

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Cuauhtémoc (0805),
Estado de Chihuahua***

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.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE CHIHUAHUA							
0805	CUAUHTÉMOC	115.2	0.0	312.239507	183.2	0.000000	-197.039507

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 0805 CUAUHEMOC

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	107	11	41.7	28	55	4.8
2	107	9	37.7	28	58	45.4
3	106	52	9.4	28	55	54.4
4	106	51	7.9	29	0	20.7
5	106	41	26.4	28	58	39.2
6	106	35	19.3	29	0	32.4
7	106	34	42.0	28	56	22.2
8	106	34	39.0	28	51	32.4
9	106	46	2.1	28	40	7.3
10	106	38	11.4	28	35	29.2
11	106	32	48.9	28	24	59.0
12	106	40	0.1	28	26	8.1
13	106	49	58.6	28	21	57.9
14	106	49	48.3	28	14	37.1
15	106	59	54.2	28	18	37.2
16	107	3	27.2	28	22	16.4
17	107	5	9.1	28	29	28.2
18	107	4	58.0	28	33	25.9
19	107	7	32.2	28	36	27.1
20	107	8	45.3	28	38	48.1
21	107	10	17.3	28	40	46.1
1	107	11	41.7	28	55	4.8



Comisión Nacional del Agua

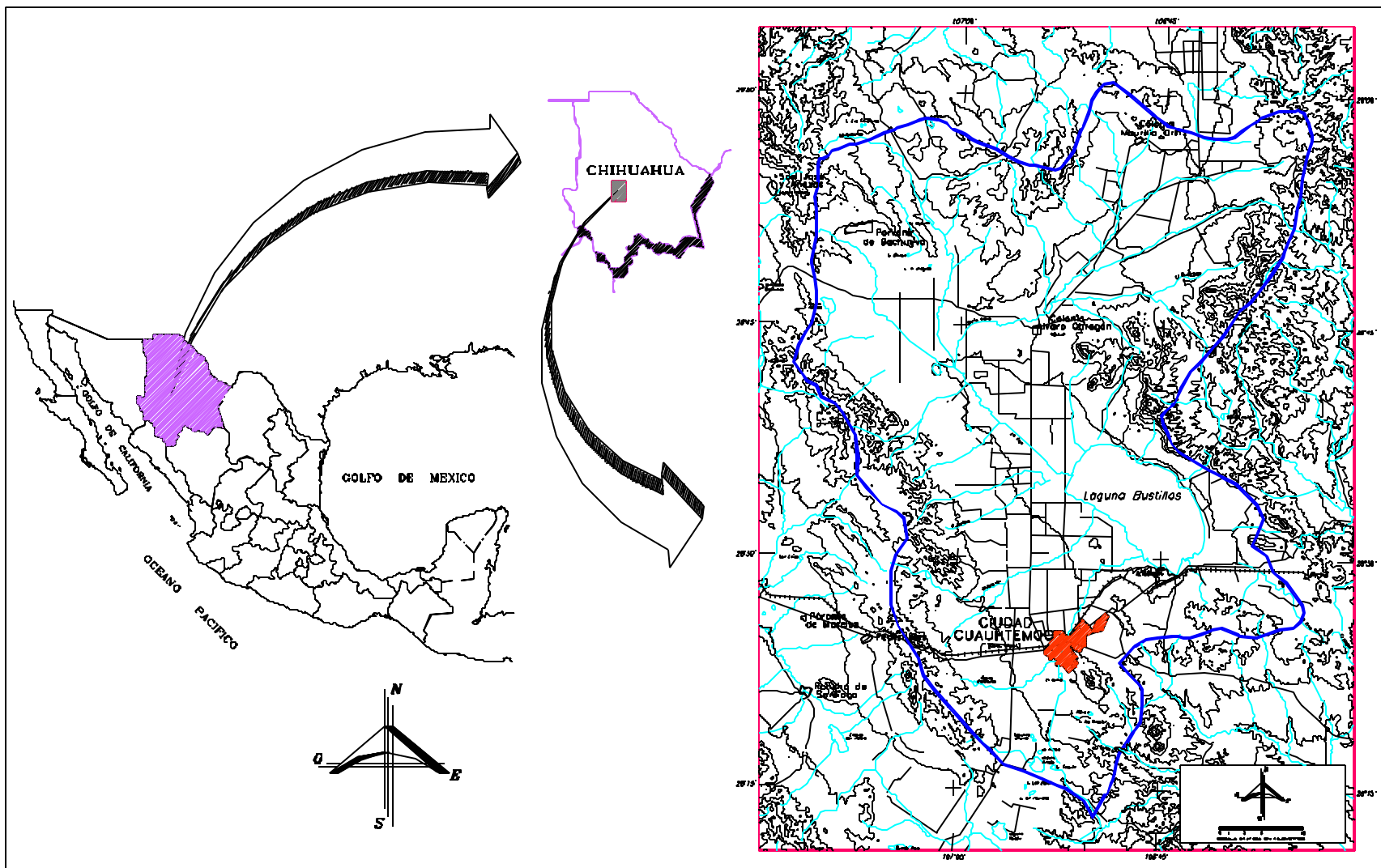
Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO DE
CUAUHTÉMOC, ESTADO DE CHIHUAHUA***

México, D.F., 30 de abril de 2002



Acuífero Cuauhtémoc, Chih.

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO DE CUAUHTÉMOC, ESTADO DE CHIHUAHUA

Contenido

1 Generalidades

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Localización, extensión y límites de la unidad hidrogeológica
- 1.3 División municipal

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 Sub región
 - 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 Extracción de aguas subterráneas
 - 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 o inscrito en el REPDA
- 8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

Figuras

- Figura 1 Acuífero Cuauhtémoc, Chih.
- Figura 2 Profundidad del nivel estático
- Figura 3 Elevación del nivel estático
- Figura 4 Evolución del nivel estático 1988-1997

Tablas

- Tabla 1 Vértices de la poligonal del acuífero de Cuauhtémoc, Chih
- Tabla 2 Balance de aguas subterráneas

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO CUAUH-TÉMOC, ESTADO DE CHIHUAHUA

1 Generalidades

1.1 Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CNA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana (NOM) “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales” (NOM de Disponibilidad). Esta norma a sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CNA.

Con la publicación de la LAN en diciembre de 1992, se establece que los aprovechamientos de agua subterránea deberán de estar inscritos en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDPA), estimándose a esa fecha un universo de 140,000 pozos existentes en todo el país, de los cuales, unos 42,600 contaban con registro nacional y otros 10,000 tenían algún tipo de autorización. A finales de 1995 se emitieron Decretos Presidenciales que otorgan facilidades a los usuarios para inscribir sus pozos en el REPDA, que se prorrogaron hasta finales de 1999, con lo que se ha logrado captar a casi todo el universo de usuarios. Uno de los instrumentos que le dará certidumbre jurídica a los actos de autoridad de la CNA, es la publicación en el DOF de los datos de disponibilidad de agua subterránea en cada uno de los acuíferos del país y la publicación de los estudios técnicos correspondientes. Esta publicación deberá estar dentro de los lineamientos que establece la NOM de disponibilidad.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDA.

Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA). La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.2 Localización, extensión y límites de la unidad hidrogeológica

El acuífero Cuauhtémoc se localiza en la porción centro-occidental del estado de Chihuahua. El acuífero cubre una superficie 3 390 km² ⁽¹⁾, que representa cerca del 1.3% del territorio estatal. Geográficamente, la zona de estudio se localiza dentro de la poligonal cuyos vértices se enlistan a continuación:

Tabla 1 Vértices de la poligonal del acuífero de Cuauhtémoc, Chih. ⁽²⁾

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	107	10	48.0	28	56	52.8	
2	107	2	45.6	28	59	42.0	
3	106	53	13.2	28	56	24.0	
4	106	49	4.8	29	2	13.2	
5	106	41	27.6	28	58	40.8	
6	106	35	20.4	29	0	32.4	
7	106	34	40.8	28	57	36.0	
8	106	45	7.2	28	40	37.2	
9	106	34	26.4	28	28	1.2	
10	106	48	0.0	28	24	32.4	
11	106	49	48.0	28	14	38.4	
12	107	2	20.4	28	23	34.8	
13	107	4	55.2	28	28	8.4	
14	107	4	1.2	28	33	46.8	
15	107	7	33.6	28	36	28.8	
16	107	10	19.2	28	41	31.2	
1	107	10	48.0	28	56	52.8	

1.3 División municipal

La zona ocupa prácticamente la totalidad del municipio de Cuauhtémoc (85%), y de manera parcial a los municipios de Guerrero, Bachiniva, Carichi, Cusihuiriachi y Riva Palacio, como se puede ver en la figura 1.

La zona se encuentra bien comunicada en general, la vía más importante es la carretera No. 16 que comunica a esta zona con la capital del estado, así como con Casas Grandes, La Junta, y finalmente Ciudad Juárez. A la altura del km 90 entronca una carretera que comunica a Colonia Anáhuac, además se cuenta con la carretera que comunica a Ciudad Cuauhtémoc con la Colonia Álvaro Obregón y posteriormente con Bachiniva; entroncan con esta vía varias carreteras estatales que comunican los diversos poblados de la región.

¹ Catalogo de Acuíferos, CNA, 2000

² Gerencia de Aguas Subterráneas, CNA. 2000

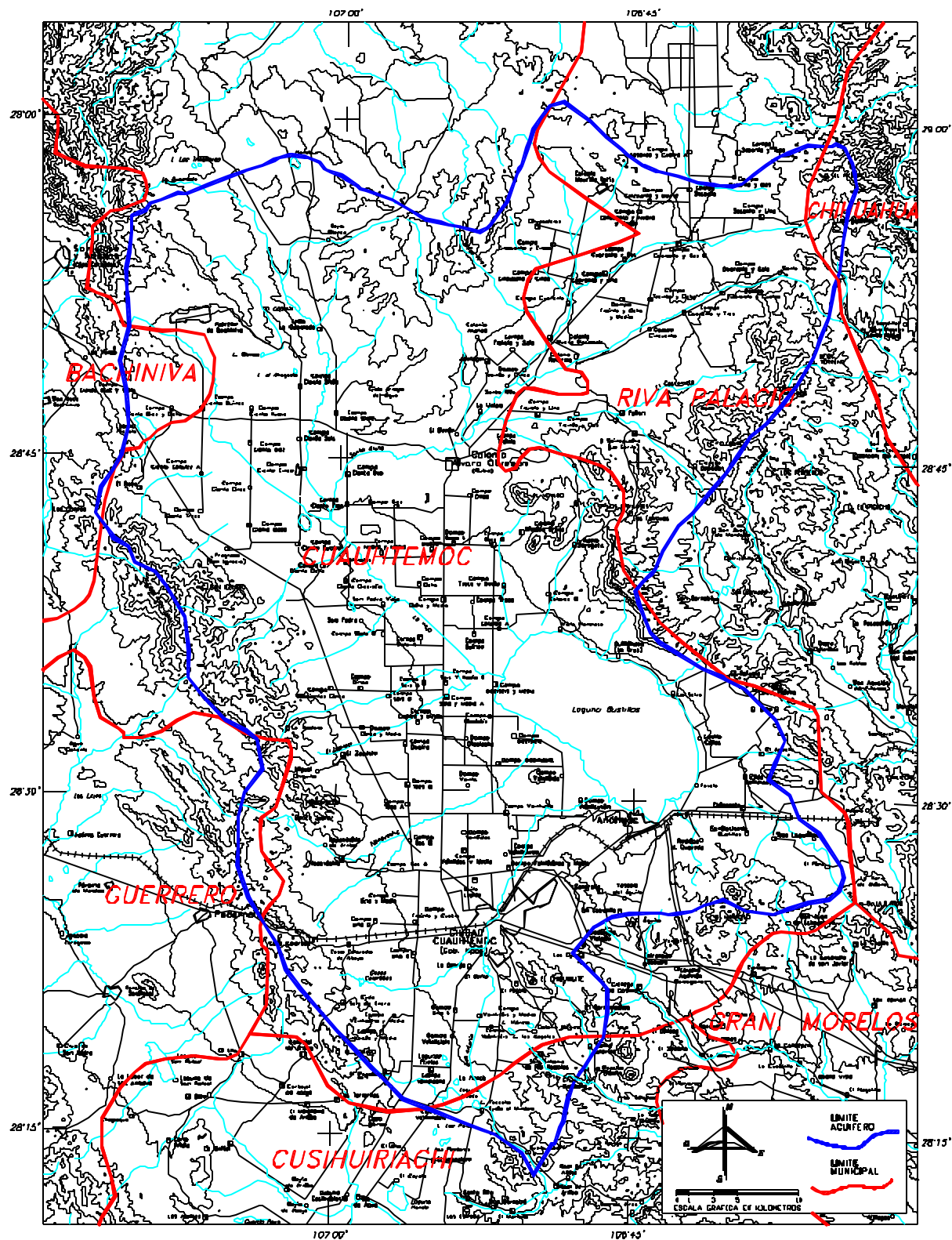


Figura 1 Acuífero de Cuauhtémoc, Chih.³

³ Catálogo de acuíferos. CNA. 2000.

El Ferrocarril es otra vía importante en las actividades comerciales, que atraviesa el área en el mismo sentido que la carretera federal. Los principales centros de población están concentrados en la cabecera municipal de Ciudad Cuauhtémoc, existiendo además, poblaciones importantes como son: Anáhuac, Alvaro Obregón y Porvenir de Bachiniva ubicadas, las dos primeras, en la porción sur del municipio y las tres restantes al noroeste de la zona de estudio; también existen una serie de pequeños poblados en la parte del municipio de Riva Palacio.

