



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO JALOSTOTITLÁN (1415), ESTADO DE
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación Administrativa del acuífero	5
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3	FISIOGRAFÍA.....	7
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	8
3.3	Hidrografía.....	8
3.4	Geomorfología.....	9
4	GEOLOGÍA.....	9
4.1	Estratigrafía.....	10
4.2	Geología estructural	14
4.3	Geología del subsuelo	14
5	HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1	Tipo de acuífero	15
5.2	Parámetros hidráulicos.....	15
5.3	Piezometría	16
5.4	Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1	Profundidad al nivel estático	16
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3	Evolución del nivel estático	18
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	20
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1	Entradas	21
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	21
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	22
7.1.3	Recarga inducida (Ri)	23
7.2	Salidas.....	23
7.2.1	Bombeo (B).....	23
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	23
7.2.3	Caudal base (Qb)	24
7.2.4	Descarga a través de manantial (Dm).....	25
7.3	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	25
8	DISPONIBILIDAD	26
8.1	Recarga total media anual (R).....	26
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	27
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	27
9	BIBLIOGRAFÍA	28

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 (REPD).

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 Jalostotitlán, definido con la clave 1415 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noreste del estado de Jalisco. Geográficamente se localiza en la porción denominada Altos del estado de Jalisco, entre los paralelos 20° 52' y 21° 19' de latitud norte, y los meridianos 102° 13' y 102° 41' de longitud oeste; abarcando una superficie de 1, 232 km² (figura 1). Colinda al Norte con los acuíferos Encarnación y Yahualica, al Sur con Ocotlán y San José de Las Pilas, al Este con el acuífero Lagos de Moreno y al Oeste con el acuífero Valle de Guadalupe, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco.

Geopolíticamente se encuentra ubicado en gran parte de los municipios Jalostotitlán y San Miguel El Alto, una porción de Cañadas de Obregón y pequeñas porciones de San Juan de Los Lagos, Arandas, Valle de Guadalupe, Mexxicacán y Teocaltiche.

