

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Nochistlán (3208),  
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.**

DXLVI 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>							
3208	NOCHISTLÁN	23.2	8.8	6.207392	4.8	8.192609	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 NOCHISTLÁN (3208),  
ESTADO DE ZACATECAS**

**México, D.F., enero de 2010**

## 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. Hidrografía.....	7
3.4. Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía .....	8
4.2. Geología estructural .....	11
4.3. Geología del subsuelo .....	12
5. HIDROGEOLOGÍA .....	13
5.1. Tipo de acuífero.....	13
5.2. Parámetros hidráulicos .....	14
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 .....	17
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	17
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS .....	18
7.1. Entradas.....	18
7.1.1. Recarga vertical (Rv) .....	19
7.1.2. Recarga inducida (Ri) .....	19
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	20
7.2. Salidas .....	21
7.2.1. Evapotranspiración (ETR) .....	21
7.2.2. Caudal base (Qb).....	22
7.2.3. Salida a través de manantiales (Sm).....	22
7.2.4. Bombeo (B).....	23
7.2.5. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	23
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	23
8. DISPONIBILIDAD .....	24
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	24
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	24
8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS) .....	25
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS).....	25
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 Nochistlán, definido con la clave 3208 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción sur del estado de Zacatecas. Geográficamente el área queda comprendida entre los paralelos 21° 12' y 21° 39' de latitud norte y los meridianos 102° 36' y 103° 03' de longitud oeste, abarcando una superficie de 834 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Colinda al Oeste con el acuífero Jalpa-Juchipila que pertenece al estado de Zacatecas; al Sur con el acuífero Yahualica y al Norte y Este con Encarnación, estos últimos del estado de Jalisco.

Geopolíticamente abarca en su totalidad al municipio de Apulco y parcialmente al municipio de Nochistlán de Mejía.

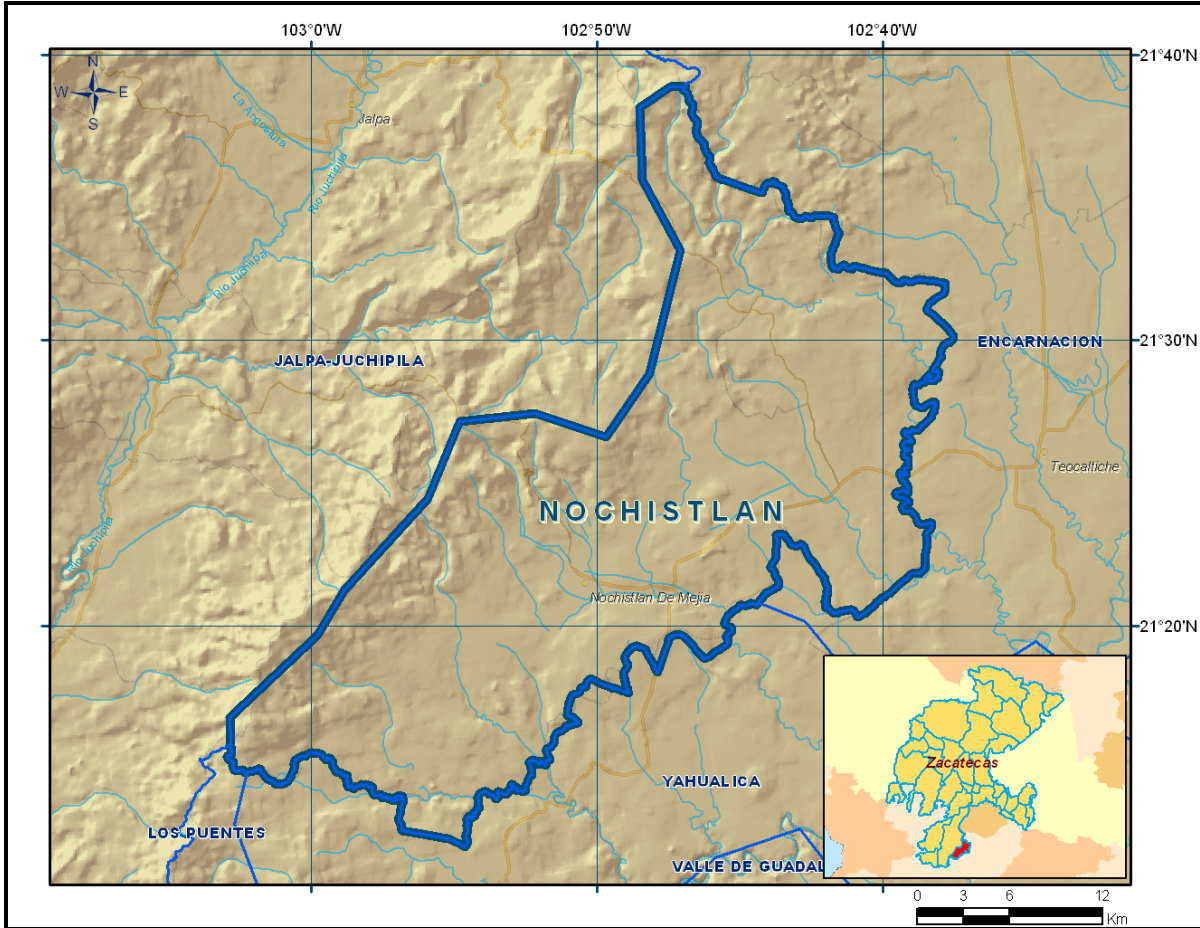


Figura 1. Localización del acuífero

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 delimita al acuífero

ACUIFERO 3208 NOCHISTLAN							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	2	52.5	21	16	47.8	
2	102	59	48.0	21	19	40.1	
3	102	58	53.6	21	21	13.8	
4	102	55	56.7	21	24	27.4	
5	102	54	50.2	21	27	9.2	
6	102	52	9.9	21	27	25.8	
7	102	49	41.8	21	26	37.4	
8	102	48	11.0	21	28	48.9	
9	102	47	5.5	21	33	8.4	
10	102	48	26.4	21	35	36.0	
11	102	48	31.1	21	38	9.4	
12	102	47	27.6	21	38	51.8	
13	102	46	55.5	21	38	52.3	DEL 13 AL 14 POR EL LIMITE ESTATAL
14	102	44	22.2	21	20	48.6	DEL 14 AL 15 POR EL LIMITE ESTATAL
15	103	2	16.5	21	14	52.6	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	103	2	51.2	21	15	50.5	
1	103	2	52.5	21	16	47.8	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca “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 aguas 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, la cual permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2010, los municipios Nochistlán de Mejía y Apulco se clasifican como zona de disponibilidad 8. El usuario principal del agua es el público-urbano, seguido por el uso agrícola. 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:

**SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LAS ZONAS DE TLALTENANGO-JUCHIPILA, ESTADO DE ZACATECAS. Realizado por la empresa Técnicos Asesores y Consultores, S.A. para Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1980.** El estudio consistió en un reconocimiento de la zona, un inventario de aprovechamientos de agua subterránea, así como verificaciones geológicas e hidrológicas; también se recolectaron muestras de agua para su análisis químico. El objetivo del estudio fue conocer el marco geológico, definir la calidad y distribución del agua subterránea y evaluar la condición geohidrológica del acuífero.

**REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO Y CALIDAD DEL AGUA DE LOS ACUÍFEROS DE: NOCHISTLÁN Y TLALTENANGO-TEPECHITLÁN, EN EL ESTADO DE ZACATECAS. Elaborado por la empresa GEOPSA, S.A. de C.V, para la Comisión Nacional del Agua, en 2008.** El objetivo general del estudio fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas para establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua y contar con la información geohidrológica necesaria para determinar la recarga media anual del agua subterránea. El estudio consistió en actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas que gobiernan la ocurrencia del agua

subterránea en la zona; llevar a cabo el censo de captaciones de agua subterránea; obtener mediante pruebas de bombeo, los valores de los parámetros hidráulicos regionales que rigen el movimiento del agua en el subsuelo, como son: conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, que describan satisfactoriamente el comportamiento histórico y actual del recurso subterráneo; actualizar el modelo hidrogeológico y la caracterización hidrogeoquímica; determinar el volumen de extracción de aguas subterráneas para los diferentes usos, así como cuantificar la magnitud de los componentes de la recarga natural, inducida y artificial, elaborar el balance hidrometeorológico de la subcuenca y de aguas subterráneas del acuífero. El estudio concluye que el acuífero se encuentra en condición de subexplotación.

Este estudio fue la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones 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 "Sierra Madre Occidental"; que se caracteriza por presentar diferentes topoformas, entre ellas, sierras, valles y depresiones, con orientación sensiblemente NNE-SSW.

#### **3.2. Clima**

De acuerdo con la carta de climas 13 A-II Zacatecas, editada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, y según el sistema de clasificación de Köppen modificado por E. García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, el clima que prevalece en la zona de Nochistlán es templado subhúmedo con verano fresco y largo.

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 1979-2006, provenientes de 6 estaciones climatológicas ubicadas en la zona: Juchipila, Mexxicacán, Moyahua de Estrada, Nochistlán, Tenayuca y Tlachichila.

Con base en los registros de las diferentes estaciones analizadas se estimó que la temperatura media del área es de 17° C, con una mínima de 7° para los meses más fríos y de 30° para los meses más calurosos.

Se estimó con base en registros de estaciones climatológicas que la precipitación media de la zona es de 640.9 mm, correspondiendo la época de lluvia al periodo de junio a octubre. Las menores precipitaciones ocurren durante los meses de febrero, marzo y abril.



El valor promedio de la evaporación potencial es de 1936 mm, siendo mayo el mes con el valor más alto, de 242.6 mm.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica RH12 denominada “Lerma-Chapala-Santiago”, que abarca el 40% del estado de Zacatecas, su importancia radica en que en ella se ubican la mayor parte de los aprovechamientos, tanto de obras de infraestructura hidráulica como de escurrimientos; sus corrientes son afluentes del río Grande Santiago.

El sistema acuífero pertenece a la Cuenca del “Río Verde-Grande”, subcuenca del mismo nombre. La corriente principal es el Río Nochistlán, el cual nace en la comunidad la Cieneguita y escurre en dirección noreste a sureste desembocando en el Río Verde. Cuenta con los siguientes afluentes: Arroyo de los Sandoval, Los Arcos, Río de Huisquilco, Río de Santiago y Arroyo del Acualaque. Existen además varios bordos y represas que son utilizados para almacenar agua para abrevadero.

### **3.4. Geomorfología**

Las geoformas que integran la zona son el producto de la composición litológica de las rocas existentes, así como los procesos endógenos y exógenos que han ocurrido en la región a través del tiempo geológico. Se distinguen las siguientes geoformas: Sierras, Valles y Mesetas.

Zona de Sierras.- Está conformada por rocas sedimentarias, principalmente lutitas, areniscas y calizas de edad cretácica, que afloran en la sierra de Nochistlán. Presentan formas alargadas y plegadas con dirección NE-SW, alcanzando una máxima elevación de 3,100 msnm en la zona.

Valles.- Como rasgo geomorfológico son de interés por su importancia hidrogeológica. Las partes más bajas están rellenas por aluviones, flanqueadas por lomeríos bajos de conglomerados del Paleógeno-Neógeno y por afloramientos de rocas graníticas. Son angostos y alargados, extendiéndose en dirección Oriente-Poniente. Hacia los flancos de las sierras afloran los conglomerados.

Mesetas.- Las erupciones volcánicas explosivas y derrames lávicos de tipo ácido, depositaron las rocas ígneas de tipo tobáceo y riolítico que dieron origen a las actuales mesetas que presentan un basculamiento hacia el suroeste, disectadas por la acción erosiva de los arroyos. Los esfuerzos distensivos en el área provocaron cuencas tectónicas, las cuales han sido rellenas con depósitos de sedimentos clásticos.

La zona desarrolla un drenaje de tipo dendrítico con enrejado denso, controlado por la disposición que guardan los estratos y las fracturas.

El área se encuentra en una etapa geomorfológica de rejuvenecimiento, si se considera que las grandes efusiones de piroclásticas dieron lugar a mesetas semejantes a inmensos valles construccionales, que actualmente están siendo disectados, definiendo barrancas y depresiones.

#### **4. GEOLOGÍA**

El área se ubica en la porción centro-sur de la Provincia Geológica Faja Ignimbrítica Mexicana que se originó por el vulcanismo propiciado por la Subducción de la Placa Farallón debajo de la corteza Laurentiana; de allí la orientación adoptada similar a la traza de la subducción. El fallamiento y fracturamiento ocasionado por esfuerzos de tensión, provocaron la formación de fosas tectónicas y zonas de debilidad que fueron atacadas por los agentes erosivos, definiendo grandes depresiones originadas orientadas en el mismo sentido que los lineamientos que las originaron. La inestabilidad tectónica determinó el cierre de las cuencas y el depósito de sedimentos lacustres, de tipo calizas, lutitas y areniscas cubiertas por conglomerados y basaltos, figura 2.

##### **4.1. Estratigrafía**

La columna estratigráfica del área está representada por rocas ígneas extrusivas e intrusivas y sedimentarias continentales y lacustres; las rocas más antiguas que afloran corresponden a rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno y las más recientes los aluviones y los basaltos de edad cuaternaria.

