

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero García de la Cadena  
(3207), 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.**

### DXLV REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

#### ESTADO DE ZACATECAS

3207	GARCÍA DE LA CADENA	42.0	24.7	1.975779	0.8	15.324221	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  
GARCÍA DE LA CADENA (3207),  
ESTADO DE ZACATECAS**

**México, D.F., octubre de 2008**

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	3
	Antecedentes .....	3
1.1.	Localización.....	3
1.2.	Situación administrativa del acuífero .....	5
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	5
3.	FISIOGRAFÍA.....	6
3.1.	Provincia fisiográfica.....	6
3.2.	Clima .....	6
3.3.	Hydrografía.....	7
3.4.	Geomorfología.....	7
4.	GEOLOGÍA .....	7
4.1.	Estratigrafía .....	7
4.2.	Geología estructural .....	10
4.3.	Geología del subsuelo .....	11
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	12
5.1.	Tipo de acuífero.....	12
5.2.	Parámetros hidráulicos .....	13
5.3.	Piezometría .....	14
5.4.	Comportamiento hidráulico .....	14
5.4.1.	Profundidad al nivel estático .....	14
5.4.2.	Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3.	Evolución del nivel estático.....	15
5.5.	Hydrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	16
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA .....	16
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS .....	17
7.1.	Entradas.....	17
7.1.1.	Recarga vertical (Rv).....	17
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	21
7.2.	Salidas .....	22
7.2.1.	Evapotranspiración (ETR) .....	22
7.2.2.	Flujo base (Qb).....	24
7.2.3.	Bombeo (B) .....	24
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	24
8.	DISPONIBILIDAD .....	25
8.1.	Recarga total media anual (Rt) .....	25
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	25
8.3.	Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS) .....	26
8.4.	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS).....	26
9.	BIBLIOGRAFIA.....	26

## **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 (REPGA).

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 García de la Cadena, definido con la clave 3207 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la parte sur del estado de Zacatecas, entre los paralelos 21° 02' y 21° 27' de latitud norte y entre los meridianos 103° 16' y 103° 44' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 1,033 km<sup>2</sup>.

Colinda al norte con el acuífero Tlaltenango-Tepechtlán y al este con Jalpa-Juchipila, dentro del estado de Zacatecas; al oeste con San Martín de Bolaños y al sureste con Los Puentes, pertenecientes al estado de Jalisco, (Figura 1).

Geopolíticamente abarca la totalidad del Municipio de García de la Cadena y parcialmente los municipios de Teúl de González Ortega y Mezquital del Oro.



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	103	29	10.9	21	21	46.1	
2	103	26	56.2	21	21	11.4	
3	103	25	30.9	21	22	3.4	
4	103	22	11.9	21	22	15.0	
5	103	20	24.7	21	25	34.3	
6	103	18	43.8	21	26	8.0	
7	103	16	42.2	21	23	4.5	
8	103	18	29.6	21	19	3.6	
9	103	17	27.1	21	12	6.2	
10	103	17	47.1	21	6	51.7	
11	103	19	8.2	21	3	16.4	DEL 11 AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	103	24	36.1	21	6	33.3	DEL 12 AL 13 POR EL LIMITE ESTATAL
13	103	30	35.8	21	22	6.3	
1	103	29	10.9	21	21	46.1	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero García de la Cadena pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma- Santiago-Pacífico”, 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 5 de agosto 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 Trinidad García de la Cadena, Mezquital del Oro y Teúl de González Ortega se localizan en zona de disponibilidad 8. El usuario principal del agua es el sector público-urbano. En el acuífero no se localiza distrito de riego alguno, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Sólo se cuenta con un estudio geohidrológico que cubrió varios acuíferos, entre ellos García de la Cadena:

**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 HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS GARCÍA DE LA CADENA, PINO SUÁREZ Y CORRALES, ZACATECAS, realizado por la empresa 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, 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 de aguas subterráneas.

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 provincias fisiográficas de Raisz, 1964, el acuífero se ubica en la provincia fisiográfica “Sierra Madre Occidental”, subprovincia “Sierras y Valles Zacatecanos”, que se caracteriza por sus sierras altas, alargadas en sentido norte-sur, frecuentemente rematadas por mesetas, que se alternan con valles, cuyos pisos son a veces de pendiente suave y con frecuencia presentan terrazas y lomeríos que son probables productos de la erosión de antiguos pisos de valle, más altos que el actual.

#### **3.2. Clima**

Los grupos de clima presentes dentro del área del acuífero son: Cálido (A) y Templado (C). El Clima Templado Subhúmedo C ( $W_1$ ) (w) abarca 85% de la zona. Este tipo de clima es intermedio en cuanto a humedad, con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor a 5%. La precipitación media anual oscila entre 700 y 1000 mm. La temperatura media anual fluctúa entre 18 y 22° C. La máxima precipitación se presenta en el mes de julio, con un rango de 170 y 180 mm.

El clima Cálido Subhúmedo  $AW_0$  (w) se presenta en una pequeña porción, hacia el sur y sureste del acuífero. Este tipo de clima presenta una temperatura media anual mayor a 22° C; con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor a 5%. La precipitación media anual fluctúa entre 600 a 1000 mm y la temperatura media anual entre 18 y 22° C.

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 14 estaciones climatológicas ubicadas en la zona: Ahuetita, Cuixtla, Florencia de Benito Juárez, García de La Cadena, Huitzila, Juchipila, La Villita, Mezquital del Oro, Milpillan de Allende, Moyahua de Estrada, Paso de La Yesca, Presa Santa Rosa, Teúl de González Ortega y Zapopan.

Con base en estos registros, se estimó una temperatura media anual de 19.3° C para la superficie que cubre el acuífero.

El valor de la precipitación media anual obtenido para este periodo fue de 826.4 mm/año.

La mayor precipitación se registra en la sierra localizada al oeste, con valores de 761 a 800 mm/año, así como en las sierras del suroeste, con precipitaciones de hasta 720 mm/año. La precipitación a lo largo del año tiene variaciones considerables. Las lluvias más abundantes se registran durante los meses de julio a septiembre.

### **3.3. Hidrografía**

El área del acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica 12 “Lerma-Chapala-Santiago”. Esta región está caracterizada dentro del área por la cuenca “Río Juchipila”, se estima que el colector principal de la corriente de esta cuenca tiene una longitud de 250 km, hasta su confluencia con el Río Grande Santiago al norte de Guadalajara, Jalisco.

### **3.4. Geomorfología**

El paisaje de relieve dentro del área se caracteriza por la presencia de Sierras que se extienden en la mayor parte del territorio del acuífero; Lomeríos, presentes en la regiones centro y sureste de la zona; Mesetas, que se presentan hacia la porción central del acuífero; y Cañones, distribuidos en las porciones este y sureste.

