

*Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Tlaltenango-Tepechitlán
(3206), 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.**

DXLIV REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"

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

ESTADO DE ZACATECAS

3206	TLALTENANGO-TEPECHTLÁN	38.6	13.5	8.244798	6.9	16.855202	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
TLALTENANGO-TEPECHITLÁN (3206),
ESTADO DE ZACATECAS**

México, D.F., enero 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	9
4.2. Geología estructural	12
4.3. Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA	13
5.1. Tipo de acuífero.....	13
5.2. Parámetros hidráulicos	14
5.3. Piezometría	14
5.4. Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	15
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)	20
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	20
7.2. Salidas	21
7.2.1. Evapotranspiración (ETR).....	21
7.2.2. Descarga a través de manantiales (Dm)	22
7.2.3. Caudal base (Qb).....	23
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 de Tlaltenango-Tepechitlán, definido con la clave 3206 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, en los límites con el estado de Jalisco. Geográficamente el área se localiza entre las coordenadas geográficas 21° 18' a la 22° 06' de latitud norte y de 103° 00' a la 103° 39' longitud oeste, abarcando una superficie de 2,452 km² (Figura 1).

Geopolíticamente comprende en forma total a los municipios de Momax, Atolinga y Benito Juárez; y parcialmente, a los municipios de Tlaltenango de Sánchez Román, Plateado de Joaquín Amaro, Tepechitlán, Teúl de González de Ortega y una pequeña porción del municipio de Villanueva.

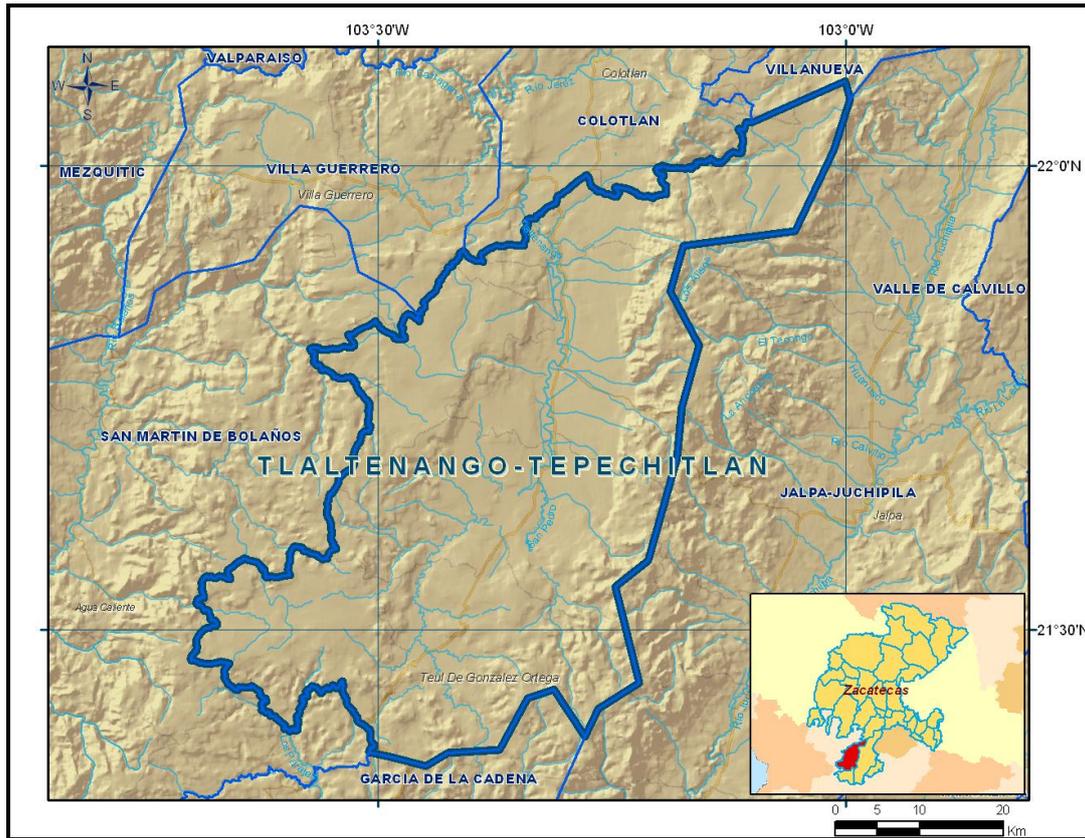


Figura 1. Localización del acuífero

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 3206 TLALTENANGO-TEPECHITLAN