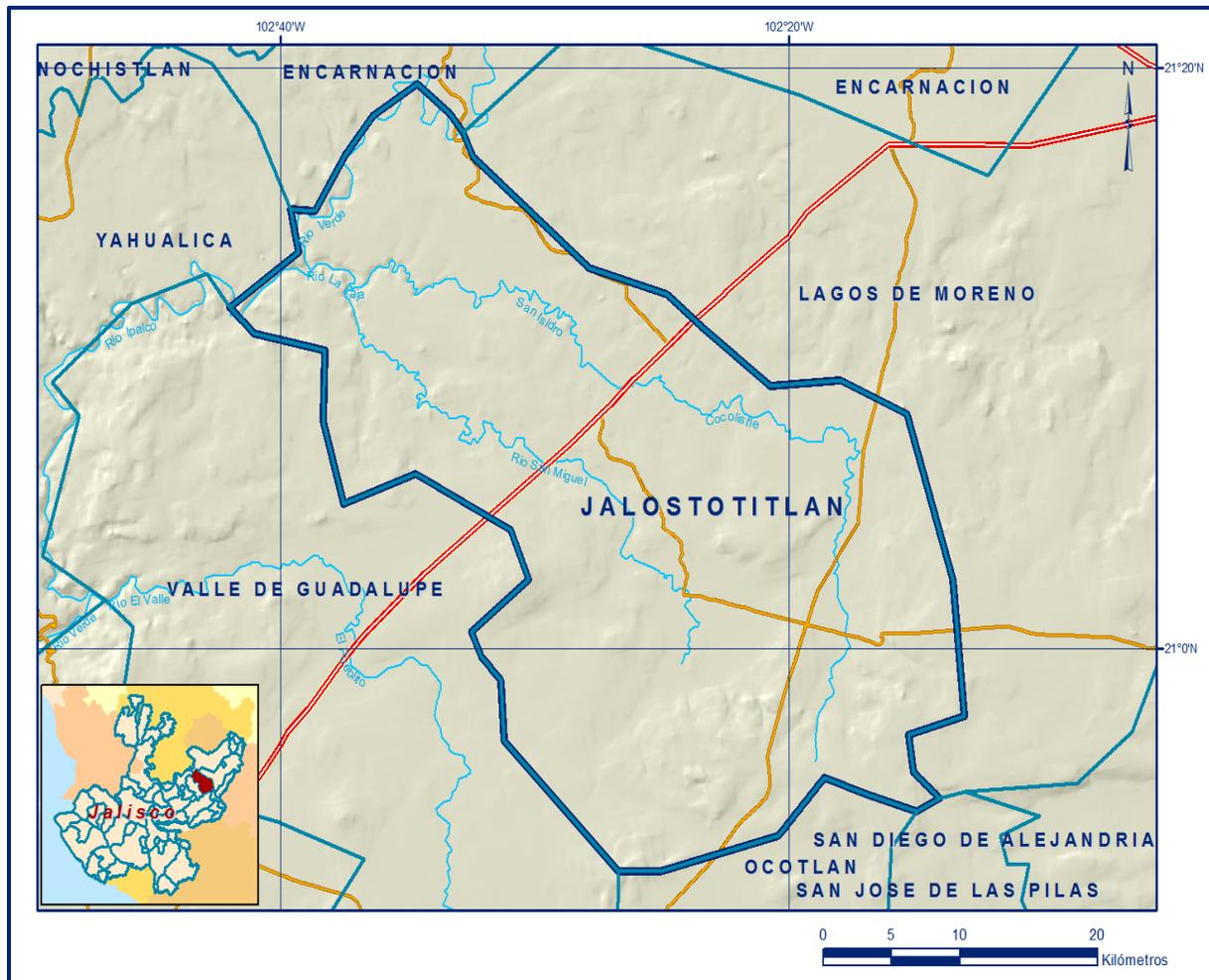


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 1 41 5 JALOSTOTITLAN						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	42	1.4	21	11	45.2
2	102	39	19.6	21	13	40.8
3	102	39	38.8	21	15	9.4
4	102	38	41.1	21	15	5.5
5	102	37	27.9	21	17	1.1
6	102	36	22.4	21	18	22.0
7	102	34	38.4	21	19	27.5
8	102	33	21.4	21	18	25.8
9	102	32	50.6	21	17	47.3
10	102	32	27.4	21	16	57.2
11	102	27	54.0	21	13	6.1
12	102	24	49.1	21	12	12.2
13	102	23	24.3	21	11	2.9
14	102	20	46.4	21	9	3.5
15	102	18	0.0	21	9	15.0
16	102	15	22.8	21	8	5.7
17	102	13	35.0	21	2	22.9
18	102	13	8.0	20	57	41.7
19	102	15	19.0	20	57	3.2
20	102	15	7.4	20	55	46.1
21	102	14	5.8	20	54	52.2
22	102	14	59.7	20	54	25.2
23	102	16	55.3	20	54	59.9
24	102	18	39.3	20	55	34.6
25	102	20	27.1	20	53	35.2
26	102	25	4.5	20	52	22.0
27	102	26	43.3	20	52	21.3
28	102	31	14.3	20	56	51.6
29	102	31	22.0	20	58	54.9
30	102	32	8.2	20	59	44.9
31	102	32	31.3	21	0	35.0
32	102	30	16.5	21	2	22.9
33	102	30	58.8	21	4	6.9
34	102	34	42.3	21	6	2.4
35	102	37	31.7	21	5	0.8
36	102	38	21.8	21	7	50.3
37	102	38	18.0	21	10	16.6
38	102	41	3.6	21	10	51.3
1	102	42	1.4	21	11	45.2

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan el acuífero

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Jalostotitlán pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. 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 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 (DOF) el 12 de julio de 1987. Este decreto es de 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 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

El uso principal del agua subterránea es el público-urbano. Dentro de los límites del acuífero se localizan dos porciones del Distrito de Riego 013 “Estado de Jalisco”. No se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero Jalostotitlán, se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación y otros en acuíferos vecinos para determinar su disponibilidad, así como estudios regionales, entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA Y GEOFÍSICA DEL TERRITORIO QUE ABARCAN LOS MUNICIPIOS DE YAHUALICA, MEXTICACÁN, TEOCALTICHE Y VILLA HIDALGO. 1980. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por la empresa Clarión, S. A. El objetivo de este estudio fue evaluar las posibles fuentes de abastecimiento de agua tanto superficial como subterránea para sustentar el desarrollo económico de la región, así como proponer la construcción de las obras hidráulicas de infraestructura necesarias. Para cumplir con este propósito se evaluaron los escurrimientos superficiales no aprovechados ni controlados y ubicaron zonas adecuadas para la perforación de pozos, definiendo la profundidad probable el nivel del agua subterránea.

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA DE LAGOS DE MORENO, JAL. 1980. Realizado para la Secretaría de

Agricultura y Recursos Hidráulicos por la empresa Geólogos Consultores S. A.

EL objetivo del estudio fue conocer las condiciones hidrogeológicas y su relación con el funcionamiento de los acuíferos, localizar áreas con mayores perspectivas para la explotación de aguas subterráneas; definir zonas adecuadas para la perforación de pozos de exploración y delimitar la extensión y posibilidades acuíferas de las rocas terciarias.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LOS VALLES DE OCOTLÁN-TECISTÁN-ATEMAJAC Y ZONAS DE INUNDACIÓN DEL RÍO SANTIAGO, ESTADO DE JALISCO, PARA PROPORCIONAR AGUA EN BLOQUE A LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JALISCO.

1980. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A. El objetivo de este estudio fue ejecutar sondeos geofísicos eléctricos para investigar la distribución y espesor de las distintas unidades que conforman el subsuelo de la región, definir la geometría del acuífero e identificar las zonas más favorables para proponer la perforación de pozos de explotación. Concluye que el subsuelo de los valles mencionados predomina, de manera general, las unidades de baja resistividad.

ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA PRELIMINAR PROYECTO TERMOELÉCTRICO, OCOTLÁN, JAL. 1980. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por la empresa Geología y Minería.

Este estudio tuvo como objetivo principal determinar la factibilidad de extracción de un caudal de 1600 lps mediante pozos perforados en la zona, durante un periodo de 30 años, para suministrar agua como fuente de abastecimiento para el proyecto de una planta termoeléctrica que se pretendía construir.

ELABORACIÓN DE LOS DOCUMENTOS DE RESPALDO DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN LOS ACUÍFEROS (1413) ALTOS DE JALISCO, (1436) ARENAL, (1428) CHAPALA, (1429) TIZAPÁN Y (1447) YAHUALICA, EN EL ESTADO DE JALISCO. 2007. Realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para la Comisión Nacional del Agua.

El estudio en estos acuíferos tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas para contar con la información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la

recarga total media anual. Por su cercanía con el acuífero Jalostotitlán, es de particular interés el estudio del acuífero Yahualica. Entre sus conclusiones más importantes destaca que la recarga media anual de 26.0 hm³ en tanto que su extracción por bombeo asciende a 5.7 hm³ anuales. Determina una disponibilidad de 11.7 hm³ anuales.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS VALLE DE GUADALUPE, CUQUÍO, TEQUILA, JALOSTOTITLÁN Y COLOTLÁN EN EL ESTADO DE JALISCO. Realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para la Comisión Nacional del Agua en 2010. Este estudio tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero y obtener información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas. Propone utilizar los resultados de la evaluación para definir políticas de explotación adecuadas para el mejor aprovechamiento del recurso subterráneo.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas para la República Mexicana, realizada por Raisz (1964), la superficie cubierta por el acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico, Subprovincia Altos de Jalisco.

Está representada por planicies, valles y algunas cuencas cerradas ocupadas por lagos, depósitos de lagos antiguos y fosas tectónicas. Una gran cantidad de volcanes, desde muy pequeños y medianos, hasta algunos de enormes dimensiones, se esparcen sobre toda la provincia. La Subprovincia Altos de Jalisco, se caracteriza por presentar vastas mesetas volcánicas, topofomas degradativas, forjadas por disección hídrica, con valles profundos y laderas escarpadas, parecidas a las cañadas de la Sierra Madre Occidental.

Se diferencian otros relieves fisiográficos tales como escudo-volcanes aislados o de conjunto, pequeñas altiplanicies con lomeríos, grandes mesetas con valles escarpados estrechos, mesetas lávicas escalonadas, lomeríos de colinas redondeadas de arenisca conglomerado, valles de laderas abruptas con lomeríos, valles con terrazas, cañones y depresiones.

3.2 Clima

Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación potencial de las estaciones climatológicas que se ubican en esta porción del estado de Jalisco y con apoyo en la carta de climas, de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por E. García para nuestro país, se determina que en la mayor parte del acuífero, porciones centro y norte (que representa el 80% de su superficie total), el clima es semicálido subhúmedo y en la porción sur se registra un clima templado subhúmedo.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de ocho estaciones climatológicas, Jalostotitlán, Paso del Sabino, San Juan de los Lagos, San Julián (DGE), San Miguel el Alto, Villa Obregón, San Gaspar de los Reyes y La Vaquera, cuyo registro comprende el periodo 1971–2008.