La actividad de mayor importancia en la región es la agricultura, siguiéndole la ganadería y la industrialización de lácteos. Los principales cultivos son el maíz, trigo, cebada, avena, pastizal, hortalizas, manzana y otros frutales. La actividad agrícola y ganadera se presenta prácticamente en toda la zona de estudio. En los campos menonitas localizados a lo largo de la carretera Cuauhtémoc - Colonia Álvaro Obregón existe un desarrollo agrícola y comercial importante representado por la venta de maquinaria e insumos agrícolas, almacenes generales, fábricas de muebles, lecherías, etc.

En Ciudad Cuauhtémoc se desarrolla ampliamente la actividad comercial, la industria maquiladora transnacional, la industria nacional con producción a mediana escala de implementos agrícolas y la producción a gran escala de manzana.

En la colonia Anáhuac está establecida la empresa Celulosa de Chihuahua S.A. que ocupa prácticamente al total de la población económicamente activa de esta localidad.

2 Estudios técnicos realizados con anterioridad

En 1991 se realizó, por parte de CNA ⁽⁴⁾ un estudio de actualización geohidrológica y de modelación, que fue contratado por la necesidad de contar con los elementos técnicos para tomar decisiones ante los evidentes síntomas de una sobre explotación del sistema. El área de estudio cubrió una extensión aproximada de 7 000 km², comprendiendo a los valles de Cuauhtémoc y Laguna de Mexicanos.

Como resultado importante señala que, de continuar la extracción actual, la evolución del nivel estático tendrá valores negativos de 5 a 10 m de 1990 al año 2000, lo cual representaría un abatimiento regional en el valle de la Laguna de Bustillos de 15 a 20 m. En la zona de estudio, la extracción total, del orden de 63 millones de metros cúbicos al año (Mm³/año) ⁽⁵⁾, proviene del almacenamiento subterráneo.

Dentro de los resultados del modelo de manejo se presenta un esquema de bombeo “óptimo” de acuerdo con programación lineal, estableciendo para los valles de Bustillos y Reforma una extracción de 105 Mm³/año contra los 136 Mm³/año que actualmente se extraen, y para el Valle de Laguna de Mexicanos, una extracción de 25 Mm³/año contra los 9 Mm³/año que actualmente se bombean.

⁴ “Actualización del estudio geohidrológico, analizar las políticas de operación y elaborar el proyecto de manejo del acuífero del valle de Cuauhtémoc, Chih.”. Anáhuac ingenieros, consultores y supervisores S.A. de C.V., para la gerencia regional norte y la subdirección general de administración del agua de la comisión nacional del agua, para la Gerencia Regional Norte y la Subdirección General de Administración del Agua, CNA contrato CNA-GRN-90-009. 1991

⁵ “Mm³/año”, millones de metros cúbicos al año.

El Programa Hidráulico de Gran Visión de Chihuahua (⁶), plantea definir las metas, estrategias y los programas que permitan la explotación, el uso, distribución, control, administración y preservación de los recursos hidráulicos, para lograr integralmente un aprovechamiento planeado y un desarrollo sustentable. Los objetivos son identificar en cantidad, calidad y espacio los recursos disponibles en el Estado, analizando los patrones de utilización del agua para contar con un uso más eficiente.

El planteamiento se realizó a partir del análisis de la evolución y situación actual dentro de la disponibilidad. No se realizó ningún trabajo de campo para validar la información disponible. Puede utilizarse como estudio preliminar para futuros estudios hidráulicos en el estado de Chihuahua.

En 1982 se realizó otro estudio (⁷), que cubrió la zona de Cuauhtémoc y la Laguna de Mexicanos. El objetivo fue conocer el grado de explotación de los acuíferos, determinar el comportamiento y evolución de los niveles del agua, evaluar la potencialidad del acuífero para determinar los volúmenes disponibles de agua y finalmente definir la calidad del agua y recomendar zonas con buena calidad, con el fin de planear su aprovechamiento racional.

El estudio más reciente se realizó en 1998 (⁸), contempla la modelación del acuífero y el diseño de la red de monitoreo las conclusiones más relevantes fueron, los resultados de la verificación y actualización del censo de aprovechamientos realizados como parte de los trabajos de este estudio, consignan un total de 4 611 obras destinadas al aprovechamiento del agua subterránea en el valle de Cuauhtémoc, con una extracción de 183.2 Mm³/año para principios de 1997

En los últimos años se han observado descensos considerables de la superficie piezométrica, correspondiendo los mayores a la porción central del valle, donde en el período de 1988 a 1997 se observan abatimientos de hasta 25 metros.

Las cuantificaciones globales de recarga que se tienen están entre 131.23 y 114.31 Mm³/año y corresponden a condiciones iniciales previas a la explotación de agua subterránea en la zona del Valle de Cuauhtémoc. La descarga natural en condiciones iniciales compuesta por la evapotranspiración debió ser de la misma magnitud que la recarga ya que se presentaban niveles someros en una amplia región próxima a la laguna.

3 Fisiografía

3.1 Provincias fisiográficas

De acuerdo a la clasificación de las provincias fisiográficas realizada por INEGI (⁹), la zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica de Sierra Madre Occidental constituida en su mayor parte por rocas volcánicas del Terciario. De acuerdo a la misma clasificación, el área de estudio queda incluida en dos subprovincias fisiográficas:

⁶ "Programa hidráulico de gran visión del estado de Chihuahua 1996 – 2020", Subdirección General de Programación, CNA.

⁷ "Estudio geohidrológico cuantitativo de la zona laguna de mexicanos, estado de chihuahua", contrato GZA-82-17-PG, 1982. Subdirección de geohidrología y de Zonas Áridas. SARH.

⁸ "Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León". Consultores en Agua Subterránea S.A , contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA.

⁹ Carta Fisiográfica, escala 1:1,000,000; hoja Chihuahua. INEGI

- A** Subprovincia de sierras y llanuras Tarahumaras. Comprende cerca del 80% del área de estudio, desde la parte norte, noroccidental y nororiental, este, oeste, centro y sur del área.
- B** Subprovincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses. Comprende aproximadamente el 13% del total del área de estudio, y cubre el extremo suroccidental, la porción sur y una parte de la porción Suroriental de la zona de estudio.

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 dos tipos de climas: como a continuación se indica: BS_1 wk (x') y BS_1 wk (x), que corresponden a un clima semiseco y templado, con lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.2 % de la precipitación total anual, el primero, y el segundo, la única diferencia que presenta es que el porcentaje de lluvia invernal varía entre 5 y 10.2 (¹⁰).

3.2.1 Temperatura media anual

La temperatura media anual es de 13.2° C; el período caluroso del año es de junio a septiembre, siendo enero el mes más frío.