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	25	30.9	21	22	3.4	
2	103	26	56.2	21	21	11.4	
3	103	29	10.9	21	21	46.1	
4	103	30	35.8	21	22	6.3	DEL 4 AL 5 POR EL LIMITE ESTATAL
5	103	27	26.1	21	50	18.7	DEL 5 AL 6 POR EL LIMITE ESTATAL
6	103	24	32.0	21	54	26.5	DEL 6 AL 7 POR EL LIMITE ESTATAL
7	103	6	0.2	22	2	46.1	
8	103	0	1.4	22	5	27.3	
9	102	59	41.8	22	4	19.1	
10	103	0	45.7	22	0	58.4	
11	103	3	13.4	21	55	44.7	
12	103	10	23.9	21	54	47.3	
13	103	11	14.2	21	51	51.3	
14	103	9	24.0	21	48	23.8	
15	103	10	30.1	21	44	23.3	
16	103	10	49.4	21	41	2.6	
17	103	12	38.7	21	34	28.6	
18	103	14	45.3	21	32	45.5	
19	103	13	15.4	21	26	32.8	
20	103	15	54.3	21	24	52.0	
21	103	16	42.2	21	23	4.5	
22	103	18	43.8	21	26	8.0	
23	103	20	24.7	21	25	34.3	
24	103	22	11.9	21	22	15.0	
1	103	25	30.9	21	22	3.4	

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, que 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 de Tlaltenango de Sánchez Román, Momax, Atolinga y Villanueva se clasifican como zona de disponibilidad 7; los municipios de Teúl de González de Ortega y Benito Juárez, zona de disponibilidad 8, El Plateado de Joaquín Amaro y Tepechitlán zona de disponibilidad 5 y 6 respectivamente.

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

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

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 determinan el comportamiento 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 topofomas, 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 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 1979-2005, provenientes de 10 estaciones climatológicas ubicadas en la zona: Huanusco, Juchipila, Milpillitas de Allende, Momax, Presa Excame, Presa La Villita, Toyahua, Teúl de González, Tlaltenango y Teocaltiche.

Con base en los registros de las diferentes estaciones analizadas se estimó que la temperatura media anual del área es de 18° C; el mes más caluroso es mayo con un promedio de 21° C, y el más frío es enero con 10° C.

De acuerdo con los registros de las diferentes estaciones analizadas, se estima que el valor promedio anual de la precipitación es de 706.3 mm, correspondiendo la época de lluvia el periodo de junio a octubre. Las menores precipitaciones ocurren durante los meses de febrero, marzo y abril, con un promedio mensual de 5 mm.

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 denominada “Río Bolaños” integrada por el sistema Chapala-Río Grande Santiago (en este último desembocan los ríos del sureste de la entidad). Los principales ríos que desembocan en el Pacífico a través de otros estados y que pertenecen a esta cuenca son: San Pedro, Juchipila, Jerez, Tlaltenango, San Andrés, Atengo y Valparaíso.

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.

Zonas de sierras.- está formada por rocas sedimentarias, principalmente lutitas, areniscas y calizas de edad cretácica. Presentan formas alargadas y plegadas con dirección NE-SW, cuyo levantamiento se originó por el empuje de intrusivos graníticos; alcanzando una máxima elevación de 3,100 msnm en la zona.

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 rellenadas con depósitos de sedimentos clásticos.

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.

En este acuífero, las lutitas y areniscas desarrollan un drenaje de tipo dendrítico con enrejado denso, controlado por la disposición que guardan los estratos y las fracturas. Esta característica del drenaje indica baja permeabilidad de las rocas sedimentarias y su baja posibilidad de conformar acuíferos.

Considerando el grado de integración del drenaje y la extensión de sus valles, se puede decir que la zona se encuentra en la etapa de madurez temprana, de acuerdo al ciclo geomorfológico de Davis.

4. GEOLOGÍA

El área del acuífero 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.

La secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental se inicia con una andesita antigua (53–51.6 Ma), la cual ha sido reconocida en varias localidades, cuya edad puede variar dentro del Eoceno. La columna estratigráfica resultante es de edad Oligo-miocénica, posteriormente en la parte superior de esta última tiene lugar una época de denudación, otro vulcanismo al cierre de ella, seguida de otro evento erosivo y finalmente en el Plio-Cuaternario, derrames de basalto.

Los afloramientos más extensos son los de las ignimbritas que en algunas áreas están profundamente erosionadas, formando grandes depresiones que originaron lagos en donde se depositaron calizas y lutitas; además de arcillas, areniscas y conglomerados, éstas dos últimas conteniendo gran cantidad de finos.

