatorios. Por otro lado las formas exógenas acumulativas son los depósitos de pie de monte, planicies aluviales y llanuras de inundación.

Las primeras unidades son las más importantes geohidrológicamente, ya que representan el flujo superficial y podría representar elementos constitutivos del sistema de recarga de los acuíferos, mientras que las segundas constituyen las zonas de transición, acumulamiento o recolección primaria del agua subterránea.

De acuerdo con la Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas (AHGZA, 1983) la red fluvial dispuesta en un sistema de corrientes de tipo radial, marcadas por un ramaleo dendrítico en las cabeceras, es propia de las regiones volcánicas.

AHGZA considera que el acuífero se encuentra en un estado de juventud geomorfológica.

4 Geología

El área de estudio queda comprendida dentro de la Provincia Geológica de Eje Neovolcánico, la edad de las formaciones geológicas en esta porción de la Cuenca de México varía desde el Terciario Inferior (Eoceno) hasta el Reciente. Hacia la parte occidental, fuera del área de estudio, se encuentran afloramientos de rocas sedimentarias carbonatadas de la Formación el Doctor, del Cretácico Inferior.

Debido a la diversidad de materiales y a la distribución de estos en la cuenca, se han propiciado gran cantidad de estudios, asignándose un sin fin de nombres formacionales y nomenclaturas de difícil aceptación, siendo el trabajo de Vázquez y Jaimes (1989) el de mayor aceptación.

4.1 Estratigrafía

La base de la secuencia esta representada por derrames de lava, brechas, tobas y conglomerados del Terciario Inferior, alcanzando espesores variables de 0 hasta 200 m, los conglomerados corresponden con el denominado Grupo El Morro; en el Terciario Medio, después de un periodo erosivo, se dan acumulaciones de lavas, brechas y tobas, de composición andesítica, con espesores variables que van de 0 hasta los 800 m, estos materiales corresponden con el Grupo Pachuca.

Al inicio del Terciario Superior, una nueva actividad volcánica arroja lavas andesíticas, tobas y brechas, con espesores de hasta 700 m, en la parte final del Terciario Superior un nuevo periodo volcánico arroja avalanchas ardientes compuestas de tobas, pómez y brechas, cuyos espesores alcanzan los 200 m, estos materiales se encuentran interdigitados con depósitos fluviales de la Formación Tarango.

Finalmente la actividad volcánica más reciente se presenta en el Cuaternario, la cual corresponde con lavas basálticas, lavas andesíticas y cenizas, la cual es denominada Formación El Pino, y se encuentra formando los cerros La Estrella y El Pino; estos materiales se encuentran interestratificados con rellenos fluviales y aluviales, que en su conjunto se encuentran formando la capa superior de la Planicie y alcanzan espesores de hasta 200 m.

4.2 Geología estructural

La zona de estudio se caracteriza por los numerosos aparatos volcánicos, con sus lavas y productos asociados que en edad varían del Terciario Medio al Cuaternario.

De acuerdo al trabajo de Vázquez-Jaimes de 1989, existen varios periodos de actividad volcánica de tipo intermedio que se registran para el Terciario y otro más joven en el Cuaternario, de carácter básico.

En cuanto a estructuras provocadas por fallas y fracturas solo se mencionan las fallas localizadas en los flancos de los cerros, en la Sierra de Pachuca y Tezontlalpan, y en el flanco occidental del

Cerro de los Pitos, y las fracturas que se encuentran controlando gran parte de la red fluvial, observándose dos orientaciones preferenciales en el sistema de estas, que son NE-SW y NW-SE.

4.3. Geología del subsuelo

En el estudio de 1991, se reportan en el subsuelo tres zonas con características hidrogeológicas diferentes:

Zona I. Entre Tizayuca y Jesús María: en esta zona la estructura en el subsuelo tiene un arreglo sub-horizontal, y se encuentra constituido por capas de sedimentos volcanoclásticos y lacustres, asociados con intercalaciones de materiales lávicos, correspondiendo con la unidad Hidrogeológica Volcánica Superior. Como base de esta unidad tenemos a los 300 m, una capa impermeable de naturaleza arcillosa.

Zona II. A la altura de Vicente Guerrero: corresponde a una zona de transición entre los depósitos de la unidad de la zona I y la unidad rocosa más al noreste. En la parte inferior se encuentran cuerpos de gravas y arcillas consideradas como depósitos de talud, los cuales se encuentran subyaciendo a un derrame volcánico y suprayaciendo se encuentran materiales semejantes a la unidad anterior. Hacia las porciones más profundas de esta unidad se encuentran andesitas y dacitas.