3.2.2 Precipitación media anual

La precipitación promedio anual según el estudio de 1998 es de 532.3 mm/año (¹¹); para el período 1995-1996 el período de lluvias, en general, es de junio a septiembre, siendo febrero el mes más seco.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media anual es del orden de 3 150.7 mm; el mes con índice mayor de evaporación media es junio, y el de menor corresponde a enero.

3.3 Hidrografía

El área corresponde a una cuenca cerrada de forma irregular; delimitada hacia el oeste y noroeste por el parteaguas que forman las sierras de Pedernales, San Juan, Salitreña Chuchupate; al sur por los cerros, La Bufa y Chichihuite; al oriente por la sierra Azul, los cerros El Venado y Los Gavilanes, y al nororiental por los cerros Banco, Los Hidalgos y Rebote.

3.3.1 Región Hidrológica

La zona de Cuauhtémoc pertenece a la Región Hidrológica No. 34 (¹²) “Cuenas Cerradas del Norte”

3.3.2 Subregión

Cuenas Cerradas del Norte.

¹⁰ Atlas Nacional del Medio Físico, Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981.

¹¹ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León”. Consultores en Agua Subterránea S.A , capítulo 6, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA

¹² Boletín hidrológico No. 33, Cuenas Cerradas del Norte. SRH. 1969.

3.3.3 Cuenca

El área en estudio esta localizada dentro de la cuenca Laguna Bustillos-Mexicanos.

3.3.4 Subcuenca

El área en estudio esta localizada dentro de la cuenca Laguna Bustillos.

La estructura que forman los arroyos que alimentan la Laguna Bustillos es muy simple, pues llegan a ésta formando un modelo de drenaje de tipo radial. Los principales alimentadores de la laguna son: el arroyo de la Quemada, nace en la sierra de Chuchupate, sigue rumbo general sureste hasta llegar a la laguna después de un recorrido total de 65 km aproximadamente. Este arroyo recibe un afluente llamado arroyo de Agua; el arroyo Santa Elena, que escurre de noreste a suroeste y cuenta con dos afluentes: los arroyos El Gato y La Guajolota.

En la región noreste de esta cuenca cerrada existe una zona de numerosas lagunas pequeñas e intermitentes, lo que evidencia la existencia de una zona sensiblemente plana y con drenaje pluvial deficiente.

La Laguna Bustillos recibe otros alimentadores, como el arroyo Bustillos que corre hacia el noreste, y pasa por una pequeña presa existente en el ejido Bustillos. También cuenta con las aportaciones del arroyo San Antonio que fluye de suroeste a noreste, pasa por ciudad Cuauhtémoc y llega a la laguna. El último afluente que puede mencionarse es el arroyo de Nopabechi, de características similares a las del San Antonio; baja hacia el sureste hasta Nopabechi y luego continúa hacia al noreste, rumbo a la laguna, donde generalmente se pierde antes de llegar a ésta.

La laguna tiene una extensión 16 km², 8 km de largo por 2 km de ancho, y una profundidad media de 2.5 m, con una elevación media en su superficie de 1975.5 msnm.

Por lo que respecta a corrientes superficiales que presenten caudal base, no se tienen en el área, las existentes son de carácter intermitente y efímero.

3.4 Geomorfología

Como resultado de la caracterización geomorfológica del área de estudio, se definen seis unidades hidrogeomorfológicas, de las cuales las más relevantes por su extensión son las unidades constituidas por los valles y la zona de transición con las sierras.

En la zona de las sierras la infiltración se realiza a través de fallas, fracturas y diaclasas; en los valles, ocurre a través de los espacios abiertos entre la granulometría que los constituyen.

Las zonas norte y occidental presentan características de permeabilidad baja a media, propiamente hablando de las elevaciones montañosas, estas áreas funcionan como zonas de recarga pero el agua de las precipitaciones en las partes altas adquieren alta velocidad debido a lo accidentado del terreno no permitiendo la infiltración al subsuelo, por lo general los arroyos conducen el caudal hacia las partes bajas, donde en el camino se va realizando la tarea de infiltración.

Las zonas con mayor potencial en la recarga natural son sin duda los valles, debido al tipo de materiales que los constituyen.

4 Geología

El área de estudio queda comprendida dentro de la Provincia Geológica de Sierra Madre Occidental, cuya columna geológica comprende un sustrato basal prevolcánico y un grueso paquete de rocas ígneas pertenecientes al intervalo Cretácico-Oligoceno, que a su vez se dividen en dos grandes secuencias denominadas: Complejo Volcánico Inferior, constituido principalmente por rocas andesíticas que tienen un espesor arriba de los 3 km y que por lo general se encuentran alteradas y basculadas, y la Serie Volcánica Superior que está compuesta por una secuencia de ignimbritas pseudoestratificadas dispuestas en la parte alta de la Altiplanicie a lo largo de toda la provincia y que excede el 1.5 km de espesor.

4.1 Estratigrafía

La estratigrafía regional para la cuenca de Chihuahua, se encuentra constituida por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, sedimentarias marinas y continentales, existiendo también algunos afloramientos de rocas vulcanosedimentarias. Las unidades que constituyen el basamento, están constituidas por anfibolitas intrusionadas por unidades graníticas que en ocasiones forman pegmatitas.

Los afloramientos de las unidades litológicas van del Mesozoico Inferior al Reciente, representadas, de la más antigua a la más joven, por un pequeño afloramiento de rocas marinas del Cretácico Inferior, cubiertas por rocas ígneas que van del Oligoceno al Plioceno; entre las sedimentarias del terciario y del cuaternario inferior tuvieron lugar los depósitos conglomeráticos y areniscas y conglomerados que finalmente son cubiertos por las rocas sedimentarias del cuaternario tales como los depósitos lacustres, de inundación, eólicos, fluviales y aluviales.

4.2 Geología estructural

El marco tectónico-estructural (¹³) que se observa en el área de estudio se originó al final de la Orogenia Laramide, de carácter distensivo y de edad Mio-Pliocénica, representado por los desplazamientos norte-sur, lo cual originó un sistema de fosas, pilares en rocas volcánicas que presentan pseudoestratificación horizontal y ligeramente basculadas al este: El evento estuvo acompañado de una intensa actividad volcánica que se relaciona con la subducción de la Placa Farallón y la apertura del Golfo de California.

En el área de estudio se pueden observar cuatro sistemas de fallas que afectan la secuencia volcánica. El sistema principal está representado por fallas con rumbo NW - SE con variación de 15° a 35° C, provocando la formación de fosas tectónicas en escalón. Entre estas fallas se encuentra la que delimita la sierra de San Bernabé en la cuenca de la Laguna de Bustillos, por el extremo sureste de la laguna; hacia el otro extremo se aprecian otras fallas de tipo normal, constituyendo el otro límite de la fosa tectónica.