Las rocas ígneas son de composición ácida, intermedia y básica. Las ácidas son de tipo explosivo emitidas principalmente a través de aparatos volcánicos tipo caldera y corresponden a flujos de ignimbritas. Las intermedias corresponden a andesitas, como derrames a través de aparatos volcánicos ya erosionados y en algunos casos asociadas a las calderas. Las rocas básicas son de composición basáltica y sus derrames evidencian que fueron a través de fracturas. Los afloramientos más extensos son los de las ignimbritas y en algunas áreas están erosionadas, formando grandes depresiones que originaron lagos, donde se depositaron calizas y lutitas; además de arcillas, areniscas y conglomerados, éstas dos últimas conteniendo gran cantidad de finos.

La siguiente descripción está referida a las unidades y formaciones que afloran en el acuífero

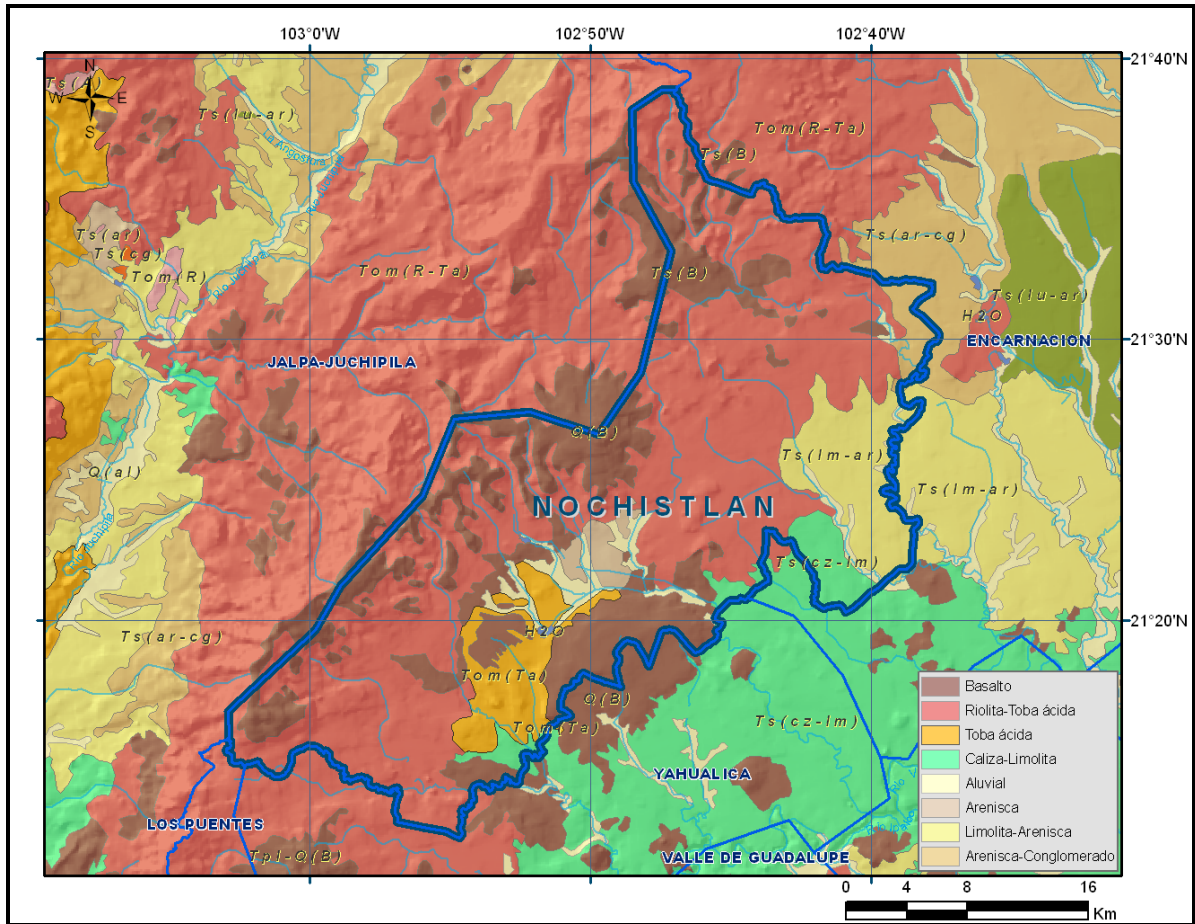


Figura 2. Geología general del acuífero

## PALEÓGENO-NEÓGENO

**Conglomerado (T<sub>pl</sub>C<sub>go</sub>).**- Roca sedimentaria clástica continental, conformada por conglomerados con clastos de calizas, basaltos, riolitas, tobas riolíticas, Ignimbritas, vidrio y areniscas, que varían en tamaño desde arenas hasta gravas, en una matriz limo-arcillosa. Los clastos son depositados en forma de abanicos aluviales, de composición y espesor variables. Estratigráficamente se encuentra en discordancia con las rocas sedimentarias cretácicas y rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno; su grado de compactación varía de semicompacta a semisuelta y presenta condiciones geohidrológicas favorables para constituir acuíferos de potencial moderado.

El conglomerado cubre en discordancia a las calizas-lutitas del Cretácico Inferior y a las rocas ígneas extrusivas e intrusivas en la localidad Ojo de Agua, subyacen a los aluviones del Holoceno que se encuentran sólo en los cauces de los arroyos. Por su posición estratigráfica se consideran de edad Mioceno.

**Arenisca Conglomerado Poligmictico (T<sub>n</sub> Ar-C<sub>gp</sub>).**- Roca sedimentaria clástica continental depositada en forma de abanicos aluviales, de composición y espesor variables. Corresponde a conglomerados de ambiente continental integrados por clastos de calizas,

basaltos, riolitas, tobas riolíticas, ignimbritas, vidrio y areniscas, que varían en tamaño desde arenas hasta gravas, con diámetros de 3 a 70 cm, embebidos en una matriz compuesta de limos, arcillas y en menor proporción arenas. Se presentan mal consolidados y clasificados, y su grado de compactación varía de semicompacto a semisuelto. Estas condiciones le confieren buenas condiciones geohidrológicas para constituir acuíferos económicamente productivos.

Estas rocas sedimentarias están cubriendo en discordancia a las calizas-lutitas del Cretácico Inferior y las rocas ígneas extrusivas e intrusivas en la localidad Ojo de Agua, y subyacen a los aluviones del Holoceno. De acuerdo a su posición estratigráfica y por la relaciones de campo, se considera que pertenecen al Mioceno. Estos conglomerados se pueden correlacionar con las rocas de este tipo que afloran ampliamente en el sur del estado de Zacatecas.

**Andesitas (TmA).**- Son derrames de andesitas que presentan un color gris de tono medio a oscuro, con algunas intercalaciones de brechas y aglomerados, cuyos afloramientos se restringen a la porción suroccidental del acuífero. Presentan 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 ( $48 \pm 2.6$  Ma).