## **4. GEOLOGÍA**

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

### **4.1. Estratigrafía**

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

#### **Cretácico**

La unidad más antigua corresponde a una secuencia volcano-sedimentaria que se ha denominado informalmente como Formación Cieneguita, constituida por andesitas, areniscas y lutitas. Descansando sobre esta, en contacto concordante, se tiene a la unidad denominada informalmente como formación El Varal, constituida por calizas, lutitas con bandas y nódulos de pedernal; estas unidades se manifiestan como afloramientos de poca extensión, en forma de ventanas estructurales. Ambas unidades muestran un metamorfismo regional de bajo grado y están intrusionadas por un tronco diorítico de edad Cretácico Inferior; su contacto superior es discordante debido a que se registró una época de no depósito que va del Cretácico Superior al Eoceno Medio. Sus afloramientos se localizan en los poblados de La Tomatina y El Varal.

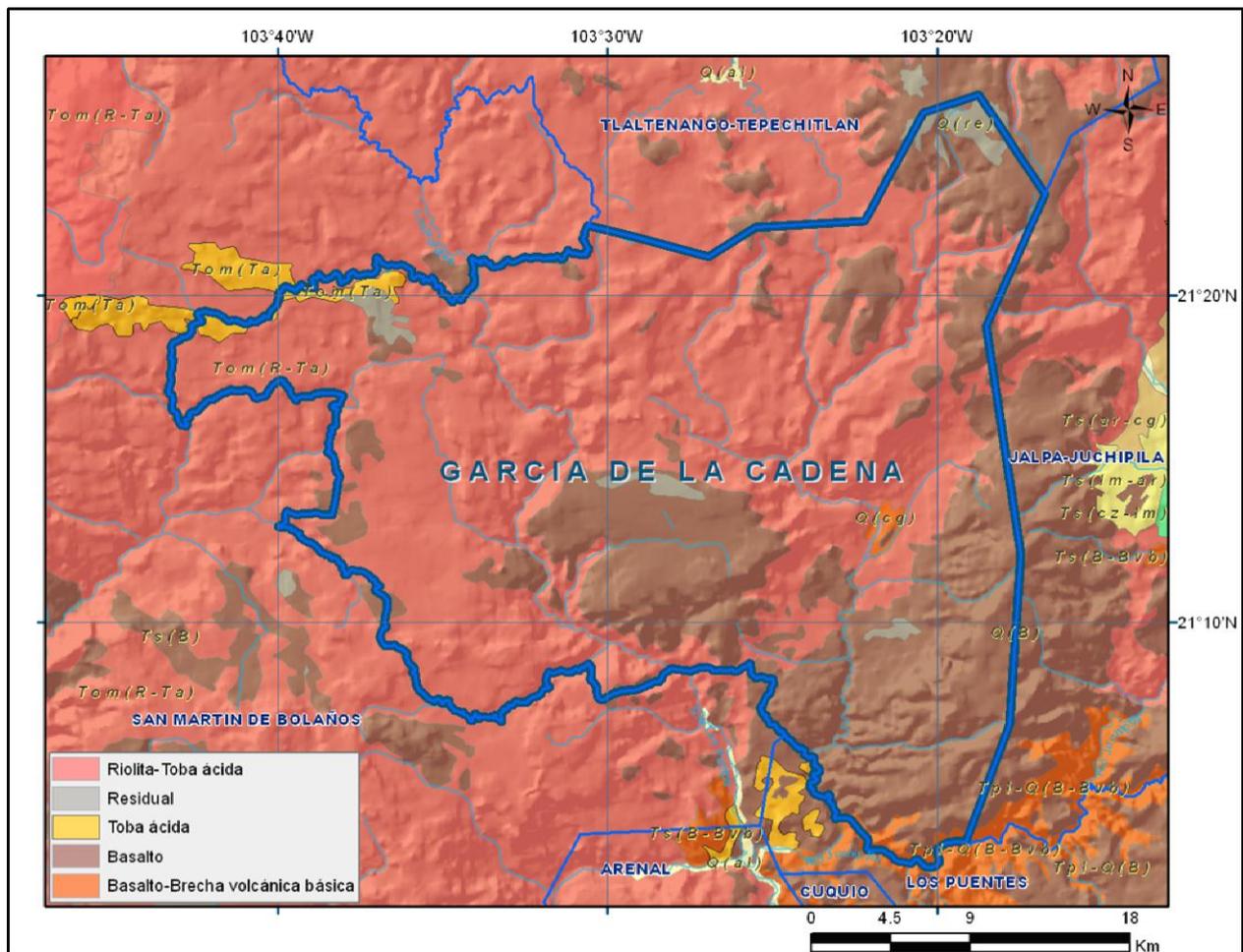


Figura 2. Geología general del acuífero

### Paleógeno-Neógeno

Se encuentra representado en la zona por rocas ígneas intrusivas, que cortan la secuencia volcánica del Paleógeno-Neógeno; afloran en localidades restringidas en forma de granito, granodiorita y diorita. En algunos lugares se observa la presencia de cuerpos intrusivos de tipo pórfido andesítico y pórfido dacítico, que afectaron a este paquete volcánico y a los que se atribuye la mineralización de localidades como Mezquital del Oro; así como rocas ígneas extrusivas ácidas e intermedias (riolitas, ignimbritas, andesitas y tobas riolíticas).

Por lo que respecta a rocas sedimentarias se presentan calizas, lutitas y conglomerados oligomícticos del Plioceno. Las rocas ígneas extrusivas ácidas se encuentran representadas por basaltos del Mioceno y Plioceno.

**Andesitas:** Son derrames de andesitas de color gris medio a oscuro, con algunas intercalaciones de brechas y aglomerados. De textura tanto porfídica como afanítica y estructura compacta, con escasos sistemas de fracturas. A estas rocas se les ha asignado una edad del Eoceno-Oligoceno. Sus afloramientos se ubican principalmente en la base de los altos de falla o pilares tectónicos de la Sierra Morones, que limitan al cañón por su porción poniente.

Los más septentrionales se definen al nor-poniente y poniente del poblado de Tabasco y poniente de Huanusco. Al nor-poniente de Tabasco se advierte la presencia de un volcán al que están asociados los afloramientos de andesitas y en las otras dos localidades, dos aparatos volcánicos tipo caldera; otros de mayor extensión se localizan en la porción sur-poniente de la misma sierra, asociados también a pilares tectónicos y aparatos volcánicos; como es el caso del graben por donde el Río Mezquital ha labrado su cauce. Afloramientos que abarcan superficies menores a 1 km<sup>2</sup>, se localizan al sur de Moyahua de Estrada y entre este poblado y Juchipila, en las estribaciones de la Sierra Nochistlán, también al oriente del poblado de Apozol, donde es intrusionado por diques dioríticos.

**Riolitas e ignimbritas:** Son depósitos derivados de flujos de piroclastos, tipo nubes ardientes, que definen diferentes estructuras, texturas y composición. Estos depósitos pueden ser agrupados en 3 unidades. La unidad Tom TR conforma la base de la secuencia y en ella predominan las tobas de constitución riolítica; la unidad Tom Ig- R, está compuesta principalmente por ignimbritas, esto es, rocas que presentan estructura compacta por solidificación de las partículas de lava que arrastró la explosión y se soldaron con los demás elementos. Su composición es principalmente dacítica, con algunos derrames de composición riolítica. Por último, la unidad Tom R-Ig, está constituida principalmente por derrames riolíticos e ignimbritas compactas, entre cuyos pseudoestratos se presentan esporádicos derrames de basaltos.

