



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE (0207), ESTADO DE BAJA
CALIFORNIA**

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	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica	6
3.2 Clima	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía	11
4.2 Geología estructural	16
4.3 Geología del subsuelo.....	17
5. HIDROGEOLOGÍA.....	17
5.1 Tipo de acuífero.....	17
5.2 Parámetros hidráulicos	18
5.3 Piezometría.....	18
5.4 Comportamiento hidráulico.....	18
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	18
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	19
5.4.3 Evolución del nivel estático	20
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	23
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	23
7.1 Entradas.....	24
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	24
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	25
7.2 Salidas	26
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	26
7.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm)	26
7.3.3 Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	27
7.4 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	27
8. DISPONIBILIDAD	28
8.1 Recarga total media anual (R).....	29
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	29
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	29
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	30
9. BIBLIOGRAFÍA	31

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 Guadalupe, definido con la clave 0207 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noroccidental del estado de Baja California, entre los paralelos 31°59' y 32°16' de latitud norte y los meridianos 116°04' y 116°45' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 976 km². Limita al norte con el acuífero Las Palmas, al este con Real del Castillo, al sur con Ensenada y al oeste con La Misión, todos ellos pertenecientes al estado de Baja California (figura 1).

Geopolíticamente, el acuífero se localiza en su mayor parte en el municipio de Ensenada, sólo una pequeña porción de su extremo norte se ubica en el municipio de Tecate.

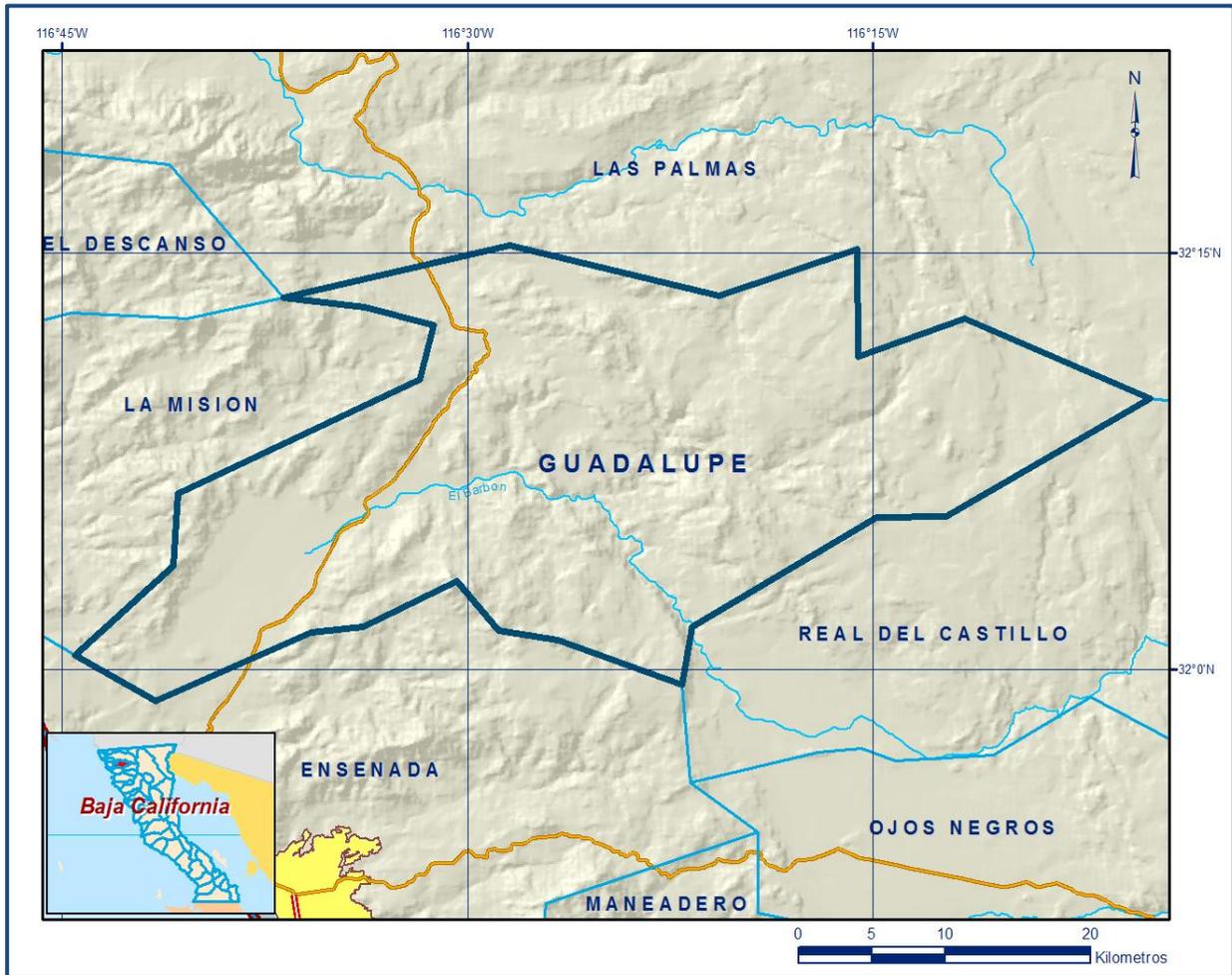


Figura 1. Localización del acuífero

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 del acuífero

ACUIFERO 0207 GUADALUPE						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	116	21	41.7	32	1	33.2
2	116	22	4.4	31	59	27.9
3	116	26	39.2	32	1	4.7
4	116	28	52.0	32	1	24.9
5	116	30	23.8	32	3	10.9
6	116	33	52.7	32	1	32.6
7	116	35	46.7	32	1	20.9
8	116	41	32.7	31	58	52.8
9	116	44	30.6	32	0	31.5
10	116	40	54.0	32	3	43.6
11	116	40	42.1	32	6	19.9
12	116	31	45.4	32	10	26.9
13	116	31	15.0	32	12	24.0
14	116	33	48.1	32	13	4.4
15	116	36	48.2	32	13	24.3
16	116	28	26.4	32	15	17.7
17	116	20	42.8	32	13	27.7
18	116	15	35.9	32	15	8.1
19	116	15	34.5	32	11	16.4
20	116	11	36.8	32	12	38.6
21	116	4	46.0	32	9	45.5
22	116	12	19.3	32	5	30.5
23	116	14	52.9	32	5	29.9
1	116	21	41.7	32	1	33.2

