CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO TAPALPA (1421), ESTADO DE JALISCO

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES 2
Antecedentes 2
1.1. Localización 2
1.2. Situación Administrativa del acuífero 4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD 4
3. FISIOGRAFÍA 5
3.1 Provincia Fisiográfica 5
3.2 Clima 5
3.3 Hidrografía 5
3.4 Geomorfología 6
4. GEOLOGÍA 6
4.1 Estratigrafía 7
4.2 Geología Estructural 8
4.3 Geología del subsuelo 8
5. HIDROGEOLOGÍA 9
5.1 Tipo de acuífero 9
5.2 Parámetros hidráulicos 10
5.3 Piezometría 10
5.4 Comportamiento hidráulico 10
5.4.1 Profundidad al nivel estático 10
5.4.2 Elevación del nivel estático 11
5.4.3 Evolución del nivel estático 12
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 12
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 13
7.1 Entradas 13
7.1.1 Recarga vertical (Rv) 14
7.1.2 Retornos por riego (Rr) 16
7.2 Salidas 16
7.2.1 Extracción por bombeo (B) 16
7.2.2 Descarga por manantiales (Dm) 16
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS) 16
8. DISPONIBILIDAD 17
8.1 Recarga total media anual (R) 17
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 18
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 18
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 18
9. BIBLIOGRAFÍA 20

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-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y 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 de extracción de aguas subterráneas.

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 Tapalpa, definido con la clave 1421 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del Estado de Jalisco, entre los paralelos 19° 50' y 20° 03' de latitud norte y los meridianos 103° 39' y 103° 49' de longitud oeste. Tiene una superficie aproximada de 256 km^2. Colinda al norte y oeste con el acuífero Autlán, al este con Lagunas y al sur con el acuífero Jiquilpan, todos ellos en el estado de Jalisco (figura 1). Geopolíticamente se encuentra, casi en su totalidad, dentro del municipio Tapalpa y una muy pequeña porción al sureste del acuífero en el municipio Sayula.

