

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Camacho (3221), Estado
de Zacatecas***

*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.**

CDIX		REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"					
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE ZACATECAS							
3221	CAMACHO	3.8	0.0	0.998412	1.0	2.801588	0.000000

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.



Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CAMACHO (3221),
ESTADO DE ZACATECAS**

México, D.F., octubre de 2008

CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	2
	Antecedentes	2
1.1.	Localización	2
1.2.	Situación administrativa del acuífero.....	4
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3.	FISIOGRAFÍA.....	6
3.1.	Provincia fisiográfica	6
3.2.	Clima	6
3.3.	Hidrografía.....	7
3.4.	Geomorfología	7
4.	GEOLOGÍA.....	8
4.1.	Estratigrafía	8
4.2.	Geología estructural	9
4.3.	Geología del subsuelo	10
5.	HIDROGEOLOGÍA	13
5.1.	Tipo de acuífero.....	13
5.2.	Parámetros hidráulicos	14
5.3.	Piezometría	15
5.4.	Comportamiento hidráulico	15
5.4.1.	Profundidad al nivel estático	15
5.4.2.	Elevación del nivel estático	16
5.4.3.	Evolución del nivel estático	17
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	17
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	18
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS	18
7.1.	Entradas	19
7.1.1.	Recarga vertical (Rv)	19
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	20
7.2.	Salidas.....	21
7.2.1.	Bombeo (B)	21
7.2.2.	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	21
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	22
8.	DISPONIBILIDAD	23
8.1.	Recarga total media anual (Rt)	23
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM)	23
8.3.	Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)	23
8.4.	Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).....	24
9.	BIBLIOGRAFIA.....	25

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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

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

1.1. Localización

El acuífero Camacho, definido con la clave 3221 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción norte del Estado de Zacatecas, entre los paralelos 24° 3' y 24° 53' de latitud norte y los meridianos 101° 57' y 102° 43' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 3551 km².

El acuífero colinda con los acuíferos Cedros al noreste, El Cardito al sureste, Guadalupe de las Corrientes al sur, El Palmar al suroeste, dentro del estado de Zacatecas y el acuífero Oriente Aguanaval del estado de Durango al noroeste. (Figura 1).

Geopolíticamente abarca parcialmente los municipios de Mazapil y General Francisco R. Murguía.

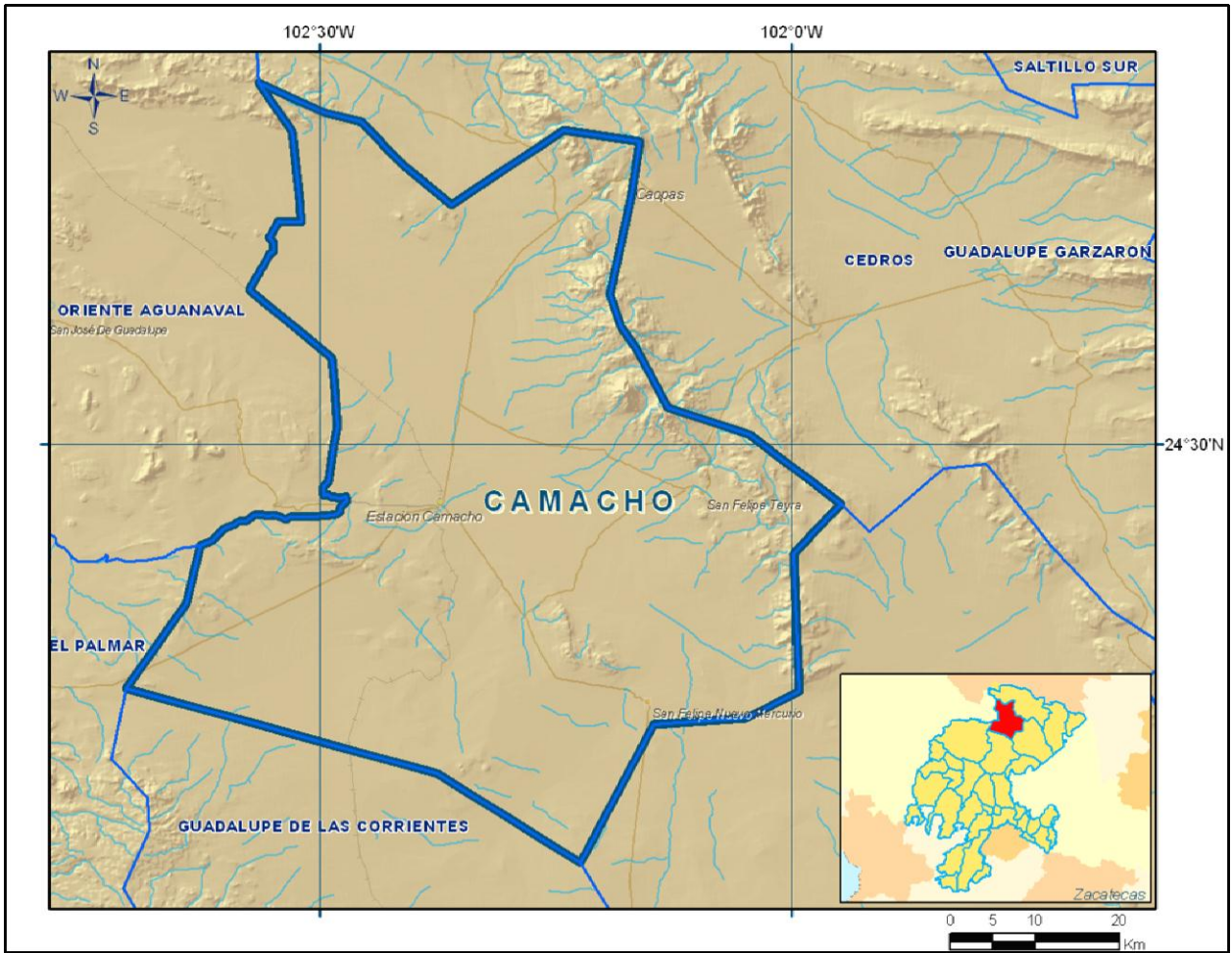


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	29	40.2	24	51	1.5	
2	102	27	22.3	24	50	27.0	
3	102	21	37.5	24	45	13.2	
4	102	14	30.0	24	49	53.2	
5	102	9	40.3	24	49	13.2	
6	102	10	7.9	24	46	4.3	
7	102	10	30.5	24	44	21.3	
8	102	11	33.4	24	39	32.6	
9	102	10	50.7	24	37	25.7	
10	102	9	51.4	24	36	2.9	
11	102	7	54.1	24	32	23.6	
12	102	2	39.7	24	30	34.7	
13	101	56	53.5	24	26	15.4	
14	101	59	55.2	24	23	5.8	
15	101	59	34.4	24	14	20.5	
16	102	2	55.0	24	12	37.5	
17	102	8	49.2	24	12	16.0	
18	102	13	27.0	24	3	28.0	
19	102	22	29.6	24	9	6.8	
20	102	42	17.7	24	14	32.1	
21	102	38	29.6	24	19	56.3	
22	102	37	35.6	24	23	36.6	Del 22 al 23 por el límite estatal
23	102	33	54.5	24	52	55.2	
1	102	29	40.2	24	51	1.5	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Camacho pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte”, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Zacatecas. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas, así como en el resto de los Municipios del Estado de Zacatecas y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las agua del subsuelo en los municipios señalados*” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 8 de mayo de 1988. Esta veda es tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008, los municipios de Mazapil y General Francisco R. Murguía se encuentran dentro de la zona de disponibilidad 7.