Con base en los registros de estas estaciones, se determinaron valores medios anuales de temperatura y precipitación de **17.4° C y 703.7 mm**, respectivamente. La temporada de lluvias se presenta de junio a septiembre, con valores extremos de 513 y 1020 mm anuales; el mes de julio es el que registra el valor más alto de lluvia y marzo la menor.

Con respecto a la evaporación potencial, sus valores varían de 1252 a 2172 mm, con un promedio anual de 1771 mm, los valores más altos se registran en mayo y los menores en diciembre.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la región hidrológica No. 12, Lerma-Chapala-Santiago y forma parte de la cuenca del Río Verde Grande. Sus principales corrientes son los ríos Verde, Jalostotitlán, Tecameca, San Miguel, Capulines, La Labor, La Laja, San Gaspar, San Juan y San Isidro; los arroyos Campo Santo, Santa Ana, Grande, El Valle, Mirandillas, Palo Blanco, Buenavista, El Cuatro, Los Capulines, Verde, Las Pilas, La Cruz, La Estancia, El Gato, El Saucillo y Los Camichines.

En el área del acuífero también se encuentran las presas Jalostotitlán, San Miguel El Alto, Los Agraristas, La Blanca, La Laguna Seca, Capulines de Abajo y Capulines.

El patrón de drenaje es de tipo dendrítico y paralelo. El escurrimiento superficial tiene dirección sureste–noroeste principalmente, con régimen intermitente y/o perenne generado por flujo base.

3.4 Geomorfología

La morfología de la zona presenta una topografía con pendiente escarpada, producto de la actividad volcánica.

Las efusiones volcánicas de composición basáltica, a través de estructuras fisurales, constituyen algunas de las mayores elevaciones presentes en la región norte del acuífero, entre ellas los cerros, Grande, El Caracol, El Capulín y Pelón, con altitudes de más de 2000 msnm.

En la porción sur se encuentran los cerros Colorado, El Tamara y Teocalitán con altitudes menores de 1900 msnm.

Distribuidas en todo el acuífero se localizan una serie de mesetas como son la mesa Chiquita, Jalpa, Los Mercado, Los Reynoso, Los Tostados, San Juan de Dios y Teocalitán, con alturas que varían de 1780 a 2150 msnm.

4 GEOLOGÍA

En la superficie que cubre el acuífero afloran rocas sedimentarias e ígneas extrusivas; las primeras se presentan en las porciones norte y noroeste y están representadas por calizas, areniscas y limolitas; en tanto que las rocas volcánicas (tobas, riolita y basaltos) afloran ampliamente en la porciones sur y suroriental.

Distribuidos en todo el acuífero, se manifiestan afloramientos de depósitos aluviales asociados a los cauces de los ríos y arroyos (figura 2).

pero cuando se trata de riolitas o ignimbritas, presentan inclinaciones que varían de 5° a 20° NW - SE. Su espesor alcanza los 400 m y se infiere que sobreyacen a las andesitas y tobas andesíticas e infrayacen a ignimbritas y riolitas, que son parte de la Secuencia Volcánica Superior (Mc Dowell y Clabaugh, 1979), predominantemente de composición riolítica. Krause (1986), dató un flujo de cenizas ampliamente expuesto en la Sierra de Morones con 25 ± 2.6 Ma, que son ampliamente correlacionadas con toda esta secuencia que constituye la Sierra Madre Occidental.

Su ambiente de depósito es de origen volcánico, producto del arco volcánico continental de la Sierra Madre Occidental.

Riolita Ignimbrita (TomR-Ig)

Es el miembro medio superior de la Secuencia Volcánica Superior definida por (Mc Dowell y Clabaugh, 1979) para la Sierra Madre Occidental. Está constituido por derrames riolíticos predominantemente y en menor proporción ignimbritas con fragmentos de piedra pómez aplanados y soldados, incluidos en una mesostásis vítrea. Sus afloramientos se presentan en casi toda la zona central y sur del acuífero.

Las riolitas muestran un color café rosado, textura que varía de afanítica a brechoide en donde las cavidades están rellenas de sílice y calcita, su estructura es compacta masiva formando pseudoestratos en espesores que varían de 1 a 10 m, con inclinaciones de 8° a 12° NW y SW, en ocasiones horizontales, como mineralogía tiene cuarzo, feldespatos y manchas de óxido. Este paquete alcanza 180 m de espesor.

Sobreyacen a ignimbritas riolitas e infrayacen a brechas riolíticas. Se le asignó una edad de Oligoceno - Mioceno (Mc Dowell y Keiser, 1977). Su ambiente de depósito se asocia a un arco volcánico continental.

Arenisca, Conglomerado Polimíctico (TnAr-Cgp)

Los afloramientos de esta unidad se encuentran distribuidos en gran parte de la zona norte del acuífero, en la zona que rodea a Jalostotitlán, así como al noreste de San Miguel El Alto en los límites del acuífero.

Su litología es muy variada ya que podemos encontrar areniscas, tobas arcillosas, tobas más compactas, arenas finas y conglomerados; todas ellas generalmente en colores claros, aunque algunos miembros pueden presentar ligera oxidación, sus texturas también son muy variadas, de tipo vulcanoclásticas de grano fino.

Cuando forman conglomerados contienen fragmentos de riolitas e ignimbritas en diámetros que varían de 1 a 15 cm, mal graduados, cementados por arcillas y ocasionalmente soldados por calcita; forman una estructura semiestratificada en espesores que varían de 0.80 a 1.20 m, como los que se observan en los cortes de la carretera Peñuelas-San Pedro Cieneguillas A este paquete se le estima un espesor de 120 m.

Sobreyace en forma discordante a las diversas litologías que constituyen la Secuencia Volcánica Superior, por lo tanto, por su posición estratigráfica se les ubica en el Neógeno. Su formación está asociada al depósito de sedimentos originados por denudación de rocas pre-existentes en un cuerpo de agua, en donde lograron parte de la litificación y estratificación.

Caliza - Lutita (TpICz-Lu)

Secuencia de carbonatos de calcio con terrígenos muy finos que contienen microfósiles, cuya localidad tipo es el Valle de Río Juchipila (Lahiere y Caravella, 1982) y aflora ampliamente al noroeste de Jalostotitlán.

Está constituida por una alternancia arrítmica de calizas, lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados, que presentan una coloración rosa claro, de texturas muy variadas que pueden ser clásticas y forman pequeñas capas que van de 1 a 60 cm. Los conglomerados tienen espesores hasta de 3 m y están constituidos por fragmentos subangulosos de riolitas, ignimbritas y cuarzo, cuyos diámetros varían de 2 a 15 cm y siguen rumbos que oscilan de N10°-30°E, buzando al S4°- 10°W.