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Guadalupe pertenece al Organismo de Cuenca I “Península de Baja California” y al Consejo de Cuenca Baja California, instalado el 7 de diciembre de 1999. Su territorio se encuentra completamente vedado, sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en el Estado de Baja California”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 15 de mayo de 1965. Esta veda es tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos 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 agrícola. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna. Los usuarios se encuentran organizados en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Valle de Guadalupe, A.C., instalado el 28 de octubre de 1999.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios geohidrológicos, entre los cuales los más importantes se mencionan a continuación:

ACTUALIZACIÓN PIEZOMÉTRICA DEL VALLE DE GUADALUPE, ACUÍFERO BC-07 GUADALUPE, MUNICIPIO DE ENSENADA, B. C. Elaborado por la Subgerencia Regional Técnica de la Comisión Nacional del Agua en el año 1998. Actualiza el censo de aprovechamientos, la piezometría y la hidrometría de las extracciones. Concluye que la extracción era del orden de 19.9 hm³ anuales y que el acuífero no se encontraba sobreexplotado. Presenta planos de profundidad y elevación del nivel estático del año 1998, así como evolución para el periodo 1990-1998.

ESTUDIO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL ACUÍFERO GUADALUPE, B.C. Realizado por Desarrollo y Sistemas, S.A. para la Comisión Nacional del Agua en 1999. Sus objetivos principales fueron determinar la magnitud de las componentes de la ecuación de balance de aguas subterráneas para conocer su disponibilidad; proponer el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero considerando la distribución espacial de los parámetros hidráulicos y la geometría de las unidades hidroestratigráficas; elaborar un modelo tridimensional de simulación hidrodinámica del acuífero utilizando el código numérico Visual MODFLOW y diseñar una red de monitoreo de los niveles del agua subterránea.

PLAN DE MANEJO INTEGRADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO DE GUADALUPE, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA. Elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California para la Comisión Nacional del Agua en 2007. El objetivo del trabajo fue proponer el plan de manejo para estabilizar el acuífero, reduciendo gradualmente la sobreexplotación, y con ello frenar la degradación de la calidad del agua. Además de datos generales del acuífero, incluye la caracterización y proyección de la demanda y de la disponibilidad, un balance integral del agua, y el análisis del costo de los daños ambientales. Plantea escenarios concertados con usuarios y opciones de manejo de la demanda de agua y de la disponibilidad.

ESTUDIO TÉCNICO DE ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL ACUÍFERO 0207 GUADALUPE, MUNICIPIO DE ENSENADA, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, 2008. Realizado por Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo, S, A. de C.V. El estudio tuvo como objetivo general conocer la condición geohidrológica del acuífero, su funcionamiento hidrodinámico, recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea.

Como parte de sus actividades de campo incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos. Con los resultados se calculó la recarga media anual y se actualizó su disponibilidad en 2009.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA LA REGLAMENTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS GUADALUPE Y COLONIA VICENTE GUERRERO, EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA. Realizado en 2013 por Lesser y Asociados S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua. Entre sus objetivos destacan el conocimiento de la condición geohidrológica del acuífero, definir su modelo conceptual de funcionamiento, recabar 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 actualizar el balance de aguas subterráneas para calcular su recarga total media anual.

Con sus resultados se determinaron las causales de interés y de utilidad pública señaladas en la Ley de Aguas Nacionales, para establecer la medida regulatoria que proceda, así como identificar y proponer medidas correctivas y de operación. Este trabajo constituye la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

La superficie cubierta por el acuífero pertenece a la Provincia Fisiográfica Baja California (Raisz, 1964), Subprovincia Sierra de Juárez.

Esta última se considera la continuación meridional del Complejo Cristalino de la Sierra Nevada que aflora en California (USA) y se caracteriza por ser una gran masa de rocas graníticas limitada al este por un corte repentino (probablemente un escarpe de falla) hacia la depresión Saltón (E. López Ramos, 1979). En términos generales la Sierra de Juárez puede describirse como una gran faja elevada, inclinada hacia el oeste, dividida en una serie de cadenas montañosas paralelas que incluyen a las sierras San Jacinto y Santa Rosa en California (USA) y las sierras Juárez y San Pedro Mártir en Baja California. Esta provincia está caracterizada por la presencia de tres cinturones pre-terciarios a lo largo de la península.

De acuerdo a la clasificación de las provincias fisiográficas realizada por INEGI (1997), la superficie del acuífero se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica Península de Baja California, Subprovincia Sierras de Baja California Norte, la cual está representada en todo su conjunto por la provincia geológica Batolito de Juárez-San Pedro Mártir, de origen intrusivo, edad mesozoica y evolución geológica de raíz de arco volcánico, asociada a la subducción de la extinta placa tectónica de Farallón (Ortega et al., 1992).

La parte central de la provincia está integrada por la cordillera peninsular que atraviesa los estados de Baja California y Baja California Sur, en dirección noroeste-sureste; también forman parte de esta provincia las sierras de Juárez, San Pedro Mártir, San Felipe y La Giganta.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, el clima predominante en el acuífero es BSKs, que corresponde a un clima seco-mediterráneo-templado. En las zonas de mayor elevación topográfica el clima es templado-subhúmedo (Cs), representado por los subtipos Csa(e) con lluvias en invierno, clima mediterráneo, verano cálido poco extremo y Csb(e) que domina en las partes topográficamente más altas, con lluvias invernales, verano fresco poco extremo. Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 3 estaciones: Olivares Mexicanos, Agua Caliente y Boquilla Santa Rosa. Con los datos de estas estaciones para el periodo 1955-2012, y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **300 mm** y **16.8° C**, respectivamente. Por otra parte, el valor medio de la evaporación potencial es de **1,618 mm anuales**.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No.1 Baja California Noroeste (Ensenada), Subregión Hidrológica Río Tijuana, cuenca Río Tijuana-Arroyo Maneadero. El área perteneciente al acuífero se encuentra integrada por arroyos de tipo intermitente que tienen su origen en las montañas que rodean al valle. La red de drenaje forma tributarios de primer y segundo orden principalmente, que se integran formando el cauce principal del Arroyo Guadalupe, el cual continúa su curso en el acuífero La Misión, para finalmente desembocar en el Océano Pacífico.