El usuario principal del agua es el doméstico. En el acuífero no se localiza distrito de riego alguno, ni tampoco se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

INFORME GENERAL DEL ESTADO DE ZACATECAS, realizado por el Ing. Mario Veytia Barba en 1974, para la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Como parte de sus actividades de campo, se tomaron muestras de agua para análisis fisicoquímicos en aprovechamientos distribuidos en el acuífero. Concluye que al norte del área el agua pertenece a la familia cálcica-sulfatada. Al centro del área domina el agua de tipo sódica-sulfatada; mientras que hacia el sur predominaba el agua sódica- bicarbonatada.

El agua se encuentra sobresaturada de calcita en casi toda el área debido a la gran cantidad de calcio y carbonatos que se encuentran formando las rocas de las sierras, los rellenos del valle o en depósitos evaporíticos o lacustres carbonatados, típicos de esta región.

ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA Y EXPLORACIÓN GEOFÍSICA EN LAS ZONAS MARGINADAS DEL ESTADO DE ZACATECAS, realizado por la empresa EXYCO S.A. en 1990, para la Comisión Nacional del Agua.

Se realizó muestreo de agua subterránea para análisis fisicoquímicos. El promedio de salinidad fue de 2000 ppm de sólidos totales disueltos. De acuerdo a la interpretación hidrogeoquímica, determina que las muestras obtenidas en pozos son representativas de materiales del subsuelo lateralmente conectados que conforman áreas acuíferas y que las norias o pozos someros tienen estrecha relación con agua de reciente infiltración.

Se realizó el censo de aprovechamientos hidráulicos, obteniéndose un total de 107 obras, 40 activas y 67 inactivas. Se detectaron niveles piezométricos poco profundos y zonas de descarga tanto por flujo vertical como horizontal.

Se identificaron y cartografiaron 19 unidades litológicas; estos materiales se integraron en 7 unidades hidrogeológicas.

RESUMEN DE CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS EN LOS ACUÍFEROS DEL ESTADO DE ZACATECAS UBICADOS DENTRO DE LA REGIÓN HIDROLÓGICA ADMINISTRATIVA CUENCAS CENTRALES DEL NORTE, elaborado por la Comisión Nacional del Agua en 1999.

Este estudio proporciona información general de las características geohidrológicas del acuífero: censo de aprovechamientos, piezometría, datos de precipitación, geología y características físico-químicas del agua. El modelo conceptual de funcionamiento del acuífero definido permitió identificar las zonas de recarga y descarga. Por medio del balance de aguas

subterráneas fue posible estimar que la recarga total que recibe el acuífero era del orden de los 14 hm³ anuales.

REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO Y DE CALIDAD DEL AGUA EN LOS ACUÍFEROS VILLA GARCÍA, EL SALVADOR, GUADALUPE GARZARÓN, CAMACHO Y EL CARDITO, ESTADO DE ZACATECAS Y EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS GARCÍA DE LA CADENA, PINO SUAREZ Y CORRALES, ZAC., realizado por Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C. en 2007, para la Comisión Nacional del Agua.

El objetivo del estudio fue actualizar el conocimiento de las redes de flujo subterráneo, profundidad, elevación y evolución de los niveles del agua subterránea en las redes de medición y calidad del agua del acuífero Camacho, estado de Zacatecas, para establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, determinar la recarga media anual del agua subterránea y las componentes de balance hidráulico subterráneo.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), el acuífero se ubica en las provincias fisiográficas “Mesa del Centro” y “Sierra Madre Oriental”. La primera está representada en la zona por la subprovincia “Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande” y se caracteriza por presentar amplias llanuras, pequeñas sierras aisladas y lomeríos. Comprende el 45% de la superficie del acuífero. La segunda provincia fisiográfica está representada por la subprovincia “Sierras Transversales” que se caracteriza por un conjunto de sierras con orientación NW-SE y E-W, que presentan una flexión al N-S. Comprende el 55% restante de la superficie del acuífero.

3.2. Clima

Dentro del área del acuífero se presenta el grupo de climas secos (B). El clima muy seco Semicálido (BWhw) predomina en una franja central con dirección noroeste sureste del acuífero, abarca aproximadamente el 45% de la superficie del acuífero, registra una temperatura media anual de 17.4° C y precipitación media que varía de 240 a 290 mm/año. El clima Semiseco templado con lluvias en verano (BS₁kw) se presenta únicamente en las partes altas de las sierras ubicadas al oriente del acuífero; el clima seco templado con lluvias en

verano (BS_{0kw}) se presenta en las partes altas localizadas al suroeste del acuífero. El porcentaje de precipitación invernal varía entre 5 y 10.2

Para la determinación de las variables que rigen el clima de la región se obtuvieron los datos de los promedios mensuales de temperatura y precipitación para el periodo 1987-2007, provenientes de 11 estaciones climatológicas ubicadas en la zona: Camacho, Caopas, Cedros, Concepción de la Norma, Ejido San Rafael, Gruñidora, Nuevo Mercurio, Nuevo Tampico, Parras, Purísima de Sifuentes y Rancho San Francisco

Con base en estos registros se estimó una temperatura media anual de 17.5° C para la superficie que cubre el acuífero.

El valor de la precipitación media anual obtenido para este periodo es de 295.5 mm/año.

La mayor precipitación se registra en la sierra del noreste con valores de 350 a 380 mm/año, así como en las sierras del suroeste y sur con precipitaciones de hasta 345 mm/año. Los meses más lluviosos son de julio a septiembre.

3.3. Hidrografía

El área del acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica número 37 "El Salado", que se caracteriza porque en su mayor parte de su extensión carece de corrientes superficiales permanentes. Pertenece a la cuenca "Camacho-Gruñidora". Debido al régimen de precipitación tan bajo que se registra en esta zona, los escasos arroyos son de tipo intermitente, perdiéndose los escurrimientos hacia el centro de la zona en donde el material aluvial alcanza los máximos espesores; no existen estaciones hidrométricas ni almacenamientos perennes.

3.4. Geomorfología

El paisaje del relieve dentro del área se caracteriza por la presencia de los siguientes sistemas de topoformas:

Bajadas con lomeríos que se presentan en la porción oeste y suroeste del acuífero.

Bajadas típicas que se extienden en una franja que corre de noroeste a sureste del acuífero.

Llanuras aluviales de piso rocoso o cementado, dispuestas de manera paralela a las bajadas típicas.

Llanuras aluviales salinas dentro de las llanuras aluviales de piso rocoso.

Llanuras desérticas de piso rocoso o cementado que se localizan en la porción suroeste del acuífero.

Lomeríos con bajadas en la porción sur; Lomeríos típicos distribuidos en pequeñas áreas al suroeste y norte del área.

Sierras bajas con lomeríos o plegadas; Sierras complejas con o sin lomeríos, que se presentan en todo el límite oriental del acuífero, desde la parte sur hasta la porción norte.

4. GEOLOGÍA

La columna geológica de la zona, está constituida por rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas intrusivas y volcánicas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Triásico al Cenozoico, distribuidos en la Sierra Madre Occidental, su ocurrencia se indica en la figura 2.