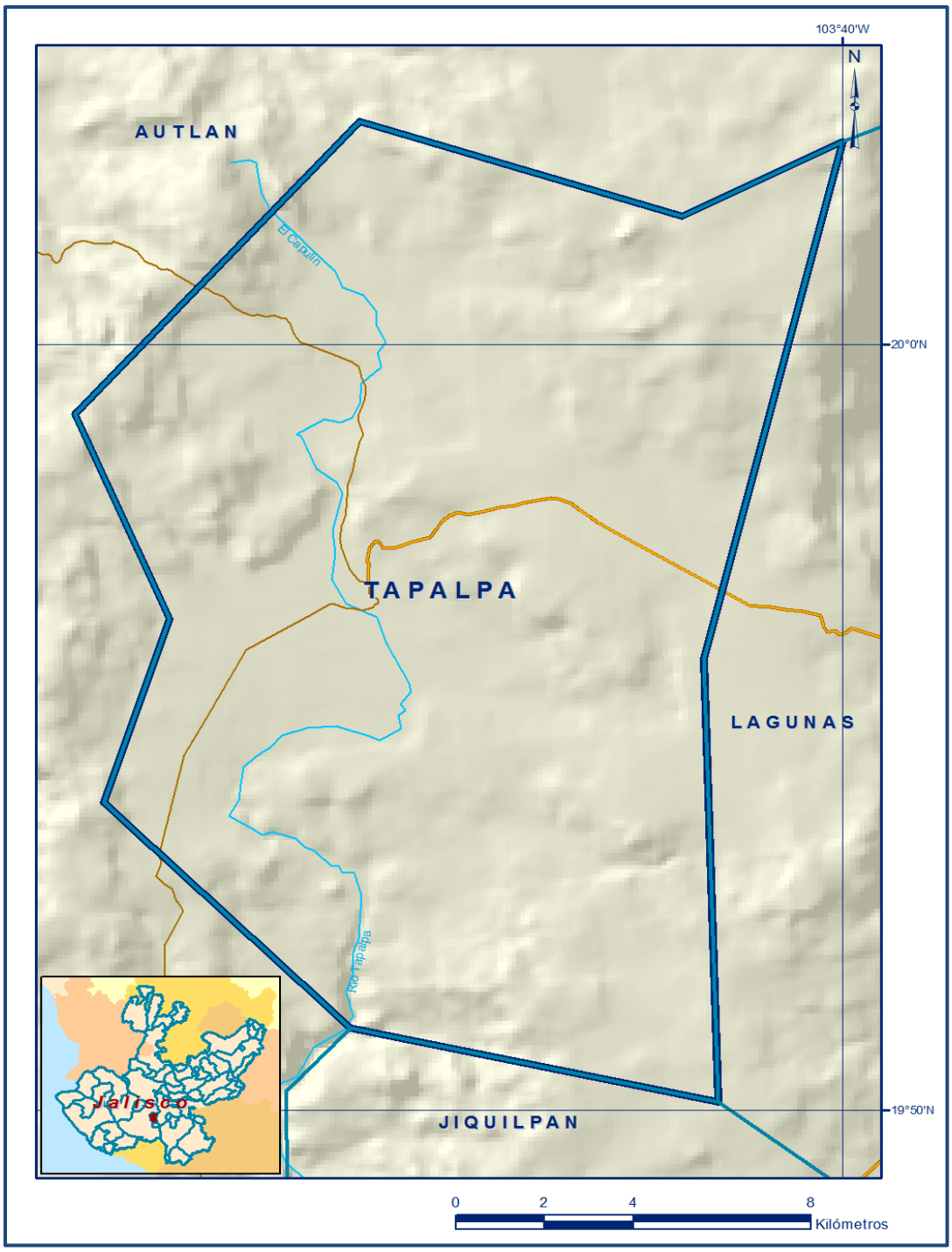

Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 1421 TAPALPA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	41	30.6	19	50	6.0
2	103	45	59.1	19	51	3.8
3	103	48	59.1	19	54	0.0
4	103	48	11.0	19	56	25.1
5	103	49	20.4	19	59	5.2
6	103	45	52.2	20	2	54.8
7	103	41	57.3	20	1	40.0
8	103	39	59.8	20	2	38.8
9	103	41	41.3	19	55	53.0
1	103	41	30.6	19	50	6.0

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

1.2. Situación Administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del "Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en zonas no vedadas en diversos Municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Jalisco". Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 1987. Esta veda se clasifica como tipo III que permiten permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2. El principal usuario es el agrícola. En su territorio no existen Distritos de Riego y actualmente no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero no se ha realizado estudios geohidrológicos de evaluación, existen un estudio con información regional, que sirvió como referencia:

GEOHIDROLOGÍA DE LOS VALLES DE ATEMAJAC, TESISTÁN, AMECA, AHUALULCO Y SAN MARCOS, JALISCO, elaborado por Ariel Constructores, S.A. para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), en 1973. Este estudio contiene información del acuífero colindante a Tapalpa, denominado entonces San Marcos, actualmente acuífero Lagunas.

Incluyó censo de aprovechamientos, piezometría y pruebas de bombeo; fue posible realizar una evaluación cuantitativa de los recursos hídricos de la región. Los valores de la transmisividad aparente resultaron del orden de 2.5 a 5.0x10^{-3} m^2/s.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

La zona del acuífero se encuentra localizada en la provincia denominada Faja Volcánica Transmexicana, la cual se caracteriza por tener numerosos estratovolcanes y otras estructuras volcánicas complejas. Se trata de una cadena montañosa compuesta totalmente de lavas y materiales piroclásticos, así como aluvión y depósitos se origen lacustre del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario, hacia las partes bajas de los valles.

Las principales unidades fisiográficas del estado surgieron entre los periodos Oligoceno y Mioceno y fueron producto de una serie de fenómenos volcánicos y tectónicos, que dieron como resultado numerosas emisiones de rocas ígneas. De esta manera se formaron las principales sierras: Madre Occidental, de Tapalpa, La Primavera, Las Galeras, La Mojonera, los Verdines, el Cañón del Río Grande Santiago y diferentes fosas tectónicas que con el tiempo ocuparon los lagos de Sayula, Atotonilco, San Marcos, Zacoalco, Cajititlán y Chapala.

3.2 Clima

El clima es semiseco, con otoño, invierno y primavera secos y semicálido, sin cambio térmico invernal bien definido. Según datos se la estación climatológica Tapalpa, la temperatura media anual es de 15.7° C, siendo el mes de mayo en el que se registran las temperaturas más elevadas y enero el mes más frío.

Para el periodo 1990-2003, la precipitación promedio anual es de 915.0 mm, con un período de lluvias bien definido que comprende de mayo a noviembre. La evaporación media anual es de 1 308 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra en su totalidad en la Región Hidrológica 16 Armería-Coahuayana, formado por una pequeña cuenca cerrada. Su drenaje es radial, con arroyos perennes e intermitentes que en épocas de lluvias descargan sus aguas hacia las partes bajas del valle, para almacenarse finalmente de manera natural en la Presa El Nogal.