**Derrames de basaltos:** Son derrames de lava emitidas durante el Mioceno Superior que corresponden a las primeras manifestaciones de la provincia geológica Eje Neovolcánico, con cuyo borde nor-central colinda el área del acuífero. En esta zona el vulcanismo se manifestó tanto a través de aparatos volcánicos como por fracturas.

Sus afloramientos constituyen una secuencia de brechas color gris oscuro y rojizo, de estructura compacta y fracturada; ocurren principalmente al sur del área en su colindancia con la provincia geológica mencionada, donde se encuentran varios aparatos volcánicos que derramaron grandes cantidades de lavas que rellenaron depresiones como la del Cañón de Juchipila, dando lugar a extensas mesetas que fueron disectadas por las corrientes superficiales, que formaron profundos y estrechos cañones.

A medida que se adentra al área del acuífero, los afloramientos de estas rocas se hacen menos frecuentes y de menor superficie, siendo prácticamente a la altura del poblado de Juchipila donde se localiza el último afloramiento de varios kilómetros de extensión de esta unidad; únicamente se localiza una pequeña exposición de aproximadamente 3 km<sup>2</sup> de extensión, en la parte central de la Sierra Morones, al W NW del poblado Huanusco.

**Calizas y lutitas lacustres y conglomerado oligomictico:** Las rocas lacustres están constituidas por un mudstone color gris claro a medio, dispuestas en estratos delgados, con intercalaciones esporádicas de lutitas color gris verdoso y amarillento, con algunos sistemas de fracturas, un echado persistente al noroeste e inclinación máxima de 8°. El origen de los

sedimentos lacustres se debe al cierre del Cañón en su extremo sur por los derrames de basalto del Mioceno Superior, formando una cuenca cerrada sobre la que se depositaron. Sus afloramientos se distribuyen por todo el cañón de Juchipila, con espesores máximos de 200 m, dando lugar a lomeríos de cimas planas y pendientes bajas.

Los conglomerados afloran principalmente en la margen derecha del cañón, desde Tabasco hasta Jalpa, donde constituyen pequeñas lomas de cimas planas; ampliando sus exposiciones al sur de este último poblado, donde ocupan casi todo el ancho del cañón; hacia el extremo sur afloran de manera reducida y aislada; están parcialmente cubiertas por areniscas y un conglomerado arcilloso oligomítico, de tonalidades rojizas y medianamente consolidado. Esta porción también es afectada por el fallamiento NE-SW que formó el Graben de Calvillo.

**Basalto (Plioceno):** Esta unidad contiene derrames basálticos del Plioceno que a su vez son cubiertos por tobas basálticas. Durante el Pleistoceno- Holoceno se depositó cenizas riolíticas y lapilli, de estratificación masiva y arena fina con estratificación cruzada.

**Depósitos de Aluvi3n:** Son acumulaciones de gravas, arenas y limos mezclados en diferentes proporciones; se localizan en el fondo de la depresión, específicamente en las márgenes y lecho del Río Juchipila, donde se distribuyen de tal manera que los más gruesos se ubican en el lecho del río. Constituyen el álveo y subálveo de este río con un espesor máximo de 5 m.

#### 4.2. Geología estructural

Las fases de deformación de la región, se relacionan con eventos compresivos, ocurridos durante el Mesozoico y Cenozoico y fases distensivos evidenciados por el fallamiento normal y el emplazamiento plutónico Cretácico - Paleógeno-Neógeno así como el vulcanismo Cenozoico.

Los lineamientos estructurales de primer orden representan un fallamiento normal en forma escalonada, produciendo así el modelo de fosas y pilares que caracteriza la región. Las fosas presentan un rumbo general de NE 10°-20° SW, con un ancho promedio de 12 km como son: Bolaños, Tlaltenango, Jalpa, Calvillo y Aguascalientes; en la fosa de Jalpa están alojadas las calderas de Jalpa y Juchipila. Los lineamientos de segundo orden corresponden a fallamiento de rumbo N-S, también se tienen lineamientos de tercer orden con rumbo NW-SE. En el pilar tectónico de la Sierra de Morones existen conos volcánicos que originaron curvilineamientos de entre 15 y 20 km de diámetro; existen otros curvilineamientos paralelos que pueden deberse a calderas sepultadas las cuales muestran un fallamiento radial de rumbo N 20° E..

En el caso del cañón de Jalpa-Juchipila, se extiende por cientos de kilómetros y pertenece al fallamiento regional "Cuencas y Sierras", asociado con el movimiento de placas litosféricas actuales. Bajo este fallamiento regional también se encuentran las fosas tectónicas de Calvillo y Tabasco, Zacatecas.

### **4.3. Geología del subsuelo**

No existen registros de estudios geofísicos que se hayan realizado en la zona. Sin embargo se cuenta con una sección geológica que atraviesa la zona de W a E (figura 3), publicada por el Servicio Geológico Mexicano en la carta geológica – Minera Hoja Aguascalientes, escala 1:250,000. Esta sección fue construida a partir de pozos exploratorios de PEMEX, estudios geológico-mineros, registros geofísicos, etc.; alcanza una profundidad de hasta 2000 m y en ella se observa la presencia de las siguientes formaciones:

Basalto del Mioceno. Aflora en la parte central del acuífero, en el subsuelo puede alcanzar espesores de más de 520 m. Este material junto con las ignimbritas y las andesitas son las unidades que funcionan como acuíferos dentro de la zona y de donde se extrae la mayor parte del agua subterránea.

Riolita del Oligoceno-Mioceno. Tienen un espesor medio de 300 m Se encuentra suprayaciendo a un paquete de ignimbritas de la misma edad.

Ignimbritas del Oligoceno-Mioceno. Esta roca ígnea intrusiva tiene un espesor de 200 m. Es la unidad más ampliamente extendida dentro del área en superficie y en el subsuelo.

Toba Riolítica del Oligoceno-Mioceno. Esta unidad ígnea tiene un espesor medio de 570 m, encontrándose en el subsuelo por debajo de las ignimbritas y de los basaltos.

Andesita del Oligoceno. A profundidad se localiza por debajo de las tobas riolíticas, con espesores de más de 400 m.

Riolita del Eoceno. Se localiza en el subsuelo en forma discordante por debajo de las Andesitas, formando un paquete de 370m de espesor.

Ignimbritas del Eoceno. Se localiza en el subsuelo por debajo de las riolitas del Eoceno, tiene un espesor medio de 150 m.

De acuerdo con esta información, podemos afirmar que el acuífero que actualmente se encuentra en explotación se encuentra constituido por la secuencia de rocas volcánicas fracturadas, principalmente de composición riolítica, y en menor proporción las andesitas y basaltos, cuyo espesor puede superar los 700 m. El basamento así como las fronteras y barreras al flujo subterráneo están constituidas por otras rocas de composición ácida, que no presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento o que al estar sepultadas a mayor profundidad han visto reducida su porosidad.