Zona III. Entre Zapotlán de Juárez y San Pedro Huaquilpan: en el subsuelo se encuentra una estructura rocosa de origen ígneo extrusivo de composición andesítica, correspondientes a los materiales volcánicos del Mioceno.

5 Hidrogeología

5.1 Tipo de Acuífero

La secuencia Oligo-Miocénica forma parte de la unidad hidrogeológica denominada Volcánicos Inferiores del Terciario, que esta representada por materiales riolíticos, con algo de material dacítico y andesítico intercalado, hacia la cima se presenta un predominio de materiales andesíticos; esta unidad puede dividirse en dos unidades:

- La unidad basal esta representada por los materiales riolíticos, donde el fracturamiento es moderado, al cual se le atribuye una permeabilidad baja.
- La unidad superior corresponde con los materiales andesíticos, con intenso fracturamiento, asociada con brechas volcánicas poco consolidadas y tobas arenosas, de grano grueso y bastante alteradas, por lo que se considera tienen una buena permeabilidad, constituyen el principal acuífero profundo.

Sobre la unidad anterior descansa una secuencia de materiales basálticos del Terciario, la cual es considerada dentro de la unidad geohidrológica denominada Volcánicos Superiores del Terciario. Dentro de esta unidad se incluye a la secuencia de basaltos, brechas y tobas intercalada con materiales piroclásticos finos y sedimentos lacustres, que probablemente correspondan con la segunda actividad volcánica del Terciario; de acuerdo con la estructura que presentan se consideran altamente permeables.

Finalmente sobre esta última secuencia tenemos arenas, arcillas y tobas poco permeables del Cuaternario-Reciente, además de derrames de lava intercalados por tobas, comúnmente drenadas pero con buena permeabilidad; estos materiales constituyen la unidad hidrogeológica del Cuaternario. Localmente constituyen acuíferos subordinados de baja capacidad productora.

De acuerdo a los materiales que conforman el valle, se considera que el acuífero de Cuautitlán-Pachuca es de tipo semiconfinado.

5.2 Parámetros hidráulicos

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación de 3 pruebas de bombeo, en pozos ubicados en la parte sur del Valle de Cuautitlán.

Los valores de transmisividad fluctúan entre 4864.32 y 7110.72 m²/día para los rellenos lacustres, y 8873.28 m²/día para la escoria basáltica. Las conductividades hidráulicas son en general del orden de 8640 a 8.64×10^{-4} m/día considerándose este valor como representativo del acuífero.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, este valor se obtuvo de la multiplicación del espesor del acuífero (140 m) por la constante 3.3×10^{-6} , resultando un valor de 0.000462.

5.3 Piezometría

El análisis piezométrico contempla el procesamiento e interpretación de los niveles estáticos del año de 1984 y de los estudios obtenidos con motivo de la actualización geohidrológica de para el mes de julio 1991.

5.3.1 Profundidad del nivel estático

Con la información piezométrica correspondiente a julio de 1991, se elaboró el plano de curvas de igual profundidad del nivel estático, que se considera representativo de las condiciones actuales. El esquema piezométrico para este año muestra que a en algunas zonas del valle el nivel se recupera con respecto a los años anteriores, mientras que en otras zonas el nivel se ve afectado.

En la porción noreste del valle el nivel estático varía entre los 100 y 50 m, en la parte central varía entre los 100 y 120 m, mientras que en el extremo sur el nivel estático varía entre 65 y 120 m de profundidad, figura 3. GRAVAMEX reporta una profundidad del nivel estático de 109.22 m para el año de 1999.

5.3.2 Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación piezométrica muestra que, el agua del subsuelo, desde el punto de vista regional, se desplaza del norte hacia el sur, interpretándose que las sierras que delimitan la cuenca, actúan como zonas de recarga de los acuíferos alojados en el subsuelo del valle, por otra parte se observa que, el bombeo de los pozos de los sistemas de Tizayuca y Téllez provocaron un cono de abatimiento definido por la equipotencial 2230 msnm. Otras zonas de abatimiento se encuentran en los alrededores de Tizayuca, donde la densidad de obras se encuentra bastante concentrada. Finalmente se estiman recargas laterales, procedentes de la sierra enclavada en el límite occidental del valle.