Otro sistema secundario con rumbo noreste-suroeste, se origina muy posiblemente como resultado del esfuerzo principal, causando fracturamiento intenso sobre las unidades volcánicas que al parecer se asocian con el enriquecimiento mineral en la zona.

¹³ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León". Consultores en Agua Subterránea S.A , capítulo 3, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA

Otro sistema con rumbo norte-sur, se relaciona muy cercanamente con la actividad que originó la provincia de Sierras y Cuencas, fuera del área, es el que establece el control estructural.

El cuarto sistema que se ha definido involucra a las fracturas y fallas con movimiento circular, propiciadas por otros sistemas ya existentes, las direcciones de los esfuerzos y la naturaleza de las unidades.

4.3 Geología del subsuelo

De manera general y a nivel de superficie, en el área de estudio se presentan bloques montañosos que constituyen pilares y fosas tectónicas delimitadas por fallas.

En el caso de la geología del subsuelo, en el mismo estudio, se menciona que la estructura del subsuelo es una fosa tectónica con una serie de fallas normales que origina un sistema de bloques en escalón, progresando hacia la porción central del valle. También se menciona que hacia los bordes del valle, los sedimentos presentan una granulometría gruesa (cantos, gravas), de la misma manera que hacia la base del valle los materiales afectados por el intemperismo y erosión fueron depositados.

Los depósitos conglomeráticos presentan un espesor que varía de 20 a 100 m, y de acuerdo a los cortes litológicos de los pozos, rellenan la cuenca y constituyen una importante unidad geohidrológica, donde han penetrado las perforaciones obteniendo caudales medios a altos, dependiendo del contenido de arcillas.

Se describen dos secciones que cubren todo el valle, la primera va del extremo noroeste del área de estudio, sensiblemente con dirección sureste. La sección permite identificar que la unidad que constituye el basamento corresponde a una secuencia denominada tobas riolíticas que involucra a un conjunto de rocas volcánicas como tobas e ignimbritas. En el Distrito minero de Cusihiurichic localizado al sur del área de estudio alcanzado entre los 100 y 200 m de espesor. Esta unidad se extiende por todo el subsuelo de la zona de estudio, en algunas zonas alternando con las tobas riolíticas.

Sobreyaciendo a las tobas riolíticas y subyaciendo al conglomerado se encuentra una unidad definida como andesitas basálticas. Los conglomerados mencionados tienen espesores por lo general entre 8 y 110 m, aunque se detectaron espesores mayores a los 300 m.

Depósitos de material granular como los depósitos de inundación, eólicos y lacustres; se encuentran depositados al este de la sección, alrededor de la Laguna de Bustillos, éstos presentan conductividad hidráulica y porosidad de medias a altas.

Otra sección mencionada en el estudio con dirección norte-sur, se encuentra constituida por las mismas unidades geológicas que las descritas en la sección anterior. Que en la zona central del valle aparecen sedimentos finos que señalan las zonas de inundación, los depósitos eólicos y los lacustres.

5 Hidrogeología

5.1 Tipo de Acuífero

Con los resultados de la geología del subsuelo (¹⁴), la interpretación hidrogeomorfológica, hidrología superficial y la interpretación de pruebas de bombeo, entre otros, fue posible definir un sistema acuífero heterogéneo de tipo libre y los materiales en los cuales tiene lugar el movimiento del agua subterránea es medio granular y medio fracturado.

El medio granular está constituido por materiales del Terciario y Cuaternario no consolidados que rellenan la fosa tectónica del Valle de Cuauhtémoc, por lo tanto la principal estructura del subsuelo consiste de una fosa tectónica con una serie de estructuras de fallas normales afectando el valle a manera de bloques en escalón y progresando hacia la porción central del valle.

La fosa fue rellenada por un medio granular cuyo espesor varía de unos cuantos metros hasta los 350 metros aproximadamente, los mayores espesores se presentan al centro del valle alcanzando los 300 m, mientras los espesores menores se observan en las proximidades de las elevaciones que lo bordean. El espesor promedio oscila entre los 200 y 250 metros

El medio fracturado esta formado por rocas volcánicas consolidadas del Terciario

Las elevaciones que limitan el valle constituyen un medio donde tiene lugar el movimiento del agua subterránea, por lo que no forman fronteras impermeables, ya que a través de ellas se establece la recarga a la zona en explotación; en algunas partes son medios a través de las cuales se establece la descarga.

Las andesitas y basaltos, por su composición y poco fracturamiento se caracterizan por su baja permeabilidad, por lo que su presencia, limitada fundamentalmente a la parte norte, constituye fronteras al paso del agua subterránea.

La recarga natural del acuífero proviene de la precipitación pluvial que se realiza sobre toda el área de estudio, la cual se infiltra y alimenta por flujo subterráneo horizontal al acuífero, y la inducida fundamentalmente por retornos del riego.

En condiciones naturales, la descarga debió de efectuarse a través de la Laguna Bustillos, por evapotranspiración y por una salida que salía al sur. En la actualidad se realiza de manera artificial por bombeo de pozos y norias y evaporación de la laguna directa.

5.2 Parámetros hidráulicos

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación de 16 pruebas de bombeo de corta duración en etapa de abatimiento, y en menor proporción en etapa de recuperación, las cuales fueron realizadas durante el estudio efectuado en 1991 y reinterpretadas en el año 1998.

¹⁴ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León”. Consultores en Agua Subterránea S.A , capítulo 4, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA

Los valores de transmisividad fluctúan entre 6 y 418 m²/día, y las conductividades hidráulicas son en general del orden de 2 m/día presentándose en algunos pozos valores muy por encima de esta cifra.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, tomando en cuenta el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, el valor resultó de 0.029, y el acuífero se consideró como libre.

5.3 Piezometría

Los primeros datos relativos a la posición del nivel del agua correspondieron al año de 1976, posteriormente la construcción de nuevos aprovechamientos permitió contar con mayor información, una red del orden de 127 pozos piloto, que en los últimos años se han reducido a unos 80 pozos.

5.3.1 Profundidad del nivel estático

Con la información piezométrica correspondiente a 1997, se elaboró el plano de curvas de igual profundidad del nivel estático, que se considera representativo de las condiciones actuales, figura 2. Las profundidades en la parte central y alrededor de la Laguna Bustillos son del orden de 10 a 30 metros; hacia el noroeste de la zona se presentan de 40 a 60m; al oeste de la Laguna Bustillos son del orden de 30 a 60m, existiendo valores hasta de 90 m al pie de la Sierra San Juan; hacia el suroeste de la laguna mencionada los valores se incrementan hasta profundidades de 50m, alcanzando en las inmediaciones de la población de Cuauhtémoc valores de 70 a 80 m

5.3.2 Elevación del nivel estático

En cuanto a la forma general de las configuraciones de elevación de los niveles estáticos, se puede decir que son un esquema muy similar, con las variaciones lógicas que se van teniendo como consecuencia del incremento de la extracción del agua subterránea a través del bombeo. De acuerdo a la información del año de 1997 se observa que el flujo preferencial de agua subterránea se presenta de las sierras hacia el valle, convergiendo hacia la parte suroeste de la Laguna Bustillos y norte del poblado de Cuauhtémoc; es importante señalar que antiguamente el agua afloraba en esa laguna pero por motivos de explotación a través de bombeos esa situación cambió, presentándose actualmente la convergencia del flujo hacia el suroeste de ella, como se indicó, figura 3.