La cuenca del Arroyo Guadalupe tiene una superficie de 2,434 km² y no cuenta con infraestructura para el aprovechamiento de sus escurrimientos. El arroyo tiene una longitud total de 115 km, desde su origen hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Es una corriente intermitente que tiene como principales tributarios a los arroyos El Barbón, Cañón del Burro y Agua Escondida.

3.4 Geomorfología

El acuífero se ubica en un valle intermontano próximo al Océano Pacífico, con elevaciones que varían entre los 300 y 400 msnm, rodeado por montañas cuyas alturas varían entre los 500 y los 700 msnm. En su porción oriental, se encuentra una cadena montañosa de mayor altura, conocida como Sierra Blanca, con elevaciones de hasta 1,300 msnm. Al sur se ubican los cerros Pedregoso y Mogor que alcanzan elevaciones máximas de 700 msnm.

El intemperismo y la erosión superpuestos sobre los sistemas de fracturamiento que se presentan en las rocas prebatolíticas (volcánicas y metamórficas) producen patrones de tipo dendrítico, subdendrítico y subparalelos, éste último identificado por los tributarios que llegan al colector principal controlado por los lineamientos NE-SW, en ángulo casi recto, ya que están gobernados por el sistema de fracturamiento.

Debido a que las rocas batolíticas están afectadas por estructuras geológicas similares a las identificadas en las rocas prebatolíticas, presentan patrones de drenaje similares. Las rocas intrusivas (tonalitas y granitos) presentan patrones de tipo subparalelo y subdendrítico, que en algunas regiones, como en la zona de la Sierra Blanca, adquiere características de avenamiento rectangular, debido al control que ejerce el fracturamiento que las afecta.

El desarrollo geomorfológico de la región es complejo, debido a una serie de procesos tectónicos, volcánicos y sedimentarios, que determinan la actual conformación geomorfológica. Como resultado de los procesos geológicos se ha desarrollado una serie de regiones geomorfológicas. Dentro de la región del valle de Guadalupe y su cuenca superficial, es posible distinguir una de ellas que consiste en superficies de erosión del Cretácico Tardío y Terciario Temprano que presentan buzamientos hacia el oeste-suroeste y que en su región noreste, cerca del escarpe del Golfo, constituyen las porciones topográficas de mayor elevación en la Península de Baja California.

4. GEOLOGÍA

La geología regional es el reflejo de una zonificación litológica-estructural que se manifiesta a lo largo de toda la península de Baja California. En el territorio del estado de Baja California se encuentra expuesta una secuencia estratigráfica cuyo rango geocronológico varía desde el Paleozoico hasta el Reciente.

La distribución de las diferentes unidades litológicas se puede definir según tres cinturones pre-terciarios que presentan características petrográficas, estructurales y estratigráficas claramente diferenciables. Estos cinturones se encuentran cubiertos de manera independiente por depósitos volcánicos y sedimentarios del Terciario y Cuaternario; su distribución de oeste a este es la siguiente:

El primer cinturón, ubicado en el extremo occidental de la península, está representado por una secuencia de sedimentos marinos y continentales del Cretácico Superior, poco consolidados y sin fuertes deformaciones tectónicas. Esta secuencia fue definida formalmente por Beal (1948) como Formación Rosario y consiste de areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados, que contienen fauna marina y huesos de saurios. El siguiente cinturón está conformado por secuencias de rocas volcánicas, vulcanoclásticas y sedimentarias cuya edad asignada corresponde al Cretácico Inferior.

La secuencia superior y de mayor distribución fue definida originalmente por Santillán y Barrera (1930) como Formación Alisitos, que está constituida principalmente por rocas piroclásticas y lavas de composición dacítica-andesítica, por cuerpos de caliza arrecifal con fósiles del Aptiano y Albiano, así como rocas clásticas derivadas de rocas volcánicas.

En algunas localidades, cubre discordantemente a rocas volcánicas y sedimentarias de edad triásica y jurásica; se encuentra deformada, parcialmente metamorfozada y afectada por numerosas fallas y por el emplazamiento de cuerpos intrusivos graníticos del Cretácico. Subyace discordantemente a la Formación Rosario y se extiende persistentemente a lo largo de toda la porción norte de la península (figura 2).