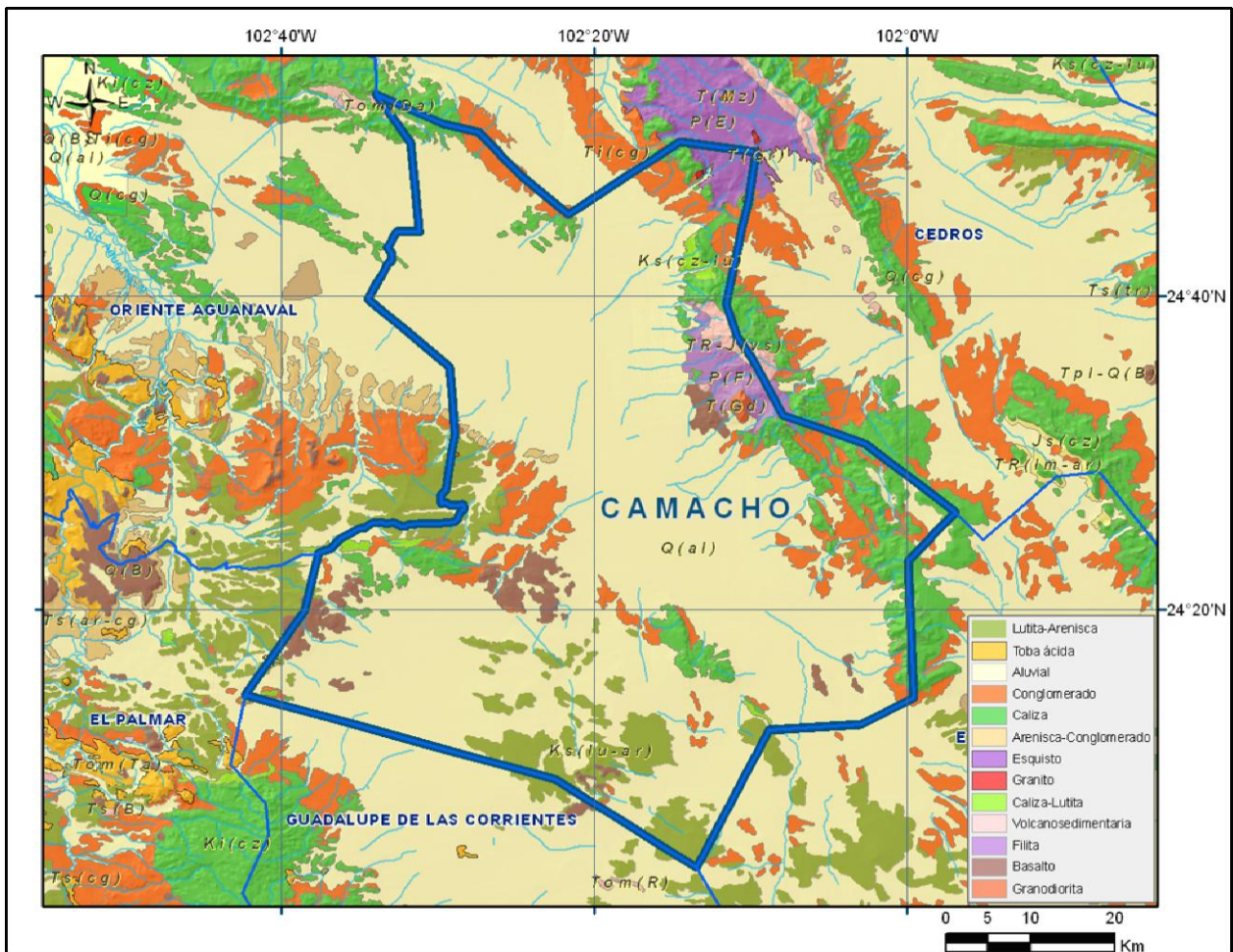


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

A continuación se describen las unidades geológicas que afloran en el área, de la más antigua a la más reciente.

Basamento

Aflora en la porción noreste y este de la zona, litológicamente se encuentra constituido por rocas metavolcánicas y conglomerados, cuya edad corresponde al periodo comprendido entre el Triásico Medio y el Jurásico Inferior.

Jurásico

Se encuentra representado dentro del área por areniscas y calizas del Oxfordiano (Jurásico Superior), cuarcitas y calizas del Oxfordiano y por margas y lutitas del Kimmeridgiano-Tithoniano.

Cretácico

Dentro del área afloran rocas del Cretácico Inferior y Superior, del inferior se presentan calizas y lutitas del Berriasiano-Valanginiano y del Barremiano-Aptiano. Ocurren también calizas y margas del Aptiano, calizas masivas del Albiano, así como calizas y yesos de la misma edad. Son más evidentes los afloramientos de edad Albiano-Cenomaniano representados por calizas masivas y por calizas y dolomías.

El Cretácico Superior está representado por areniscas y lutitas del Turoniano-Coniaciano, por lutitas y calizas así como lutitas y areniscas del Coniaciano-Santoniano. Al suroeste de Boruquillas afloran granitos cuya edad corresponde al Santoniano. Aflora ampliamente el conglomerado oligomítico del Santoniano-Paleoceno, así como la brecha andesítica del Santoniano-Eoceno. También aflora una caliza masiva del Maastrichtiano, y areniscas del Senoniano.

Paleógeno-Neógeno

Se encuentra representado en la zona por rocas ígneas intrusivas ácidas (granitos y granodioritas), así como rocas ígneas extrusivas ácidas e intermedias (riolitas, andesitas y tobas riolíticas). Por lo que respecta a rocas sedimentarias se presentan ampliamente distribuidos conglomerados polimícticos del Eoceno-Oligoceno; así como conglomerados polimícticos del Mioceno. Las rocas ígneas extrusivas se encuentran representadas por basaltos del Mioceno, del Plioceno, Pleistoceno y del Cuaternario que se presentan en la Sierra de Paila.

Por lo que respecta al Holoceno, se presentan ampliamente distribuidos sedimentos aluviales, así como limos y conglomerados polimícticos.

4.2. Geología estructural

La zona se encuentra ubicada en la subprovincia Sierras Transversales, perteneciente a la Sierra Madre Oriental, las cuales tienen características de montañas plegadas, falladas y en ocasiones afectadas por macizos intrusivos y por rocas volcánicas.

Dentro de la zona se pueden distinguir tres grupos de sierras, separadas por amplias llanuras denominadas Bolsones, formados al rellenarse de sedimentos, antiguas depresiones originadas por fallas o por erosión. A partir del oeste, de una manera sucesiva se pueden distinguir las siguientes Sierras y Llanuras: Sierra de Guadalupe Garzarón, Zona del Bolsón de San Carlos o Laguna Jazminal, Zona de Sierras Transversales, Zona del Bolsón de Cedros, Zona de la Sierra de Teyra y Zona del Bolsón de San Simón.

Las sierras presentan características estructurales diferentes: La Sierra de Guadalupe Garzarón, localizada al oriente, corresponde a sierras plegadas que tienen orientación NW-SE. Está afectada por un macizo intrusivo de tipo monzonítico; la parte poniente de ésta sierra está cortada por una falla cuya orientación es la misma que la de la sierra.

En la parte central se localizan las sierras del Carpintero, La Caja, Santa Rosa y Santa Rita, cuyas características estructurales, pertenecen a anticlinales orientados en sentido E-W, separados por pequeñas llanuras, que corresponden a sinclinales rellenos de sedimentos. Las Sierras La Caja y Santa Rosa han sido afectadas por numerosas fallas paralelas al rumbo de las capas, por macizos intrusivos y por derrames volcánicos. Este conjunto de sierras transversales, está limitado al oriente y al poniente por el Bolsón de San Carlos y el Bolsón de Cedros, respectivamente.