5.3.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático del acuífero, correspondiente al período 1988-1997, presenta abatimientos generalizados. Los descensos mayores se registran en la porciones bajas del valle con valores del orden de -20 a -25 m (-2.2 a -2.8 m/año); en las inmediaciones del poblado de Cuauhtémoc existen descensos de los niveles entre -10 y -25m (-1.1y 2.8 m/año) y en los alrededores de la Laguna Bustillos los abatimientos son del orden de -15.0m (-1.7); estos abatimientos han sido provocados por la excesiva extracción de agua del almacenamiento del acuífero; bajo estas condiciones, el ritmo de abatimiento medio anual para este período es de -2.0 metros, valores que se presentan en la figura 4.

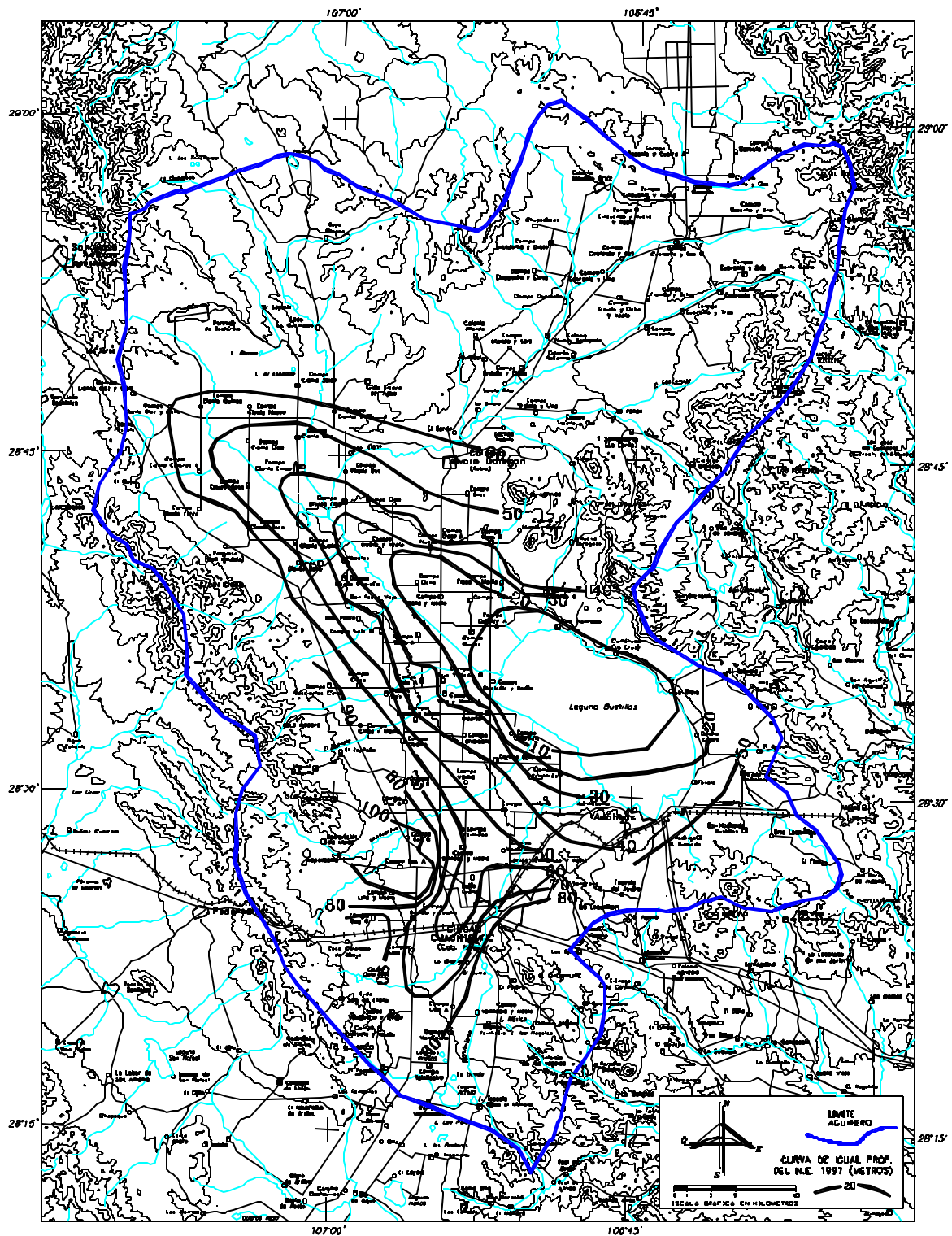


Figura 2 Profundidad del nivel estático 1997 ⁽¹⁵⁾

¹⁵ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León". Consultores en Agua Subterránea S.A., capítulo 4, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA.