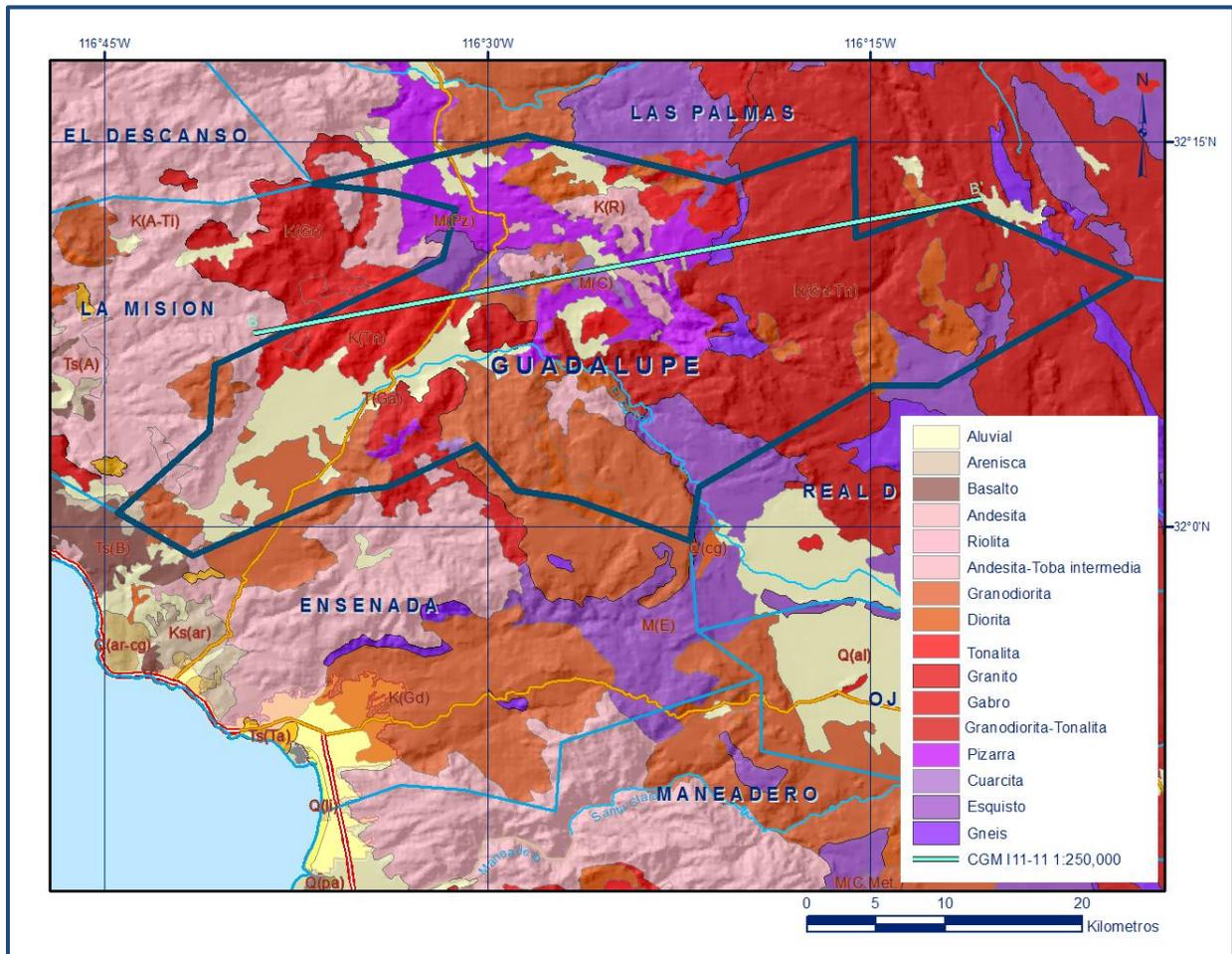


Figura 2. Geología general del acuífero

El tercer cinturón, ubicado en el borde oriental de la porción norte de la península, está constituido por rocas intrusivas y metamórficas producto del metamorfismo regional de rocas sedimentarias. A esta franja pertenecen los batolitos mesozoicos (tonalitas-granodioritas y granitos) y rocas prebatolíticas anteriores a la Formación Alisitos, cuya edad no ha sido aún bien definida.

Las secuencias metamórficas prebatolíticas asociadas a este cinturón presentan diferentes facies metamórficas y su edad es motivo de discusión. Predominan los esquistos, gneises, cuarcitas y pizarras.

Regionalmente la zona está representada por un marco geológico que ha sido definido por la sucesión de eventos tectónicos relacionados con la evolución del borde occidental de Norteamérica, así como con los fenómenos que contribuyeron a la separación de la Península de Baja California.

El panorama morfoestructural que presenta hoy la región ha sido establecido por eventos geológicos que datan desde la Era Paleozoica y culminan con la apertura del Golfo de California, dominado por un ambiente de “Rifting”, con fallamiento transforme.

Las unidades litológicas que afloran pertenecen a dos terrenos tectonoestratigráficos: El Terreno Cortés y el Terreno Alisitos. El primero se distribuye en la porción oriental y el segundo en la región occidental. Las rocas en general se encuentran moderadamente fracturadas y cizalladas.

Las formaciones geológicas expuestas en el acuífero están representadas por rocas ígneas intrusivas (tonalitas, granodioritas, gabros), rocas metamórficas (gneis, esquistos y pizarras), tobas de composición riolítica, así como depósitos sedimentarios granulares de origen aluvial, fluvial y lacustre.

El material granular está representado por sedimentos de granulometría variada, depositados sobre los cauces de los arroyos y la planicie, producto de la erosión e intemperismo de las rocas preexistentes que circundan el acuífero.

4.1 Estratigrafía

En el acuífero aflora una variedad de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas intrusivas y extrusivas, cuyo rango estratigráfico varía del Triásico al Reciente.

En la porción central y oriental del acuífero afloran rocas ígneas intrusivas como granitos y granodioritas, consideradas parte de la Franja Batolítica Transpeninsular, a la cual se le atribuye una edad Cretácico Superior. Sobre estas rocas sobreyace una serie de derrames de composición basáltica y un grupo de rocas andesíticas.

Las rocas metamórficas afloran en la porción norte y suroriental.

Las rocas en general se encuentran moderadamente fracturadas y cizalladas. La columna estratigráfica se describe a continuación:

TRIÁSICO SUPERIOR

Formación Rancho Vallecitos

Representa una secuencia sedimentaria de tipo Flysch, de edad Triásico Superior-Jurásico Medio, constituida por lutitas y areniscas, con lentes de caliza marmorizada y conglomerados. Las rocas presentan metamorfismo de facies esquistos verdes; en el contacto de los cuerpos intrusivos del Cretácico con los lentes de caliza de la secuencia flysch, es frecuente encontrar skarns de tungsteno con granate. Se correlaciona con las formaciones French Valley, Bedford Canyon y Esquistos Julián del Triásico Superior.

JURÁSICO SUPERIOR-CRETÁCICO INFERIOR

Está representado por andesitas y brechas volcánicas andesíticas cuyo origen corresponde a un ambiente de arco volcánico marino, que presentan alteración de diferentes tipos (propilitización, silicificación y oxidación) y en algunas localidades metamorfismo dinámico. Esta unidad que no contiene depósitos de caliza, se correlaciona con parte de la Formación Santiago Peak, que se extiende desde el sur de California hasta la falla Agua Blanca en Baja California. El contacto inferior es discordante o afectado por las intrusiones contemporáneas del batolito peninsular. De la misma edad, sobreyaciendo discordantemente, afloran rocas riodacíticas, dacíticas, traquiandesíticas, tobas riodacíticas y andesíticas silicificadas, en áreas de reducida extensión en la misma porción que la unidad anterior.

CRETÁCICO

Rocas ígneas Intrusivas

El Batolito Peninsular Cretácico consiste de intrusiones múltiples de gabro, granito, granodiorita-tonalita y diorita, con diques aplíticos, que presentan deformación.