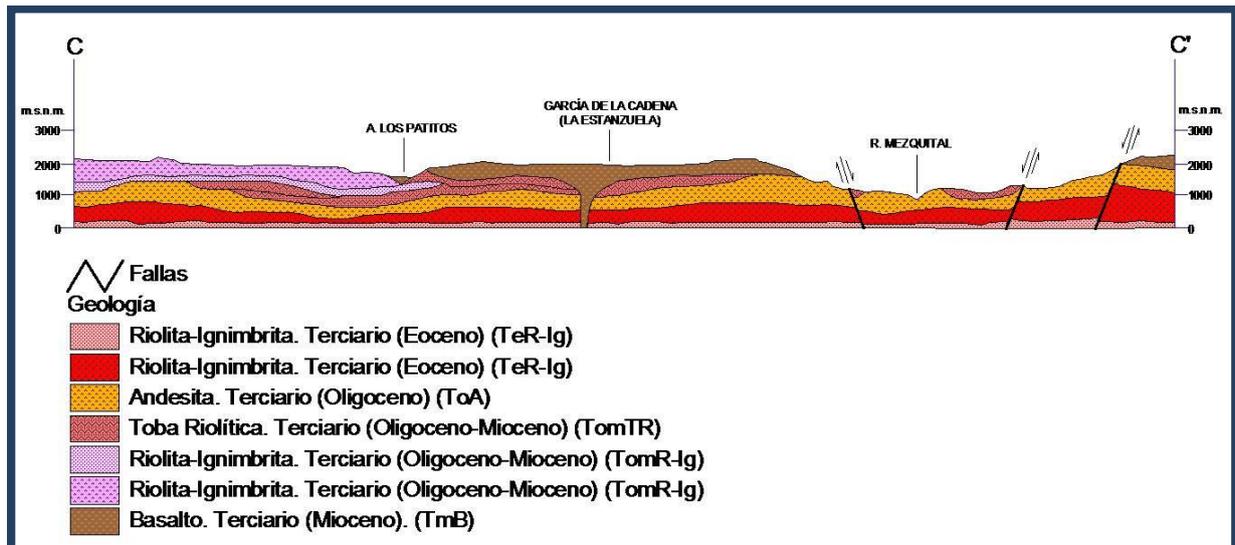


Figura 3. Sección geológica de la zona

Localmente, los afloramientos de conglomerados pueden constituir una unidad de interés hidrogeológico.

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible reconocer cuatro unidades hidrogeológicas, que en conjunto definen un sistema acuífero que se comporta como **libre**, con interconexión hidráulica entre las distintas unidades.

**Unidad en conglomerados.** Esta unidad aflora en un área total de 8.8 km<sup>2</sup> en la porción poniente del acuífero. Se encuentra constituida por conglomerados polimícticos del Paleógeno-Neógeno que rellenan esta pequeña cuenca intermontana, hacia la porción oeste de la misma se encuentra cubierta parcialmente por material ignimbítico. Es probable que debajo de estos materiales se encuentre un paquete de tobas riolíticas del Mioceno-Plioceno.

El agua de lluvia se infiltra directamente en estos materiales granulares; mostrando continuidad hidráulica, tanto vertical como horizontal, con las ignimbritas del Oligoceno.

**Unidad en tobas.** Estas rocas ígneas afloran en las inmediaciones de la localidad de Mezquital del Oro y al sur de los basaltos de García de la Cadena, en un área total de 68.6 km<sup>2</sup>, su espesor máximo es de 400 m.

El agua que circula en esta unidad se infiltra a través de fracturas y poros. Existe continuidad hidráulica e hidrogeológica con las unidades adyacentes (ignimbritas, conglomerados, basaltos).

**Unidad en basaltos y/o andesitas.** Estas rocas ígneas extrusivas (basaltos y andesitas) afloran en la porción central, oriente y noreste del acuífero, en un área total de 362.4 km<sup>2</sup>. Los basaltos cubren parcialmente a tobas riolíticas del Oligoceno-Mioceno y tienen un espesor de 300 m, mientras que las andesitas pueden llegar a tener un espesor de 550 m. Entre estas dos unidades y las adyacentes existe continuidad hidráulica vertical y horizontal, el agua que circula en ellos se infiltra a través de fracturas.

Se realizaron dos pruebas de bombeo dentro de esta unidad hidrogeológica obteniendo conductividades hidráulicas de 15.6 m/día y de 0.5 m/día en la etapa de recuperación.

**Unidad en ignimbritas y/o riolitas.** Constituyen el relieve de esta cuenca y localmente se interdigitan con las anteriores unidades hidrogeológica. Aflora dentro del acuífero en un área de 608.7 km<sup>2</sup>. Tiene un espesor máximo de 550 m y tiene como base un paquete masivo de riolitas.

El agua que se infiltra en esta unidad circula a través de fracturas o a través del material granular. En algunos sitios, al llegar a los sedimentos piroclásticos, forma manantiales. De otra manera, el agua continúa su camino hacia la zona saturada, la cual se localiza a una profundidad promedio de 17 m, respecto a la planicie. Esta unidad aporta un gasto al flujo base de los ríos perennes que se encuentran dentro de la zona.

## 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades realizadas en el estudio de 2007, se ejecutaron dos pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Los resultados de su interpretación arrojan valores de conductividad hidráulica, acordes a la litología heterogénea de los materiales del subsuelo: de **0.478 y 0.588 m/día** y transmisividades de **478 y 58.8 m<sup>2</sup>/día**, para la etapa de abatimiento; mientras que para la etapa de recuperación las conductividades hidráulicas fueron de **1.56 y 0.0516 m/día** y las transmisividades de **1560 y de 51.6 m<sup>2</sup>/día**, considerando un espesor saturado del acuífero de 115 y 207 m, respectivamente.

Ninguna de las pruebas de bombeo 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 se dispone de dos lecturas que corresponden a los años 2004 y 2007 obtenidas en 3 y 14 aprovechamientos, respectivamente.

### 5.4. Comportamiento hidráulico

#### 5.4.1. Profundidad al nivel estático

Con la información disponible fue posible elaborar la configuración de profundidad al nivel estático para la porción oeste del acuífero, solo para el año 2007. En la figura 4 se presenta dicha configuración y en ella se puede observar que para ese año la profundidad varía de 5 a 27 m, por efecto de la topografía.