La unidad se puede observar en los caminos que salen de Moyahua de Estrada. La caliza fosilífera presenta un color gris claro, su textura es sacaroide por contener limos que forman pequeñas capas, con fósiles no identificados. Este paquete sedimentario tiene un espesor aproximado de 60 m. Se le asignó una edad del Plioceno Superior (Lahiere y Caravella, 1982) y se correlaciona con los afloramientos de la Presa del Cedazo, ubicados al sureste de la ciudad Aguascalientes.

Basalto (TpIB)

Estos basaltos fueron estudiados por Nieto-Obregón *et al.* 1985, en su localidad tipo del poblado Cinco Minas, Jalisco y sus afloramientos dentro del acuíferos se localizan en las porciones suroeste y sureste.

Debido a que varios conos volcánicos se encuentran dentro de los derrames basálticos, se infiere que dichas estructuras fueron el conducto de emisión de las lavas; megascópicamente se trata de una roca de color gris oscuro que intemperiza a rojo óxido, de textura afanítica con vesículas rellenas de sílice y estructura es compacta masiva, formando pseudoestratos en espesores de 0.80 a 1.40 m. Este derrame presenta un espesor superior a los 100 m.

Sobreyacen en discordancia erosional a rocas más antiguas como son: las andesitas de la Secuencia Volcánica Inferior; las tobas riolíticas del Oligoceno-Mioceno o bien a las riolitas e ignimbritas también del Oligoceno-Mioceno; en tanto que su contacto superior está presente de manera franca.

Estas rocas fueron datadas por Nieto Obregón, quien les determinó una edad de 3.77 ± 0.7 m. a. y las correlaciona con los afloramientos del Valle de Tequila y los del Lago de Chapala, que corresponden al Eje Neovolcánico. Son rocas de origen arco volcánico continental.

Basalto (QB)

No han sido estudiadas por ningún autor; pero son derrames sobrepuestos, tal vez procedentes de fisuras profundas y extravasadas a través de conos volcánicos que están dentro de estas mismas rocas. Sus afloramientos diseminados que se ubican en el extremo norte y centro del acuífero. Son basaltos de color gris oscuro de textura afanítica y estructura compacta masiva que forman mesetas, como son las Mesas Chiquita, Teocalitán, Los Reynoso y Los Tostados.

Esta unidad presenta un espesor de 150 m. Sobreyace a rocas más antiguas en discordancia erosional, como son tobas riolíticas del Oligoceno-Mioceno y areniscas-conglomerados del Neógeno. Con base en las relaciones de campo se les considera del Cuaternario. Son rocas de origen arco volcánico continental, que tal vez representan las últimas emisiones del Eje Neovolcánico.

Aluvión (Qal)

Está representada por los depósitos aluviales recientes de granulometría variada (gravas, arenas, arcillas y limos), producto de la desintegración de rocas pre-existentes, cuyo espesor varía de 2 a 3 m. Sus afloramientos se presentan como terrazas de inundación de los cauces de los ríos y arroyos principales.

Sobreyace a areniscas y conglomerados del Neógeno.

Suelos Residuales (Qre)

Sedimentos residuales poco consolidados, producto de la alteración de las rocas subyacentes, constituidos por materiales del Paleógeno-Neógeno. Se localizan en la localidad La Laguna, ubicada al suroeste de Jalostotitlán.

4.2 Geología estructural

En la zona sur del acuífero se presenta un fallamiento normal originado por la distensión ocurrida al retirarse el arco, permitiendo el reacomodo de bloques, que sigue un rumbo sensiblemente NW-SE, el cual está acompañado por lineamientos del mismo rumbo. Los curvilineamientos son inferidos por Mc Dowell y Keiser (1997), como posibles calderas por donde fueron expulsados gran parte de estos derrames. Debido al enorme volumen de estas emisiones, suponen la existencia de un mayor número de aparatos volcánicos.

Se tiene también un sistema secundario de fracturas con tendencia general de 40° a 50° al NE, originado por el reacomodo de bloques involucrados en el fallamiento principal.

En la porción norte del acuífero se presentan pliegues en la secuencia de rocas cretácicas, que fueron originados por los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, así como fallas normales que ocasionaron pías y fosas tectónicas.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información de los cortes litológicos de pozos y las evidencias de campo, es posible definir que en el subsuelo se presentan areniscas, calizas, limolitas, basaltos, tobas arenosas, riolitas, ignimbritas y tobas ácidas; sobreyacidas por delgados espesores de depósitos aluviales y fluviales, así como de piedemonte hacia los flancos de las sierras que delimitan el acuífero. El acuífero se encuentra alojado, en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales producto de la erosión de las partes altas de las sierras, que han sido transportados por abanicos aluviales y por escurrimientos superficiales para ser depositados en los cauces de los arroyos y en los valles, así como areniscas y conglomerados. Su espesor es variable y sólo alcanza algunas decenas de metros en las zonas aledañas a los cauces de los ríos.

La parte inferior está conformada por rocas sedimentarias (calizas y areniscas) y volcánicas (basaltos, riolitas y tobas ácidas) que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y alteración. Estas mismas rocas constituyen las barreras al flujo subterráneo y el basamento hidrogeológico, cuando desaparece su fracturamiento. A mayor profundidad el basamento está conformado por las rocas de composición riolítica (toba, riolitas e ignimbritas).

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible identificar que las unidades litológicas descritas conforman un acuífero en general de tipo libre, heterogéneo y anisotrópico; constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, fluviales, conglomerados y areniscas; y en su porción inferior por rocas sedimentarias y volcánicas fracturadas.

El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados y semi-consolidados que incluyen materiales clásticos de granulometría diversa, originados a partir del intemperismo y erosión de las diversas unidades geológicas que afloran en las sierras que delimitan el acuífero; estos materiales presentan permeabilidad media a alta y se ubican en la proximidad del cauce de los arroyos. A esta unidad pertenecen los conglomerados y areniscas. Subyaciendo a estos depósitos, se presentan calizas, areniscas, basaltos, riolitas y tobas ácidas, que presentan fracturamiento y alteración. Su espesor promedio conjunto alcanza los 300 m. Estas últimas unidades constituyen en superficie las principales zonas de recarga. Localmente, el acuífero presenta condiciones de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes de sedimentos arcillosos o la existencia de limolitas.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se ejecutaron 7 pruebas de bombeo que van de las 10 a las 24 horas, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. De los resultados de su interpretación por diferentes métodos analíticos convencionales, se determina que los valores de transmisividad varían de 4.81×10^{-4} a $1.83 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$, con un promedio de **$2.6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$** . Con respecto a la conductividad hidráulica, sus valores oscilan entre 0.000207 y 0.00000128 m/s, con un promedio de **0.000065 m/s**. Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se pudieron obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se cuenta con información piezométrica recabada como parte de las actividades del estudio realizado en el año 2010 y fue posible correlacionar las mediciones obtenidas en el año 2006.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para septiembre de 2010, mostrada en la figura 3, presenta valores que varían de 30 m, en las zonas cercanas al cauce de los ríos y arroyos, hasta 180 m, aumentando gradualmente, por efecto de la topografía, hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero.