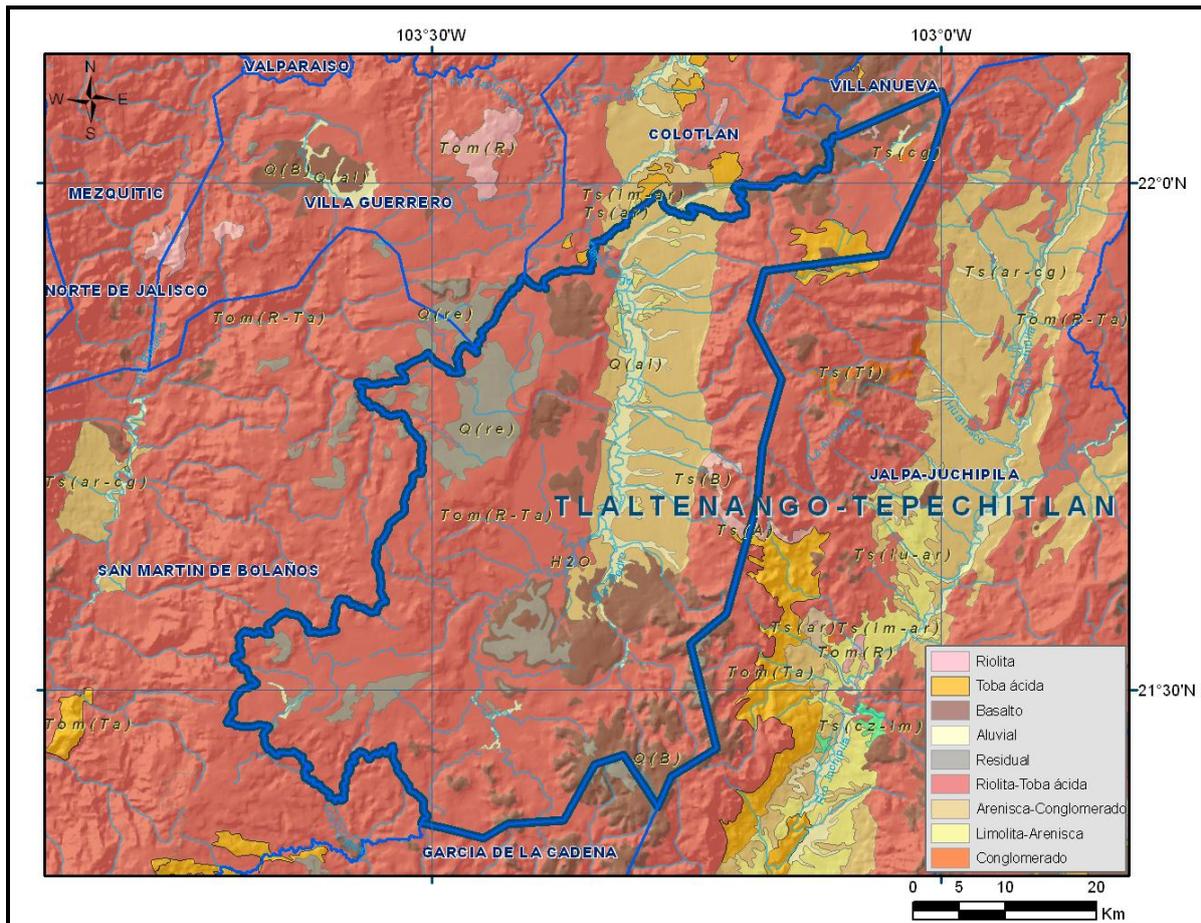


Figura 2. Geología general del acuífero

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, emitidas como derrames a través de aparatos volcánicos ya erosionados y en algunos casos asociadas a las calderas. Los derrames basálticos muestran evidencias de que fueron emitidos a través de fracturas.

Los afloramientos más extensos son las ignimbritas que en algunas áreas están profundamente erosionadas, formando grandes depresiones que originaron lagos en donde se depositaron calizas y lutitas; además de arcillas, areniscas y conglomerados, éstas dos últimas conteniendo gran cantidad de finos.

La siguiente descripción se refiere a las unidades y formaciones que afloran en las zonas que comprende el acuífero.

Rocas Ígneas

Andesitas (ToA)

Derrames de andesitas de color gris medio a oscuro, con algunas intercalaciones de brechas y aglomerados, de textura tanto porfirítica como afanítica y estructura masiva, con escasos sistemas de fracturas. Su edad corresponde al Eoceno-Oligoceno.

Riolitas e ignimbritas (Tom TR, Tom Ig-R, Tom R-Ig).