Se relacionan a la evolución de un arco volcánico-plutónico que estuvo activo durante el Jurásico-Cretácico. Los gabros se interpretan como la unidad plutónica más antigua del batolito y sólo afloran de manera aislada en algunas localidades al noroeste de la región.

Las rocas graníticas afloran en forma de troncos, en tanto que las granodioritas-tonalitas con xenolitos de diorita están expuestas ampliamente en la Sierra de Juárez, donde existen intrusiones múltiples que ascendieron en forma de diapiros.

Las rocas dioríticas presentan afloramientos dispersos en la periferia de estructuras circulares, cortando a las unidades más antiguas, que corresponden a las etapas finales del emplazamiento del batolito

Formación Redonda

Consiste de conglomerados polimícticos con lentes de arenisca, depositados en un ambiente continental que descansan discordantemente sobre las rocas volcánicas de la Formación Santiago Peak; se correlaciona con la Formación Lusardi del área de San Diego, California.

Formación Rosario

Consiste de intercalaciones de limolita y arenisca con lentes de conglomerados, con presencia de fósiles de origen continental y marino, que afloran en la margen pacífica, descansando en discordancia angular sobre la Formación Alisitos, formando el tercer cinturón (postbatolítico) de los terrenos pre-terciarios de Baja California, cuyo límite oriental es la denominada línea "Santillán-Barrera" que representa una línea de costa fluctuante que marca el límite de dos eventos tectónicos. Se presenta poco consolidada y con escasas evidencias de tectonismo.

De acuerdo con Yeo (1984), la Formación Rosario se divide en tres miembros litoestratigráficamente distintos, cada uno de los cuales corresponde a una fase diferente en el cambio del nivel del mar. Estas unidades son (de la base a la cima): (a) miembro arenoso inferior (lower sandstone member, LSS), (b) miembro lodolítico medio (middle mudstone member, MM) y (c) miembro conglomerático-arenoso superior (upper sandstone-conglomerate member, USS).

Los tres miembros presentan marcados cambios en facies tanto en extensión (de norte a sur y de este a oeste) como en la vertical (en sentido estratigráfico). La transición vertical de estas facies corresponde a variaciones temporales del nivel del mar.

En términos geográficos los cambios de facies más grandes se presentaban de este a oeste, que concuerda con el trend de la línea de costa hacia la cuenca para el Cretácico Tardío.

Esta formación cubre, en discordancia angular, a rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias más antiguas, y subyace a rocas volcánicas del Cuaternario y a sedimentos continentales y marinos del Neógeno y Cuaternario. Las determinaciones paleontológicas ubican estratigráficamente a la Formación Rosario en los pisos Campaniano y Maestrichtiano. Se ha calculado un espesor máximo de 750 m.

TERCIARIO

Formación Delicias

Representada por areniscas y lutitas depositadas en ambiente de aguas someras y salobres, que afloran al sureste de Tijuana, donde descansa discordantemente sobre las rocas más antiguas. Se correlaciona con la Formación La Joya de la región de San Diego, California. Su edad corresponde al Eoceno.

Formación Las Palmas

Cubre discordantemente a la unidad anterior y está constituida por conglomerados polimícticos con menor proporción de arenisca y lutita, que están expuestos en forma de una franja orientada en sentido este-oeste al noreste del acuífero. Estos depósitos se correlacionan hacia el oeste con la Formación Buenos Aires del eoceno Superior y con los Conglomerados Poway y Ballenas de la región de San Diego.

Formación Rosario Beach

Aflora ampliamente en la zona costera entre San Diego y Ensenada, cubriendo discordantemente a las rocas más antiguas; está constituida de derrames de basalto con intercalaciones de arenisca, brecha arenosa, toba, sedimentos diatomáceos y conglomerados, así como por andesitas y basaltos; depositada en un ambiente fluvio-lacustre y de plataforma marina somera, con vulcanismo activo situado al oeste de la línea de costa.

Esta formación ha sido subdividida por Ashby (1989) en diez miembros distintos, cinco de los cuales se encuentran en la Subcuenca de Tijuana y los otros cinco en la Subcuenca La Misión.

Los afloramientos actuales de rocas de la Cuenca Rosarito Beach se encuentran limitados al este por los terrenos batolíticos y pre-batolíticos de las serranías peninsulares y hacia el oeste por la actual línea de costa. La margen occidental puede extenderse para incluir a la Islas Los Coronados, cerca de Tijuana y a las Islas Todos Santos cercanas a Ensenada.

El límite norte se extiende hacia la porción sur del Condado de San Diego, California, en donde se encuentra parcialmente cubierta por sedimentos plio-pleistocénicos marinos y gravas fluviales. Los afloramientos meridionales se presentan en Punta San Miguel y al suroeste en las Islas Todos Santos.

De manera general, está constituida por intercalaciones de basaltos, tobas y brechas que afloran en las subcuencas de Rosarito y Tijuana.

De la base a la cima, los cinco miembros de la subcuenca Tijuana corresponden a depósitos sedimentarios y volcánicos.

- Base: predominan sedimentos de plataforma con intercalaciones delgadas de derrames basálticos con horizontes de toba.
- Cima: compuesto principalmente por derrames de lava con intercalaciones de arenisca, toba y limonita.
- Hiato: persistió hasta el Plioceno, dando lugar a depósitos aislados de cuenca, los cuales forman dos unidades pertenecientes a la Formación San Diego, constituida por dos miembros: Miembro Inferior formado por areniscas de grano fino a medio, con lentes de conglomerado, de coloración amarillenta; el Miembro Superior está constituido por areniscas de grano medio, con intercalaciones de conglomerado que hacia la cima son más frecuentes y de constitución más gruesa.

Formación San Diego

Cubre discordantemente a la unidad anterior y está constituida por estratos de arenisca con intercalaciones de conglomerado, cuya edad corresponde al Plioceno-Pleistoceno, que afloran en la zona comprendida entre Tijuana y San Diego.

Su depósito ocurrió en un medio marino con variaciones a continental y se correlaciona con la Formación Pico del Sur en California.