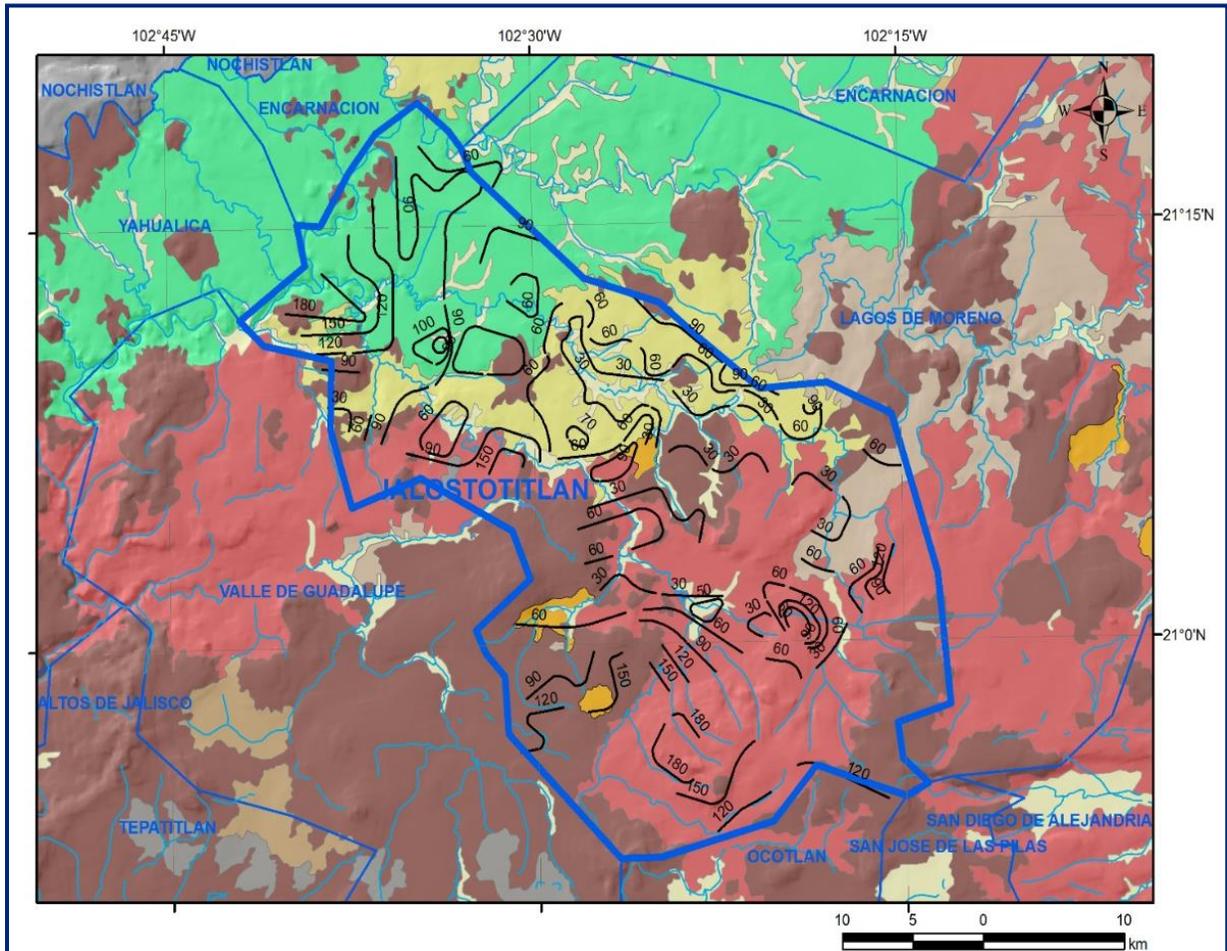


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 2010

En la porción noroeste del acuífero, entre las localidades Barreras y el Laurel los niveles varían de 120 a 180 m; en tanto que, en el sector norte, entre las localidades la Cofradía y San Francisco, la profundidad oscila entre 60 y 90. En la zona central del acuífero los valores varían entre 30 y 90 m, con profundidades locales de 150 m en la localidad Paso de La Laja, ubicada al oeste central del acuífero. En la porción sur los niveles del agua subterránea varían de 30 a 180 m, de 120 a 150 m entre las localidades San José de Los Padilla y Charco Grande, y de 120 a 180 m entre las localidades Santa Teresa y La Carbonera.

5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático (Figura 4), se observa que en la porción sur se encuentran valores de 1800 a 2070 msnm y en la región norte las elevaciones van de 1590 a 1770 msnm, mostrando en general el reflejo de la topografía, al igual que los valores de profundidad; solo en las zonas de concentración del aprovechamiento o del bombeo se observa alteración del flujo subterráneo.