**Basaltos (TmB).**- Son derrames emitidos durante el Mioceno Superior y corresponden a las primeras manifestaciones de la provincia geológica Eje Neovolcánico, cuyo borde nor-central representa el acuífero. En esta zona el volcanismo 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 y centro del área en su colindancia con la provincia geológica mencionada, donde se encuentran varios aparatos volcánicos que derramaron grandes cantidades de lava que rellenaron depresiones, dando lugar a extensas mesetas y estrechos cañones. A medida que se adentra en el área que cubre el acuífero sus afloramientos se hacen menos frecuentes y de menor superficie.

Esta unidad basáltica es de origen fisural, emplazándose en las zonas de debilidad y controladas estructuralmente por las fallas profundas. Por su posición estratigráfica con las demás unidades expuestas, se le asignó una edad tentativa del Mioceno, correlacionable con la Serie Volcánica Superior de la Sierra Madre Occidental.

**Riolita-Ignimbrita (Tom R-Ig, Tom TR).**- Depósitos derivados de flujos de piroclastos del tipo de nubes ardientes, definiendo diferentes estructuras, texturas y composición que pueden diferenciadas 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, que presentan estructura compacta por solidificación de las partículas de lava que arrastró la explosión y se soldaron con los demás elementos. Estas

rocas de composición principalmente dacítica y en menor proporción riolítica. Por último la unidad **Tom R-Ig**, está constituida principalmente por derrames riolíticos e ignimbritas compactas, que entre sus pseudoestratos se encuentran esporádicos derrames de basaltos.

En conjunto estas rocas presentan un aspecto fisiográfico en forma de extensas mesas profundamente disectadas, afectadas por diversos sistemas de fracturas y fallas. La edad que se les ha asignado varía del Oligoceno Superior al Mioceno. En la sierra de Nochistlán, aflora principalmente la unidad Tom R-Ig, cubiertas por los derrames de basaltos del Mioceno, principalmente al sur de la sierra.

#### **Calizas y lutitas lacustres (Tpl cz-lu)**

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. Las calizas presentan algunos sistemas de fracturas y un echado persistente al noroeste. Están cubiertas parcialmente por areniscas y un conglomerado arcilloso, de tonalidad rojiza y medianamente consolidado.

Los afloramientos de las rocas lacustres se distribuyen en la porción oriental del acuífero, en el límite con el estado de Jalisco. Sus afloramientos forman lomeríos de cimas planas y pendiente baja, alcanzando un espesor máximo de 200 m. 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.

#### **CUATERNARIO**

**Aluvión Q(al).**- Unidad detrítica no consolidada, constituida por depósitos recientes de gravas, arenas, limos y arcillas; entre sus componentes destacan los líticos de calizas, conglomerados, areniscas y rocas volcánicas, producto de la erosión de las rocas existentes. Los fragmentos o clastos gruesos se localizan en las cercanías de las sierras mientras que los finos en el centro de los valles, en donde localmente se desarrollan suelos arcillosos.

Su distribución se restringe a las partes bajas, particularmente en las márgenes y lechos de las principales corrientes. Junto con los conglomerados constituyen la principal unidad acuífera. Su espesor máximo es de 10 m.

#### **4.2. Geología estructural**

El sistema de pilares y fosas tectónicas que se extiende desde el NW de Estados Unidos, hasta el centro de México, ha afectado prácticamente a toda la Sierra Madre Occidental, es el caso de los cañones de Tlaltenango-Tepechtlán, Jalpa-Juchipila y Nochistlán, que se extienden por cientos de kilómetros y pertenecen al fallamiento regional "Cuencas y Sierras", asociado con el movimiento de placas litosféricas actuales. Bajo este fallamiento regional se

encuentran las fosas tectónicas de Calvillo y Tabasco, Zacatecas asociadas a la Mega Falla Aguascalientes-León (Mitre-Salazar et al., 1989), estudio basado en la observación de imágenes de satélite, así como cartas geológicas de diferentes escalas de INEGI.

INEGI (SPP-DETENAL 1982) describe a la región con un relieve abrupto representado por mesetas volcánicas piroclásticas intensamente disectadas y drenadas por corrientes dispuestas en patrones subparalelos originados por el control estructural que ejercen las fallas y fracturas plio-cuaternarias sobre el drenaje; la apariencia general del relieve es interrumpida por valles de origen tectónico en los cuales se depositaron sedimentos lacustres y conglomeráticos, y en los que se reconoce un rejuvenecimiento evidenciado por la intensa erosión a que están sujetos dichos depósitos.

Estructuralmente se han reconocido fallas normales y fracturas, así como aparatos volcánicos con derrames asociados y extensas mesetas piroclásticas. Las fallas normales se presentan con una orientación norte-sur y conforman fosas tectónicas y escalonamientos estructurales. Las fracturas están dispuestas en dos orientaciones preferenciales de NW-SE y NE-SW, originadas por eventos distensivos comunes a toda la región.

La zona se caracteriza por presentar mesetas y valles; las mesetas son de origen volcánico intensamente disectadas y drenadas por corrientes dispuestas en patrones subparalelos originados por el control estructural que ejercen las fallas y fracturas plio-cuaternarias. Los valles son fosas tectónicas limitadas por fallas normales (grabens), rellenas parcialmente por materiales continentales clásticos, vulcanoclásticos y lacustres.

### **4.3. Geología del subsuelo**

Con base en el análisis de la geología y la interpretación de la información hidrogeológica, es posible definir un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, con condiciones locales de semiconfinamiento; conformado por un medio granular 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 rocas volcánicas, así como las lutitas y limolitas, cuando su permeabilidad secundaria por fracturamiento desaparece.

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

El acuífero granular alojado en los rellenos aluviales y en los depósitos de conglomerados, es predominante de **tipo libre**; sin embargo la heterogeneidad textural y la presencia de horizontes arcillosos pueden generar condiciones locales de semiconfinamiento. El espesor del acuífero es variable, dependiendo del grado de fracturamiento de las rocas volcánicas y sedimentarias que las subyacen.

Las tobas, riolitas y basaltos funcionan como importantes zonas de recarga, y en el subsuelo pueden constituir acuíferos potenciales, cuando se ubican por debajo de la zona de saturación.

En la zona se han diferenciado tres unidades hidroestratigráficas con características particulares importantes:

**Unidad I (Unidad Impermeable).**- Integra materiales arcillo-calcáreos estratificados y depósitos de rocas riolíticas, en forma de tobas e ignimbritas pseudoestratificadas, en capas muy gruesas y sin fracturamiento. Las tobas son de consistencia suave y generalmente se encuentran alteradas, produciendo materiales arcillosos. Sus posibilidades acuíferas son prácticamente nulas.