La zona de sierras localizada hacia el poniente, está formada por el Cerro de Europa y las Sierras de San Julián, Teyra, Gruñidora, Candelaria y Tanquecillos.

La parte norte de este conjunto de sierras presenta condiciones estructurales bien definidas ya que se trata de un homoclinal con orientación NW-SE, que descansa directamente sobre rocas del basamento; mientras que en la porción sur, las sierras de Gruñidora, Candelaria y Tanquecillos, tienen una estructura geológica complicada, pues los estratos cambian frecuentemente de posición, en respuesta a los plegamientos y al fracturamiento. Todo este conjunto está limitado hacia el oriente por el Bolsón de San Simón.

En general, se considera que los tres conjuntos de sierras mencionadas están limitados por fallas, que solo son evidentes por los cambios morfológicos bruscos y por la posición estructural de las capas que presentan discontinuidades.

4.3. Geología del subsuelo

Se cuenta con dos secciones geológicas que atraviesan la zona construidas a partir de pozos exploratorios de PEMEX, estudios geológico-mineros, registros geofísicos, etc. La primera se localiza al norte y tiene una dirección NE-SW, mientras que la segunda corta la zona por el centro y tiene una dirección NE-SW (Figura 3). En estas secciones que alcanzan una profundidad de 2000 m, se observa la presencia de las siguientes formaciones:

Aluvión del Cuaternario. Tiene un espesor medio de 120 m. Este material junto con los conglomerados polimícticos son los que funcionan como acuífero, de los que se extrae la mayor parte del agua subterránea dentro de la zona del acuífero.

Basalto. Del Plioceno-Pleistoceno, forman masas de 100 m de espesor.

Formación Ahuichila. Tienen un espesor medio de 300 m. Este material junto con el aluvión forma el actual acuífero en explotación dentro de la zona.

Granodiorita - Diorita. Forma masas de hasta 2360 m de espesor, funciona como frontera impermeable del acuífero Camacho al este.

Formación Caracol. A profundidad forma sinclinales con un espesor medio de 1300 m.

Formación Indidura. En el subsuelo forma anticlinales y sinclinales, estas rocas sedimentarias tienen un espesor medio de 350 m.

Formación Cuesta del Cura. Se encuentra por debajo de la Formación Indidura, formando un paquete de 530 m de espesor.

Formación Cupido - Taraises. Infrayace discordantemente a la Formación Cuesta del Cura y tiene un espesor medio de 400 m.

Formación Zuloaga. En el subsuelo se localiza por debajo de la Formación La Caja. Tiene un espesor de 300 m.

Formación Nazas - Rodeo. A profundidad forma masas de hasta 1570 m de espesor, funciona como frontera impermeable del acuífero Camacho al este.

Formación Taray. Esta formación, tiene un espesor mayor a los 900 m, cubre de manera discordante a las granodioritas del Terciario.

Formación Caopas. A profundidad forma masas de hasta 1880 m de espesor sirve de frontera impermeable al acuífero Camacho al este.

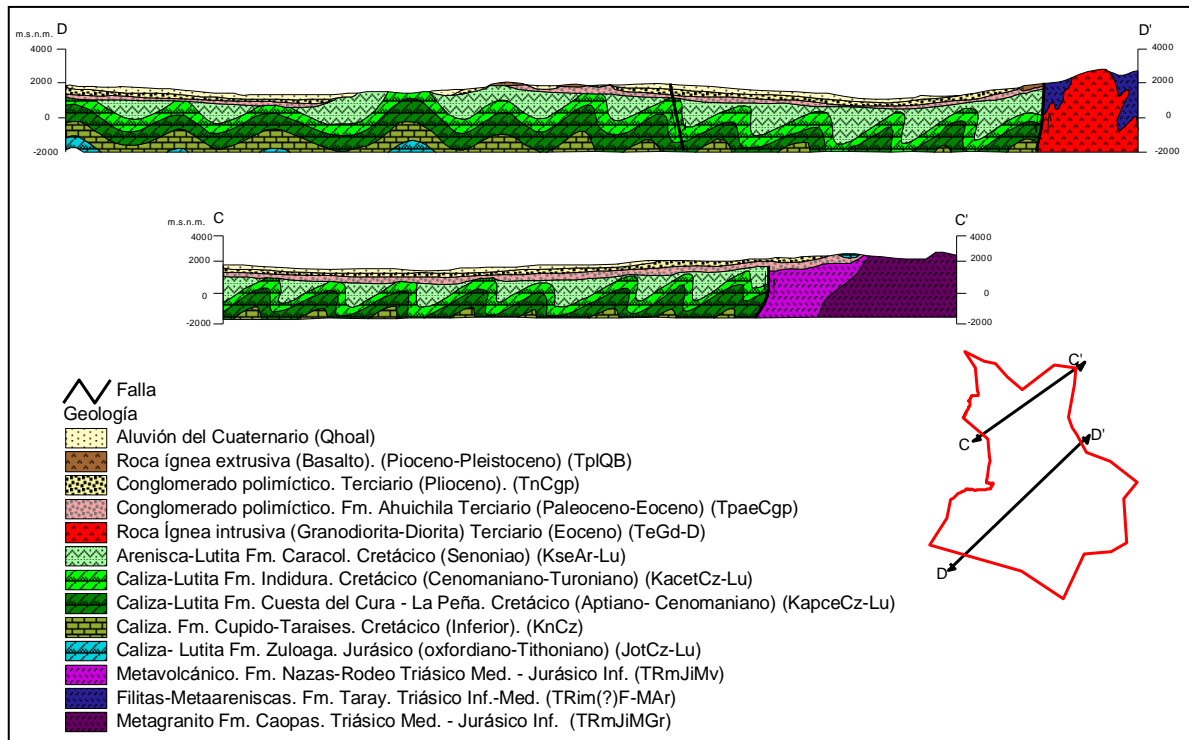


Figura. 3. Secciones geol3gicas de la zona

De acuerdo con esta informaci3n, podemos afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su parte superior, por los dep3sitos granulares y los conglomerados pale3geno-ne3genos que rellenan los valles; en tanto que en la parte inferior est3 conformado por areniscas y lutitas que constituyen la Formaci3n Caracol, cuando presentan fracturamiento; y por basaltos.

El predominio de sedimentos granulares y conglomerados polim3cticos, de granulometr3a fina, le confieren baja permeabilidad al acuífero, dado que los bajos caudales que aporta s3lo son suficientes para el abastecimiento de las necesidades del uso dom3stico-abrevadero. Las mismas rocas de la Formaci3n Caracol, cuando se encuentran inalteradas, conforman el basamento del acuífero que actualmente se explota.

El espesor de este acuífero puede alcanzar los 300 m. Debajo de este paquete de rocas existe un acuífero alojado en rocas calizas que puede presentar condiciones de semiconfinamiento debido a la presencia de lutitas. Las fronteras al flujo subterráneo est3n constituidas por las rocas 3neas intrusivas (granitos-dioritas), metam3rficas (filitas y meta areniscas) y sedimentarias (lutitas y calizas arcillosas), de baja permeabilidad.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible reconocer siete unidades hidrogeológicas, (dos de ellas consideradas prácticamente impermeables o acuífugos) que en conjunto definen un sistema acuífero que se comporta como libre y eventualmente semiconfinado, con interconexión hidráulica entre las distintas unidades permeables.