Riolita-Ignimbrita (Tom R-Ig, Tom TR).- Depósitos derivados de flujos de piroclastos de 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.

Derrames de 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 mesas 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.

Rocas Sedimentarias

Conglomerado Oligomíctico (Tpl-Cgo)

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 semicompacto a semisuelto 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 se consideran de edad Mioceno. Los conglomerados afloran entre las poblaciones de Tabasco y Jalpa, constituyendo pequeñas lomas de cimas aplanadas.

Conglomerado (Tn Ar-Cgp)

Roca sedimentaria clástica continental, depositada 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. Sus clastos muestran disposición caótica, subangulosos a subredondeados y representan fragmentos de calizas, basaltos, riolitas, tobas riolíticas, ignimbritas, vidrio y areniscas, que varían desde arenas hasta gravas, con diámetros que varían de 3 a 70 cm, embebidos en una matriz compuesta de limos, arcillas y en menor proporción arenas, mal consolidadas y clasificadas.

Tienen una orientación controlada por los esfuerzos tensionales que provocaron fallas normales y dieron origen a la formación de cuencas. El espesor en el poblado de San José de Félix es de 200 m, superficialmente presenta una costra de tipo calichosa. Esta unidad presenta una coloración que varía de gris a café amarillento, de estructura masiva; su grado de compactación varía de semicompacto a semisuelto, condiciones que le confieren buenas propiedades geohidrológicas para constituir acuíferos.

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, que se localizan solo en los cauces de los arroyos. De acuerdo a su posición estratigráfica se consideran del Mioceno. Estos conglomerados se pueden correlacionar las rocas de este tipo que afloran ampliamente en el sur del estado de Zacatecas.

Abanicos Aluviales (Qal)

Debido a la erosión de la sierras y de sus mesetas con cubierta de lavas riolíticas, se formaron en los flancos depósitos eluviales y aluviales que rellenaron eventualmente las planicies intermontanas de la región. Los elementos de este ciclo erosivo se presentan en forma de depósitos de taludes al pie de los escarpes abruptos; contienen material clástico volcánico además de arenas y limos.

4.2. Geología estructural

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, debido a los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide. Están representados varios eventos distensivos que se manifestaron en el Cenozoico, como consecuencia del movimiento tectónico que afectó a las rocas mesozoicas y cenozoicas, produciendo anticlinales, sinclinales, orientados al NW-SE y N-S, afectados por fallas laterales y normales, fracturas y cabalgaduras con dirección al noreste, en las que varias fases de intrusión fueron controladas al N y S por dos zonas de fallas W-NW, que se sobreponen y que representan las fallas del basamento anterior a la Orogenia Laramide, reactivadas a partir del Eoceno. Los eventos geológicos más importantes en la región, presentes en la Sierra Madre Occidental, son vulcanismo y fallamiento.

Regionalmente, las estructuras más antiguas están conformadas por la secuencia de rocas sedimentarias de calizas-lutitas, que muestran un sistema de pliegues de anticlinales y sinclinales, con rumbo general noroeste, recostados al noreste, asociados a fallas de tipo normal con dirección W-NW. Estas estructuras afloran en el acuífero vecino Jalpa-Juchipila.

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.

En las rocas volcánicas de la Serie Inferior del Paleógeno, que forman la Sierra Madre Occidental, constituida por andesitas, tobas riolíticas-flujos piroclásticos, ignimbritas, riolitas y basaltos, se presentan flujos y pseudoestratificaciones, con inclinaciones al noroeste. En algunas localidades se invierte este sistema por efecto de fallamiento normal y de fallas de movimiento lateral. El rumbo en estas unidades volcánicas presenta una orientación de NW-SE y NE-SW, con echados casi verticales, asociadas en su mayoría a fallas de tipo normal que tienen esa misma orientación.

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, 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 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 predominantemente 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. 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.

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 **0.056 a 2.37 m/día**, característicos de materiales de baja permeabilidad. Al considerar un espesor saturado promedio de 200 m, los valores de transmisividad obtenidos oscilan de **11.2 a 474 m²/día (0.1 a 5.4 x10⁻³ m²/s)**. Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento. Se ha estimado un valor de 0.03.

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, desde algunos metros hasta 80 m, conforme se asciende topográficamente. Es importante destacar que se trata de una interpretación del comportamiento general del agua subterránea, ya que existen valores de profundidad muy someros y presencia de artesianismo.