CUATERNARIO

Depósitos aluviales

Afloran en la parte baja de la cuenca, a lo largo del cauce del Arroyo Guadalupe y otros arroyos tributarios. Están conformados por arenas de grano medio a fino, redondeadas, producto de la erosión de las rocas ígneas y metamórficas. Presentan alto contenido de cuarzo.

4.2 Geología estructural

Estructuralmente, el acuífero se aloja en el relleno aluvial depositado sobre una fosa tectónica, generada por fallamiento normal. Esta fosa está integrada por dos depresiones adyacentes llamadas “fosa Calafia”, localizada al noreste, y “El Porvenir” al suroeste. Las fosas se delimitan por un sistema de fallas estructurales que a través de fracturas recargan al acuífero.

La estratificación en las rocas sedimentarias del Cretácico Superior y Neógeno presenta echados hacia el suroeste; como resultado de intrusiones múltiples que se originaron en el Cretácico.

La estructura más notoria es la falla San Miguel-Vallecito, que presenta un desplazamiento lateral derecho con rumbo noroeste-sureste, relacionado con el régimen tectónico del sistema San Andrés–Golfo de California. En el área del valle de Guadalupe se presenta una serie de fallas normales escalonadas con caída hacia el noroeste, que indican parte de una cuenca estructural.

La región se caracteriza por una gran diversidad de estructuras geológicas entre las cuales pueden mencionarse las fallas normales, las fracturas de diferentes dimensiones, así como aparatos y derrames volcánicos y grandes cuerpos intrusivos. También existen pliegues en rocas sedimentarias que son el producto de su deformación plástica y foliación en las rocas metasedimentarias, con rumbo predominante noroeste-suroeste, con echados al noreste y suroeste.

El rasgo estructural regional más significativo lo constituye, sin duda, el sistema de fallas que conforma el límite oriental de la sierra con las llanuras del desierto sonorense que han producido los escarpes abruptos orientales de las sierras La Rumorosa, Juárez y San Pedro Mártir.

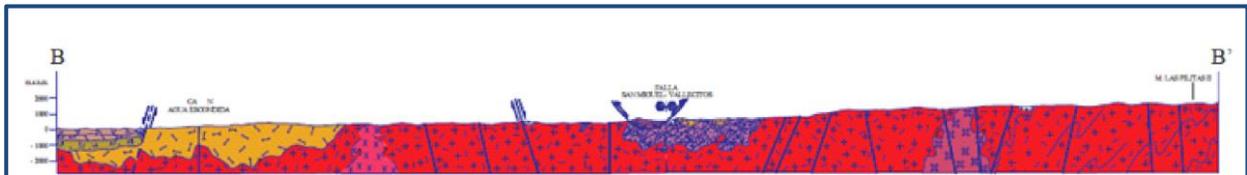
4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la interpretación conjunta de la geología superficial y del subsuelo, apoyada con la información geofísica, es posible determinar que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por depósitos clásticos de origen aluvial de granulometría variada y conglomerados; en tanto que la porción inferior se aloja en rocas volcánicas y sedimentarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento (figura 3).

Las fronteras y el basamento hidrogeológico están representados por las mismas rocas volcánicas y sedimentarias cuando a profundidad desaparece el fracturamiento y la alteración; así como por las rocas intrusivas y metasedimentarias.

La fosa “Calafia” geométricamente es de forma cónica triangular con una profundidad de aproximadamente 350 m y la fosa “El Porvenir” presenta una forma ovalada en planta, con una profundidad aproximada de 100 m debido a que su basamento está más somero.

Ambas están rellenas con material granular constituido por arena gruesa, gravas, gravillas, arena y cantos rodados; con mayor cantidad de lentes arcillosos en la segunda fosa.



Fuente: Carta Geológica-Minera III-11 "Tijuana" Esc. 1:250,000 (SGM, 2003)

Figura 3. Sección geológica esquemática NE-SW.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar 350 m en la “fosa Calafia” y 100 m en la “fosa El Porvenir”.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Se identifica la presencia de tres unidades hidrogeológicas: materiales granulares no consolidados, conglomerados semiconsolidados y macizos rocosos, que por su permeabilidad se consideran permeables, semipermeables e impermeables, respectivamente.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte del estudio realizado en 2013 realizaron 3 pruebas de bombeo y se recopilaron los resultados de otras realizadas en estudios previos, entre ellas las 4 del estudio llevado a cabo en 2008. Todas ellas fueron de corta duración y se ejecutaron tanto en etapa de abatimiento como de recuperación.

De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales se determina que los valores de transmisividad varían de **4.0×10^{-5} a $60.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** ; en tanto que la conductividad hidráulica oscila entre **6.0×10^{-7} y $7.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (0.05 a 64.8 m/d).**

En cinco de las pruebas fue posible contar con pozo de observación (2 del año 2008 y las 3 realizadas en 2013); el valor promedio del coeficiente de almacenamiento fue de **0.00005** y **0.065** de rendimiento específico.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con información piezométrica para los años 1998, 2008, 2010 y 2013. Actualmente se tiene una red de pozos para el monitoreo sistemático de los niveles del agua subterránea. Para fines del balance de aguas subterráneas se consideró el periodo 2010-2013, que tiene la mayor cantidad de información con la mejor distribución espacial.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en 2013 varía desde 5 a 50 m, incrementándose por efecto de la topografía desde la porción suroccidental del acuífero hacia las estribaciones de las sierras que lo delimitan y hacia el noreste, a lo largo del cauce del arroyo Guadalupe.

Los valores más someros, menores de 10 m, se presentan en la fosa El Porvenir, y los más profundos, de 40 a 50 m, en la fosa Calafia (figura 4). Se observa un descenso drástico general en los niveles del agua subterránea en ambas fosas, registrado desde 2008, como consecuencia de un periodo de estiaje. En la fosa Calafia, se registraron valores de 10 a 50 m, con los mayores descensos en la porción central. Para la fosa El Porvenir se registraron valores de hasta 15 m y en la porción central de 10 a 15 m.