Las corrientes superficiales que se presentan en la zona son los ríos: Tapalpa y Ferrería; los arroyos: Los Sauces, El Capulín, El Rincón, Las Piedras, El Carrizalillo, Agua Escondida, Las Animas, Jarrillas, Yerbabuena y Los Alacranes; además existen pequeños manantiales que brotan en la sierra y que abastecen de agua a varias localidades.

En la parte más baja de la cuenca se localizan depresiones topográficas que alojan los escurrimientos superficiales, conocidas como presas Laguna Grande y El Nogal.

3.4 Geomorfología

La geomorfología refleja la acción de agentes internos (tectonismo y vulcanismo) y externos (erosión). La expresión morfológica de esta región está dominada en la porción norte por la presencia de sierras rematadas por mesas basálticas, en tanto que hacían los flancos oriental y occidental se presentan sierras escarpadas.

Entre las principales elevaciones topográficas podemos mencionar los cerros Alcantarilla, Zacate, El Divisadero, La Huerta, La Palma, El Otate Chino, La Peña de San Pablo, Tablón y La Vieja.

Las zonas bajas se restringen únicamente a los pequeños y estrechos valles aluviales que se localizan a lo lardo de los principales ríos y arroyos y a la zona en la que se localizan las depresiones topográficas que almacenan los escurrimientos superficiales.

4. GEOLOGÍA

Las rocas más antiguas que se observan son ígneas intrusivas a las que se les ha determinado una edad cretácica, estas rocas volcánicas se pueden observar en las sierras de la Laja y Tapalpa (figura 2), subyaciendo a rocas sedimentarias marinas compuestas por calizas y areniscas, presentan un espesor aproximado de 500 m.

Los derrames basálticos y la mayoría de rocas que se extienden en toda la Faja Volcánica Transmexicana se caracterizan por su alta permeabilidad que varía en un amplio rango, controlado principalmente por su grado de fracturamiento, la presencia de tubificaciones en los derrames y la intercalación de material escoreáceo.