Unidad aluvial del Cuaternario. Constituida por los sedimentos clásticos (aluvión) que rellenan la mayor parte del graben que se ha formado entre las dos fallas normales localizadas en la porción central del acuífero, las cuales tienen dirección noroeste-sureste y el espesor medio de éstos materiales de 94 m. De acuerdo al rendimiento de los aprovechamientos de agua subterránea se considera de baja productividad (2.4 l/s). Por debajo de estos materiales se localiza un paquete de conglomerados de 196 m de espesor medio y existe continuidad hidráulica entre estos dos materiales.

Está delimitada al este por sierras conformadas por calizas arcillosas de las formaciones Indidura, Cuesta del Cura y Zuloaga-La Caja; por rocas ígneas intrusivas (granodioritas y monzonitas) y por rocas metamórficas (filitas y meta granitos). Hacia el oeste se presentan algunas lomas conformadas por conglomerados de la Formación Ahuichila, areniscas-lutitas de la Formación Caracol y algunos lomeríos calcáreo-arcillosos de las formaciones Cuesta del Cura e Indidura. Este graben se extiende hacia el norte y hacia el sur con dirección noroeste – sureste. Funciona como zona de recarga y al mismo tiempo de descarga

Unidad en conglomerados. Esta unidad aflora en las porciones noreste y sureste de la zona. Está constituido por conglomerados polimícticos del Paleógeno-Neógeno (Formación Ahuichila) que rellenan la cuenca. Los bajos caudales que aporta le confieren una baja productividad (menor a 1 l/s); tiene un espesor medio de 189 m. Por debajo de estos materiales se encuentra un paquete plegado de calizas arcillosas de la Formación Indidura y de las calizas de la Formación Cupido, pero no existe continuidad hidráulica entre estos materiales y el conglomerado.

Esta unidad tiene continuidad hidráulica vertical con el acuífero aluvial, la recarga se efectúa en las zonas en donde afloran estos conglomerados y el agua circula hacia el centro del graben, en donde queda almacenada.

Unidad en areniscas y lutitas. Estas rocas sedimentarias afloran en la porción suroeste de la zona y pertenecen a la Formación Caracol. Hacia la planicie se encuentran cubiertas por los conglomerados polimícticos del Terciario de la Formación Ahuichila; a mayor profundidad forma lentes de mediana a baja productividad. En el subsuelo se localiza a profundidades que varían entre 150 y 550 m. El agua que circula en ellas se infiltra a través de fracturas y poros.

Unidad en basaltos. Estas rocas volcánicas del Pleistoceno afloran de manera aislada e irregular en la porción sureste y centro oeste del acuífero. Hacia la planicie se encuentran cubiertas por los materiales aluviales del Holoceno; forman cuñas acuíferas de baja productividad (3 l/s), el espesor de esta unidad acuífera es de 30 m en promedio.

El agua que circula en ellos se infiltra a través de fracturas, hasta alcanzar la zona saturada del acuífero en donde se almacena.

Unidad en calizas arcillosas. Estas rocas sedimentarias afloran en forma de anticlinales que conforman algunas sierras. Hacia la planicie se encuentran cubiertas por las areniscas arcillosas de la Formación Caracol, los conglomerados del Paleógeno-Neógeno y el aluvión del Cuaternario; forma acuitardos de baja productividad y se encuentran a profundidades de 1220 m a 1375 m en promedio, el espesor medio de la unidad es de 940 m.

El agua circula a través de fracturas de disolución y poros, moviéndose paralelamente a los planos de estratificación hasta almacenarse en los sinclinales que forman los plegamientos a profundidad. Se considera como acuitardo por la gran cantidad de material arcilloso que contiene, sin embargo localmente puede formar acuíferos susceptibles de ser explotados.

Acuífugo en rocas ígneas intrusivas. Esta unidad aflora localmente en las porciones este y oeste de la zona, se encuentra conformada por granodioritas, dioritas, monzonitas y sienitas, las cuales por sus características litológicas no presenta posibilidades de almacenar agua subterránea.

Unidad Acuífugo en rocas metamórficas. Esta unidad aflora en las porciones este y noreste de la zona formando el pilar derecho del graben, se encuentra conformada por metavolcánicos, filitas y metagranitos, las cuales por sus características litológicas y estructurales (carencia de fracturas y fallas) no presenta posibilidades de almacenar agua subterránea.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades realizadas en el estudio de 2007, se ejecutó una prueba de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. La etapa de abatimiento tuvo una duración de 4 horas, mientras que la etapa de recuperación se prolongó por 10.5 horas. El resultado de su interpretación arroja una conductividad hidráulica de **0.039 m/día** y transmisividad de **114 m²/día**, para la etapa de abatimiento; mientras que para la etapa de recuperación la conductividad hidráulica de **0.035 m/día** y la transmisividad de **102 m²/día**, considerando un espesor saturado del acuífero de 290 m.

La prueba de bombeo no contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento

5.3. Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, sólo se dispone de dos lecturas que corresponden a los años 1999 y 2007; obtenidas en 5 y 23 aprovechamientos, respectivamente.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

Con la información disponible para estos dos años, fue posible elaborar las configuraciones de profundidad al nivel estático para 1999, en la porción sur de la zona, y para 2007 en casi toda la superficie de acuífero. En la figura 4 se presenta la configuración de profundidades al nivel del agua en 1999, en la que se puede observar que los valores variaban de 20 a 105 m de profundidad al nivel estático.

Para el año 2007 (Figura 5) los valores de profundidad al nivel del agua subterránea varían de 10 a 110 m, registrándose los menores valores hacia los valles y los mayores hacia las estribaciones de las sierras que los delimitan.