**Unidad II (Unidad de permeabilidad media a baja).** Intercaladas con las tobas, se encuentran capas de ignimbritas, las cuales generalmente se presentan fracturadas y sin alteración, por lo que presentan buena permeabilidad, sin embargo en el área no ofrecen buenas posibilidades acuíferas debido a que ocupan las partes altas, funcionando principalmente como excelentes zonas de recarga. A esta unidad también pertenecen las rocas riolíticas permeables, característica asociada a un fracturamiento primario y secundario, lo que origina numerosos manantiales que son utilizados para abastecimiento de agua potable, y para uso doméstico-abrevadero de numerosas rancherías.

De igual forma, se presentan intercalados entre las capas de rocas riolíticas, derrames basálticos de poco espesor formados, alterados y fracturados que presentan permeabilidad media. Debido a su escaso espesor y errática distribución sus posibilidades acuíferas son escasas, formando solamente acuíferos colgados de poca importancia.

**Unidad III (Unidad permeable).**- A esta unidad pertenecen grandes extensiones de derrames volcánicos de roca basáltica fracturada permeable, que afloran descansando sobre rocas riolíticas en las regiones topográficamente más altas. De igual forma se encuentran descansando depósitos conglomeráticos en forma discordante sobre los limos y arcillas que forman el basamento de los valles y sobre las rocas riolíticas; estos

conglomerados en ocasiones presentan buena permeabilidad debido a la presencia de matriz arenosa.

A esta unidad pertenecen también los depósitos aluviales que en la zona presentan escaso espesor y su ocurrencia se restringe hacia los cauces de los ríos que atraviesan la zona. Sus posibilidades de producción acuífera mediante norias y galerías filtrantes son favorables debido a que cuentan con una constante recarga proveniente de las corrientes subálveas de los arroyos.

## **5.2. Parámetros hidráulicos**

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2008, se ejecutaron 6 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 8 a 13 horas. Los valores de conductividad hidráulica obtenidos oscilan entre **0.0336 a 0.2606** m/día, característicos de materiales de baja permeabilidad, sin embargo en el pozo NOC-002 el valor de conductividad hidráulica es de 5.7 m/día característico de materiales de mayor permeabilidad. Al considerar un espesor saturado promedio de 200 m, los valores de transmisividad de **6.7 a 52.1 m<sup>2</sup>/día (0.08 a 0.6 x10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s)**, son consistentes con los valores promedio obtenidos en el acuífero vecino Jalpa-Juchipila de 16 a 39 m<sup>2</sup>/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**

No existe información piezométrica histórica. Para el análisis del comportamiento del acuífero únicamente se cuenta con información correspondiente al año 2008.

## **5.4. Comportamiento hidráulico**

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

Con la información de piezometría obtenida en campo, se elaboró el plano de profundidad al nivel estático (figura 3) en el que se muestra que los valores de profundidad registrados varían, de manera general, de 20 a 80 m, conforme se asciende topográficamente. Los valores someros se registran de manera puntual debido a las variaciones de conductividad hidráulica en la componente vertical y al semiconfinamiento local. Aunque en apariencia podría pensarse que se trata de dos sistemas, la configuración presenta consistencia en el comportamiento del valle. De manera aislada, existen también niveles brotantes, que reflejan las condiciones locales de confinamiento.



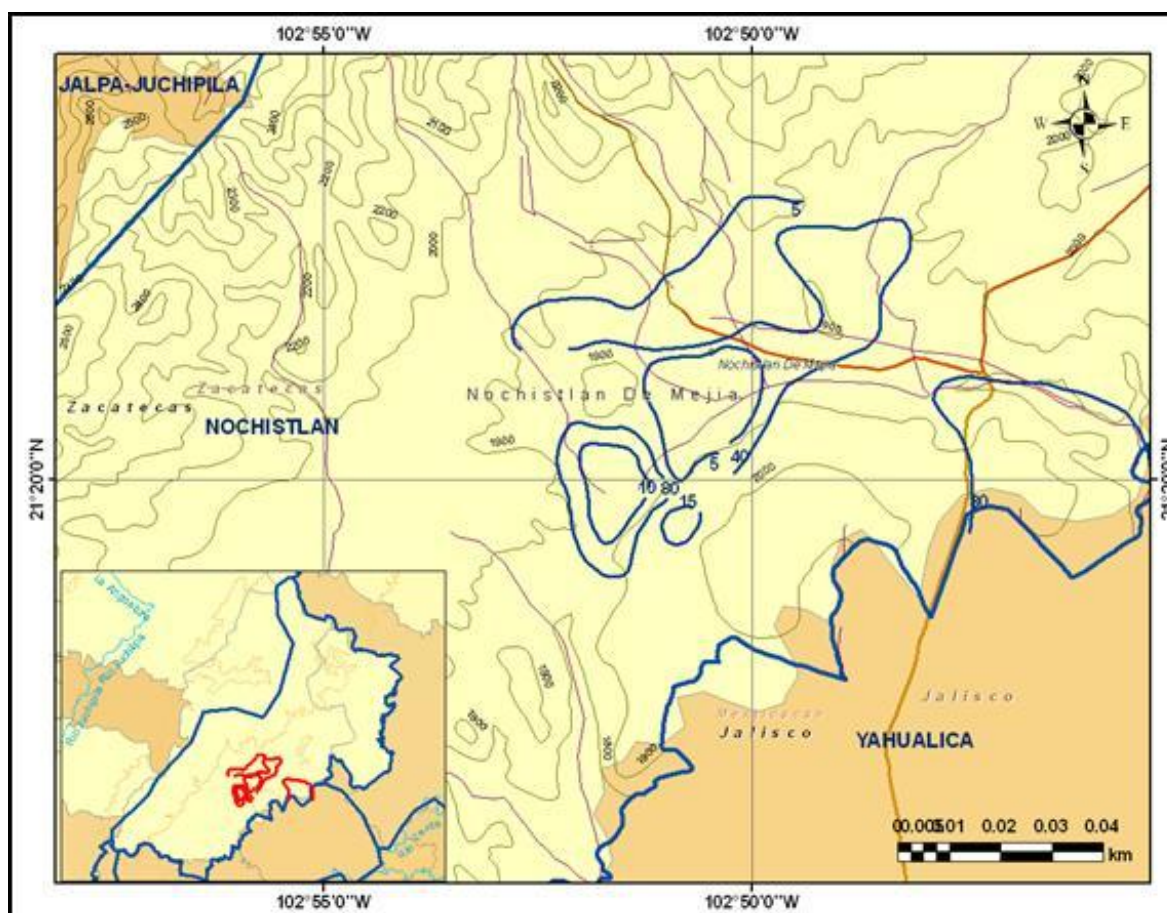


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 2008

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

Con base en los valores de la elevación del nivel estático, fue posible identificar cuatro subcuencas: **1<sup>er</sup> subsistema** inicia desde la población Gabriel López, Capellanía y su límite es hasta Daniel Camarena con elevaciones que varían de 1950 a 1970 msnm, se infiere que el agua fluye en dirección sureste hasta los límites del estado, mostrando una configuración de un río efluente a la altura de los pozos NOC-116 y NOC-117. El flujo subterráneo continúa hacia el estado de Jalisco.