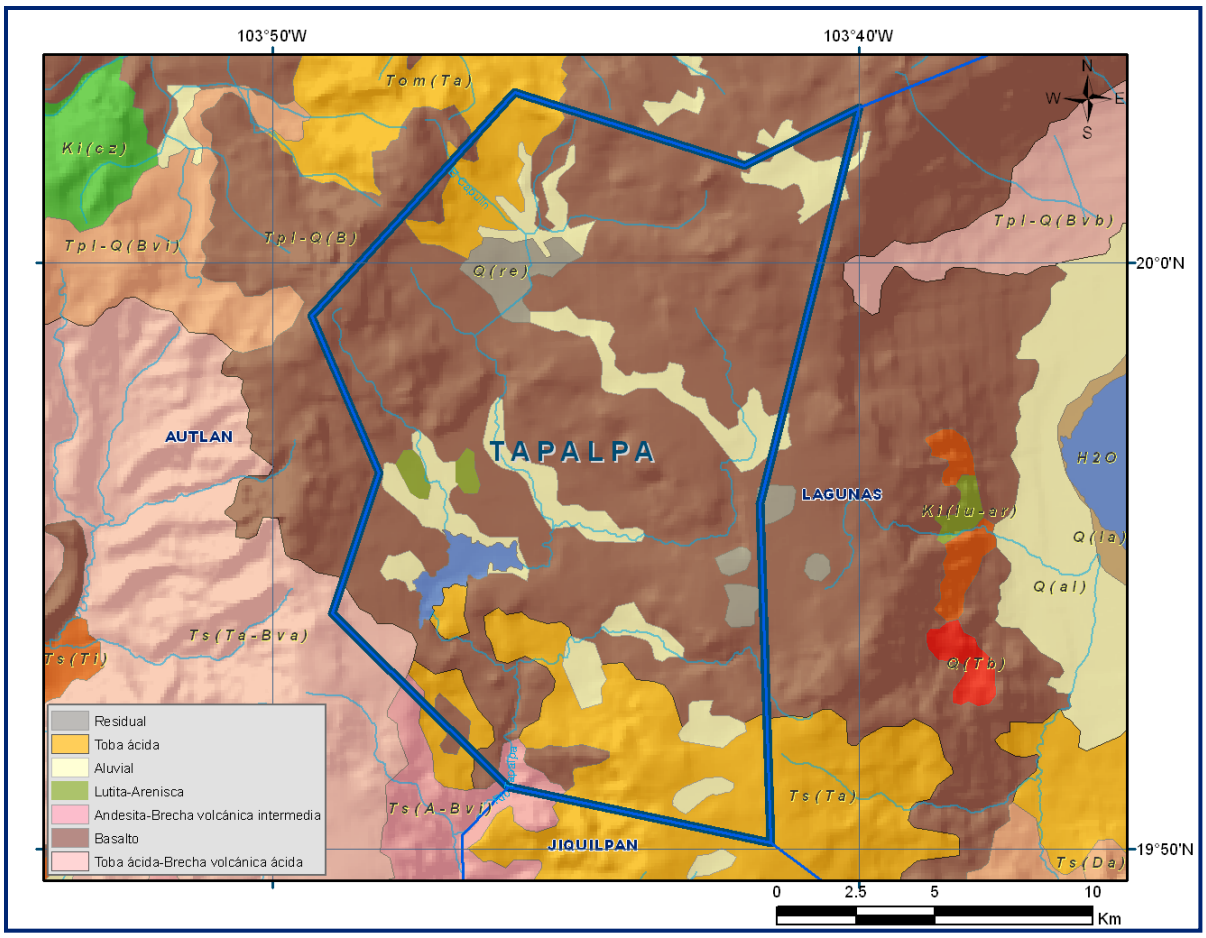

Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Las rocas que afloran en esta región son de tipo ígneo extrusivo y sedimentarias, cuyo registro estratigráfico comprende del Paleógeno-Neógeno al Reciente.

TOBAS DEL PALEÓGENO-NEÓGENO. - Este grupo de roca está constituido por tobas pumicíticas poco consolidadas, conformadas por vidrios volcánicos cuya coloración varía de gris amarillento a café grisáceo oscuro.

BASALTOS Y PIROCLASTOS DEL CUATERNARIO-PLEISTOCENO. - Los basaltos cubren la mayor superficie de exposición en el acuífero. Se caracterizan por presentarse en forma de derrames de lava en todas direcciones, con variaciones estructurales desde compacta a vesicular, de textura afanítica y coloración gris obscura. Dentro de esta misma clasificación podemos situar a conos volcánicos compuestos por materiales piroclásticos de diferentes tamaños que comprenden cenizas y arenas.

ALUVION DEL CUATERNARIO. - Constituidos por materiales limosos, arenosos, gravas, arcillas plásticas, cantos rodados de acarreo y suelos.

4.2 Geología Estructural

El Graben Chapala-Tepic constituye la terminación occidental del Eje Neovolcánico. Las manifestaciones volcánicas recientes se alinean con una orientación NW-SE, en una franja que se extiende desde Tepic, hasta Guadalajara. A la altura del Lago de Chapala cambian las direcciones tectónicas y adquieren un sentido Este-Oeste. Los límites del graben están constituidos por la secuencia volcánica Oligo-Miocénica, presente al nivel del río Grande de Santiago, así como en ambos lados de Lago de Chapala.

La zona del Graben de Colima se comunica al norte con la depresión de Chapala, a la altura de la Laguna de San Marcos. Con respecto a la disposición general del Eje Neovolcánico Transmexicano, el Graben de Colima se diferencia por su orientación Norte-Sur. Aquí la actividad volcánica fue mayor; sin embargo, de un lado y otro del graben se desarrollaron numerosos aparatos volcánicos más pequeños que cubrieron los terrenos volcánicos oligomiocénicos.

Los principales rasgos estructurales presentes en las rocas que afloran dentro de los límites del acuífero son las fracturas y fallas que afectan a las rocas volcánicas que cubren la mayor extensión.

4.3 Geología del subsuelo

En el subsuelo de los valles las rocas consolidadas y no fracturadas abajo del nivel regional de saturación forma barreras para el flujo de agua subterránea, como los derrames andesíticos que funcionan como basamento geohidrológico. En el caso de los valles tectónicos, este basamento se puede encontrar a cientos de metros de profundidad. Los derrames de rocas no fracturadas intercaladas con relleno aluvial en diferentes profundidades forman acuíferos locales independientes en rocas adyacentes.

En las partes más bajas de la cuenca, los acuíferos alojados en derrames volcánicos fracturados están cubiertos por depósitos lacustres y aluviales de menor permeabilidad, que los confinan. Este tipo de acuífero se caracteriza por un coeficiente de almacenamiento bajo, debido a su virtual incompresibilidad.