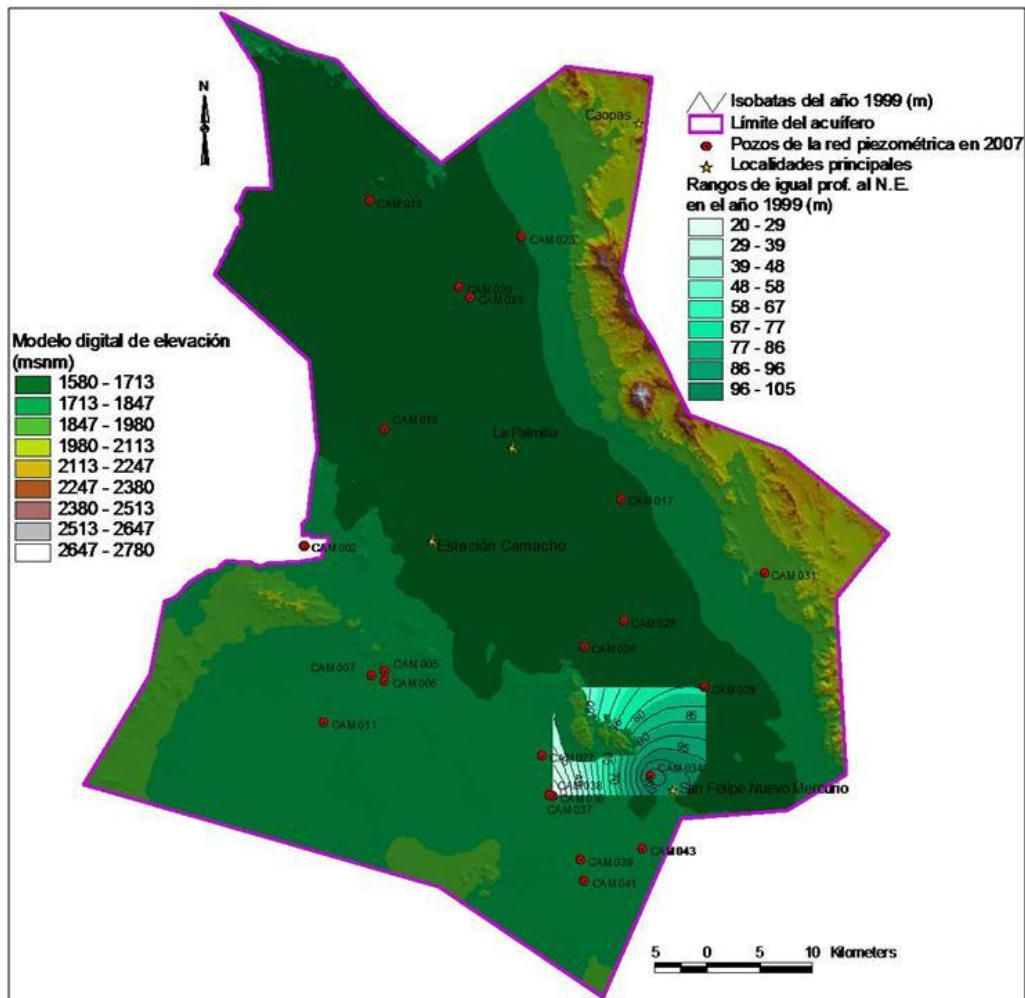


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 1999

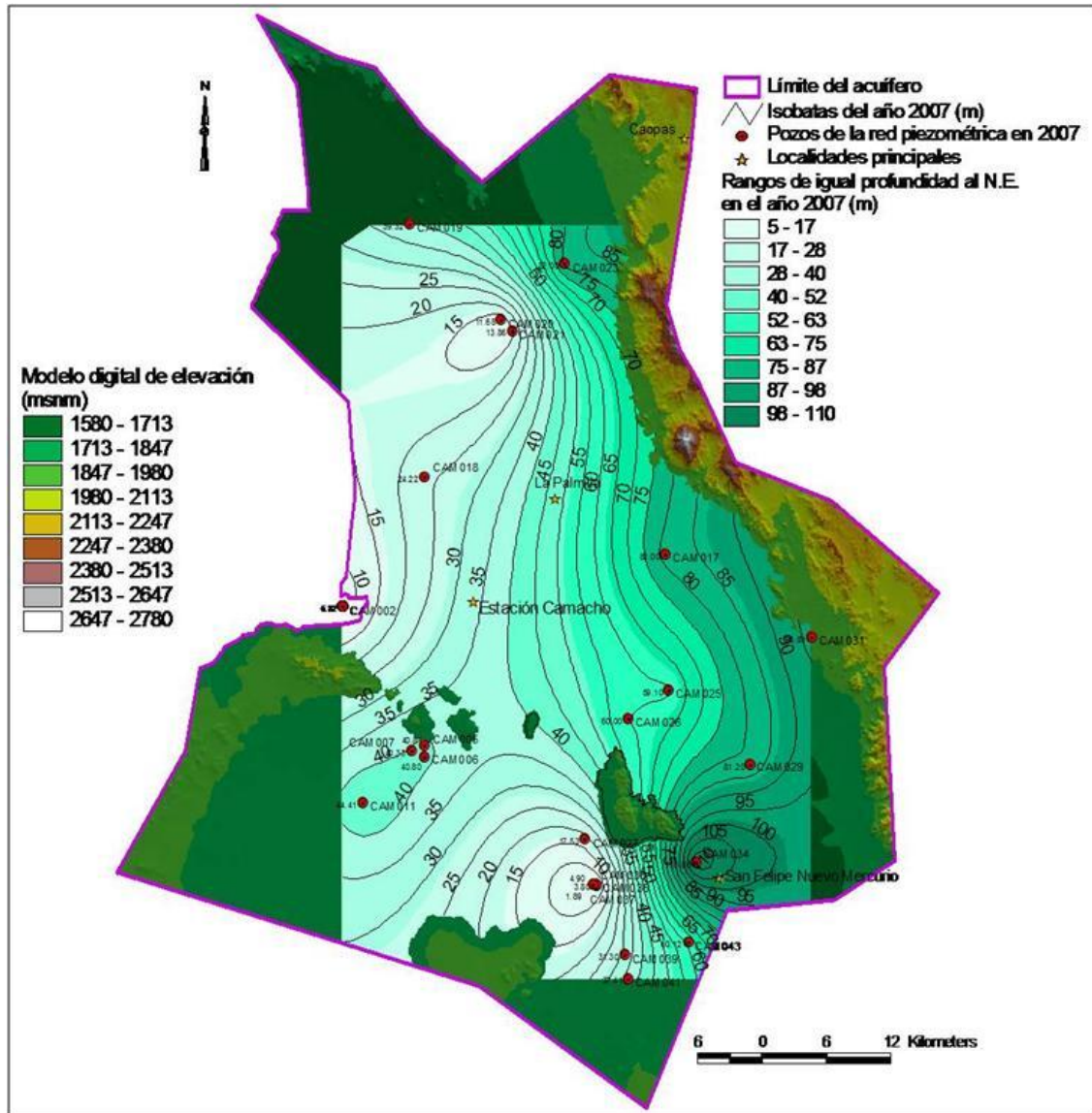


Figura 5. Profundidad al nivel estático (m), 2007

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático que corresponde al año 2007, muestra valores de 1560 a 1740 msnm, con dirección concéntrica hacia el graben de Camacho, dentro de este graben se presentan una dirección preferencial de suroeste a noreste con una salida de agua subterránea horizontal hacia el acuífero de Oriente Aguanaval, Dgo., figura 6. Se observa también un cono de abatimiento en la localidad de San Felipe Nuevo Mercurio.