**2<sup>o</sup> subsistema**, corresponde al Río Huisculco, donde se ubica la población de Nochistlán. Aquí las equipotenciales inician en 1950 msnm, las líneas de flujo tienen una orientación de noroeste a sureste, hacia el poblado Toyahua de Abajo, donde el río funciona como dren. En su recorrido interfiere una estructura volcánica al noreste del poblado La Labor, que lo obliga a cambiar de dirección hacia el noreste, para finalmente retomar su orientación original hacia el sureste. De igual forma, se interrumpen y se deforman las equipotenciales, sin embargo en los límites del estado se puede configurar una elevación del nivel estático de 1750 msnm.

**3<sup>er</sup> subsistema** inicia a la altura de Chimaliquín de Arriba hasta el poblado La Estancia, presenta curvas de igual elevación del nivel estático muy cercanas entre sí, debido a la baja permeabilidad de los materiales del subsuelo. La prueba de bombeo del pozo NOC-088 dio una conductividad hidráulica de 0.077 m/día, que se asocia a materiales arcillosos, rocas volcánicas y/o conglomerados compactos de baja permeabilidad. En este caso los flujos subterráneos de entrada y de salida son equivalentes.

**4<sup>o</sup> subsistema** es el que compone el río Santa Gertrudis, donde se ubica el poblado Tenayuca. El curso del río inicia de noroeste a sureste y cuando se convierte en límite estatal tiene una orientación de norte a sur, aquí el río y las equipotenciales denotan que el acuífero descarga parte de su flujo hacia el río formando un flujo base del orden de 1.2 m<sup>3</sup>/s. La elevación del nivel estático varía de 1900 msnm a 1750 msnm en la porción zacatecana. Este subsistema colinda con el acuífero Encarnación, Jalisco. Figura 4.

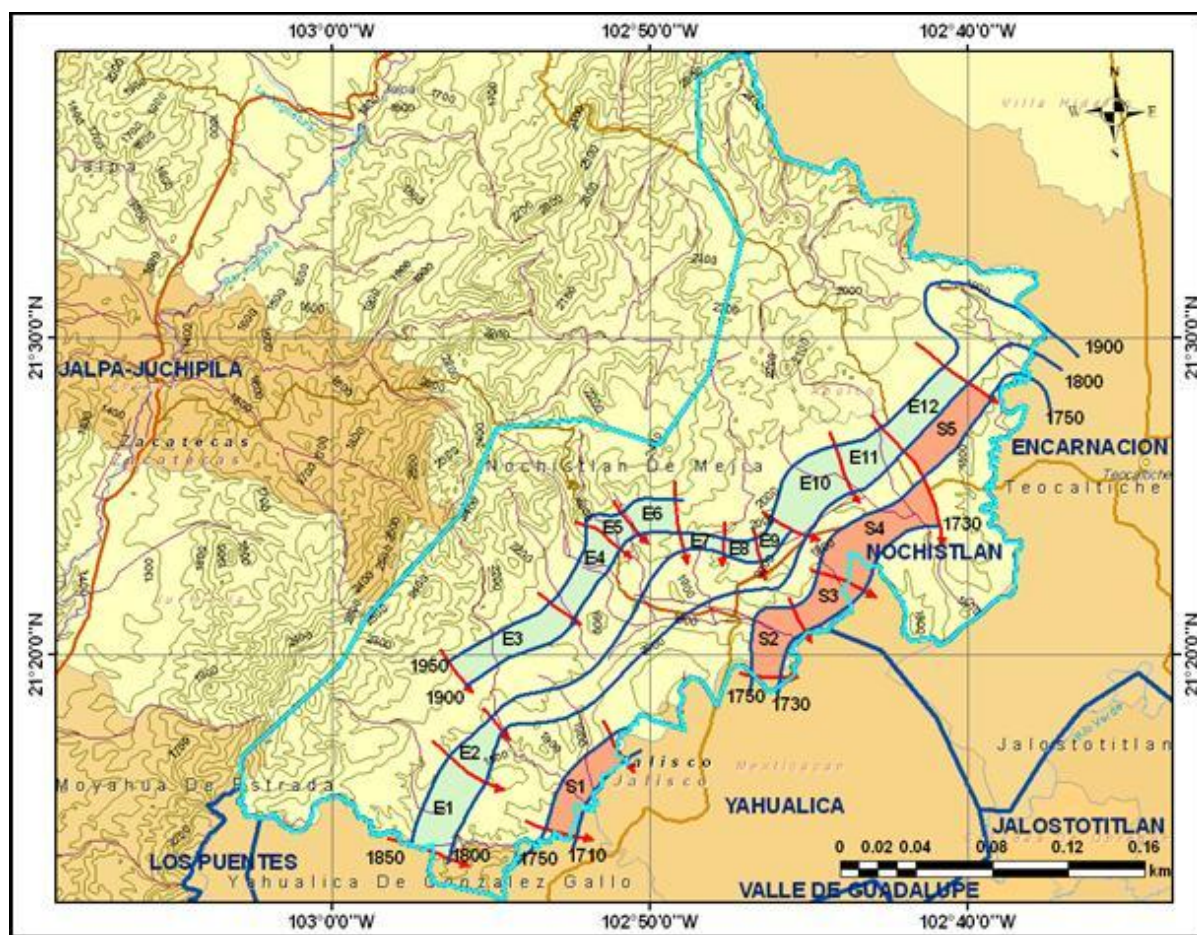


Figura 4. Elevación del nivel estático (msnm), 2008

### **5.4.3. Evolución del nivel estático**

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración de la evolución. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos se encuentran dispersas en tiempo y espacio y solo cubren la porción noroccidental del acuífero, por lo que no es posible obtener una evolución de los niveles que permita hacer un cálculo del cambio de almacenamiento para un periodo de tiempo determinado.

Sin embargo, dada la evidencia de pozos brotantes y/o de niveles someros, así como la forma y gradiente de las líneas de flujo, que no presentan deformaciones causadas por conos de abatimiento, es posible inferir que la posición de los niveles del agua subterránea no ha sufrido cambios importantes en su posición. Las únicas variaciones son de tipo estacional, conforme a los periodos lluviosos o secos prolongados. Por otra parte no se cuenta con evidencias de la desaparición o disminución de caudales de flujo base hacia el río.

Bajo esta consideración, se puede afirmar que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

### **5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2008, se tomaron muestras en 10 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico. Las determinaciones incluyeron iones mayores, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

De acuerdo con los resultados de los análisis físicoquímicos practicados in-situ a 35 aprovechamientos, que posteriormente se analizaron en laboratorio, se puede observar que los valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT) varían de 43 a 475 mg/l, para los analizados en el campo y de 94 a 351 mg/l para los de laboratorio. En general el agua es apta para consumo humano, con excepción del pozo NOC-094 el cual presenta concentraciones de Nitratos por arriba del límite máximo establecido en la NOM-127-SSA1-1994.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída de este acuífero es en general apta para el riego de la mayoría de los cultivos.

Con respecto a las familias del agua, predomina 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

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2008, se registró la existencia de un total de 127 aprovechamientos del agua subterránea dentro de los límites geográficos del acuífero; de los cuales 118 están activos (93.0 %) y los 9 restantes se clasificaron como inactivos (7.0 %). Del total de obras activas, 65 son pozos, 29 norias, 18 manantiales y 6 galerías filtrantes.

El volumen estimado de extracción conjunta asciende a **4.8 hm<sup>3</sup> anuales**, sin tomar en cuenta la descarga de 0.5 hm<sup>3</sup> anuales procedentes de los manantiales. Del volumen total extraído, 2.5 hm<sup>3</sup> (52.1%) se destinan al abastecimiento de agua potable de los centros de población, 2.2 hm<sup>3</sup> al uso agrícola (45.8%) y los 0.1 hm<sup>3</sup> restantes (2.1%) para satisfacer las necesidades del uso pecuario e industrial.

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 año 2008, en un área de **160 km<sup>2</sup>**, 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:

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

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 del acuífero:

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

### 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 fuente 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 existe información para estimar el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ) (el cual ante la falta de registro piezométrico histórico, de acuerdo con las evidencias de campo y las configuraciones del NE, se supone tiende a ser nulo), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$R_v + E_h + R_i - B - S_h - Q_b - ETR - S_m = \pm \Delta V(S)$$

Dónde:

- $R_v$ : Recarga vertical
- $E_h$ : Entradas por flujo subterráneo horizontal
- $R_i$ : Recarga inducida
- $B$ : Bombeo
- $S_h$ : Salidas por flujo subterráneo horizontal
- $Q_b$ : Caudal Base
- $ETR$ : Evapotranspiración
- $S_m$ : Salidas a través de manantiales
- $\Delta V(S)$ : Cambio de almacenamiento

No se incluyen todas las componentes por falta de información. Si bien es posible que parte de flujo de agua subterránea sea una componente del flujo base, no fue posible determinarlo con precisión ya que no existen estaciones hidrométricas en los límites del acuífero, por lo que se estimó su valor.

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h + Q_b + D_m + ETR - E_h - R_i$$

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

La recarga vertical en el valle incluye tanto la recarga natural por lluvia que se precipita en el valle y por los escurrimientos superficiales, como a la recarga inducida por retornos de riego y fugas en los sistemas de distribución de agua potable y red de alcantarillado de las poblaciones.

Para efectos de cálculo de recarga vertical inducida, se estima que el 20% del agua que se utiliza en riego (2.4 hm<sup>3</sup>/a) y agua potable (2.8 hm<sup>3</sup>/a), retorna al acuífero como infiltración (recarga inducida). Esto representa un volumen de **1.0 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La cuantificación del caudal de agua subterránea que participa como flujo de entrada subterránea horizontal al acuífero, para un periodo considerado, se realiza aplicando la Ley de Darcy a la red de flujo a través de una sección limitada por dos isólinas equipotenciales y dos líneas de corriente, definidas en la configuración de elevación del nivel estático para el período analizado. Figura 4. La Ley de Darcy, se expresa de la siguiente manera (Fetter, 1994):

$$Q = - K A (h_1 - h_2) / L$$

Donde:

Q = Gasto, en m<sup>3</sup>/s

K = Conductividad hidráulica (m/s)

A = Área de la sección transversal por donde pasa el flujo, en m<sup>2</sup> (A = B\*b)

h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub> = Cargas hidráulicas (m)

L = Distancia entre curvas de igual valor (m), o en su caso distancia entre piezómetros

Para hacer el cálculo es necesario conocer el espesor saturado del acuífero (b) y su coeficiente de permeabilidad (K), o bien, el valor de transmisividad (T). Los demás datos se obtienen de la piezometría. Las celdas se trazan a partir de la configuración de elevación del nivel estático y la geología, y se calcula el flujo a través de cada una de ellas.

El coeficiente K, se obtiene a partir de las pruebas de bombeo. Éstas arrojan un valor de transmisividad (T), que es el producto de la conductividad hidráulica (K) por el espesor saturado: **T = K b**

Siendo A (área de sección transversal de la celda) = B (ancho de la celda) \* b (espesor saturado), la ecuación de Darcy, queda de la siguiente manera: **Q = T B (h<sub>1</sub>-h<sub>2</sub>)/L**

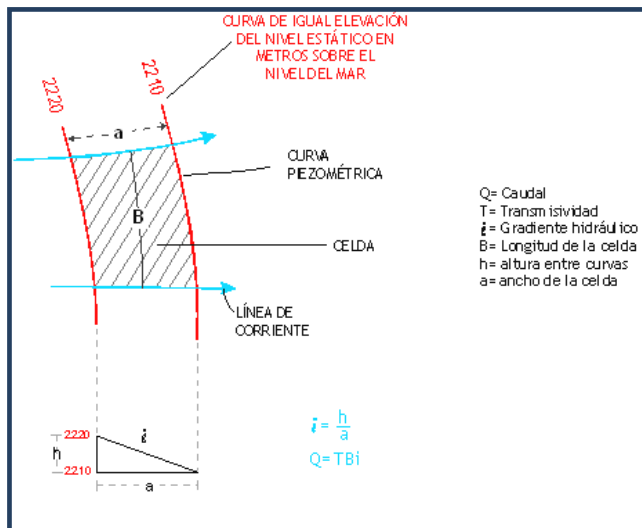
Dónde:

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

T = transmisividad;

B = largo de la celda;

i = gradiente hidráulico



En la configuración de 2008, 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 definidos en la Tabla 2. El valor obtenido fue de **14.9 hm<sup>3</sup>/año**.

Celda	h <sub>1</sub> (m)	h <sub>2</sub> (m)	L (m)	$I=(h_1-h_2)/L$	B (m)	K (m/día)	b (m)	Gasto (m <sup>3</sup> /día)	Vol. Anual (hm <sup>3</sup> /año)
E1	1850	1800	2500	0.020	5000	0.1	223.15	2232	0.8
E2	1850	1800	2000	0.025	3200	0.1	223.15	1785	0.6
E3	1950	1900	2347	0.021	5000	0.1	223.15	2343	0.9
E4	1950	1900	1912	0.026	4000	0.1	223.15	2321	0.9
E5	1950	1900	2173	0.023	1130	0.1	223.15	580	0.2
E6	1950	1900	1900	0.026	2869	0.1	223.15	1665	0.6
E7	1900	1850	1200	0.042	2000	0.1	223.15	1874	0.7
E8	1900	1850	1130	0.044	2650	0.1	223.15	2602	1.0
E9	1900	1850	782	0.064	3043	0.1	223.15	4346	1.6
E10	1900	1850	800	0.063	2600	0.1	223.15	3655	1.3
E11	1900	1800	2000	0.050	3800	0.1	223.15	4240	1.5
E12	1900	1800	1825	0.055	3500	0.1	223.15	4296	1.6
E13	1900	1800	1300	0.077	5100	0.1	223.15	8763	3.2
								SUMA	<b>14.9</b>

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

## 7.2. Salidas

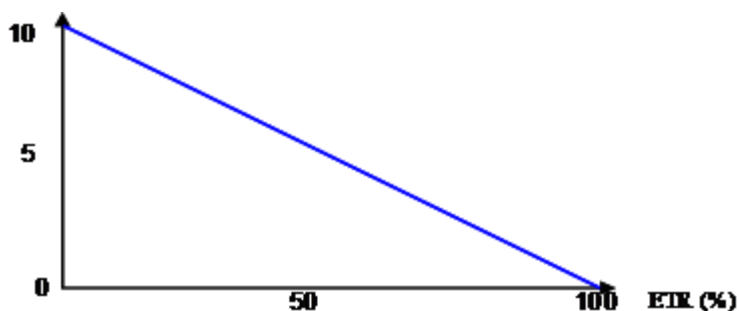
### 7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

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, 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 Coutagne para calcular que la lámina de Evapotranspiración real es de 511.9 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 17.0° C y precipitación de 640.9 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 % 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 17.7 km<sup>2</sup> se registran niveles freáticos someros, con cobertura vegetal cuyas raíces son suficientemente largas y susceptibles de evapotranspirar. De esta superficie total, en un área de 10.7 km<sup>2</sup>, ubicada al Sur de la Ciudad de Nochistlán, así como una pequeña área localizada en la cabecera municipal de Apulco, la profundidad promedio al nivel estático es de 5 m; mientras que al norte de Nochistlán, en una superficie de 7 km<sup>2</sup>, la profundidad promedio al nivel estático es de 3.5 m. La lámina de evapotranspiración real obtenida es de 511.9 mm, de acuerdo con la gráfica anterior se tiene:

$$ETR_{\text{area 1}} = 10.7 \text{ km}^2 (0.5119 \text{ m}) (0.50) = 2.7$$

$$ETR_{\text{area 2}} = 7.0 \text{ km}^2 (0.5119 \text{ m}) (0.65) = 2.3$$

$$\mathbf{ETR \text{ total} = 5.0 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

### 7.2.2. Caudal base (Qb)

En la superficie que cubre el acuífero existen arroyos con flujo base; sin embargo no existen estaciones hidrométricas que cuenten con datos suficientes para interpretar el hidrograma y diferenciar la componente de agua superficial de la del agua subterránea. Parte de flujo de agua subterránea es una componente del flujo base, pero no fue posible determinarlo con precisión; no obstante se estimó un valor en estiaje considerando una sección o ancho del arroyo con un tirante y un valor promedio de velocidad, estimados en campo, arrojando un valor de **9.4 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.3. Salida a través de manantiales (Sm)

La descarga de los manantiales ubicados en el área de balance asciende a **0.5 hm<sup>3</sup>/año**.



### 7.2.4. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **4.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.5. 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 4. Su valor es de **3.5 hm<sup>3</sup> anuales**, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

Celda	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	L	i=(h <sub>1</sub> -h <sub>2</sub> )/L	B	K	b	Gasto	Vol. anual
	(m)	(m)	(m)		(m)	(m/día)	(m)	(m <sup>3</sup> /día)	(hm <sup>3</sup> /año)
S1	1750	1710	1500	0.027	5200	0.0366	200	1015	0.4
S2	1750	1730	1800	0.011	3700	0.04	200	329	0.1
S3	1750	1730	1200	0.017	2500	0.04	200	333	0.1
S4	1750	1730	1500	0.013	5100	0.077	200	1047	0.4
S5	1800	1750	1400	0.036	7600	0.077	200	4180	1.5
S6	1800	1750	1600	0.031	5800	0.077	200	2791	1.0
								<b>SUMA</b>	<b>3.5</b>

### 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, se puede afirmar que 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, **ΔV(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:

$$Rv = B + Sh + Qb + Dm + ETR - Eh - Ri$$

Sustituyendo valores:

$$Rv = 4.8 + 3.5 + 9.4 + 0.5 + 5.0 - 14.9 - 1.0$$

$$Rv = 7.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, la recarga total ( $R_t$ ) es la suma de  $Rv + E_h + R_i$

$$R_t = 23.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

## 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

$R_t$  = 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 ( $R_t$ )

La recarga total media anual ( $R_t$ ) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este acuífero su valor es de **23.2 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 este caso se considera que como el volumen del flujo base no está concesionado, se puede aprovechar el 30% mediante la intersección del flujo subterráneo que tiende a descargar hacia el río. De esta manera, el 70 % restante, que representa un volumen de **6.6 hm<sup>3</sup> anuales**, deben comprometerse para el gasto ecológico de la zona ribereña del río. Adicionalmente, se considera comprometido un volumen de **1.7 hm<sup>3</sup> anuales** que corresponde al 50% de las salidas por flujo subterráneo hacia los acuíferos Encarnación y Yahualica del estado de Jalisco; el volumen restante podrá aprovecharse dentro del acuífero

Nochistlán. Con esto se promoverá la regularización de usuarios y el posible desarrollo en ambos lados del límite que comparten acuíferos vecinos entre estados. Los **0.5 hm<sup>3</sup>** restantes provienen de la descarga a través de manantiales. Por lo tanto, **DNCOM = 8.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

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

De acuerdo con la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero al **31 de marzo de 2010** es de **4'831,276 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

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

$$\mathbf{DAS = 23.2 - 8.8 - 4.831276}$$

$$\mathbf{DAS = 9.568724}$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **9'568,724 m<sup>3</sup> anuales** para otorgar nuevas concesiones.

Bajo estas consideraciones, el acuífero se encuentra subexplotado. El valle es muy extenso y a pesar de la disponibilidad existente el problema principal radica en la baja permeabilidad de las unidades acuíferas, lo que obliga a perforar pozos de más de 300 metros de profundidad para obtener gastos de 15 lps.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e 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, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. 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, 2008. Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y Calidad del Agua de los Acuíferos de: Nochistlán y Tlaltenango-Tepechitlán, en el estado de Zacatecas. Elaborado por la empresa GEOPSA, S.A. de C.V.

Secretaria de Agricultura Recursos Hidráulicos, 1980. Servicios de Prospección Y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en las Zonas de Tlaltenango-Juchipila, Estado de Zacatecas. Realizado por la empresa Técnicos Asesores y Consultores, S.A.