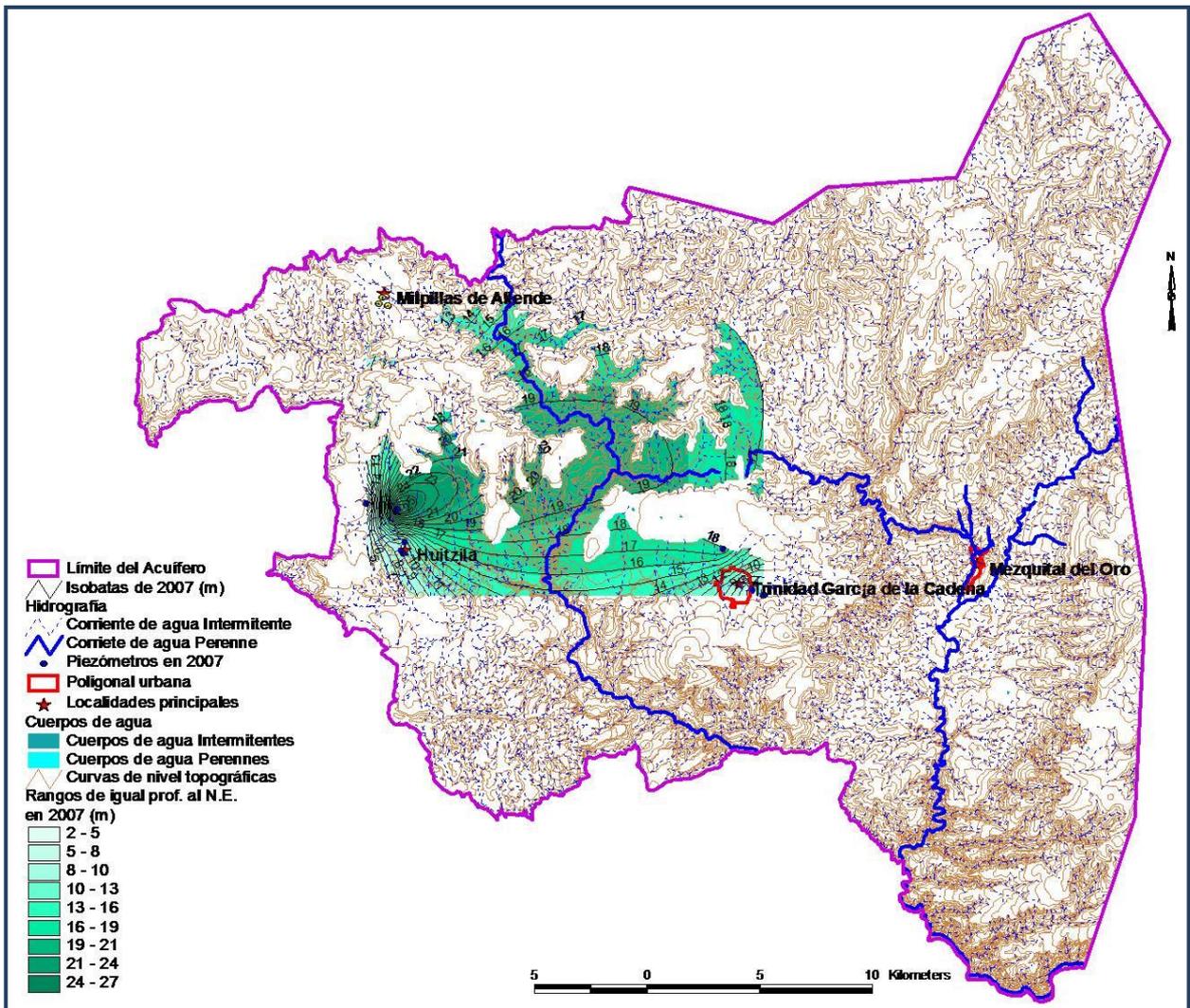


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2007

### 5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático que corresponde al año 2007, muestra valores de 1870 a 1686 msnm, que reflejan una dirección preferencial del flujo subterráneo de noreste a suroeste, como se puede observar en la figura 5.

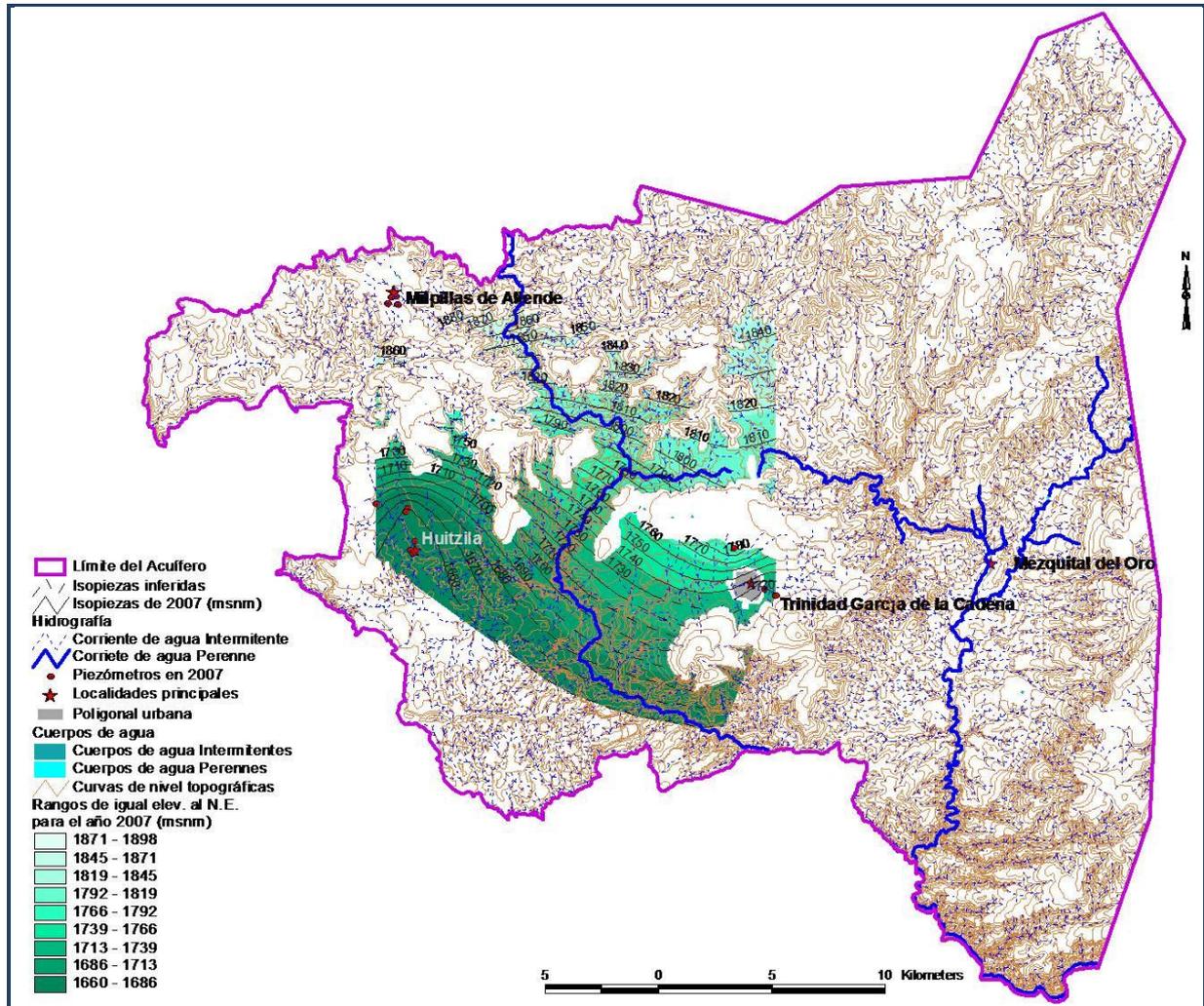


Figura 5. Elevación del nivel estático (msnm), 2007

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Debido a que para el periodo de análisis (2004-2007) sólo se disponía de 2 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 positiva del nivel estático de 6.7 cm/año. Este valor es tan pequeño que para fines prácticos se considera que no existen variaciones significativas en la posición del nivel estático. Adicionalmente, las evidencias piezométricas

revelan que el acuífero se encuentra en condición de subexplotación y que la incipiente extracción no ha alterado las condiciones naturales del flujo subterráneo.