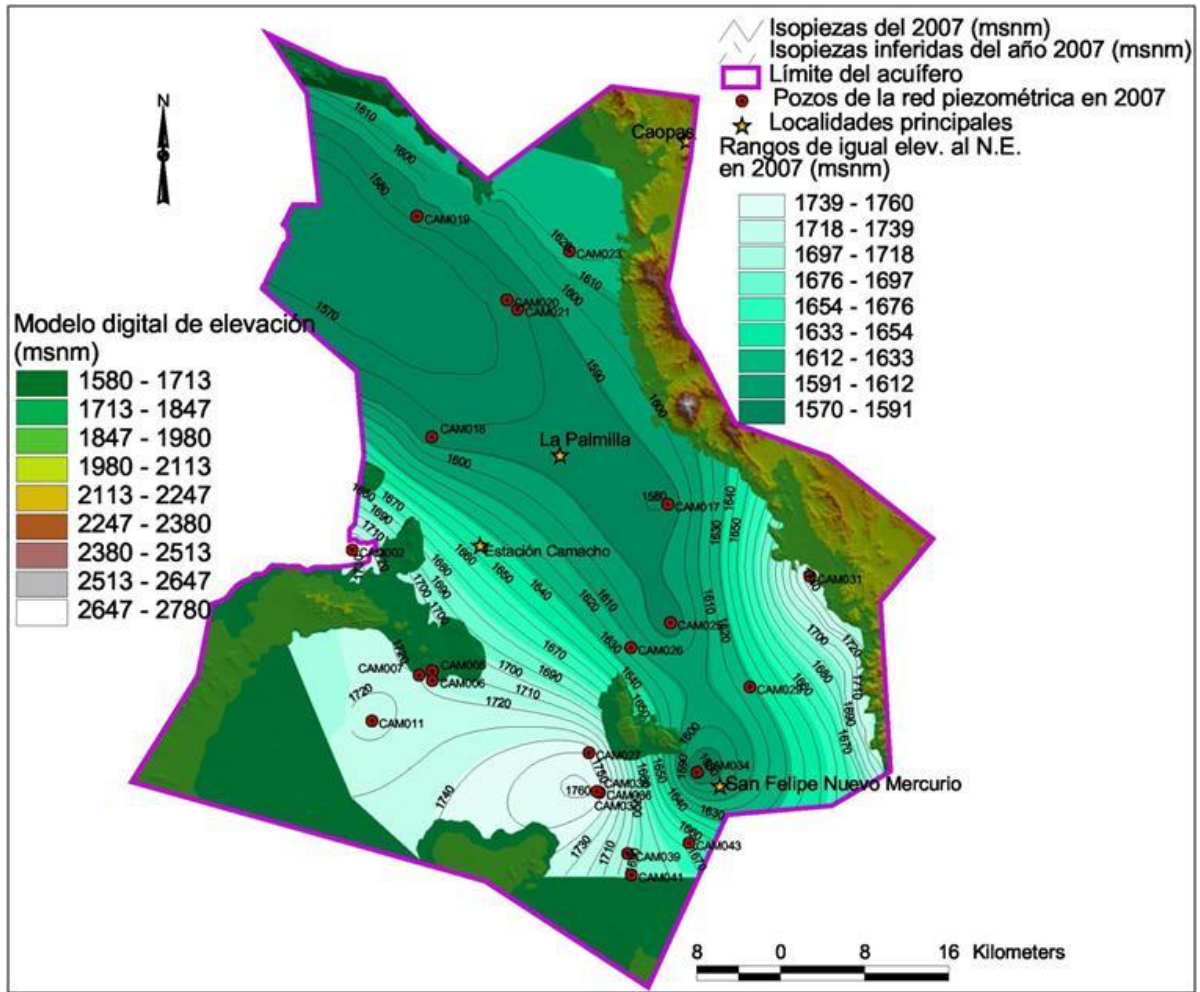


Figura 6. Elevación del nivel estático (msnm), 2007

5.4.3. Evolución del nivel estático

Debido a que para el periodo de análisis (1999-2007) sólo se dispone de 3 pozos con valor de evolución del nivel estático, no fue posible elaborar una configuración consistente. Por ello se recurrió a generar las líneas de igual valor de evolución a partir de la sobreposición de las curvas de profundidad al nivel estático que corresponden a estos años.

Con este procedimiento se obtuvo una evolución del nivel estático de -0.97 m para el periodo 1999-2007 y la media anual de -0.11 m/año. Su valor es tan pequeño que para fines prácticos se considera que el cambio de almacenamiento es nulo.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2007, se tomaron muestras de agua en 12 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) superan el máximo permisible de 1000 mg/l establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. Otros valores fuera de norma que superan las concentraciones máximas permisibles son los sulfatos y nitratos cuyos máximos permisibles son 400 mg/l y 10 mg/l, respectivamente. Esto indica que el agua subterránea no es apta para el uso y consumo humano, ni para el riego agrícola.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad alta (C_3) a muy alta (C_4) y contenido bajo de sodio (S_1) a medio (S_2). Por estas características el agua de este acuífero no es recomendable en condiciones normales para el riego de la mayoría de los cultivos. De las 12 muestras analizadas, 3 se clasifican como C_3S_1 , 5 como C_4S_1 y 2 como C_4S_2 .

Con respecto a las familias del agua, predomina la sulfatada-cálcica, que es muy común en acuíferos con sedimentos de origen evaporítico de ambiente lagunar.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo realizado en el año 2007, se registraron un total de 43 obras en el acuífero que aprovechan el agua subterránea, de las cuales 30 son pozos y 13 norias. Del total de obras, 25 están activas y las 18 restantes inactivas.

De las obras activas, 14 se destinan al uso pecuario, 5 al uso público-urbano, 3 al uso agrícola, 2 al doméstico y pecuario y 1 al uso doméstico. El volumen de extracción conjunta asciende a **1.0 hm³ anuales**, destinados casi en su totalidad a satisfacer las necesidades del uso pecuario y doméstico.

La extracción para uso doméstico-abrevadero se cuantificó con los datos obtenidos en el censo (tiempos de operación y gastos instantáneos) y para uso pecuario se utilizaron los consumos medios para cada especie animal.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 1999-2007, en una superficie de 2,769 km² del valle, en la que están dispersos los aprovechamientos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el

volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

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

$$\text{Entradas (E) – Salidas (S) = Cambio de almacenamiento}$$

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

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, y el riego agrícola es incipiente, no existe recarga inducida.

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Dónde:

R_v : Recarga vertical

E_h : Entradas por flujo subterráneo horizontal

B : Bombeo

S_h : Salidas por flujo subterráneo horizontal

$\Delta V(S)$: Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical: $R_v = B + S_h + ETR - \Delta V(S) - E_h$

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. Las entradas al acuífero, tienen su origen en las zonas de recarga localizadas en las sierras que rodean al valle.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2007 (figura 7), mediante la siguiente expresión

$$Q = T * B * i$$

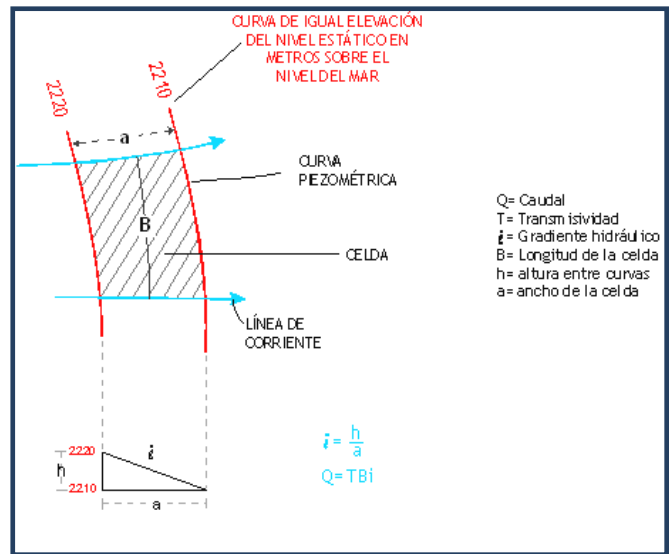
Donde:

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

T = transmisividad;

B = ancho de la celda;

i = gradiente hidráulico



En esta configuración se seleccionaron canales o celdas de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la Tabla 2 se puede observar que para las celdas identificadas se presenta un flujo de entrada de **2.7 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