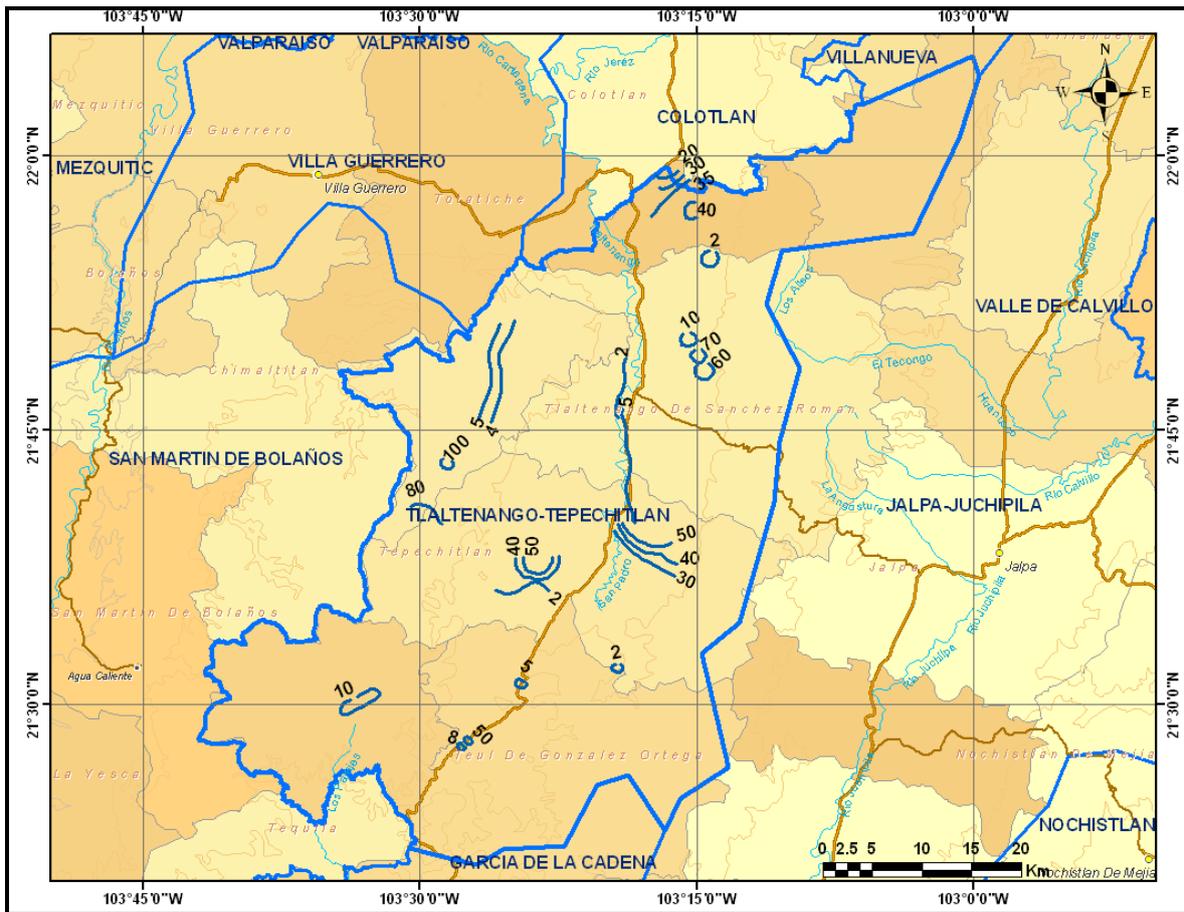


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 2008

En general los valores más someros se presentan en la zona cercana a Tlaltenango incrementándose hacia las partes topográficamente más altas.

5.4.2. Elevación del nivel estático

Para este caso debido a la presencia de un parteaguas que divide Atolinga de Tlaltenango y a la diferencia de elevación topográfica, se presentan tres subsistemas, identificados de acuerdo con su comportamiento hidráulico: norte y sur de Atolinga y Tlaltenango-

Tepechitlán. De acuerdo con la configuración realizada se identifican entradas y por falta de información piezométrica se infieren salidas del mismo orden en la parte sur de Atolinga. De igual forma, en el segundo subsistema, en Atolinga, con flujo de sur a norte se infiere entradas y salidas del mismo orden por la ley de conservación de la masa.

La zona Tlaltenango-Tepechitlán es un valle angosto con orientación norte-sur, que presenta elevaciones de 2100 a 1700 msnm y gradientes hidráulicos fuertes, del orden de 0.05, que denotan flujo rápido (figura 4).