Los piroclastos presentan alta porosidad, aunque su permeabilidad sea baja; en la zona de saturación funcionan como acuitardos, los cuales a escala regional pueden producir o transmitir grandes cantidades de agua a los acuíferos adyacentes. Estos materiales abundan en la base de los volcanes, aunque con un espesor menor, son menos porosos y más permeables que los que se localizan en la parte superior. Ampliamente distribuidos en la superficie se encuentran los depósitos lacustres del Plioceno Tardío, muy porosos y de baja permeabilidad, que forman acuitardos de algunos metros de espesor que almacenan grandes volúmenes de agua.

Los materiales aluviales no consolidados, gravas, arenas y sedimentos finos, están ampliamente expuestos en los valles y forman acuíferos someros. Su permeabilidad y transmisividad varía de acuerdo con el tamaño del grano y del espesor. El coeficiente de transmisividad de los acuíferos aluviales oscila entre 5 x 10-4 y 5 x 10^{-2} m^2/s. Los mayores espesores de materiales aluviales y la presencia de sedimentos más gruesos, está asociada a los cauces y paleocauces de los ríos y arroyos, en tanto que hacia las pequeñas planicies de inundación predominan los clásticos de granulometría media a fina, cuya permeabilidad es moderada a baja.

Cuando estos estratos más permeables se encuentran en la parte superior de la secuencia estratigráfica, el agua infiltrada se incorpora al sistema local. Los flujos de lava basáltica, y los gruesos paquetes de piroclastos que forman el mayor volumen de las rocas volcánicas jóvenes, constituyen excelentes áreas de recarga y rápidamente transmiten el agua a profundidad, alimentando los niveles más profundos.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con esta información de la geología superficial y la escasa información de la geología del subsuelo, podemos afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su parte superior, por los depósitos granulares de diferente granulometría que rellenan los subálveos de los ríos y la pequeña llanuras aluviales; en tanto que la porción inferior está conformada por roca volcánicas, principalmente basaltos y tobas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento: lo que indica que es un **acuífero libre**.

Estas mismas rocas volcánicas, cuando se encuentran inalteradas, y la secuencia de lutitas y areniscas, conforman el basamento y las fronteras al flujo subterráneo del acuífero que actualmente se explotan.

Se desconoce el espesor de este acuífero, pero dependiendo del grado y profundidad del fracturamiento, puede varias decenas de metros. Los pocos aprovechamientos que existen en el acuífero se localizan en el material aluvial que conforma los cauces de ríos y arroyos que conducen hacia la presa El Nogal.

Algunos otros aprovechamientos se localizan en roca basáltica alterada y fracturada. Los afloramientos de estas rocas y las tobas funcionan como las principales zonas de recarga al acuífero.

5.2 Parámetros hidráulicos

Debido a que en el acuífero no se han ejecutado pruebas para determinar sus propiedades hidráulicas, no se conocen los valores de los parámetros hidrodinámicos.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró la información disponible para 2006.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Para 2006 los niveles del agua subterránea se encuentran a profundidades que varían desde 5 hasta 70 m, durante la época de estiaje los niveles estáticos se encuentran a mayores profundidades, del centro hacia la periferia y en temporada de lluvias, se recuperan principalmente de la periferia hacia el centro del valle. (figura 3).

Los valores mayores de profundidad se registran al norte del acuífero, en las rocas basálticas, y los menores hacia la presa El Nogal, en los sedimentos aluviales.

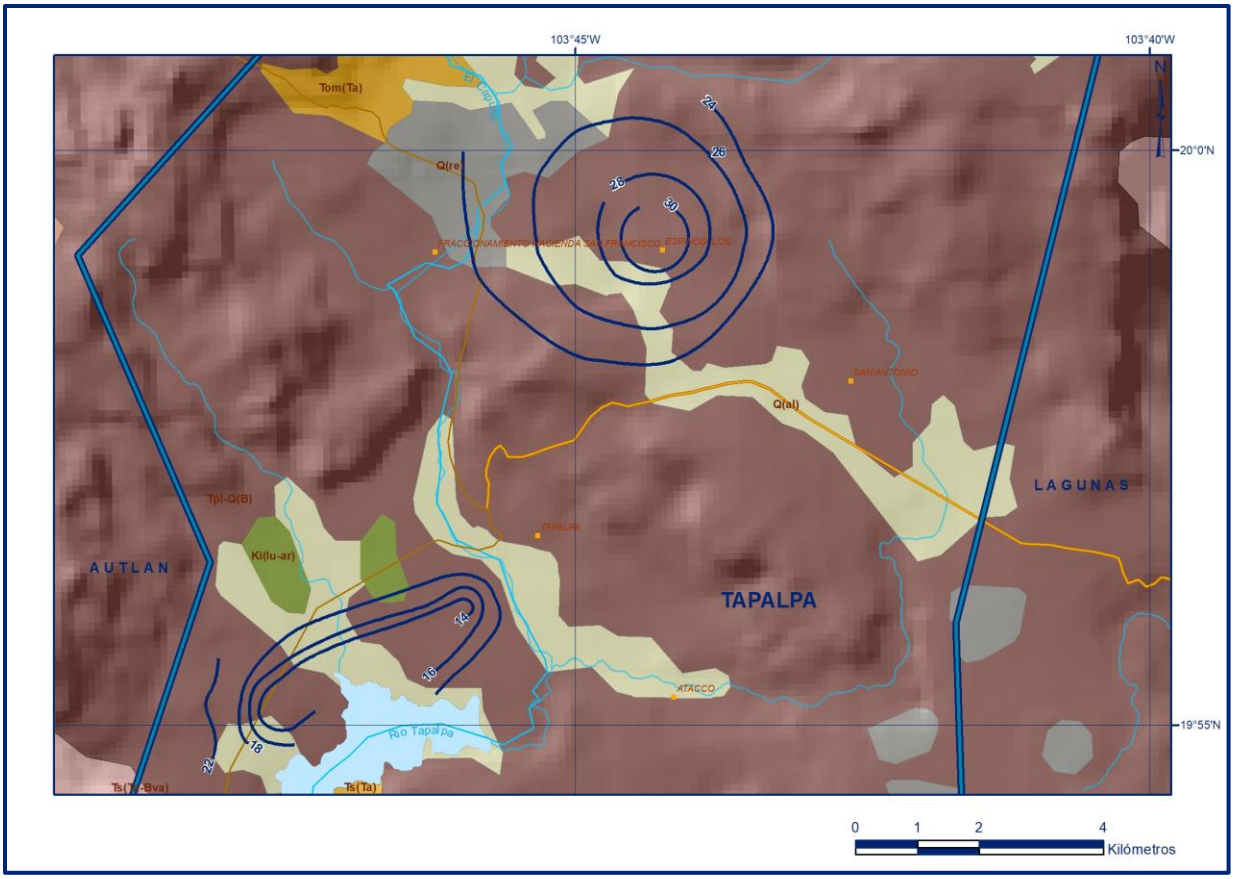

Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2006)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático varía entre 2,220 y 1,610 msnm, desde la porción norte hacia la presa El Nogal, reflejando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo en sentido noreste-suroeste (figura 4). En la zona noreste los valores fluctúan entre 2,220 y 1,990 msnm, en tanto que hacia la porción central se registran valores que oscilan entre los 2,000 msnm, para concluir en la zona aledaña a la presa "El Nogal" con la curva 1610 msnm.

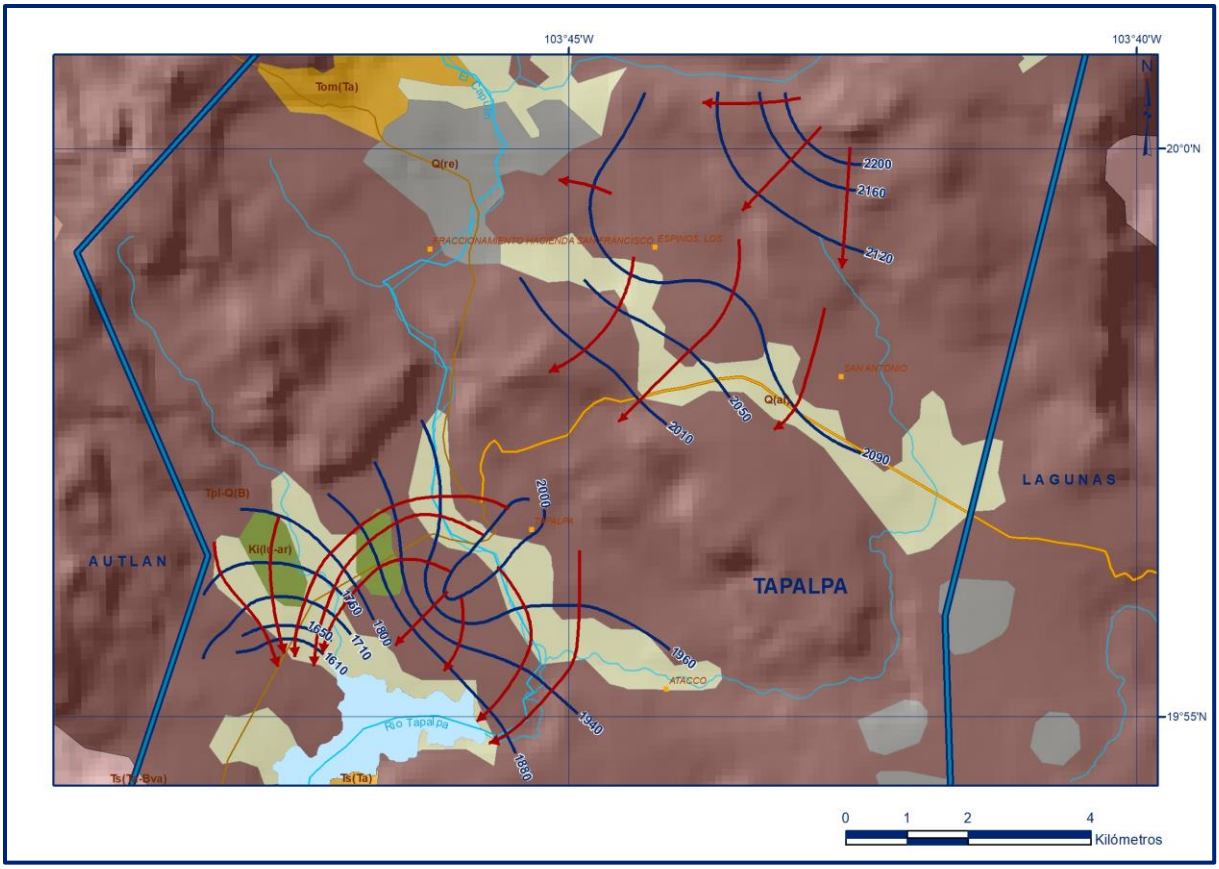

Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2006)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Las mediciones piezométricas recabadas no son suficientes y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por lo que no es posible configurar la evolución del nivel estático.

La incipiente extracción que se realiza no ha causado aún la alteración de las condiciones originales del régimen de flujo subterráneo. Las fluctuaciones del nivel estático son estacionales, como reflejo de la alternancia de las temporadas de lluvia y estiaje. Bajo estas consideraciones, se puede afirmar que la posición de los niveles del agua subterránea no registra variaciones significativas en el transcurso de tiempo.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), en 2008, se tiene concesionado un volumen total de **1.2 hm³ anuales**, de los cuales 0.6 hm³ (50%) se destina al uso agrícola, 0.1 hm³ (8.3%) para satisfacer el uso doméstico y los 0.5 hm³ restantes (41.7%) se utilizan para uso público urbano.

Existen 53 aprovechamientos, de los cuales 18 son para uso agrícola, 14 para uso doméstico y 21 para uso público-urbano.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 anualmente por el almacenamiento del acuífero. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento

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

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

Existe una gran dispersión de los escasos datos piezométricos, por lo que se decidió plantear la ecuación de balance para una zona de balance de tan sólo 115 km^2, que incluye las zonas donde se concentra la extracción. La ecuación de balance definida para este acuífero es:

$$Rv + Rr - B - Dm = \Delta V(S) \qquad (1)$$

Donde:
Rv = Recarga vertical;
Rr = Retornos por riego;
B = Bombeo;
Dm= Descarga por manantiales;
ΔV(s) = Cambio de almacenamiento;

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas principalmente por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (Rv)

y de manera inducida, la infiltrción de los excedentes del riego agrícola., este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Ri) como recarga por retornos de riego (Rr).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical se estimó considerando la infiltración de agua de lluvia, para ello se realizó un balance hidrometeorológico, de este balance se determinó el volumen susceptible de infiltrarse.

A pesar de contar con el plano de elevación del nivel estático donde se pudieron marcar celdas de entradas y salidas horizontales, se optó por el planteamiento de un balance hidrometeorológico estimación conservadora de la recarga total que recibe al acuífero, debido a la falta de información de parámetros hidráulicos y a que una buena parte de los pozos se aloja en las rocas volcánicas fracturadas, de composición basáltica.