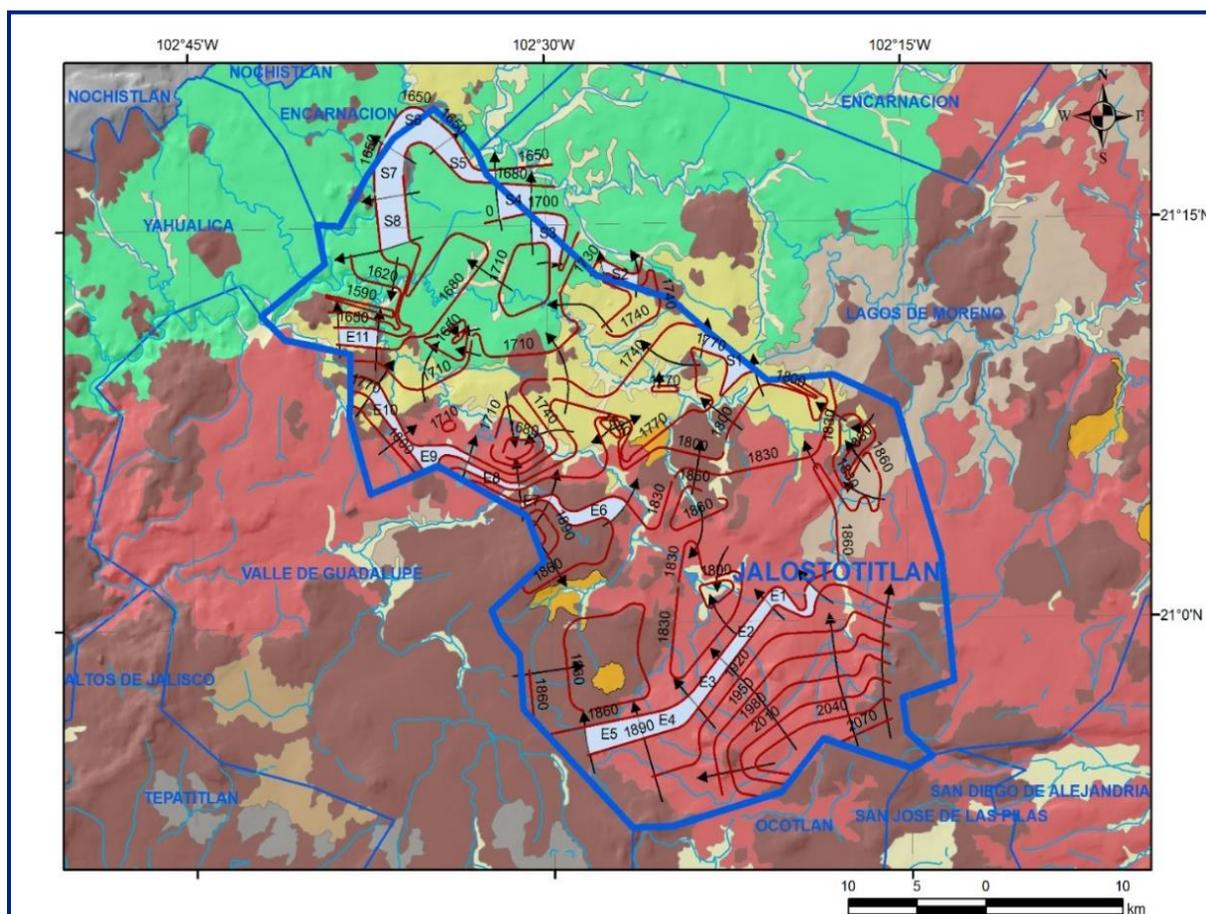


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm, (2010)

Los valores más someros se localizan en la porción baja del acuífero, ubicada al norte, a lo largo de los cauces de los ríos y arroyos principales, desde donde se incrementan gradualmente por efecto de la topografía hacia la porción sur.

De esta manera, es posible definir que la dirección preferencial del flujo subterráneo es sureste-noroeste, con alimentaciones procedentes de los flancos oriental y occidental, en los que las rocas volcánicas funcionan como excelentes zonas de recarga. Se presentan cuatro conos de abatimiento en el acuífero, tres de ellos en la zona noroeste del límite del acuífero y el otro en la zona sur central del mismo.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, con la información piezométrica para los años 2006 y 2010 se elaboró el plano de evolución que se muestra en la figura 5.

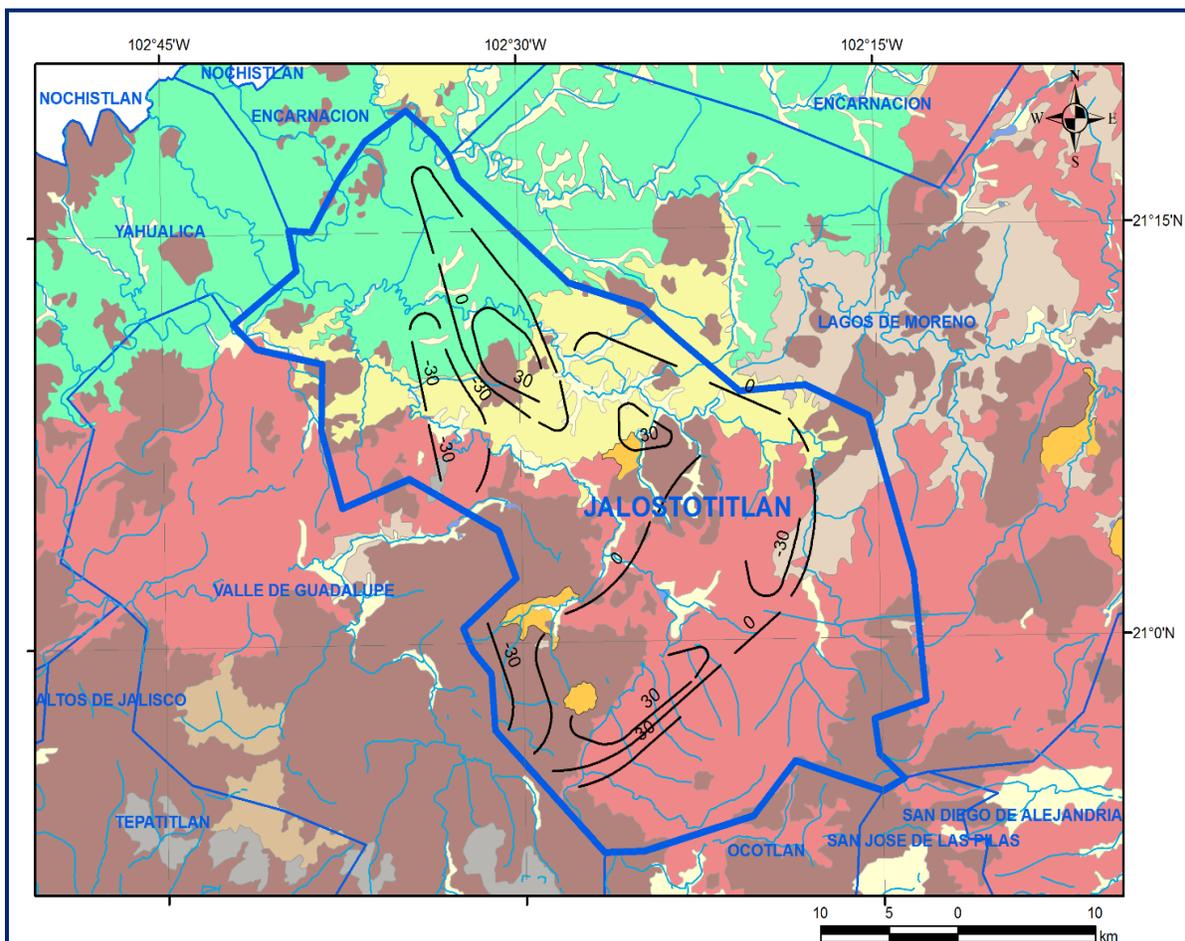


Figura 5. Evolución del nivel estático en m, (2006–2010)

Del análisis de la configuración se desprende que, de manera general, los niveles del agua subterránea no han sufrido variaciones significativas en su posición, salvo en las áreas de concentración de aprovechamiento y/o del bombeo. Valores puntuales de abatimiento y recuperación que representan un valor medio anual de 7.5 m.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el 2010, se recolectaron en total 6 muestras de aguas subterráneas en pozos representativas de la zona, para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, oxígeno disuelto, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, coliformes fecales y totales, etc., y elementos traza como arsénico y flúor. De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos.

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 178 a 320 mg/l, que cumplen ampliamente con el contenido de STD y demás constituyentes químicos disueltos indicados por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. Sólo el agua destinada al abastecimiento de San Nicolás de Las Flores, ubicado en el extremo NE del acuífero, sobrepasa los límites permisibles de arsénico con concentración de 0.106 mg/l y de flúor con concentración de 6.64 mg/l.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad media (C2) a baja (C1) y contenido bajo sodio intercambiable (S_1), lo que indica que son aptas para su uso en la agricultura sin restricciones en los cultivos y en el tipo de suelo.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificaron como familias dominantes la bicarbonatada-cálcica (en las porciones suroriental y centro del acuífero) y bicarbonatada-sódica (en el extremo norte), que representan agua de reciente infiltración con una evolución normal a lo largo de la dirección preferencial del flujo subterráneo.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 554 aprovechamientos, de los cuales 547 son pozos, 6 norias y 1 manantial.

Del total de obras, 220 (39.7%) se utilizan para uso doméstico, 167 (30.1%) para uso agrícola, 82 más (14.80%) para uso público-urbano, 21 (3.8%) para uso pecuario, 3 (0.6%) para uso industrial y los 61 restantes (11.0%) para otros usos.

El volumen de extracción se ha estimado en **34.8 hm³/año**, de los cuales el 22.4 hm³/año (64.4%) se destinan al suministro de agua potable a las comunidades de la región, 9.1 hm³/año (26.1%) para uso agrícola, 1.9 hm³/año (5.5%) se emplea con fines domésticos y 1.4 hm³/año (4.0%) para otros usos (acuacultura, industrial, pecuario y otros no clasificados).

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2006-2010, en la superficie de 1,232 km² que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localizan 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 como sigue:

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

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:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por dos procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos a lo largo de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv) y la que proviene de las zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola (Rr), que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; 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 (Ri).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

- Rv:** Recarga vertical
- Eh:** Entradas por flujo subterráneo horizontal
- Ri:** Recarga inducida
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo subterráneo horizontal
- Dm:** Descarga por manantiales
- Qb:** Caudal base
- $\Delta V(S)$:** Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = Sh + B + Qb + Dm \pm \Delta V(S) - Eh - Ri \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemontes, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2010, mostrada en la figura 4. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

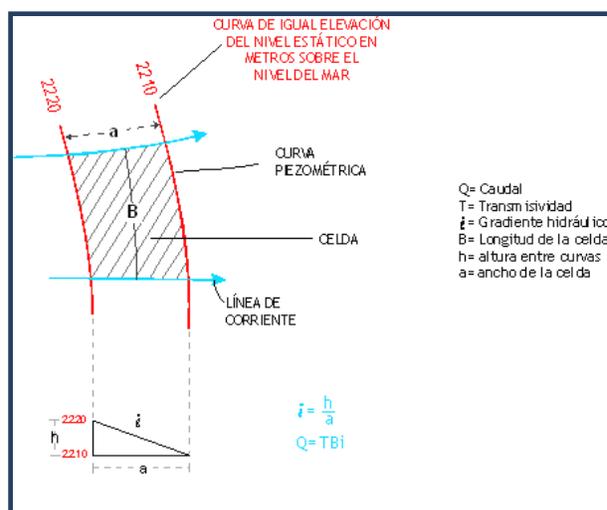
$$Q = B * i * T$$

Dónde:

B: Largo del canal de flujo (m)

i: Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / a$); h y a son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

T: Transmisividad en el canal de flujo (m^2/s)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **36.4 hm³/año**.

Tabla 3. Cálculo de entradas por flujo horizontal subterráneo

Canal	L (m)	B (m)	h (m)	Gradiente	Transmisividad m ² /s	Caudal m ³ /s	Volumen hm ³ /año
E1	905.2	5010.2	30	0.03314185	0.00155	0.26	8.1
E2	893.3	5105.6	30	0.03358308	0.0015	0.26	8.1
E3	979.2	3443.1	30	0.03063679	0.00075	0.08	2.5
E4	1402.0	4204.4	30	0.02139755	0.0004	0.04	1.1
E5	1802.5	4032.0	50	0.02773925	0.0005	0.06	1.8
E6	1471.4	6086.9	50	0.03398124	0.0005	0.10	3.3
E7	737.3	2365.5	30	0.04068716	0.0007	0.07	2.1
E8	498.0	4134.0	30	0.06024096	0.0007	0.17	5.5
E9	919.8	2852.5	30	0.0326146	0.0006	0.06	1.8
E10	863.3	3841.5	30	0.03474904	0.00035	0.05	1.5
E11	1290.0	2769.0	30	0.02325581	0.00035	0.02	0.7
Total							36.4

Los valores de T utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas tanto en este acuífero como en otros vecinos, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas.

7.1.3 Recarga inducida (Ri)

Se considera que un 30 % de las pérdidas por fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable retornan al acuífero como recarga inducida. De esta manera, si el volumen de agua destinada al uso público-urbano es de 22.4 hm³ anuales, el valor de la recarga inducida es de **6.7 hm³/año**. Por otra parte, aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. A esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Para este caso, se consideró que un 15 % de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, considerando una profundidad media al nivel del agua subterránea de 40 a 60 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de permeabilidad media en el subsuelo. Si el volumen de extracción para uso agrícola es de 9.1 hm³ anuales, la recarga inducida es por retornos de riego es 1.4 hm³ anuales. Por lo tanto, el valor total de la recarga inducida es $6.7 + 1.4 =$ **8.1 hm³ anuales**.

7.2 Salidas

Las descargas en el acuífero ocurren principalmente por Bombeo (B), salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh), manantiales (Dm) y caudal base (Qb).