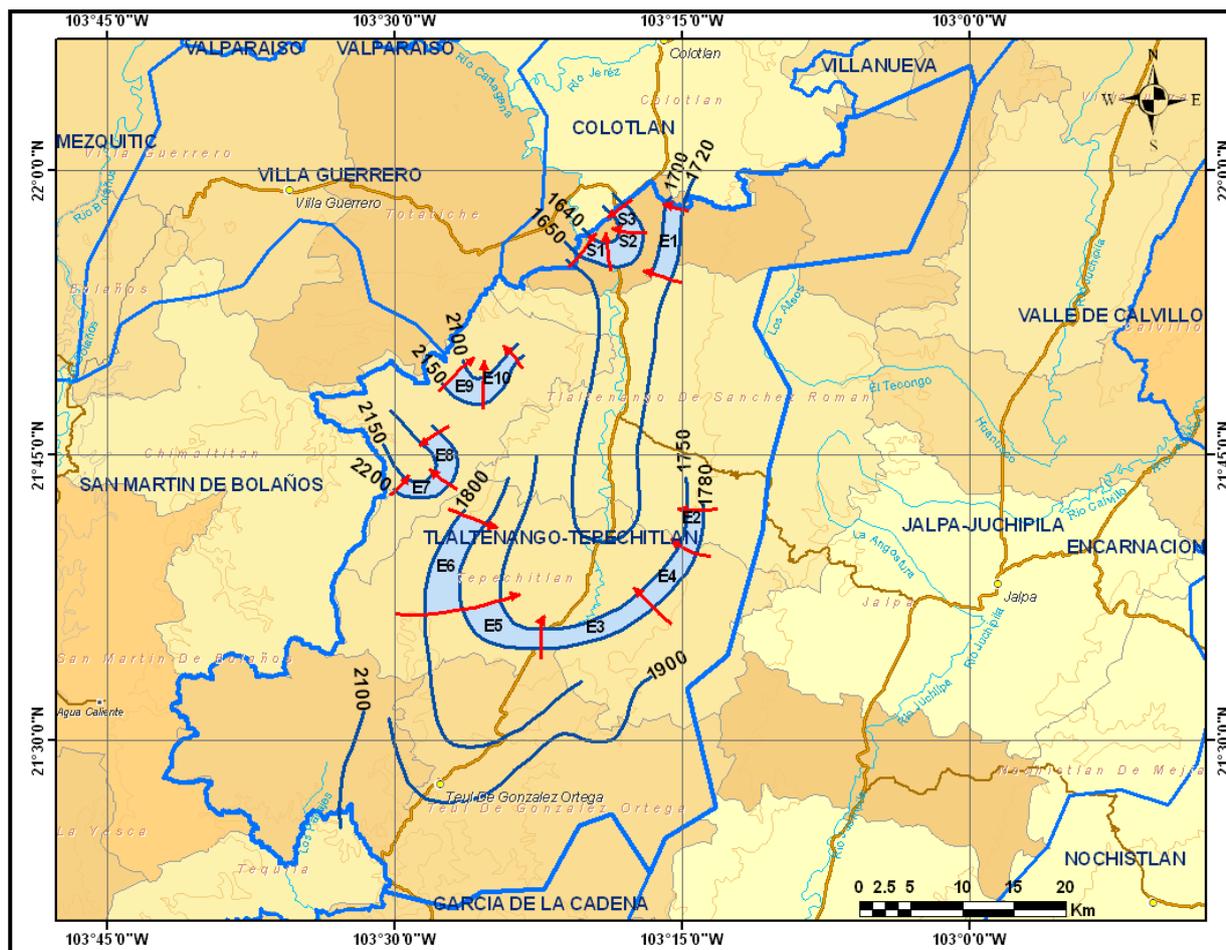


Figura 4. Elevación del nivel estático (msnm), 2008

Al centro del valle, a la altura de Tepechitlán, las elevaciones varían de 1780 a 1720 msnm y el gradiente disminuye a 0.015; sin embargo, hacia los flancos el gradiente se incrementa a 0.025. La cota 1720 msnm bordea a toda la parte baja del valle, próxima al río, indicando la presencia de flujo base hacia él. Este comportamiento se mantiene hasta la parte norte del valle donde se identifican salidas por flujo subterráneo en dirección noroeste, hacia el acuífero Colotlán en el estado de Jalisco, mostrado por las curvas de 1650 a 1620 msnm. En esta porción el gradiente hidráulico es de 0.007.

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 de 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.

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 de agua en 10 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayores, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos, se establece que los valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT) varían de 80 a 250 ppm, por lo que el agua es apta para el consumo humano y para todo uso, de acuerdo con las normas de calidad internacional y mexicana. Los valores más bajos se presentan en la zonas topográficamente más altas y se incrementan hacia el centro de los valles y en dirección hacia el noroeste, corroborando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterráneo, hacia la zona de salidas subterráneas.