Para realizar el balance hidrometeorológico se requiere conocer, entre otros parámetros, los volúmenes de escurrimiento que se presentan por lluvia dentro del área, es decir, el volumen de agua que se genera en la misma cuenca.

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

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento. El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo.

Al respecto para la zona se consideró un valor de K= 0.27, que corresponde a suelos medianamente permeables:

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

Donde:
Ce= Coeficiente de escurrimiento;
K= Conductividad hidráulica;
P= precipitación media anual en mm;
Se obtiene un coeficiente de escurrimiento de Ce= 0.1698

El área considerada es de 256 km^2 y la lámina de precipitación promedio de 915 mm/año, de la multiplicación de estos dos valores se obtiene el volumen precipitado que es de 234.2 hm^3/año; al multiplicar este por el coeficiente de escurrimiento se obtiene el volumen de escurrimiento anual, que es de 39.8 hm^3.

Para conocer el volumen de infiltración por lluvia que se presenta en el sistema, se realizó el balance de agua superficial con apoyo en la fórmula de Coutagne para determinar la evapotranspiración y dejar como incógnita a la infiltración para lo cual se aplicó la siguiente expresión:

Infiltración = precipitación – evapotranspiración - escurrimiento

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la fórmula de Turc, la cual indica que:

Fórmula de Turc: $$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \qquad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	15.7		
P(mm) =	915	P^2 =	837225
L =	885.99465	L^2 =	784986.52
ETR (mm)	652.5		

Donde:
ETR = evapotranspiración real en mm/año;
P = precipitación en mm/año;
T = Temperatura media anual en °C;

Como se señaló anteriormente en el área donde se localiza el acuífero la precipitación promedio anual es de 915 mm/año; el volumen total precipitado de 234.2 hm^3/año.

La temperatura promedio anual considerada ésta es de 15.7° C, utilizando la ecuación de Turc para estimar la evapotranspiración, se obtiene un valor de 653 mm/año, que multiplicado por el área total da un volumen evapotranspirado de 162.7 hm^3/año.
Sustituyendo los valores de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento, antes calculados, en la ecuación que se planteó para obtener el volumen infiltrado, se tiene:

Infiltración = 234.2 – 162.7 – 39.8 = 31.7 hm^3/año

Al dividir este volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 234.2 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta de 0.135. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 31.7 hm^3/año en los 256 km^2 de superficie del acuífero. Al aplicar el factor de infiltración de 0.135 sobre la porción del valle de 100 km^2 seleccionada como área de balance, donde la lámina de precipitación promedio anual es de 915 mm, se obtiene un volumen de recarga vertical de 12.3 hm^3/año.

7.1.2 Retornos por riego (Rr)

En el acuífero Tapalpa la extracción del agua subterránea es de 1.2 hm^3/año, destinados principalmente para abastecimiento de agua potable y para el uso agrícola, considerando que el 15 % del volumen aplicado en estos usos retorna al acuífero, el valor de la recarga inducida es de **0.2 hm^3/año.**

7.2 Salidas

De acuerdo con el modelo conceptual definido, la descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y a través de los manantiales (Dm).

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **1.2 hm^3 anuales.**

7.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

Para el caso del acuífero Tapalpa, existen descargas naturales a través de manantiales, cuyo valor estimado es de **1.7 hm^3/año.**

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

El cambio de almacenamiento se calcula a partir de la configuración de evolución de nivel estático; dicho valor afectado por el coeficiente de almacenamiento (S), o del

rendimiento específico (Sy) en acuíferos libres, permite conocer el valor de pérdida o ganancia de agua subterránea en el sistema. Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para estimar la evolución del nivel estático en un periodo de tiempo.

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procedió a evaluar el cambio de almacenamiento a partir de la expresión (1):

$$\Delta V(S) = Rv + Ri - B - Dm \quad (1)$$

$$\Delta V(S) = 12.3 + 0.2 - 1.2 - 1.7$$

$$\mathbf{\Delta V(S) = 9.6\ hm^3/año}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar 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 expresión siguiente:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **12.5 hm³/año,** todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para el caso del acuífero Tapalpa, la descarga natural comprometida corresponde a la descarga de los manantiales, que es de **1.7 hm^3/año.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **11,738,344 m^3 anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 12.5 – 1.7 – 11.738344
DMA = -0.938344 hm³/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **938,344 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1973. Geohidrología de los valles de Atemajac, Tesistán, Ameca, Ahualulco y San Marcos, Jalisco, realizado por la empresa Ariel Constructores, S.A.