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de extracción por bombeo asciende a 34.8 hm³/año.

7.2.2 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 la elevación del NE del año 2010, mostrada en las figuras 4. Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación.

El valor estimado para este año de análisis se muestra en la tabla 4. El valor de las salidas subterráneas es igual a **27.5 hm³/año**.

Tabla 4. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

Canal	L (m)	B (m)	h (m)	Gradiente	Transmisividad ad m ² /s	Caudal m ³ /s	Volumen hm ³ /año
S1	1377.8	4284.0	30	0.0218	0.004	0.37	11.8
S2	822.0	2787.5	30	0.0365	0.004	0.41	12.8
S3	1816.0	4200.3	30	0.0165	0.00025	0.02	0.5
S4	2183.7	2386.1	30	0.0137	0.0003	0.01	0.3
S5	1160.0	4747.0	30	0.0259	0.0003	0.04	1.2
S6	2130.1	4934.4	30	0.0141	0.0002	0.01	0.4
S7	1908.2	3284.1	30	0.0157	0.00015	0.01	0.2
S8	2110.3	3332.4	30	0.0142	0.00015	0.01	0.2
Total							27.5

7.2.3 Caudal base (Q_b)

Son siete las corrientes superficiales con gasto base. El desarrollo total es unos 149.54 km. El flujo base es una descarga de agua subterránea convertida en agua superficial como escurrimiento directo. La conductividad hidráulica equivalente del acuífero se considera 2.20×10^{-5} m/s; se correlaciona con calizas, dolomías, areniscas y roca ígneas fracturadas, (Domenico y Schwartz, 1998).

No se dispone de estaciones hidrométricas que permitan separar el escurrimiento directo del flujo base a partir del análisis de los hidrogramas.

Estudios en cuencas similares revelan que hasta 30% del escurrimiento total de una corriente es por flujo base.

La curva de recesión tiene forma exponencial: $Q_b = Q_0 C^t$.

Q_b es el gasto base en un tiempo t de estiaje, Q_0 es el gasto inicial para $t=0$; C es un coeficiente que depende de las características hidrogeológicas de la cuenca, se determina de la pendiente de la recta de recesión del hidrograma; para fines prácticos se concede 0.902, es el factor de la ecuación con mayor sensibilidad y por tanto el que más influencia tiene.

Q_0 se supone de 0.050 m³/s como promedio inicial de cada estiaje, se desconoce la

exactitud de este dato, sin embargo, es un caudal moderado que toma en cuenta la notable permeabilidad del lecho y las orillas de los escurrimientos.

El estiaje tarda de noviembre a mayo, 210 días, tomando 100 días para estimar el gasto base promedio. Sustituyendo y operando términos, se estiman **8.0 hm³/año** de flujo base para 149.54 km de corrientes perennes.

7.2.4 Descarga a través de manantial (Dm)

El manantial San José de Los Reynoso, el único censado, es de régimen intermitente y un caudal muy pequeño de descarga para uso doméstico. Su volumen anual de descarga es de **0.03 hm³/año**, que para fines del balance es despreciable. **Por lo tanto, Dm= 0**

7.3 Cambio de almacenamiento ΔV(S)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2006-2010 mostrada en la figura 5. Con base en ella y tomando en cuenta el coeficiente de almacenamiento promedio de un acuífero libre de 0.10, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

ΔVS: Cambio de almacenamiento en el período analizado

S: Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

A: Área entre curvas de igual evolución del nivel estático (km²)

h: Valor medio de la variación piezométrica en el período (m)

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 5, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento es de **10.5 hm³/a.**

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento (2006-2010)

Evolución (m)	Evolucion promedio (m)	%	Area (km ²)	S	ΔV(S) hm ³ /año
0 a 30	7.5	22.46	279.60	0.1	209.697
-30 a 0	-7.5	17.96	223.57	0.1	-167.676
Area de balance		40.42	503.17	Total	42.021
Promedio anual					10.5

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

$$\begin{aligned} R_v &= Sh + B + Q_b + D_m \pm \Delta V(S) - E_h - R_i & (2) \\ R_v &= Sh + B + Q_b \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \\ R_v &= 27.5 + 34.8 + 8.0 + 0.0 \pm 10.5 - 36.4 - 8.1 \\ R_v &= 36.3 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el valor de la recarga total (R) es igual a la suma de todas a las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i = 36.3 + 36.4 + 8.1 \\ R &= 80.8 \text{ h m}^3/\text{año} \end{aligned}$$

8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que, en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la siguiente expresión:

$$DMA = R - DNC - VEAS \quad (3)$$

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

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, tanto de manera natural como inducida.

Para este caso en particular, su valor es de **80.8 hm³/año**, de los cuales 72.7 corresponden a la recarga natural y 8.1 a la recarga inducida.

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 Jalostotitlán se considera que el valor de la descarga natural es de 21.8 hm³ anuales, de los cuales 13.8 hm³ corresponden al 50% del volumen de las salidas subterráneas para garantizar los derechos vigentes en los acuíferos Yahualica, Encarnación y Lagos de Moreno, y 8.0 hm³ de flujo base que se deben comprometer como gasto ecológico. Por lo tanto, la **DNC = 21.8 hm³/año**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **70,237,673 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) 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. Por lo tanto, la disponibilidad de aguas subterráneas, de acuerdo con la expresión (3), es:

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 80.8 - 21.8 - 70.237673 \\ \text{DMA} &= -11.237673 \text{ hm}^3 \text{ anuales.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **11,237,673 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. 2007. Elaboración de los documentos de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos (1413) Altos de Jalisco, (1436) Arenal, (1428) Chapala, (1429) Tizapán y (1447) Yahualica, en el estado de Jalisco. Realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Comisión Nacional del Agua. 2010. Estudio de Actualización Geohidrológica de los acuíferos Valle de Guadalupe, Cuquío, Tequila, Jalostotitlán y Colotlán en el estado de Jalisco. Realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Estudio de prospección geohidrológica y geofísica del territorio que abarcan los municipios de Yahualica, Mexxicacán, Teocaltiche y Villa Hidalgo. Realizado por la empresa Clarión, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Estudio de Prospección Geohidrológica Preliminar Proyecto Termoeléctrico, Ocotlán, Jal. Realizado por la empresa Geología y Minería.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Prospección Geofísica en los Valles de Ocotlán-Tesistán-Atemajac y Zonas de Inundación del Río Santiago, estado de Jalisco, para Proporcionar agua en bloque a la Ciudad de Guadalajara, Jalisco. Realizado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la zona de Lagos de Moreno, Jal. Realizado para la por la empresa Geólogos Consultores S. A.