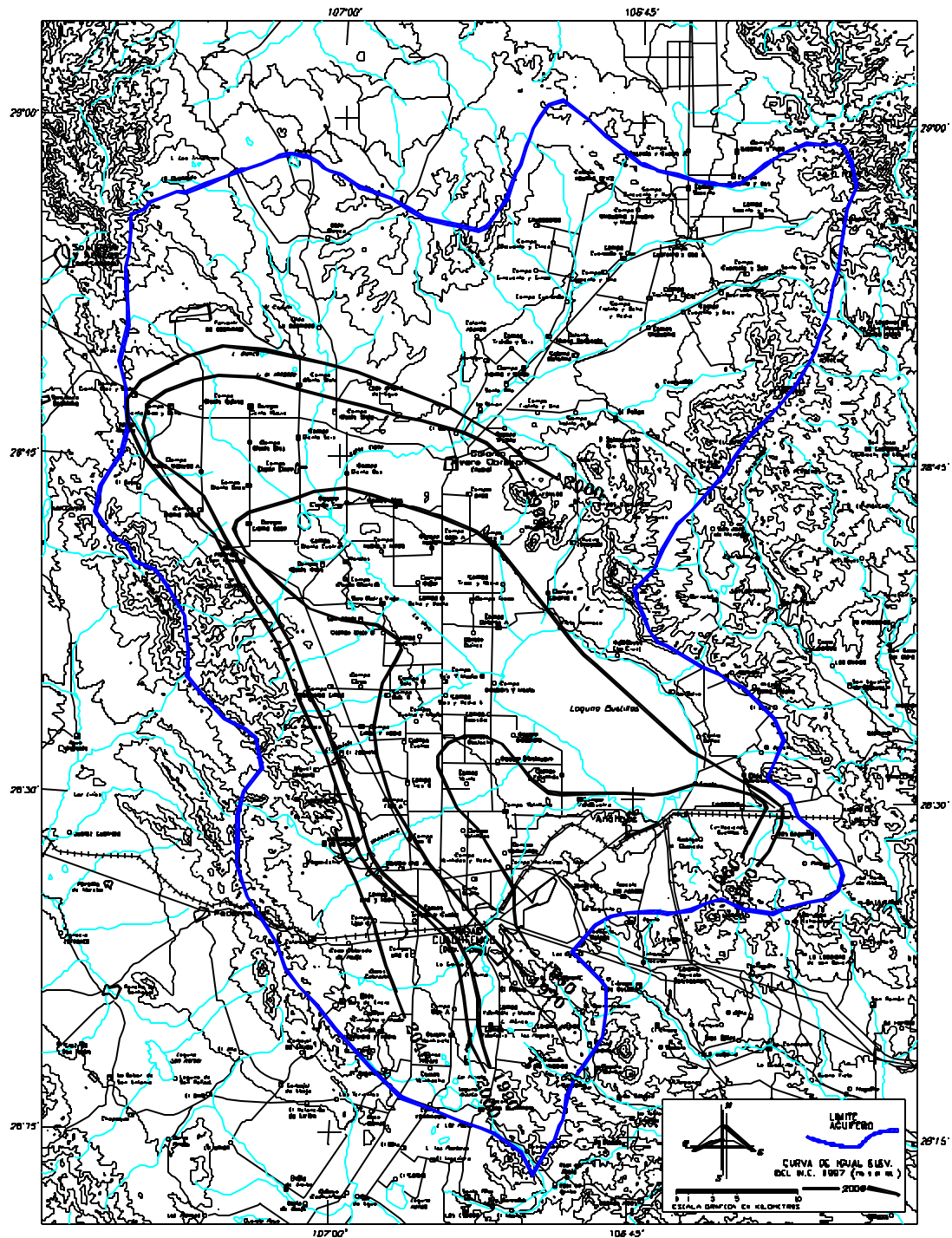


Figura 3 Elevación del nivel estático msnm ⁽¹⁶⁾

¹⁶ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León”. Consultores en Agua Subterránea S.A., capítulo 4, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA.

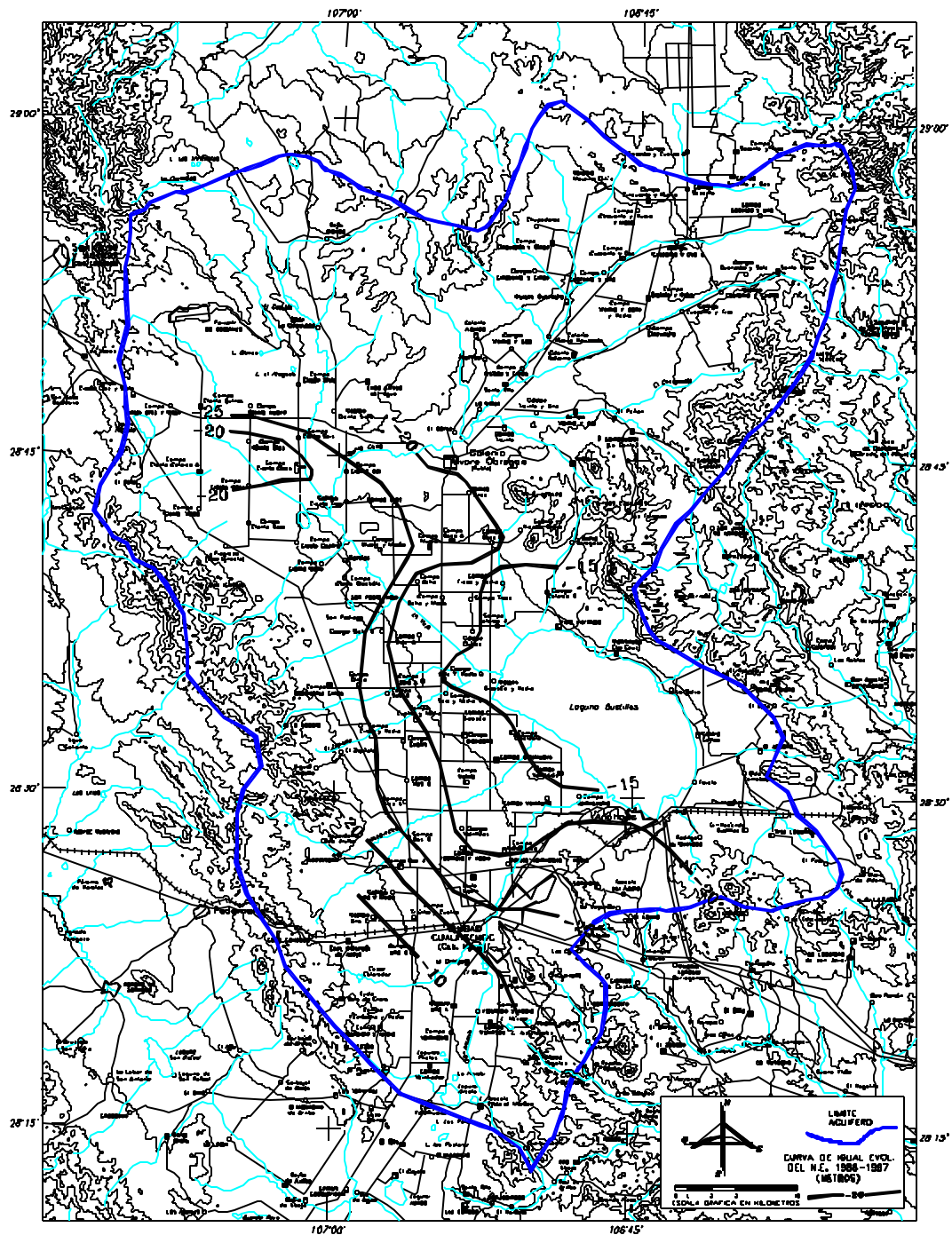


Figura 4 Evolución nivel estático m 1988-1997 ⁽¹⁷⁾

¹⁷ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León". Consultores en Agua Subterránea S.A., capítulo 4, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA

6 Censo de aprovechamientos e hidrometría del bombeo

El censo de aprovechamientos hidráulicos subterráneos, reportado ⁽¹⁸⁾, reveló la existencia de 4611 aprovechamientos, de los cuales 161 son inactivos. De los aprovechamientos activos 1 139 son utilizados para fines agrícolas, 3 283 doméstico y público urbano y 28 son utilizados en actividades industriales; con los cuales, se explotaba un volumen del orden de 183.2 Mm³/año.

Del volumen extraído total, 117.0 Mm³/año (64 %) es utilizado para fines agrícolas, 47.2 Mm³/año (26%) es para uso público urbano y doméstico, y los restantes 19 Mm³/año (10%) se utilizan en la industria.