No. Celda	Prof. Media al N.E. (m)	Prof. Media de la formación acuifera (m)	Espesor medio de acuífero (m)	Conductividad Hidráulica (m/s)	T (m ² /s)	B (m)	i	Q m ³ /s	Eh (hm ³ /año)	Eh del periodo 1999-2007 (hm ³)
A	70.00	120.00	50.00	1.19E-05	5.95E-04	14,070	0.008	0.068	2.1	19.3
B	96.81	120.00	23.19	1.19E-06	2.76E-05	9,624	0.016	0.004	0.1	1.2
C	6.82	61.00	54.18	1.19E-06	6.45E-05	4,093	0.012	0.003	0.1	0.9
D	17.53	61.00	43.47	1.19E-06	5.17E-05	6,387	0.007	0.002	0.1	0.6
E	37.41	61.00	23.59	1.19E-06	2.81E-05	12,811	0.008	0.003	0.1	0.8
F	37.41	61.00	23.59	1.19E-06	2.81E-05	11,356	0.015	0.005	0.2	1.4
Totales								0.005	2.7	24.2

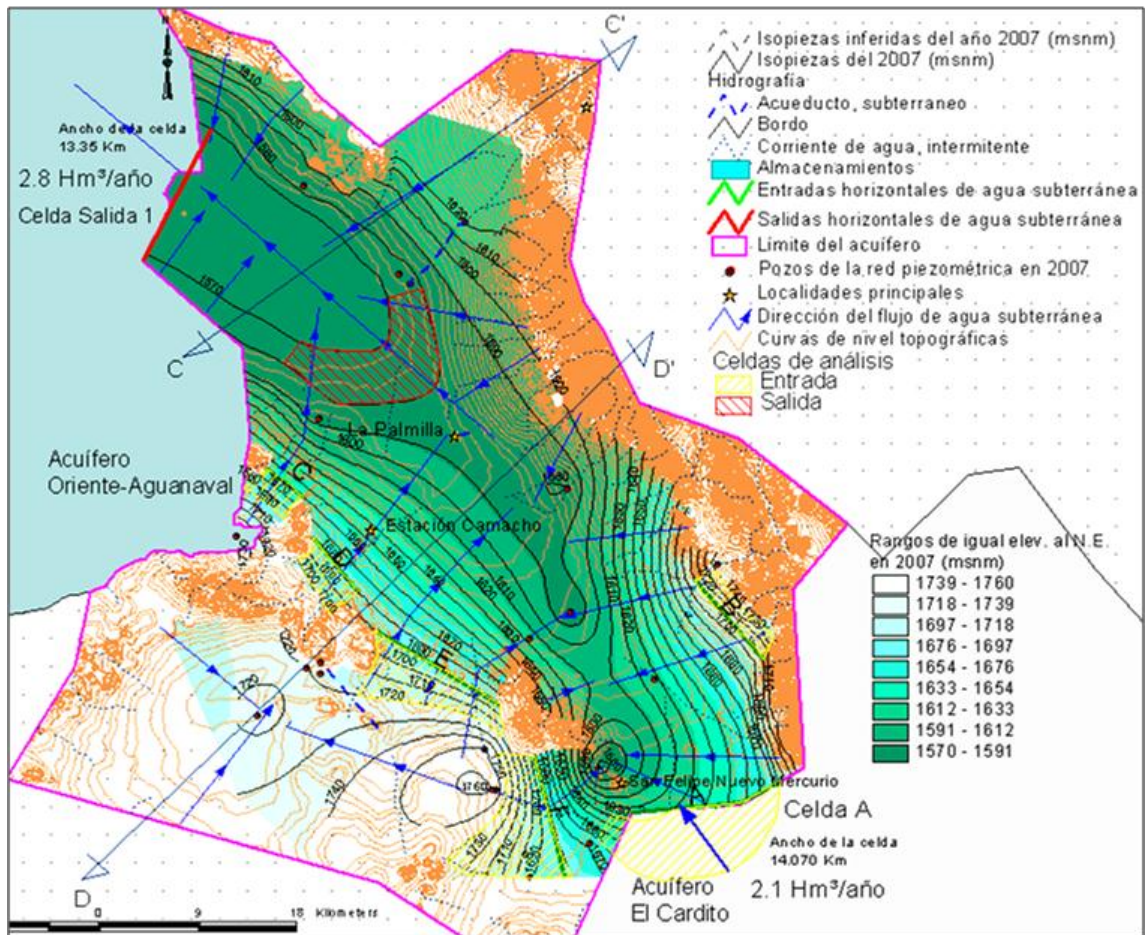


Figura 7. Red y celdas de flujo subterráneo

7.2. Salidas

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **1.0 hm³ anuales**.

7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del NE presentado en la figura 7. El Valor estimado es de **2.8 hm³ anuales**, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

No. Celda	Prof. media de la formación acuífera (m)	Espesor medio de acuífero (m)	Conductividad Hidráulica (m/s)	T (m ² /s)	B (m)	i	Q m ³ /s	Eh (hm ³ /año)	Eh del periodo (hm ³)
1	365.00	340.00	1.19E-05	4.05E-03	13,353	0.002	0.090	2.8	25.6
Totales							0.090	2.8	25.6

7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica en el intervalo 1999-2007, con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, obtenida como se mencionó anteriormente; determinándose que existe un descenso promedio en la posición de los niveles del agua subterránea de 0.11 m/año. No se cuenta con valores estimaciones para el coeficiente de almacenamiento, pero de acuerdo a la geología del subsuelo su valor debe ser del orden de 0.01 a 0.001 Por lo tanto, el cambio de almacenamiento es prácticamente nulo.

De esta manera para fines del balance de aguas subterráneas $\Delta V(S) = 0$.

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical (Rv). De la ecuación correspondiente, se tiene que:

$$Rv = B + Sh - \Delta V(s) - Eh$$

Sustituyendo valores:

$$Rv = 1.0 + 2.8 + 0.0 - 2.7$$

$$Rv = 1.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por lo tanto el valor de la recarga total (Rt) es igual a la suma de las entradas.

$$Rt = Rv + Eh = 3.8$$

$$Rt = 3.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS}$$

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

Rt = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este acuífero su valor es de **3.8 hm³ anuales**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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 el caso del acuífero Camacho la única descarga natural que se presenta es por flujo subterráneo hacia el vecino acuífero Oriente Aguanaval, en el estado de Durango. Puesto que no existe volumen concesionado ni infraestructura hidráulica establecida en éste último acuífero, no se consideran comprometidas las salidas subterráneas. Esto contribuirá a mitigar la condición de extrema escasez que impera en el acuífero.

Por lo tanto **DNCOM = 0**

8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)

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 septiembre de 2008**, es de **456,112 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

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, de acuerdo con la expresión definida, 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.

$$\text{DAS} = R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS}$$

$$\text{DAS} = 3.8 - 0.0 - 0.456112$$

$$\text{DAS} = 3.343888$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **3'343,888 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que existe información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFIA

Comisión Nacional del Agua. 1990. Estudio de Prospección Geohidrológica y Exploración Geofísica en las Zonas Marginadas del Estado de Zacatecas. Realizado por la empresa EXYCO S.A.

Comisión Nacional del Agua. 1999. Resumen de Condiciones Geohidrológicas en los Acuíferos del Estado de Zacatecas Ubicados Dentro de la Región Hidrológica Administrativa Cuencas Centrales del Norte. Gerencia Estatal Zacatecas.

Comisión Nacional del Agua, 2007. Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y de calidad del Agua en los Acuíferos Villa García, El Salvador, Guadalupe Garzarón, Camacho y El Cardito, estado de Zacatecas y Evaluación Geohidrológica de los Acuíferos García de la Cadena, Pino Suárez y Corrales, Zac. Realizado por la empresa Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1974. Informe General del estado de Zacatecas. Dirección General del estado de Irrigación y Control de Ríos. Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas.