

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Villa García (3213),  
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.**

DL REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
<b>ESTADO DE ZACATECAS</b>							
3213	VILLA GARCÍA	15.5	2.2	7.126318	10.3	6.173682	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  
VILLA GARCÍA (3213),  
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.....	7
3.1. Provincia fisiográfica .....	7
3.2. Clima .....	7
3.3. Hidrografía.....	8
3.4. Geomorfología .....	8
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1. Estratigrafía .....	9
4.2. Geología estructural.....	10
4.3. Geología del subsuelo .....	12
5. HIDROGEOLOGÍA .....	12
5.1. Tipo de acuífero.....	12
5.2. Parámetros hidráulicos .....	13
5.3. Piezometría.....	13
5.4. Comportamiento hidráulico .....	13
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	13
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	13
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	14
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS .....	16
7.1. Entradas .....	17
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	17
7.1.2. Recarga inducida (Ri).....	17
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	18
7.2. Salidas.....	20
7.2.1. Evapotranspiración (ETR) .....	20
7.2.2. Salida a través de manantiales (Dm).....	21
7.2.3. Bombeo (B) .....	21
7.2.4. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	21
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	21
8. DISPONIBILIDAD .....	22
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 media anual de agua subterránea (DAS) .....	23
9. BIBLIOGRAFIA.....	24

## **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 Villa García, definido con la clave 3213 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción suroriental del Estado de Zacatecas, entre los paralelos 22° 00' y 22° 13' de latitud norte y entre los meridianos 101° 45' y 102° 02' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 305 km<sup>2</sup>.

Colinda al este con el acuífero Pinos, al norte con Villa Hidalgo y Loreto, que pertenecen al estado de Zacatecas; al sureste con Ojuelos y al sur con Primo Verdad, ambos pertenecientes al estado de Jalisco; al suroeste con Valle de Chicalote del estado de Aguascalientes. Figura 1.

Geopolíticamente abarca casi en su totalidad el municipio de Villa García y parcialmente los municipios de Pinos y Loreto.

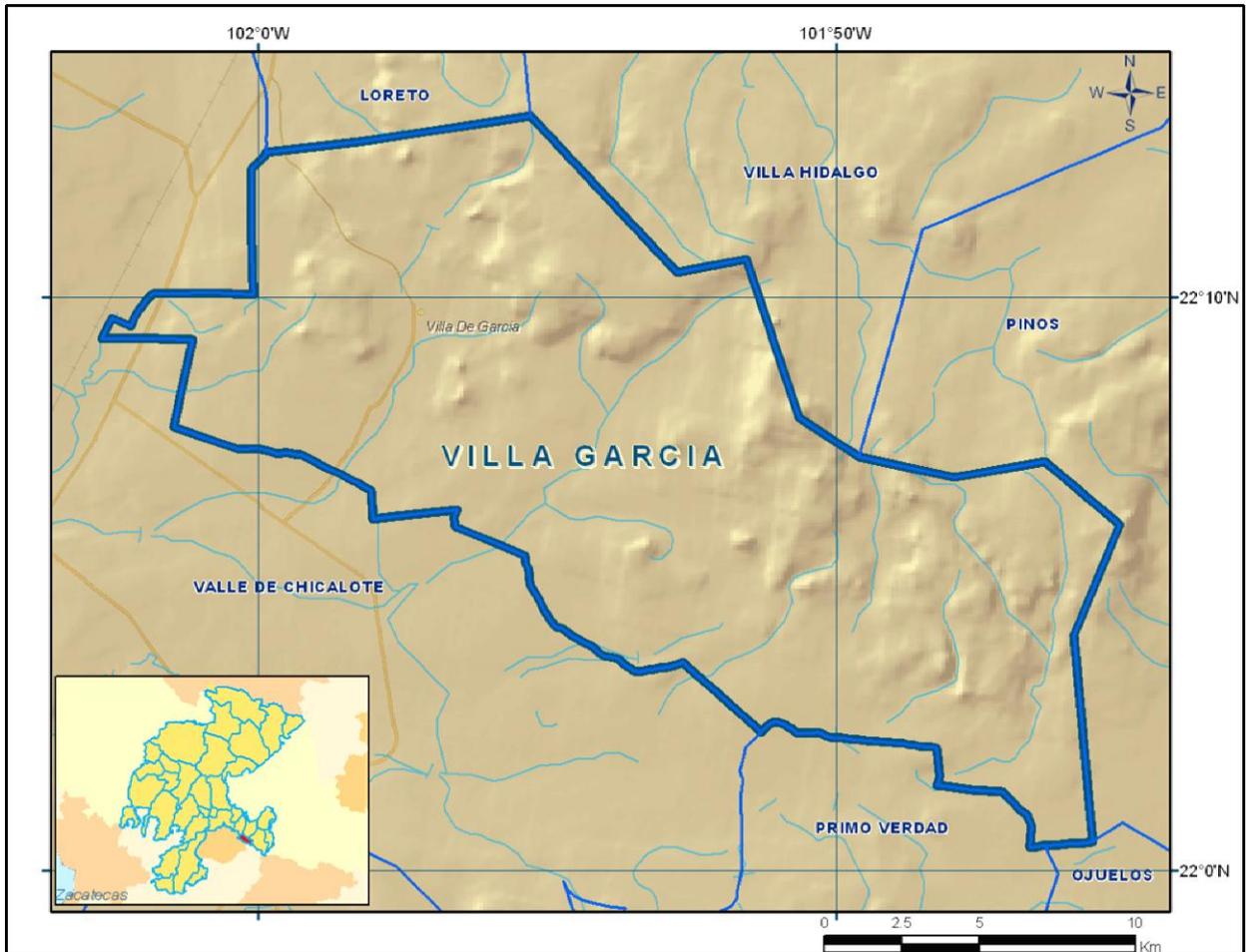


Figura 1. Localización del acuífero

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

**ACUÍFERO 3213 VILLA GARCÍA**

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	46	22.5	22	0	25.9	DEL 1 AL 2 POR EL LÍMITE ESTATAL
2	101	51	18.4	22	2	24.6	DEL 2 AL 3 POR EL LÍMITE ESTATAL
3	101	59	52.6	22	12	32.7	
4	101	58	16.7	22	12	43.2	
5	101	55	17.9	22	13	9.9	
6	101	52	45.6	22	10	26.8	
7	101	51	33.9	22	10	39.9	
8	101	50	39.5	22	7	54.6	
9	101	49	36.4	22	7	13.3	
10	101	47	57.1	22	6	52.1	
11	101	46	22.9	22	7	8.9	
12	101	45	5.2	22	6	2.7	
13	101	45	52.5	22	4	6.3	
14	101	45	33.3	22	0	30.4	DEL 14 AL 1 POR EL LÍMITE ESTATAL
1	101	46	22.5	22	0	25.9	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Villa García 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 los Municipios de Noria de Ángeles, Pinos, Villa García y Otros, ubicados en el Estado de Zacatecas.” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 9 de febrero de 1978. Esta veda es tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008, los municipios Villa García y Pinos se encuentran en zona de disponibilidad 7 y Loreto en zona 5.

El usuario principal del agua es el sector agropecuario. 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

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:

**PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA REGIÓN DE VILLA GARCÍA, ESTADO DE ZACATECAS, elaborado por la empresa Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S. A., en Diciembre de 1981, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.**

El objetivo de este estudio fue definir el comportamiento del sistema acuífero, las estructuras y las unidades hidrogeológicas con posibilidades de almacenar agua subterránea así como la identificación de áreas favorables para la perforación de pozos exploratorios. Entre las actividades de campo más relevantes destacan el censo de aprovechamientos, piezometría análisis físico-químicos e hidrometría de las extracciones.

**SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA REGIÓN DE PINOS EN EL ESTADO DE ZACATECAS, elaborado por la empresa Técnicos Asesores y Constructores, S.A., en 1981, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.**

En este estudio se realizó censo de aprovechamientos, levantamiento geológico y muestreo de agua para realizar análisis físico- químicos, se definieron las características de las estructuras geológicas y unidades geohidrológicas, el comportamiento del acuífero, la dirección del flujo subterráneo y las condiciones de salinidad del agua subterránea.

Adicionalmente se recabaron muestras de roca para análisis petrográficos y se realizaron sondeos eléctricos verticales. Recomienda la perforación de 8 pozos y efectuar análisis bacteriológicos al agua subterránea que se destina al uso doméstico y publico-urbano.

**PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA Y PERFORACIÓN EXPLORATORIA EN LA REGIÓN DE PINOS, VILLA GARCÍA Y GUADALUPE BAÑUELOS DEL ESTADO DE ZACATECAS, elaborado por la Comisión Nacional del Agua, en 1988.**

El objetivo de este estudio fue definir las estructuras y las unidades geohidrológicas del subsuelo con posibilidades de almacenar agua subterránea y conocer el comportamiento del acuífero. Se realizó censo de aprovechamientos de agua subterránea y se definieron las estructuras y unidades geohidrológicas presentes en el subsuelo mediante la perforación de 5 pozos exploratorios.

**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 la 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), la zona se ubica en la provincia fisiográfica conocida con el nombre de "Mesa del Centro"; subprovincia Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes, que se caracteriza por la presencia de amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, la mayoría de ellas de naturaleza volcánica, así como mesetas típicas y llanuras desérticas de piso rocoso.

#### **3.2. Clima**

El clima de la zona se caracteriza por ser árido y extremo. De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, para las condiciones de la República Mexicana, el tipo de clima que predomina es el seco, subgrupo de clima semiseco con lluvias en verano, con porcentaje de precipitación invernal 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 1987-2006, provenientes de 15 estaciones climatológicas ubicadas en la zona: El Nigromante, Ojuelos de Jalisco, Pinos, Villa Hidalgo, Asientos, El Novillo, El Tule, General Guadalupe Victoria, Las Fraguas, Loreto, Los Campos, Rancho Seco, San Gil, Villa García y Villa Juárez.

Con base en estos registros se estimó una temperatura media anual de 16.5° C para la superficie que cubre el acuífero.

El valor de la precipitación media anual obtenido para este periodo es de 440 mm/año. Los meses más lluviosos son aquellos que comprenden el periodo de julio a septiembre.

### **3.3. Hidrografía**

El área se ubica dentro de la Región Hidrológica 12 "Lerma-Santiago". Pertenece a la cuenca del "Río Verde - Grande", subcuenca Villa García. Debido al régimen de precipitación que se registra en esta zona, existen pocos arroyos y son de tipo intermitente, perdiéndose sus escurrimientos hacia el centro de la zona en donde el material aluvial alcanza los máximos espesores.

El colector principal en la zona que comprende el acuífero es el Arroyo Hondo, el cual capta escurrimientos desde las estribaciones de la sierra que divide a esta región hidrológica. Tiene una dirección general de flujo al poniente, hacia el Estado de Aguascalientes. Posteriormente, fuera de la zona, prosigue por el Estado de Aguascalientes y descarga sus aguas en el Río Chicalote, afluente del Río Aguascalientes, mismo que cambia su nombre, ya en el Estado de Jalisco, a Río Verde. Con este nombre fluye cerca de Guadalajara, antes de descargar en el Río Juchipila, que se considera uno de los principales afluentes del Río Santiago, el cual finalmente descarga sus aguas en el Océano Pacífico.

Dentro del área no se cuenta con estaciones hidrométricas, ya que los volúmenes que circulan son de un régimen transitorio. No existe infraestructura hidráulica para el almacenamiento del agua dentro del área.

### **3.4. Geomorfología**

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

Mesetas.- Se encuentran ubicadas principalmente en la porción central del área, con alturas que varían entre los 2550 y 2350 msnm. Están formadas por derrames riolíticos con escarpes de 20 a 30 m de altura, en ellas se desarrolla un drenaje dendrítico rectangular.

Montañas Plegadas.- Ocupan la porción central del área, formando una serie de cerros redondeados con alturas que varían entre los 2200 y 2300 msnm, el drenaje desarrollado en esta topoforma es dendrítico paralelo.

Planicies.- Se ubican tanto en la porción central como en la oriental y occidental del área, presentan alturas de 2050 a 2200 msnm, el drenaje desarrollado dentro de esta unidad es dendrítico espaciado.

#### 4. GEOLOGÍA

La columna geológica de la zona, está constituida por rocas sedimentarias e ígneas intrusivas y volcánicas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Cretácico Superior al Cenozoico, distribuidos en la Cuenca Mesozoica del Centro de México, su ocurrencia geográfica se indica en la figura 2.

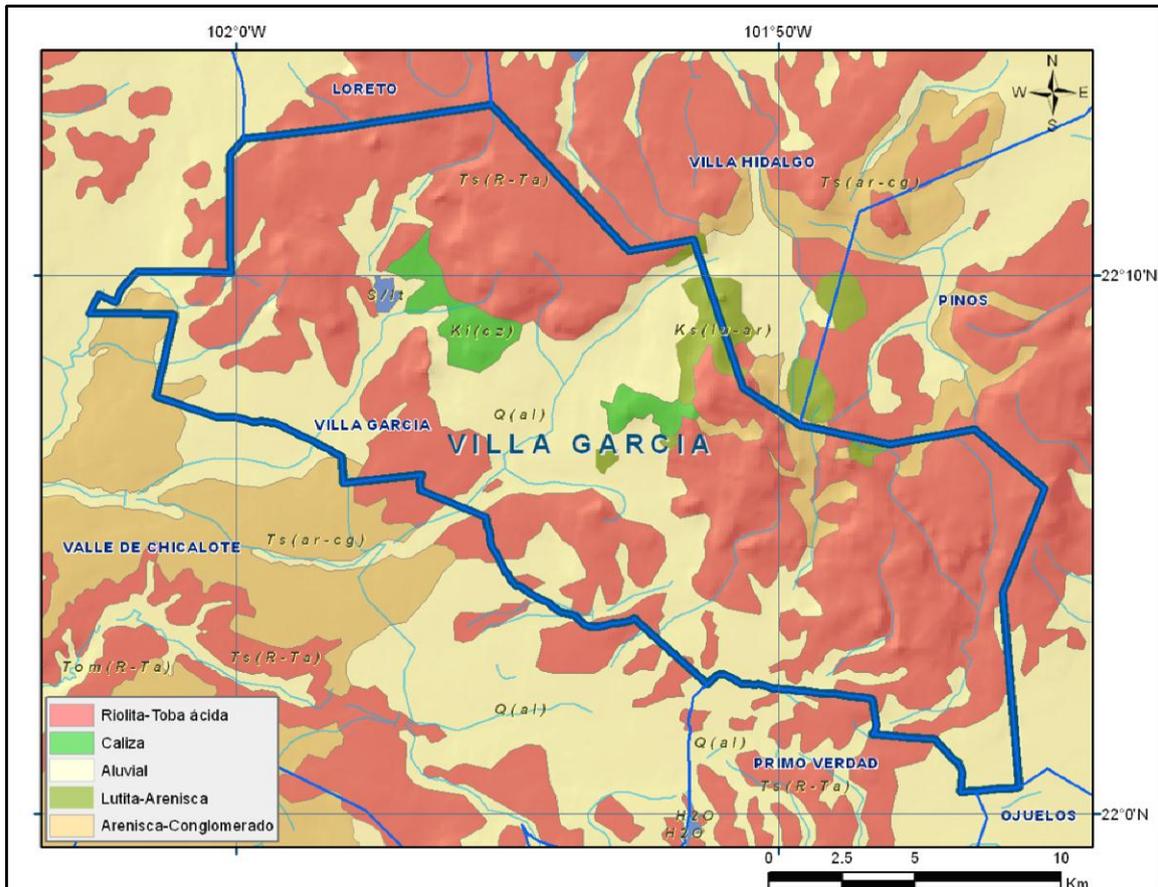


Figura 2. Geología general del acuífero

##### 4.1. Estratigrafía

Las rocas más antiguas se encuentran representadas por calizas del Cretácico, las cuales pertenecen a dos formaciones litoestratigráficas principales: La Formación Indidura, constituida por una alternancia de calizas y lutitas de edad Turoniano depositadas en agua tranquila poco profunda; y las calizas de la Formación Cuesta del Cura.

Del Paleógeno-Neógeno se tiene una secuencia de rocas volcánicas del Oligoceno, constituidas por derrames riolíticos, riocácíticos, tobas riolíticas e ignimbritas del Neógeno; conglomerado polymictico constituido por fragmentos subredondeados de areniscas y rocas volcánicas de composición riolítica, areniscas y limos semiconsolidados. Al Cuaternario corresponden aluviones con diversas granulometrías, producto erosivo de las rocas preexistentes, a las cuales cubren parcialmente.

## **Basamento**

El basamento en la zona está conformado por calizas del Cretácico inferior.

**Cretácico Inferior (Kace Cz-Lu). Formación Cuesta del Cura.** Aflora al SE de Villa García y en la margen sur del gran valle que se extiende desde Agua Gorda al Picacho. Es una secuencia de calizas dispuestas en estratos delgados a medianos (desde algunos cm hasta los 30 cm), de edad Albiano-Cenomaniano. Esta formación carece de nódulos silíceos en sus calizas de color gris que intemperizan a gris amarillento y no presenta desarrollo de carsticidad en absoluto; debido que contiene intercalaciones delgadas de lutitas y limonitas. No se les considera acuíferos de transmisividad significativa.

**Cretácico Superior (Kt Cz-Lu). Formación Indidura.** Aflora en la base de la meseta del Prentón, al SW del Cerro El Picacho. Forma la base acantilada de las mesetas riolíticas elevadas. Se trata de una secuencia marina estratificada, compuesta de lutitas, margas y areniscas caracterizadas por colores que varían de gris a negro, rojo y azul. Esta formación es de edad Turoniano y se caracteriza por depósitos epirogénicos de tipo Flysch. Su espesor varía de 300 a 800 m aproximadamente.

**Paleógeno-Neógeno Volcánico Continental (Tom R-Ig).** Forma las mesetas columnares de 20 a 30 m de altura elevadas alrededor del plano elevado y circular de Rancho Nuevo (Riolitas Cerro El Picacho). La sobreposición de las riolitas del Picacho sobre las de Villa García es visible al NE de esta población.

**Abanicos Aluviales (Qal).** Debido a la erosión profunda de la sierra y de sus mesetas con cubierta de lavas riolíticas, se fueron formando en los flancos inferiores depósitos eluviales y aluviales que fueron rellenando eventualmente las planicies intermontanas de la región. Los elementos de este ciclo erosivo se presentan en forma de depósitos de taludes a los pies de los escarpes abruptos; contienen material clástico volcánico además de arenas y limos.

Los depósitos aluviales del área presentan espesores muy reducidos en la planicie elevada de Rancho Nuevo, así como en manchones en los flancos de la sierra. Dentro del valle llegan a formar depósitos que alcanzan espesores de 30 a 40 m. En las planicies al SW de Villa García el espesor es de 40 m, formado por arenas, gravas y tobas intercaladas, todos cubiertos por suelos húmicos de origen semidesértico.

## **4.2. Geología estructural**

La geología estructural comprende en primera fase los plegamientos del basamento marino y en segunda fase los movimientos tectónicos que produjeron el vulcanismo continental del Paleógeno.

Primera fase: Ocurrió a principios del Paleógeno, cuando los sedimentos marinos del cretácico sufrieron deslizamientos submarinos dirigidos al NE. Estos movimientos orogénicos crearon extensos anticlinorios y sinclinatorios. En el anticlinorio formado en la sierra localizada al este del acuífero se reconocen dos anticlinales, infiriéndose un tercero ubicado al este de ellos, 2 km al SE de Francisco I. Madero. Los ejes de estos anticlinales están marcados en el corte geológico A - A', mostrado en la sección geológica esquemática de la figura 3.

Segunda fase: Las riolitas de Villa García así como aquellas que afloran en las localidades El Peñón y Los Rincones, ubicadas al SW y SE, respectivamente, son anteriores a las riolitas del Complejo Picacho, ya que éstas últimas se sobreponen a las primeras. El origen tectónico de este vulcanismo no pudo definirse por la presencia directa de fallas en campo; no obstante, la distribución de domos volcánicos parece indicar dos direcciones preponderantes de fracturamiento, una dirigida al NE y otra en sentido contrario, al SE. Los frentes abruptos que marcan el límite de las mesetas riolíticas del Gran Valle siguen una dirección al NE.

En el lado opuesto y también con dirección al NE, puede trazarse un lineamiento que limita la extensión del borde oriental de la gran caldera central de Rancho Nuevo. Este rasgo morfológico de primer orden, representa muy probablemente un fenómeno de colapso de un antiguo gran volcán que fue precisamente el centro de emisión del complejo riolítico del Picacho.

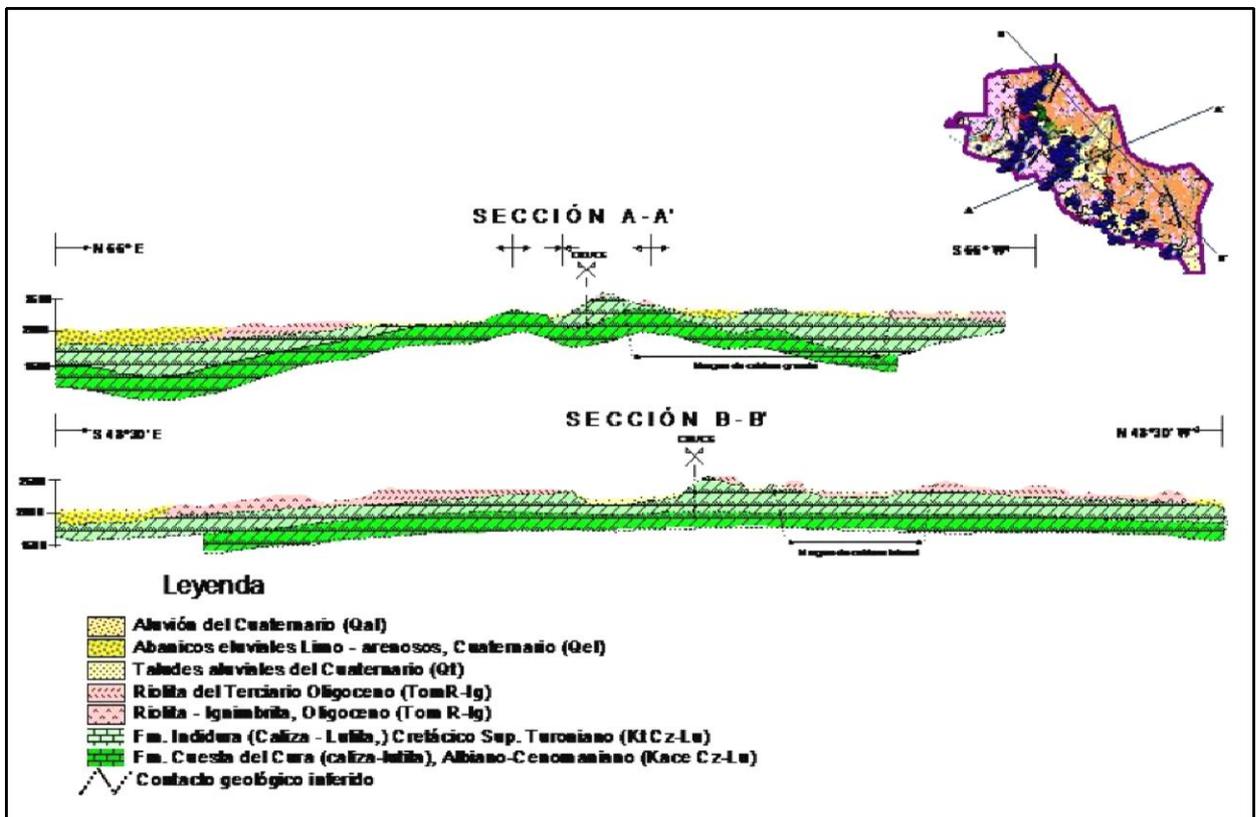


Figura 3. Sección geológica de la zona

### 4.3. Geología del subsuelo

Con base en los resultados de la geología del subsuelo: sondeos geofísicos realizados en estudios previos, descripción de cortes litológicos y la interpretación de la información hidrogeológica que existe, es posible definir un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con condiciones locales de semiconfinamiento; conformado por un medio granular, hacia la parte superior, y otro fracturado subyacente.

El medio granular está constituido por materiales aluviales de granulometría variada y los conglomerados que constituyen los depósitos de talud. El medio fracturado está conformado por la secuencia de calizas y lutitas del Cretácico, así como las rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno (riolitas e ignimbritas).

Existe interconexión hidráulica entre ambos medios, de tal manera que el espesor del acuífero puede alcanzar varias centenas de metros en el centro de los valles, dependiendo de la profundidad del fracturamiento, y disminuir gradualmente hacia los flancos de las sierras que los rodean.

Verticalmente la frontera superior es la posición del nivel freático y las fronteras inferiores y laterales están constituidas por la secuencia de calizas y lutitas, así como las rocas volcánicas, cuando su permeabilidad secundaria por fracturamiento desaparece.

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible reconocer tres unidades hidrogeológicas, que en conjunto definen un sistema acuífero conformado por un medio superior granular y otro inferior fracturado, que se comporta de manera general como **libre**.

**Aluvión del Cuaternario.** Es un acuífero libre de mediana productividad constituido por materiales aluviales del Cuaternario, que se localizan en todos los valles y al pie de las sierras que se encuentran dentro de la zona.

**Riolitas e ignimbritas ácidas.** Sus afloramientos en superficie funcionan como zonas de recarga al acuífero granular y en el subsuelo constituye el medio fracturado capaz de transmitir y almacenar el agua. A profundidad, cuando la permeabilidad secundaria por fracturamiento desaparece, constituye el basamento del medio granular superior.

**Calizas.** En superficie afloran en forma de anticlinales que funcionan como zonas de recarga al acuífero. A profundidad, cuando presentan fracturamiento, pueden constituir un acuífero de

mediana a baja permeabilidad. Debido que en los valles se presentan como sinclinales en los que el fracturamiento es escaso, generalmente constituye el basamento hidrogeológico de las dos unidades anteriores.

## **5.2. Parámetros hidráulicos**

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2007, se ejecutaron 3 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, con duración de 5 a 8 horas, para la etapa de abatimiento y de 6 a 12 horas para la recuperación. Se obtuvieron conductividades hidráulicas variadas, acordes a las condiciones y características locales de las unidades litológicas. Los resultados de conductividad hidráulica en la etapa de abatimiento fueron de **228, 0.88 y 38.19 m/día**, respectivamente; mientras que en la etapa de recuperación fueron: **151.2, 1.17 y 39.05 m/día**.

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 tres lecturas que corresponden a los años 2004, 2006 y 2007 obtenidas en 29, 29 y 42 aprovechamientos, respectivamente.

## **5.4. Comportamiento hidráulico**

### **5.4.1. Profundidad al nivel estático**

Con la información disponible fue posible elaborar las configuraciones de profundidad al nivel estático para 2007 en casi toda la superficie del acuífero. En la figura 4 se presenta la configuración, en la que se puede observar que los valores variaban de 5 a 80 m. Las profundidades más someras, de 5 a 10 m, se registran hacia el centro de los valles; y los valores más altos, de 50 a 80 m, hacia las estribaciones de las sierras.

### **5.4.2. Elevación del nivel estático**

La configuración de la elevación del nivel estático que corresponde al año 2007 se presenta en la figura 5. En ella se puede observar que los valores varían de 2190 a 2055 msnm, identificándose una dirección preferencial del flujo subterráneo en el sentido NE-SW, hacia el límite con el estado de Jalisco, de manera paralela al escurrimiento de los arroyos.

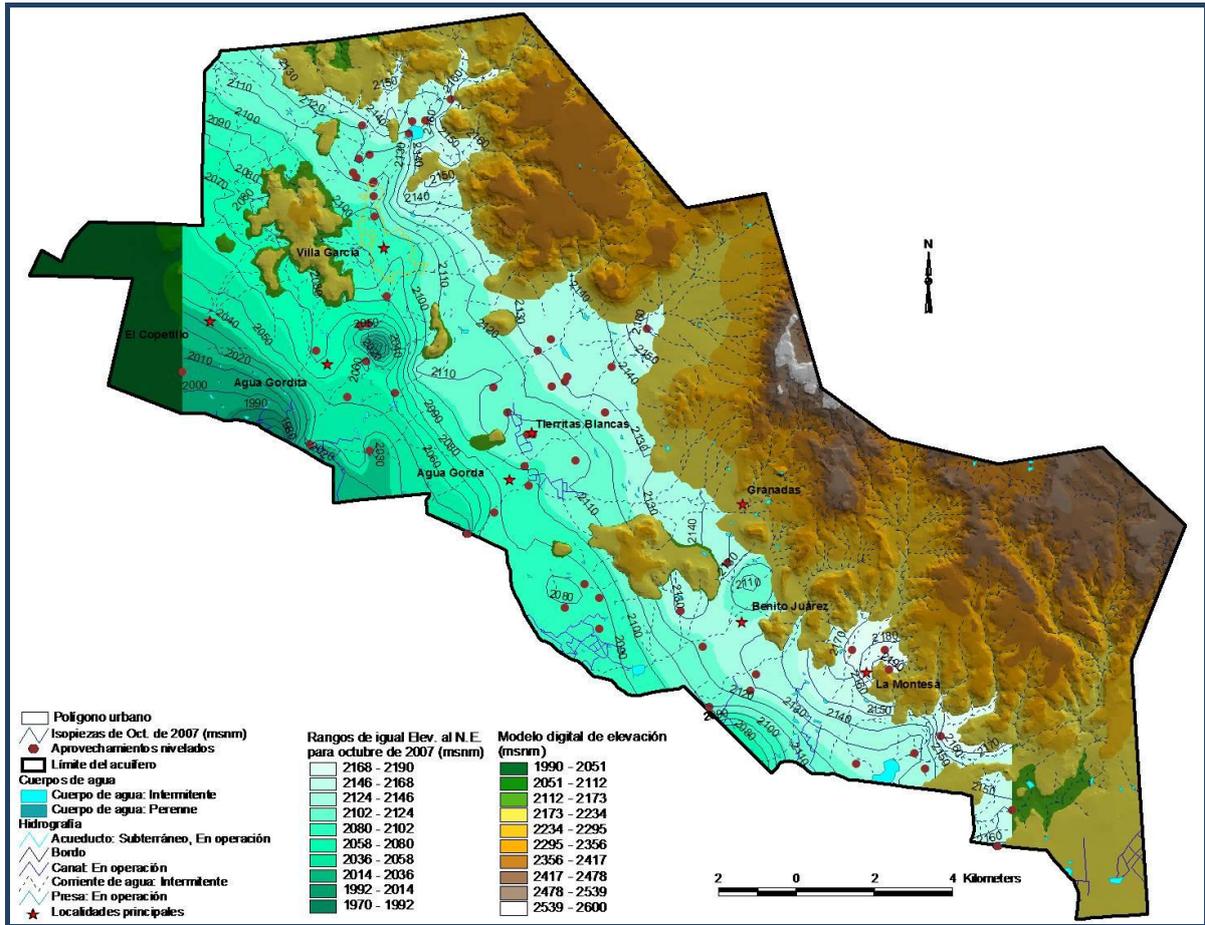


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2007

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica que permita la configuración en todo el acuífero. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos se encuentran dispersas en tiempo y espacio y solo cubren la porción noroccidental del acuífero. El análisis de la evolución del nivel estático para el periodo 2004-2007 en esta porción del acuífero arroja un valor de recuperación promedio de 0.30 m anuales. Aunado a esto, la configuración resultante no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración del bombeo o de pozos.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo

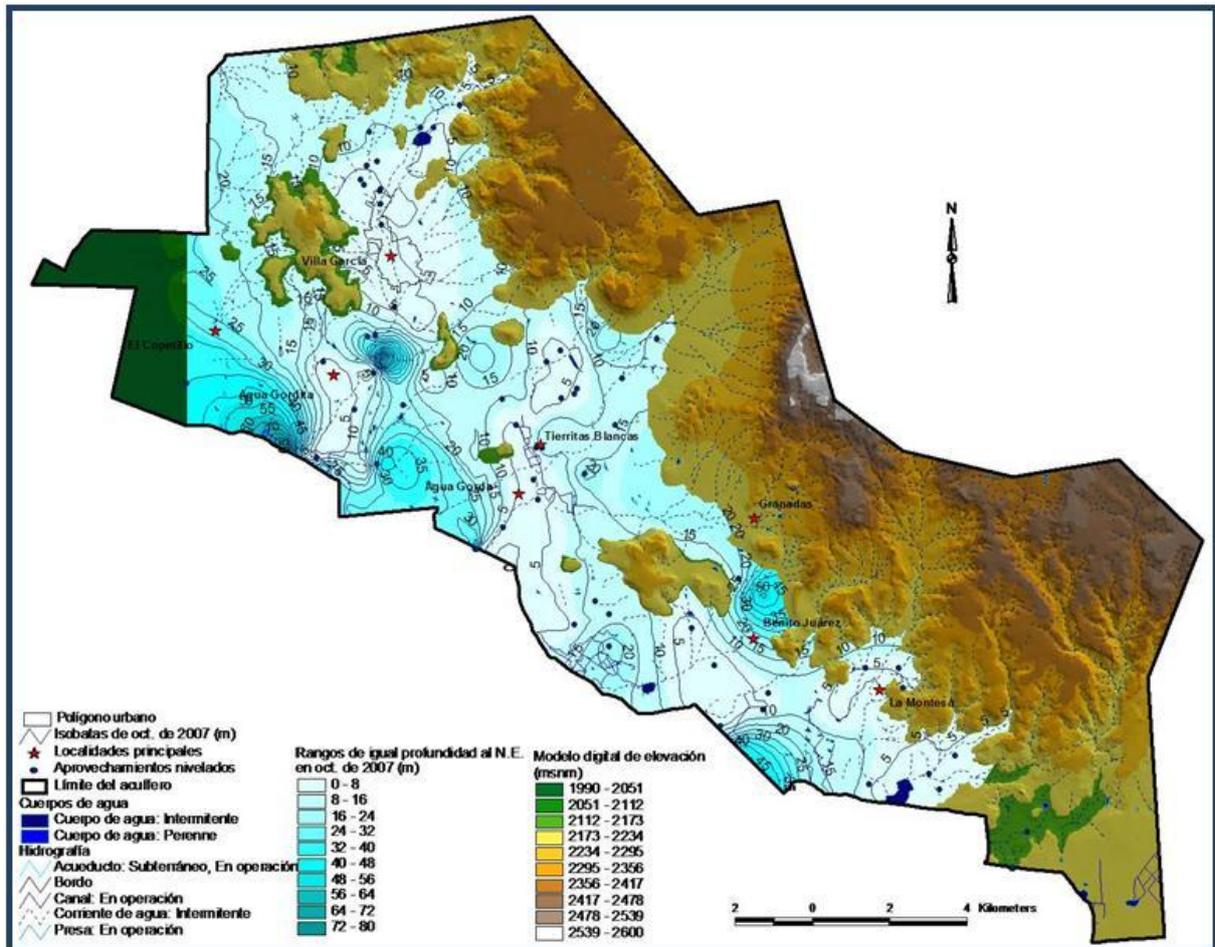


Figura 5. Elevación del nivel estático (msnm), 2007

## 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 20 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 Disueltos Totales (SDT) varían de 24 a 986 mg/l. De los resultados químicos obtenidos podemos inferir que en lo que respecta al uso y consumo humano, el agua de 6 aprovechamientos analizados no es apta, ya que presenta concentraciones de flúor y nitratos por arriba de lo recomendado en la NOM-127-SSA1-1994.

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 alta ( $C_3$ ) y contenido bajo de sodio ( $S_1$ ). De las 20 muestras analizadas, 2 se clasifican como  $C_1S_1$ , en 4 como  $C_3S_1$  y 14 como  $C_2S_1$ . Con base en estas características

podemos afirmar que, salvo las 6 muestras mencionadas, el agua de este acuífero es en general apta para el riego de la mayoría de los cultivos.

Con respecto a las familias del agua, predominan la bicarbonatada mixta (sódico- cálcica), que indica que la composición del material granular que constituye al sistema acuífero tiene origen sedimentario químico (calizas) y volcánico ácido (riolitas e ignimbritas).

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

En el año de 2007 se censaron un total de 461 aprovechamientos de agua subterránea dentro de los límites geográficos del acuífero, de los cuales 431 son norias, 26 pozos profundos y 4 manantiales. Del total de aprovechamientos 419 están activos y 42 inactivos.

De las obras activas 228 se destinan al uso agrícola, 146 al uso doméstico, 19 a los usos doméstico y agrícola, 15 para el uso público-urbano, 4 al uso pecuario, 3 a los usos doméstico más pecuario, 2 para el uso en servicios y 1 al uso agrícola y pecuario. El volumen de extracción conjunta asciende a **10.3 hm<sup>3</sup>** anuales, destinados casi en su totalidad a satisfacer las necesidades del uso agrícola y público-urbano.

La extracción para uso doméstico-abrevadero y agrícola 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 2004-2007, en una superficie de 150 km<sup>2</sup> 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 están representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

## 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 ( $R_i$ ).

#### 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 ( $\Delta V$ ), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$R_v + E_h + R_i - B - Sh - ETR - D_m = \pm \Delta V(S)$$

Donde:

- $R_v$ : Recarga vertical
- $E_h$ : Entradas por flujo subterráneo horizontal
- $R_i$ : Recarga inducida
- $B$ : Bombeo
- $Sh$ : Salidas por flujo subterráneo horizontal
- $ETR$ : Evapotranspiración
- $D_m$ : Salida a través de manantiales
- $\Delta V(S)$ : Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + Sh + ETR + D_m + -\Delta V(S) - E_h - R_i$$

#### 7.1.2. Recarga inducida ( $R_i$ )

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área se calculó multiplicando al volumen excedente de agua superficial y subterránea destinada al riego, que para el periodo 2004-2007 tiene un valor promedio de

19.5 hm<sup>3</sup>, por un coeficiente de infiltración del 10%, resultando un volumen de recarga de 1.9 hm<sup>3</sup> para el periodo, por lo que la recarga inducida media anual es de **0.6 hm<sup>3</sup>**.

El 10% se explica de la siguiente forma: de acuerdo al tipo clima que se presenta en la zona el porcentaje de agua excedente (50% del volumen bruto utilizado) utilizada en el riego que se pierde por infiltración es del orden del 10%, mientras que las pérdidas totales por evaporación y por colmatación de suelos suman el 90% restante del agua excedente de riego.

### 7.1.3. 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 6), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

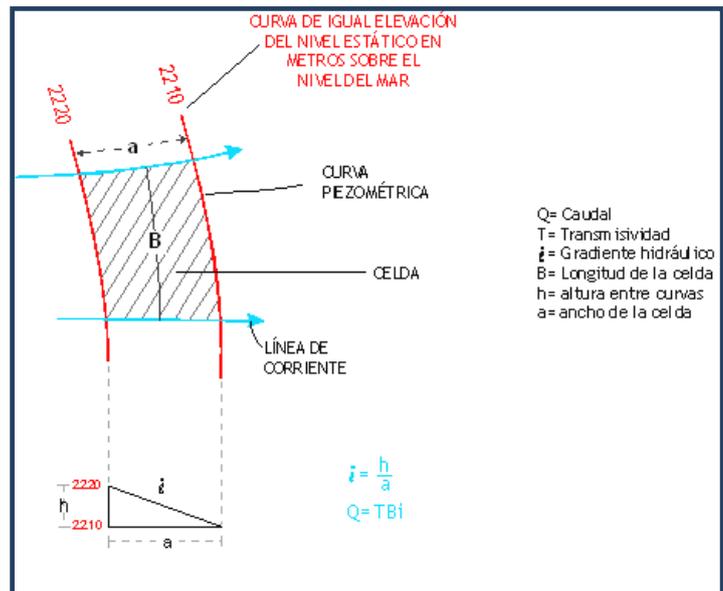
Dónde:

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 celdas identificadas se presenta un flujo de entrada de **7.4 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

No. Celda	Espesor medio de acuífero (m)	K (m/s)	T (m <sup>2</sup> /s)	B (m)	i	Q m <sup>3</sup> /s	Eh (hm <sup>3</sup> /año)
1	17	2.38E-05	0.0004	2,680	0.0156	0.017	0.5
2	15	2.38E-05	0.0004	1,989	0.0968	0.069	2.2
3	20	2.38E-05	0.0005	1,563	0.0488	0.036	1.1
4	20	2.38E-05	0.0005	1,328	0.0127	0.008	0.3
5	35	2.38E-05	0.0008	3,471	0.0072	0.021	0.7
6	17	2.38E-05	0.0004	3,309	0.0235	0.032	1.0
7	16	2.38E-05	0.0004	4,408	0.0206	0.035	1.1
8	16	2.38E-05	0.0004	1,917	0.0256	0.019	0.6
<b>SUMA</b>						<b>0.236</b>	<b>7.4</b>

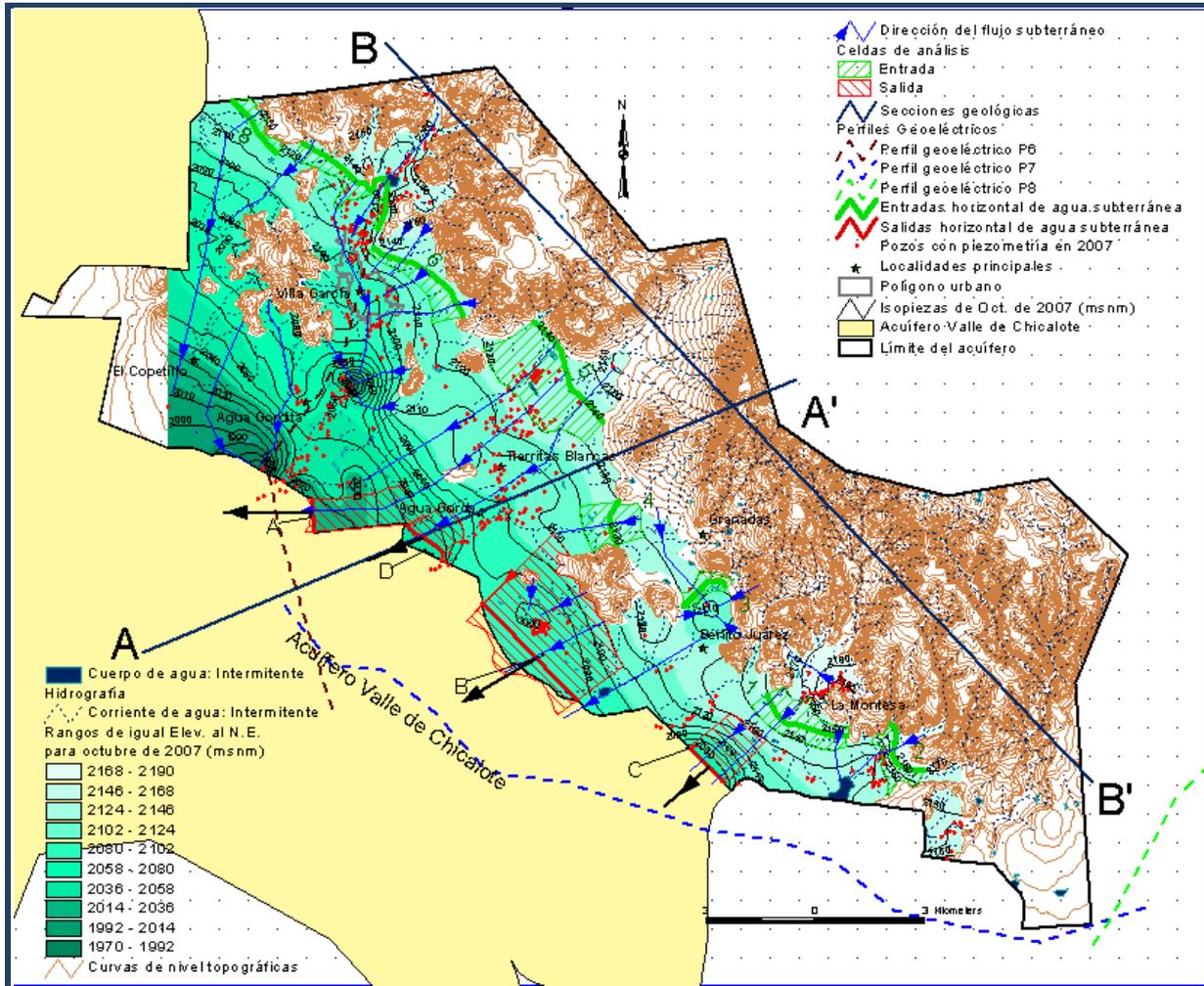


Figura 6. Red y celdas de flujo subterráneo (2007)

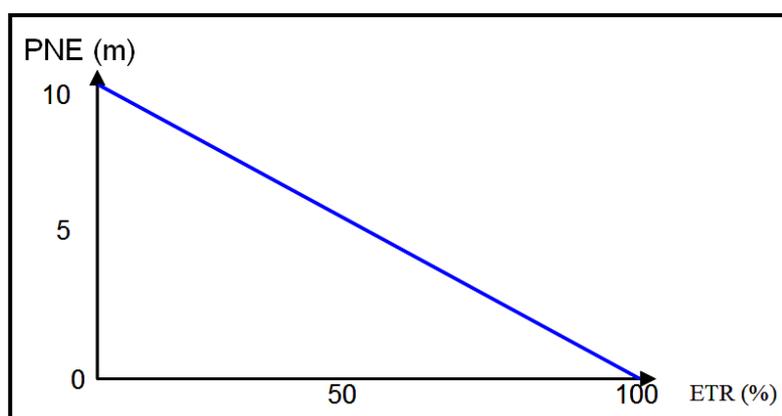
## 7.2. Salidas

### 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 415.6 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 16.5° C y precipitación de 439.9 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 porcentaje 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 en sólo en una superficie de 7.6 km<sup>2</sup> se registran niveles freáticos someros, donde la profundidad media es del 7.4 m y la lámina de evapotranspiración real es de 415.6 mm, de acuerdo con la gráfica anterior:

$$ETR = 7.6 \text{ km}^2 (0.4156 \text{ m}) (0.24) = 0.8$$

$$ETR = 0.8 \text{ hm}^3/\text{año.}$$

### 7.2.2. Salida a través de manantiales (Dm)

En la zona existen algunos pequeños manantiales. Del análisis de su descarga se estima que un volumen que anualmente desalojan es de tan sólo **0.1 hm<sup>3</sup>**.

### 7.2.3. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **10.3 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.4. 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 6. El Valor estimado es de **4.3 hm<sup>3</sup> anuales**, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Calculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

No. Celda	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)
A	40.00	2.38E-05	9.52E-04	928	0.015	0.014	0.4
B	40.00	2.38E-05	9.52E-04	3,749	0.009	0.032	1.0
C	50.00	2.38E-05	1.19E-03	1,304	0.039	0.061	2.0
D	40.00	2.38E-05	9.52E-04	1,250	0.024	0.029	0.9
<b>Total</b>						0.136	<b>4.3</b>

Este volumen de agua subterránea fluye hacia el acuífero Valle de Chicalote, en el estado de Aguascalientes.

### 7.3. Cambio de almacenamiento ΔV(S)

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica suficiente para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático que cubra la superficie del acuífero. Los registros existentes de estudios previos se encuentran dispersos en tiempo y espacio y sólo cubren la porción noroccidental del acuífero. Adicionalmente, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

Bajo estas consideraciones, la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

Por lo tanto para efecto 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:

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

Sustituyendo valores:

$$Rv = 10.3 + 4.3 + 0.8 + 0.1 + 0.0 - 7.4 - 0.6$$

$$Rv = 7.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$Rt = Rv + Eh + Ri = 7.5 + 7.4 + 0.6 = 15.5$$

$$Rt = 15.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## **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:

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS$$

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 **15.5 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 se consideró como descarga natural comprometida de **2.2 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 2.1 corresponden al 50% de las salidas subterráneas hacia el acuífero vecino Valle de Chicalote, en el estado de Aguascalientes, y los 0.1 hm<sup>3</sup> restantes a la descarga de los manantiales.

Con esto se promoverá la regularización de usuarios y el 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 **4 724,104 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.

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

$$\text{DAS} = 15.5 - 2.2 - 4.724104$$

$$\text{DAS} = 8.575896$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **8'575,896 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, 1988. Prospección Geohidrológica y Perforación Exploratoria en la Región de Pinos, Villa García y Guadalupe Bañuelos del Estado de Zacatecas. Comisión Nacional del Agua. Unidad de Aguas Subterráneas.

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 Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1981. Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la Región de Villa García, Estado de Zacatecas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Elaborado por la empresa Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S. A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1981. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la Región de Pinos en el Estado de Zacatecas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas. Elaborado por la empresa Técnicos Asesores y Constructores, S.A.