### **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 17 aprovechamientos para su análisis físicoquímicos 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 físicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que señala la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 que contempla un máximo permisible de 1000 mg/l de STD, por lo que el agua subterránea es apta para el consumo humano, así como 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 baja ( $C_1$ ) a media ( $C_2$ ) y contenido bajo de sodio ( $S_1$ ), características que no imponen restricción alguna ni para el riego de los cultivos ni para los suelos de la región. De las 17 muestras analizadas, 9 se clasifican como  $C_1$ - $S_1$  y las 8 restantes como  $C_2$ - $S_1$ .

Con respecto a las familias del agua, predomina la bicarbonatada-sódica, cálcica y magnésica que son muy comunes en medios geológicos de origen volcánico.

## **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 22 obras en el acuífero que aprovechan las aguas subterráneas, de las cuales 21 son pozos y 1 manantial. Del total de obras, 19 están activas y las 3 restantes inactivas.

De las obras activas, 7 se destinan al uso al uso público-urbano, 4 al uso doméstico, 4 al uso pecuario y agrícola, y las 4 restantes se destinan al uso agrícola. El volumen de extracción conjunta asciende a los **0.8 hm<sup>3</sup> anuales**, destinados casi en su totalidad a satisfacer las necesidades del uso público- urbano.

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 una superficie de 521 km<sup>2</sup> de la porción poniente del acuífero, el periodo de balance considerado es 2004-2007.

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 están representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento:

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

### **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 (Rv) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, así como las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri). 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 (Rv)**

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ) y para las entradas por flujo subterráneo. Sin embargo en la zona de salidas subterráneas no se tiene apoyo piezométrico, ni estimación de los parámetros hidrodinámicos, por lo que se optó por evaluar la recarga vertical por lluvia a partir de un balance hidrometeorológico, de este balance se determinó el volumen susceptible de infiltrarse, y despejar de la ecuación de balance las salidas por flujo subterráneo. Cabe destacar que la entradas subterráneas fueron estimadas en un frente que se localiza en la

proximidad del área de balance, por lo que su valor no se está duplicando al considerar la recarga vertical por lluvia en la planicie.

$$Rv + Eh - B - Sh - Qb - ETR = \pm \Delta V(S)$$

Donde:

- Rv: Recarga vertical
- Eh: Entradas por flujo subterráneo horizontal
- B: Bombeo
- Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal
- ETR: Evapotranspiración
- Qb: Flujo base
- $\Delta V(S)$ : Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando las salidas subterráneas:

$$Sh = Rv + Eh - B - Qb - ETR - \Delta V(S)$$

La recarga natural está integrada básicamente por infiltración de agua de lluvia, la cual según el balance hidrometeorológico que se expone a continuación es del orden de **33.6 hm<sup>3</sup>/año**, para los 521 km<sup>2</sup> que comprende el área de balance.

Partiendo del hecho de que del volumen precipitado (Vol. Lluvia), la mayor parte se evapotranspira (ETR), otro escurre (Esc) y el resto se infiltra (Inf) para recargar al acuífero, se tiene:

$$\text{Vol. Lluvia} = \text{ETR} + \text{Esc} + \text{Inf}$$

Por lo tanto la infiltración se puede estimar mediante la expresión siguiente:

$$\text{Infiltración} = \text{Vol. Lluvia} - \text{Evapotranspiración} - \text{Ecurrimento}$$

Para estimar la lámina de evapotranspiración, se utilizó la fórmula de Turc, considerando una temperatura promedio de 19.3° C y una precipitación media anual de 826.4 mm. El valor obtenido fue de 692.6 mm anuales, que multiplicados por el área de balance arroja un volumen evapotranspirado de 360.8 hm<sup>3</sup> anuales.

Fórmula de Turc:	$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$		$L = 300 + 25T + 0.05T^3$
	T (°C) =	19.3	
	P(mm) =	826.4	P <sup>2</sup> = 682936.96
	L =	1141.95285	L <sup>2</sup> = 1304056.31
	ETR (mm)	692.6	

Para realizar el balance hidrometeorológico se requiere conocer entre otros parámetros, los volúmenes de escurrimiento que se presentan por lluvia dentro del área, es decir, es necesario determinar el volumen de agua que se genera por cuenca propia; sin embargo, no se disponen de aforos que permitan cuantificar dicho volumen en toda la cuenca, ya que la estación Cuixtla afora la cuenca de este río, antes de su intersección con el Río Santiago, faltando por lo tanto el escurrimiento de la subcuenca del Río Mezquital. A continuación se menciona la forma en que se procedió para obtenerlo.

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se puede utilizar el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, del 17 de abril de 2002, que señala que en caso de que en la cuenca en estudio no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento. El coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo, cobertura y uso de suelo, apoyados en la clasificación de la U.S. Soil Conservation Service.

Con la finalidad de obtener un valor de K más representativo de la realidad, en lugar de asignar un valor de K único para todo el acuífero, se dividió el acuífero en diferentes zonas, de acuerdo con el uso y con la cobertura vegetal del suelo: selva, selva-pastizal, bosque, zonas agrícolas, pastizal y áreas urbanas (figura 6). Se obtuvieron las áreas para cada una de ellas y se calculó K como un promedio ponderado.

El valor obtenido es  $K = 0.193$ , que corresponde a suelos medianamente permeables con más del 75% cubierto de pastizal y de 50 al 75 % de cobertura de bosque. Este valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento:

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$

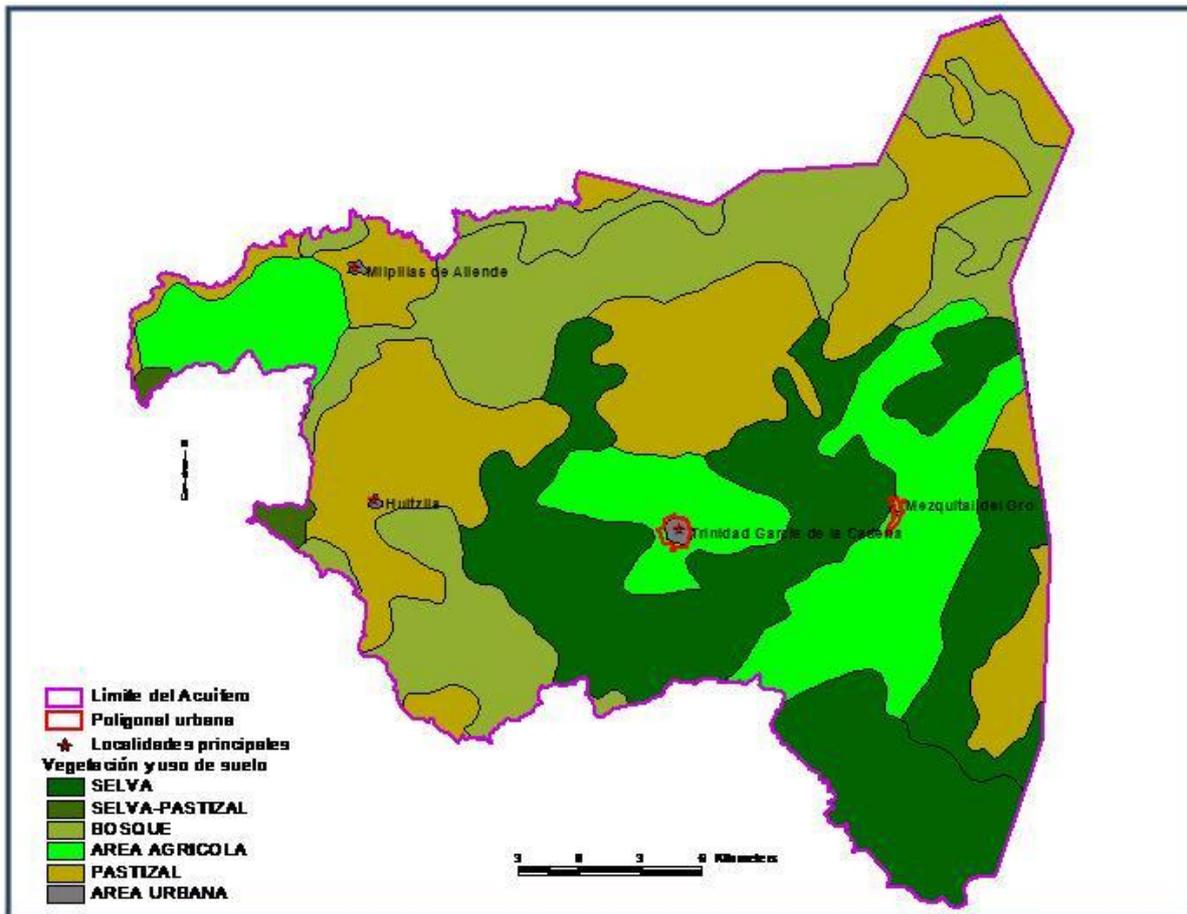
Dónde:

$C_e$ = Coeficiente de escurrimiento

K= Conductividad hidráulica

P= precipitación media anual en mm

Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de  $C_e = 0.084$ .



Fuente: INEGI)

Figura 6. Cobertura vegetal y uso de suelo

El volumen de escurrimiento resultó de 36.2 hm<sup>3</sup>/año al multiplicar el coeficiente de escurrimiento por el volumen precipitado en el área, el cual es de aproximadamente 430.6 hm<sup>3</sup>/año, valor obtenido en un área de 521 km<sup>2</sup> y una lámina de lluvia promedio de 826.4 mm/año.

Sustituyendo los valores antes calculados, tanto de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento en la ecuación que se planteó anteriormente para obtener el volumen infiltrado se tiene:

$$\text{Infiltración} = 430.6 - 360.8 - 36.2 = 33.6$$

Por lo tanto el valor del volumen de infiltración, que corresponde a la recarga vertical por lluvia es: **Rv = 33.6 hm<sup>3</sup> anuales**

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.078.

### 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 la 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

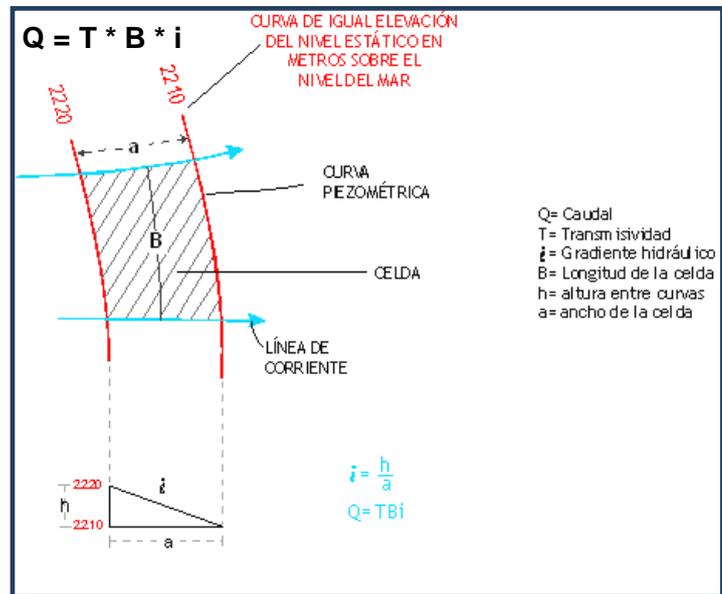
Dónde:

$Q$  = 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 celadas identificadas se presenta un flujo de entrada de **8.4 hm<sup>3</sup>/año**.