Sin embargo, se presentan contaminantes antropogénicos, como NO_3 , en concentraciones mayores al límite máximo permisible que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Otros componentes del ciclo del Nitrógeno (NO_2 , NH_3 y NH_4) no rebasan los límites permisibles para consumo humano. Por otra parte, la concentración de flúor varía de 0.12 y 1.44 mg/l, muy próximo al límite máximo permisible de 1.5 mg/l que establece dicha norma mexicana para el agua destina al consumo humano.

Con respecto a las familias del agua, predomina la bicarbonatada-sódica que indica que la composición del material granular que constituye al sistema acuífero tiene origen 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 101 aprovechamientos de agua subterránea dentro de los límites geográficos del acuífero; de los cuales 63 son pozos, 20 norias, 17 manantiales y 1 galería filtrante. Del total de obras, 94 (93 %) están activas y las 7 (7.0%) restantes inactivas.

El volumen estimado de extracción conjunta asciende a **6.9 hm³ anuales**, sin tomar en cuenta la descarga de **2.6 hm³** proveniente de los manantiales. Del volumen de extracción, 5.5 hm³ (79.7%) se destinan al abastecimiento de agua potable a los centros de población, 1.3 hm³ al uso agrícola (18.8%) y los 0.1 hm³ restantes (1.5%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

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 1,909 km², 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 del acuífero:

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que

se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra 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 (ΔV) (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:

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

Dónde:

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

Q_b : Caudal base

D_m : Descarga a través de manantiales

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

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. Para el caso de los manantiales en la zona, corresponden a subsistemas o variaciones en la litología así como a la intersección de nivel freático con la topografía, que por situarse su descarga puntual en forma de niveles colgados en las regiones altas situadas fuera del área de balance definida en el valle, su valor se considera implícito en la descarga por flujo base. El valor de descarga natural de los pequeños manantiales que se localizan dentro del área de balance está incluido en la hidrometría de los aprovechamientos.

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2. Recarga inducida (Ri)

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 (1.3 hm³ /a) y agua potable (5.5 hm³ /a), retorna al acuífero como recarga inducida. Esto representa un volumen de **1.4 hm³/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 isolíneas 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 m³/s

K = Conductividad hidráulica (m/s)

A = Área de la sección transversal por donde pasa el flujo, en m² (A = B*b)

h₁, h₂ = 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:

$$Q = T B (h_1 - h_2) / L$$

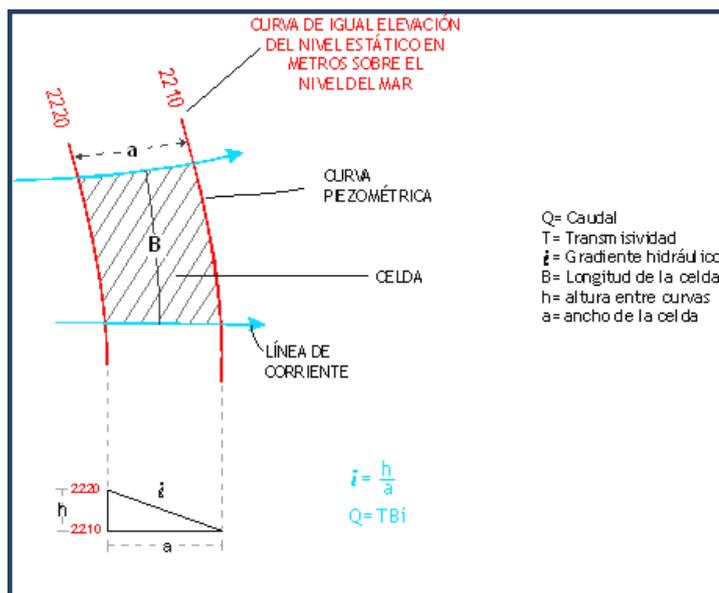
Dónde:

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 establecidos. En la Tabla 2 se puede observar que para las celdas identificadas se presenta un flujo de entrada de **20.4 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