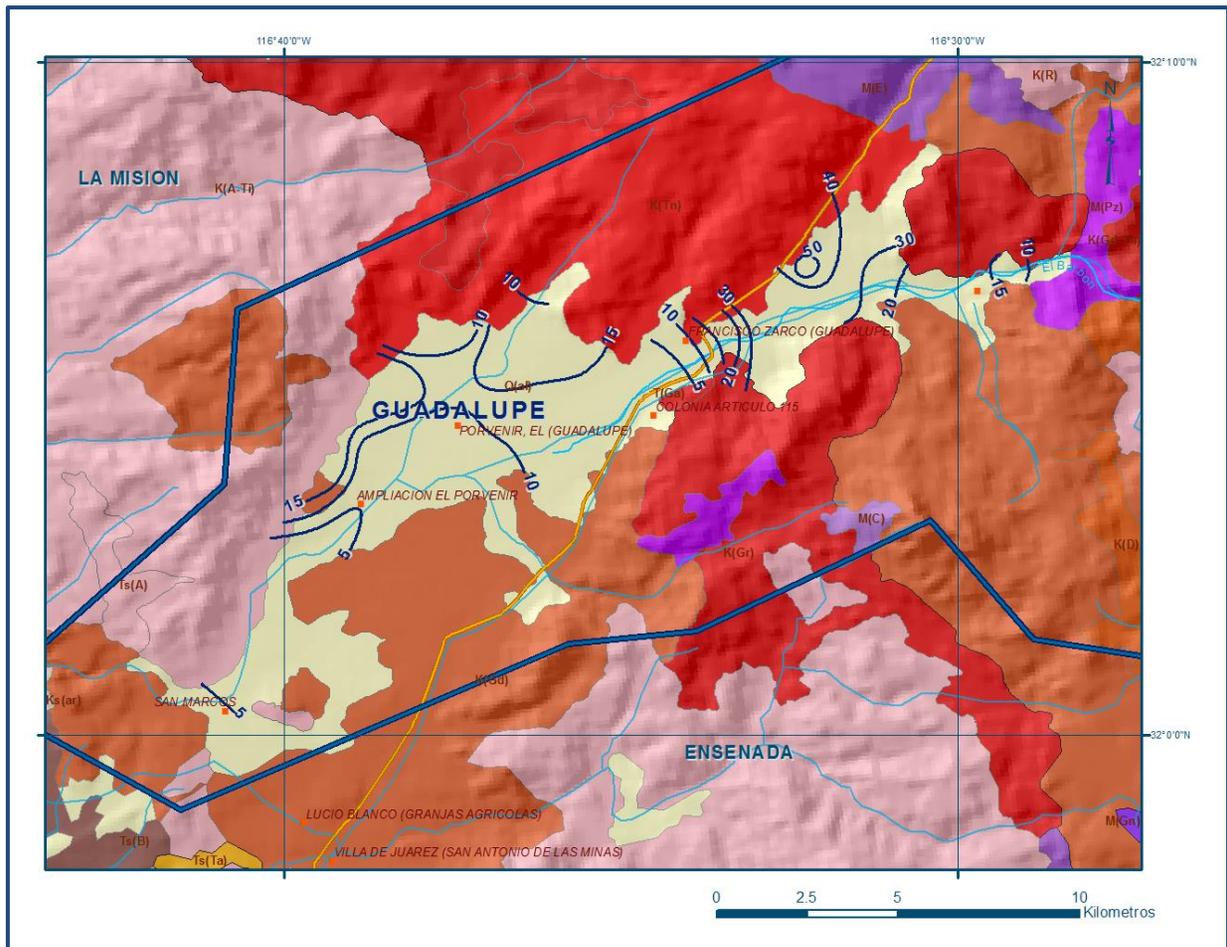


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2013)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2013 muestra valores de 185 a 355 msnm, que se incrementan gradualmente por efecto de la topografía, al igual que la profundidad, conforme se asciende a lo largo del cauce del arroyo Guadalupe.

Para la fosa Calafia los valores varían de 325 a 355 msnm y de 185 a 325 msnm en la fosa El Porvenir. En el valle Calafia se ha formado un cono de abatimiento debido a la extracción intensiva de los pozos de agua potable para abastecimiento de Ensenada y a la disminución de la permeabilidad a mayor profundidad.

Existe un parteaguas subterráneo a la altura de Francisco Zarco, a partir de donde se establecen flujos al SW y NE. La dirección preferencial del flujo subterráneo es noreste-suroeste (figura 5).