7 Balance de aguas subterráneas

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 1 300 km². A partir de la configuración de elevación del nivel estático del año de 1997, se trazó la red de flujo y área de balance.

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:

$$\begin{array}{rcll} \text{Recarga} & - & \text{Descarga} & = \text{Cambio de almacenamiento} \dots\dots\dots (2 \\ \text{total} & & \text{total} & \text{en la unidad hidrogeológica} \end{array}$$

Más específicamente la ecuación queda como sigue:

$$\begin{aligned} & [E_h + I_1 (\text{Volumen lluvia}) + I_2 (\text{Uso público urbano}) + I_3 (\text{Usos agrícola + otros})] - \\ & \quad [\text{Sh} + Q_{\text{base}} + \text{Manantiales} + \text{Evapotranspiración} + \text{Extracción}] = \\ & \quad V_d S = \Delta A \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

7.1 Entradas

La recarga total esta constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida 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. La recarga por lluvia es de 41.5 Mm³/año, al considerar un área de 1 300 km², una precipitación en el año de 1995-1996 de 532 mm/año y un coeficiente de recarga 0.06.

¹⁸ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León”. Consultores en Agua Subterránea S.A., capítulo 4, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA

Respecto a la recarga por infiltración de agua de escurrimientos superficiales naturales, no existen corrientes importantes y permanentes que se generen en la cuenca o que provengan de otras cuencas vecinas y que contribuyan a la recarga del acuífero.

7.1.2 Recarga inducida

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área se calculó multiplicando al volumen aplicado al riego (117.0 Mm³/año) por un coeficiente de infiltración (I₂), de 0.17, resultando un volumen de recarga de 19.9 Mm³/año.

Al mismo tiempo el uso público urbano origina una recarga al acuífero por pérdidas en redes de distribución básicamente, el cual se calculó aplicando un coeficiente de 0.06 (I₃) al volumen usado de 47.2 Mm³/año, resultando una recarga inducida de 2.8 Mm³/año

7.1.3 Flujo horizontal

De acuerdo a la geología y la piezometría existentes, no se tienen entradas por flujos provenientes de acuíferos contiguos, el agua que fluye de las sierras y que entra al acuífero en forma horizontal por el pie de las mismas proviene de las precipitaciones ocurridas en las partes altas; en este sentido una parte del volumen de lluvia que recarga al acuífero se calculó como una entrada horizontal (Eh).

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 del año 1997, 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 18 celdas de entrada considerada fue de 51.0 Mm³/año.

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración

Aunque los niveles se encuentran a profundidades mayores o iguales a 10 m, de todas maneras existen volúmenes que se evapotranspiran, el valor obtenido resultó de 8.8 Mm³/año (¹⁹).

¹⁹ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León”. Consultores en Agua Subterránea S.A., capítulo 6, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA

7.2.2 Descargas naturales

En la zona no existen manantiales ni corriente con gastos base, ya que el acuífero se ubica en una cuenca cerrada.

7.2.3 Extracción de aguas subterráneas

El volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos resultó de 183.2 Mm³/año.

7.2.4 Flujo 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 de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo de 1988 a 1997, con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático. Determinando la variación de los niveles de 2 m/año, valor que aplicado al área de valle (1300 km²), resulta un volumen drenado (Vd) de 2 600 Mm³/año, lo que aplicado al coeficiente de almacenamiento de 0.0295 (²⁰), resulta un cambio de almacenamiento de -76.8 Mm³/año.

En forma resumida el balance, para el año de 1998, se presenta en la tabla 2, de acuerdo con la expresión (3).

8 Disponibilidad

La disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente (²¹):

$$\begin{array}{l} \text{Disponibilidad media anual} \\ \text{de agua subterránea en una} \\ \text{unidad hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Recarga total} \\ \text{media anual} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Descarga natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Volumen anual de} \\ \text{extracción de agua} \\ \text{subterránea conce-} \\ \text{sionado en el RE-} \\ \text{PDA} \end{array} \dots\dots(5)$$

8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual (Rt) de acuerdo con el balance del inciso anterior resultó de 115.2 Mm³/año, de los cuales corresponden 92.5 Mm³/año como recarga natural y 22.7 Mm³/año como recarga inducida.

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

²⁰ Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Cuauhtémoc, Chihuahua y Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León". Consultores en Agua Subterránea S.A., capítulo 6, contrato GAS-001-PRO98, Gerencia de Aguas subterráneas, CNA

²¹ NOM-011-CNA-2000, que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

la zona en estudio en donde no existen manantiales, ni caudal base, así como tampoco existen salidas de agua subterránea hacia otros acuíferos, como se observa en el plano de curvas de igual elevación del nivel estático, la descarga natural comprometida es nula.

Tabla 2 Balance de aguas subterráneas

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (ACUÍFERO CUAUHTÉMOC, CHIH.)				1997	
Área total del acuífero			km ²	3,390	
RECARGA TOTAL					
Área de valle		I ₁	km ²	1,300	
Coeficiente				0.06	
Precipitación			mm/año	532.0	
Recarga natural por lluvia			Mm ³ /año	41.5	
Entradas horizontales		Eh	Mm ³ /año	51.0	
Total de recarga natural			Mm ³ /año	92.5	
Público Urbano		I ₂		0.06	
Recarga inducida P.U.			Mm ³ /año	2.8	
Agrícola más otros		I ₃		0.17	
Recarga inducida Agrícola + otros			Mm ³ /año	19.9	
RECARGA TOTAL			Rt	Mm ³ /año	115.2
DESCARGA TOTAL					
Salidas horizontales		Sh Q _{base}	Mm ³ /año	0.0	
Caudal base			Mm ³ /año	0.0	
Evapotranspiración			Mm ³ /año	8.8	
4,611	Extracción total		Mm ³ /año	183.2	
	Manantiales comprometido		Mm ³ /año	0.0	
1,139	Agrícola		Mm ³ /año	117.0	
3,283	Público urbano		Mm ³ /año	47.2	
28	Industrial		Mm ³ /año	19.0	
161	Otros		Mm ³ /año	0.0	
DESCARGA TOTAL			Mm ³ /año	192.0	
Cambio de almacenamiento		ΔA	Mm ³ /año	-76.8	
Coeficiente de almacenamiento		S		0.02952	
Volumen drenado (2.00 m/año)		Vd	Mm ³ /año	2,600	

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

De acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero, al 30 de abril de 2002, tiene un volumen de 293,162,332 m³/año.

8.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas de acuerdo la expresión (5), resulta ser de – 177,962,332 m³/año.

$$-177'962,332 = 115'200,000 - 0.0 - 293'162,332$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones, en este sentido, considerando las condiciones geohidrológicas de sobre explotación que predominan en el acuífero de Cuauhtémoc, Chih.