Celda	h ₁ (m)	h ₂ (m)	L (m)	$i=(h_1-h_2)/L$	B (m)	K (m/día)	b(m)	Gasto (m ³ /día)	Vol. Anual (hm ³ /año)
E1	1720	1700	2000	0.010	6500	0.456	200	5928	2.2
E2	1780	1750	1600	0.019	4500	0.324	200	5468	2.0
E3	1780	1750	1800	0.017	5000	0.324	200	5400	2.0
E4	1780	1750	1500	0.020	6500	0.324	200	8424	3.1
E5	1780	1750	2000	0.015	5400	0.324	200	5249	1.9
E6	1800	1780	1200	0.017	8400	0.324	200	9072	3.3
E7	2200	2150	1600	0.031	5000	0.2	200	6250	2.3
E8	2200	2150	1500	0.033	3600	0.2	200	4800	1.8
E9	2150	2100	3000	0.017	3000	0.2	200	2000	0.7
E10	2150	2100	1300	0.038	4400	0.1	200	3385	1.2
								SUMA	20.4

7.2. Salidas

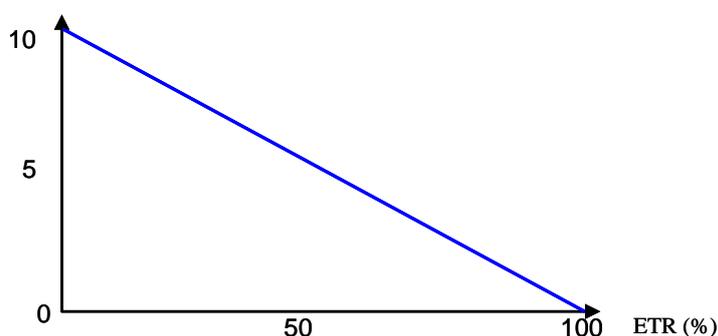
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas

(Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

Existe una zona del área de balance donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m, 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 556.3 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 18.0° C y precipitación de 706.3 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 en una superficie de 40.6 km² se registran niveles freáticos someros, área ubicada entre las localidades de Tlaltenango de Sanchez Román y Momax, con cobertura vegetal cuyas raíces son suficientemente largas y susceptibles de evapotranspirar, donde la profundidad media es de 5 m y la lámina de evapotranspiración real es de 556.3 mm, de acuerdo con la gráfica anterior se tiene:

$$\text{ETR} = 40.6 \text{ km}^2 (0.5563 \text{ m}) (0.50) = 11.3$$

$$\text{ETR} = 11.3 \text{ hm}^3/\text{año.}$$

7.2.2. Descarga a través de manantiales (Dm)

En la zona existen algunos pequeños manantiales cuya descarga conjunta se estima en **2.6 hm³**.

7.2.3. 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 de 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 de **9.8 hm³/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 **6.9 hm³ 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. El Valor estimado es de **8.0 hm³ anuales**, que toma en cuenta los 6.0 hm³ de las celdas de entrada E7a E10 que tienden a salir hacia los acuíferos Villa Guerrero y San Martín de Bolaños, en el estado de Jalisco, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Calculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	h ₁ (m)	h ₂ (m)	L (m)	i=(h ₁ -h ₂)/L	B (m)	K (m/día)	b (m)	Gasto (m ³ /día)	Vol. anual (hm ³ /año)
S1	1650	1640	2000	0.005	4000	0.456	200	1824	0.7
S2	1650	1640	1500	0.007	3500	0.456	200	2128	0.8
S3	1650	1640	1400	0.007	2200	0.456	200	1433	0.5
Salidas subterráneas en Atolinga equivalente a entradas subterráneas									6.0
								SUMA	8.0

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 una porción 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, $\Delta V(S) = 0$.

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:

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

Sustituyendo valores:

$$Rv = 6.9 + 8.0 + 11.3 + 9.8 + 2.6 - 20.4 - 1.4$$

$$Rv = 16.8 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, la recarga total (Rt) es la suma de $Rv + Eh + Ri = 38.6 \text{ hm}^3/\text{año}$.

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:

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS$$

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 (Rt) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este acuífero su valor es de **38.6 hm³ anuales**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben

conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para 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 **6.9 hm³ anuales**, deben comprometerse para el gasto ecológico de la zona ribereña.

Adicionalmente, se considera comprometido un volumen de **6.6 hm³ anuales**, de los cuales 4.0 corresponde al 50% de las salidas por flujo subterráneo hacia los acuíferos Villa Guerrero, San Martín de Bolaños y Colotlán 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 2.6 hm³ restantes provienen de la descarga a través manantiales Por lo tanto, **DNCOM = 13.5 hm³ 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 **4'609,942 hm³/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.

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

$$DAS = 38.6 - 13.5 - 4.609942$$

$$\mathbf{DAS = 20.490058}$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **20'490,058 m³ 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 hacer pozos de más de 300 m 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.

Secretaría de Agricultura y 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.