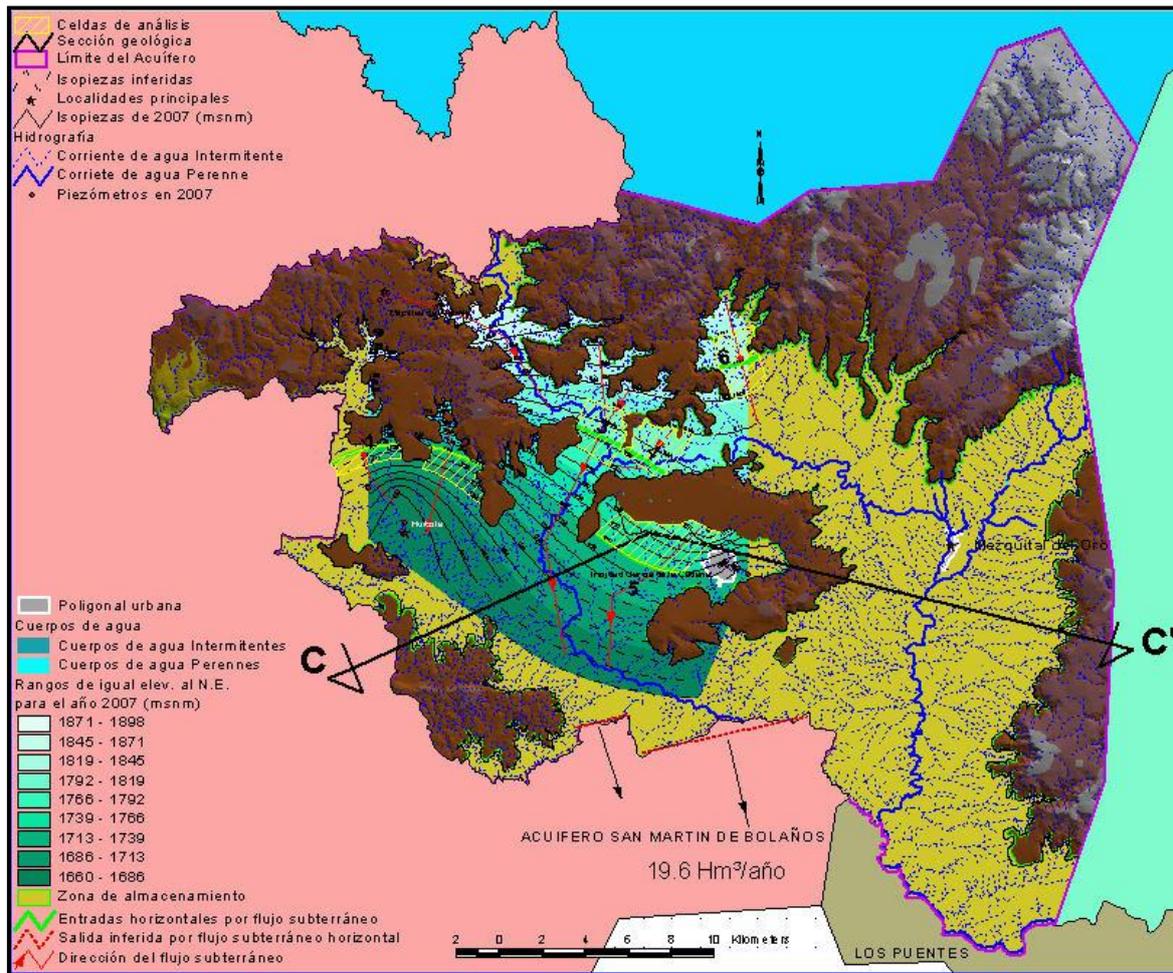


Figura 7. Red y celdas de flujo subterráneo

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

No. Celda	Prof. media al N.E. (m)	Profundidad media de la formación acuífera (m)	Espesor medio de acuífero (m)	Conductividad Hidráulica (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	B (m)	i	Q m <sup>3</sup> /s	Eh (hm <sup>3</sup> /año)
1	5.00	90.00	85.00	6.20E-06	5.27E-04	3,252	0.030	0.051	1.6
2	5.00	90.00	85.00	6.20E-06	5.27E-04	2,619	0.025	0.035	1.1
3	20.00	110.00	90.00	6.20E-06	5.58E-04	2,243	0.012	0.015	0.5
4	20.00	110.00	90.00	6.20E-06	5.58E-04	2,125	0.009	0.010	0.3
5	18.00	332.00	314.00	6.20E-06	1.95E-03	4,549	0.017	0.149	4.7
6	20.00	90.00	70.00	6.20E-06	4.34E-04	1,972	0.007	0.006	0.2
Totales								0.035	8.4

## 7.2. Salidas

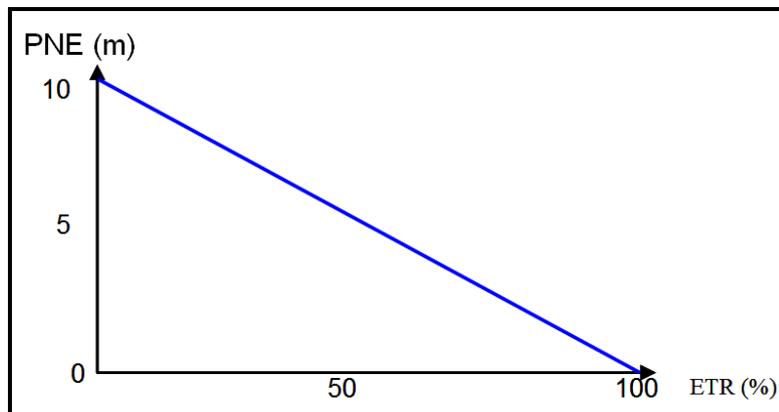
### 7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del

sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

Existe una zona del área de balance donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m de profundidad, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de las plantas. Se aplicó la fórmula de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración real es de 692.6 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 19.3° C y precipitación de 826.4 mm.

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Si consideramos que sólo en una superficie de 90 km<sup>2</sup> se registran niveles freáticos someros, con cobertura vegetal cuyas raíces son suficientemente largas y susceptibles de evapotranspirar, en la que la profundidad promedio al nivel estático es del 8.6 m, y la lámina de evapotranspiración real obtenida es de 692.6 mm, de acuerdo con la gráfica anterior se tiene:

$$\text{ETR} = 90 \text{ km}^2 (0.6926 \text{ m}) (0.14) = \mathbf{8.7 \text{ hm}^3/\text{año.}}$$

### 7.2.2. Flujo base (Qb)

El caudal base fue obtenido mediante el análisis de los hidrogramas mensuales para el periodo 1975-1993 en época de estiaje, obtenidos de la estación "Cuixtla", localizada sobre el río del mismo nombre, fuera de la zona. El resultado fue un gasto de 0.36 m<sup>3</sup>/s, que corresponde a un volumen anual de 11.5 hm<sup>3</sup>/año, el cual es válido para toda la cuenca del río Huixtla.

Por su parte el río Mezquital tiene una estación en la confluencia con el río Juchipila, conocida con el nombre de "Boquilla", el análisis mediante hidrogramas dio como resultado una aportación del acuífero al caudal base de 5.4 hm<sup>3</sup>.

Por lo tanto el caudal base total en la zona es de **16.9 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.3. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **0.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

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

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica en el intervalo 2004-2007, con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, obtenida como se mencionó anteriormente; determinándose que no existe un descenso promedio en la posición de los niveles del agua subterránea.

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 son las salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh). De la ecuación correspondiente, se tiene que:

$$Sh = Rv + Eh - B - Qb - ETR - \Delta V(S)$$

Sustituyendo valores:

$$Sh = 33.6 + 8.4 - 0.8 - 16.9 - 8.7 - 0$$

$$Sh = 15.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

La recarga total (Rt) es igual a la suma de las entradas

$$R_t = R_v + E_h = 42.0$$
$$R_t = 42.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 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:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS$$

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 **42.0 hm<sup>3</sup> 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 de este acuífero la descarga natural comprometida es **24.7 hm<sup>3</sup>/año**, que corresponde a la descarga natural por flujo base y el 50% del volumen de las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el acuífero San Martín de Bolaños en el estado de Jalisco. Con esto se promoverá la regularización de usuarios y el posible desarrollo en ambos lados del límite que comparten acuíferos vecinos entre estados.

### 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 **615,582 m<sup>3</sup>/año**.

### 8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (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.

$$\begin{aligned} \mathbf{DAS} &= \mathbf{Rt} - \mathbf{DNCOM} - \mathbf{VCAS} \\ \mathbf{DAS} &= 42.0 - 24.7 - 0.615582 \\ \mathbf{DAS} &= \mathbf{16.684418} \end{aligned}$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **16'684,418 m<sup>3</sup>** 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 actualmente 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, 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.