5.3.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático del acuífero, correspondiente al período julio de 1984 a julio de 1991, presenta abatimientos generalizados. Los descensos más significativos, son el orden de 10 m, y corresponden al área de influencia del bombeo de los pozos de los sistemas Téllez y Tizayuca, en tanto que hacia su periferia disminuyen hasta 2 m. Los abatimientos en la parte noreste andan alrededor de 25 m, mientras que en el extremo sur del área de estudio el nivel se abate entre 5 y 15 m, finalmente en la porción centro-meridional, los abatimientos son de 2 y 10m, figura 5. De acuerdo con el estudio elaborado por GRAVAMEX (1999) el abatimiento medio anual para el periodo de 1972 a 1998 es de 2.1 m/año.

6 Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo

El censo de aprovechamientos hidráulicos subterráneos de 1990-1991, reportado por GRAVAMEX, 1999, reveló la existencia de 1038 aprovechamientos, de los cuales 386 son utilizados para fines agrícolas, 371 público urbano, 96 doméstico, 77 pecuario, 73 industrial, 18 comercial y servicios, 9 recreativo y 8 en la generación de energía eléctrica; con los cuales, se explota un volumen del orden de 483.328084 Mm³/año.

Del volumen extraído 52.620979 Mm³/año es utilizado para fines agrícolas, 400.408743 Mm³/año es para uso público urbano, 4.02 Mm³/año para uso doméstico, 13.969999 Mm³/año para uso industrial, 3.473262 Mm³/año para uso pecuario, 1.087092 Mm³/año para uso recreativo, 2.574092 Mm³/año para uso comercial o servicios y los restantes 5.173915 Mm³/año se utilizan en la generación de energía eléctrica.

7 Balance de aguas subterráneas

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 2,850 km². A partir de la configuración de elevación del nivel estático del año de 1993, se trazó la red de flujo y área de balance (GRAVAMEX, 1999).

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots \dots \dots (1)$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa, al cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica, representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots \dots \dots (2) \\ \text{en la unidad hidrogeológica}$$

Más específicamente la ecuación queda como sigue:

$$[E_h + 1_1 (\text{Volumen lluvia}) + 1_2 (\text{Uso público urbano}) + 1_3 (\text{Usos agrícola} + \text{otros})] - \\ [S_h + Q_{\text{base}} + \text{Manantiales} + \text{Evapotranspiración} + \text{Extracción}] = \\ V_d S = \Delta A \dots \dots \dots (3)$$

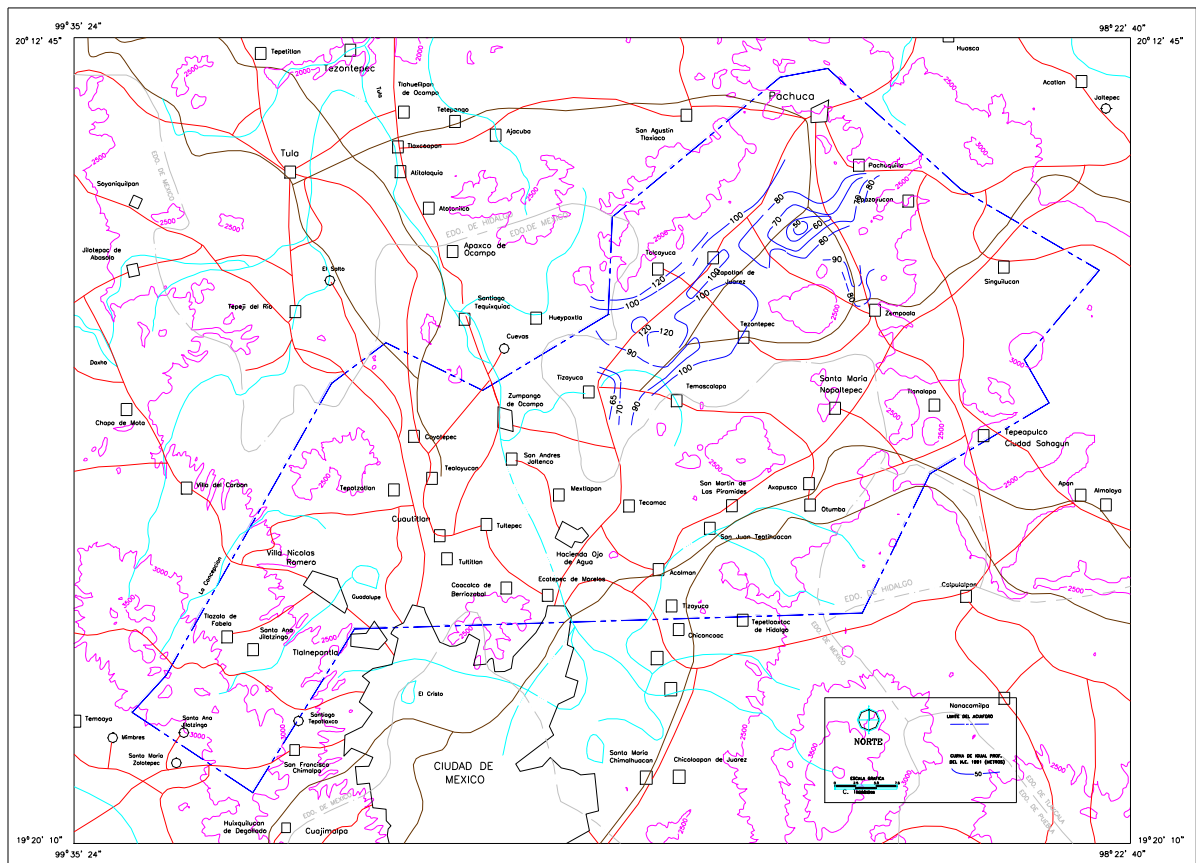


Figura 3. Profundidad del nivel estático 1991.

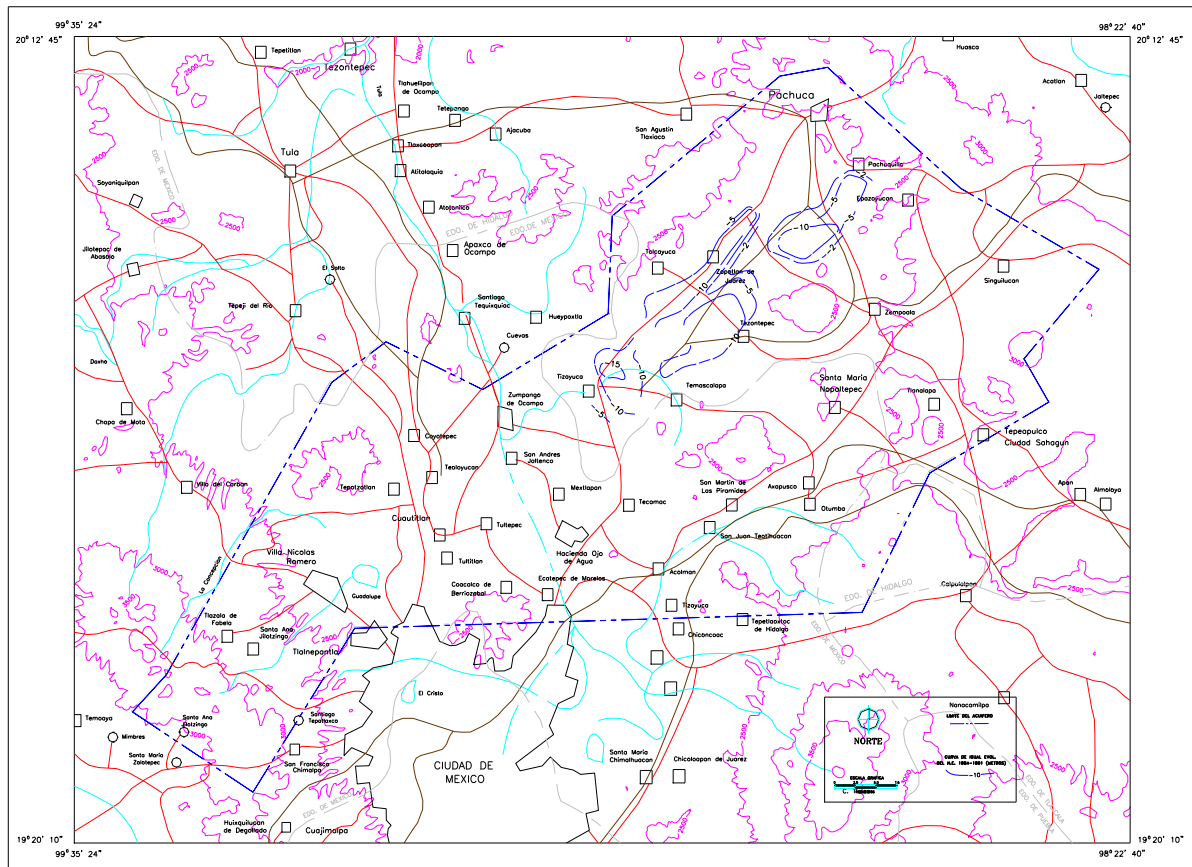


Figura 5. Evolución del nivel estático 1984-1991.

7.1 Entradas

La recarga total esta constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida, esta última es por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

7.1.1 Recarga natural

La recarga natural del acuífero corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia y recarga horizontal proveniente de las zonas de recarga. Para este acuífero la recarga natural se consideraron las entradas por flujo horizontal, resultando un volumen de 1.2 Mm³/año, el cual es aportado por el acuífero de Texcoco, y un volumen de 132 Mm³/año, por recarga de agua de lluvia.

7.1.2 Recarga inducida

Se desconocen áreas y láminas de riego, por lo que también se desconoce el volumen agua utilizado para este caso, hecho que no permite calcular la infiltración por este concepto.

7.1.3 Flujo horizontal

El cálculo de entradas por flujo horizontal (Eh), se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático de los años 1993, 1995 y 1997, obteniéndose un promedio (GRAVAMEX, 1999), y a la transmisividad obtenida a través de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;

T = transmisividad;

B = ancho de la celda;

i = gradiente hidráulico

El gasto obtenido en un total de 19 celdas de entrada consideradas, fue de 69.7 Mm³/año.

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

No se considera evapotranspiración del acuífero debido a que los niveles se encuentran por debajo de los 10 m de profundidad (GRAVAMEX, 1999).

7.2.2 Descargas naturales

Debido a que es una cuenca cerrada no se estiman perdidas por descargas naturales, ya que toda el agua que cae en ella se queda en forma natural en la misma zona y el volumen de extracción por manantiales es muy pequeño, por lo cual no se considera una descarga representativa para este análisis.

7.2.3 Bombeo

El volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos resultó de 483.328 Mm³/año.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

En este acuífero de acuerdo a la piezometría, particularmente al plano de curvas de igual elevación del nivel estático, se concluye que no se presentan volúmenes que salen del sistema por flujo horizontal.

7.3 Cambio de almacenamiento

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se planteo la siguiente ecuación:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$

De la ecuación anterior se obtuvo un cambio de almacenamiento de -280.428 Mm³/año.

8 Disponibilidad

Para el cálculo de la disponibilidad de las aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece que se determina por medio de la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de aguas subterráneas(5) concesionado e inscrito en el REPDA
---	---	---------------------------	---	-------------------------------	---	--

8.1 Recarga total media anual

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 este caso es de 202.9 Mm³/año.

8.2 Descarga natural comprometida

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 caso de la zona en estudio la descarga natural comprometida es nula.

8.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002 es de 243,393,762 m³/año.

8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA, que de acuerdo con la expresión (5) resultó ser de -40,493,762 m³/año.

$$-40,493,762 = 202,900,000 - 0.0 - 243,393,762$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada Acuífero Cuautitlán-Pachuca, Estado de México e Hidalgo.

BIBLIOGRAFIA

Estudio de Actualización Geohidrológica para el Valle de Pachuca – Tizayuca, Estado de Hidalgo. Tomo I. THORSA. Comisión Nacional del Agua. 1991.

Estudio de Actualización Geohidrológica para el Valle de Pachuca – Tizayuca, Estado de Hidalgo. Tomo II. THORSA. Comisión Nacional del Agua. 1991.

Soporte Técnico de la Disponibilidad del Acuífero de Cuautitlán – Tizayuca – Pachuca. GRAVAMEX.1999.

Tabla 2. Balance de aguas subterráneas.

Área total del acuífero				km ²	4,421
RECARGA TOTAL					
		Área del valle		km ²	2,850
		Coeficiente			0.11
		Precipitación		mm/año	578.55
Recarga natural por lluvia				Mm ³ /año	132.00
Entradas naturales				Mm ³ /año	70.9
Total de recarga natural				Mm ³ /año	202.9
	Público Urbano			Mm ³ /año	
Recarga inducida P.U.				Mm ³ /año	
	Agrícola más otros			Mm ³ /año	
Recarga inducida Agrícola + otros				Mm ³ /año	
RECARGA TOTAL				Mm ³ /año	202.9
DESCARGA TOTAL					
Salidas horizontales				Mm ³ /año	0
Caudal base				Mm ³ /año	0
Evapotranspiración				Mm ³ /año	0
	Extracción total			Mm ³ /año	483.328
	Manantiales comprometidos			Mm ³ /año	0
	Agrícola			Mm ³ /año	52.6209
	Público Urbano			Mm ³ /año	400.4087
	Doméstico			Mm ³ /año	4.020
	Industrial			Mm ³ /año	13.9699
	Otros			Mm ³ /año	12.3081
DESCARGA TOTAL				Mm ³ /año	483.328
Cambio de almacenamiento				Mm ³ /año	-280.428
Coeficiente de almacenamiento					0.000462
Volumen drenado (2.1 m/año)				Mm ³ /año	5985
AGUA SUPERFICIAL					
Agrícola					
Público Urbano					
Industrial					