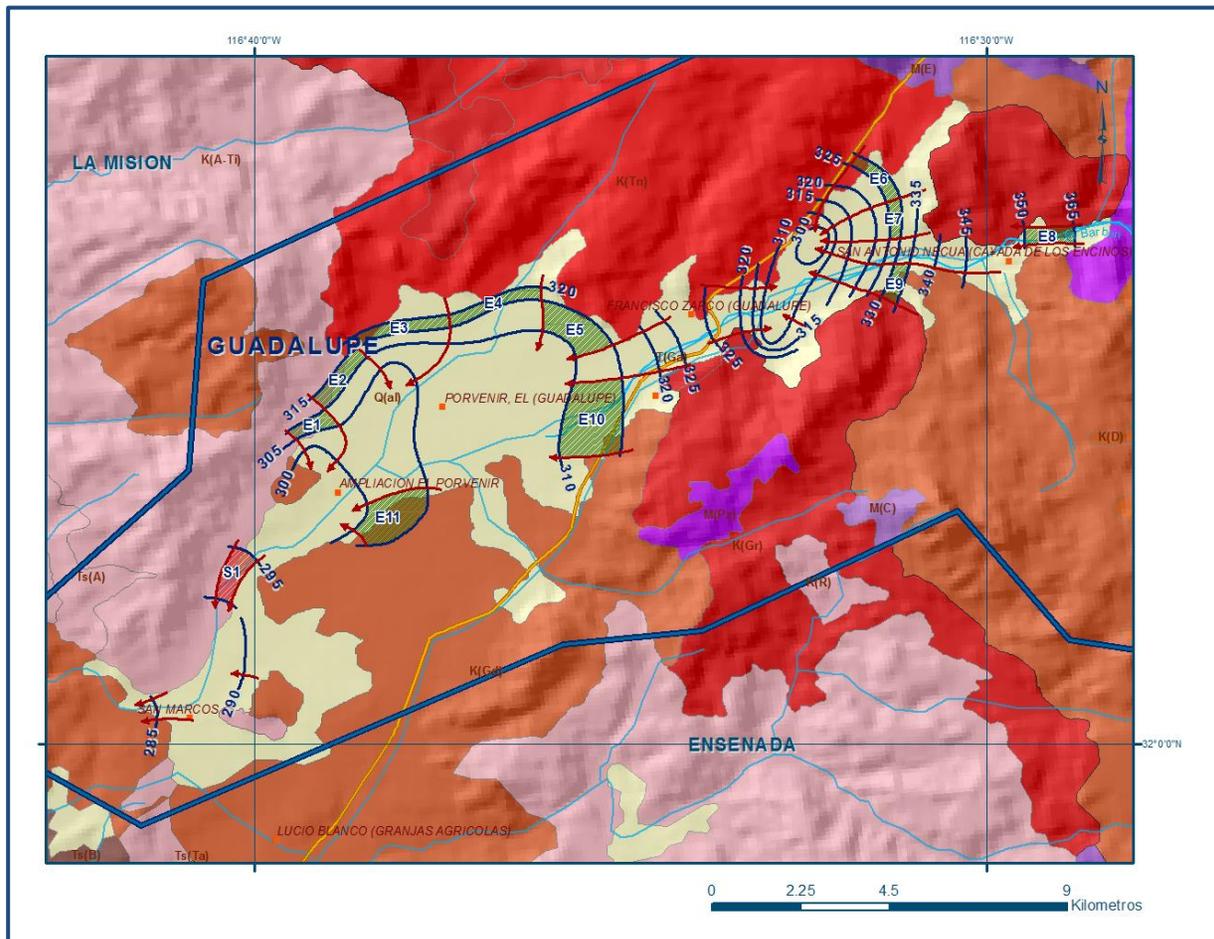


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2013)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2010-2013, se registraron abatimientos que varían de 2 a 14 m, que representan valores promedio anuales de 0.7 a 4.7 m, con valores puntuales de 18 a 20 m.

Los mayores abatimientos, de 10 a 20 m, se presentan en la fosa Calafia; en tanto que en la porción restante del Valle de Guadalupe, fosa El Porvenir, el abatimiento varía de -2 a -8 m (figura 6).

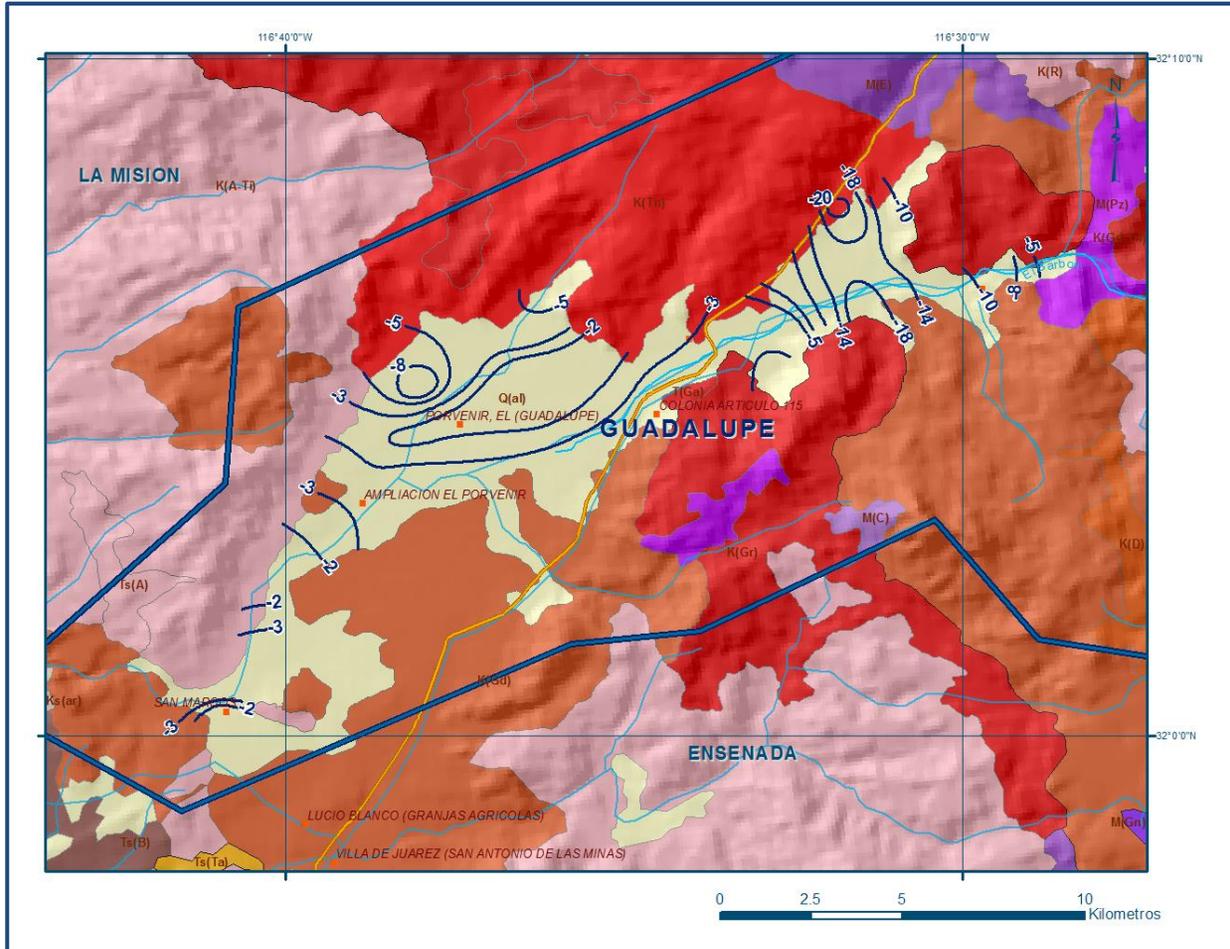


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2010-2013)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En 2013 el COTAS del acuífero realizó mediciones in situ de conductividad eléctrica, pH y concentración de sólidos totales disueltos (STD), en 122 aprovechamientos distribuidos en toda la zona de explotación.

Los resultados indican que la concentración de STD varía 344 a 3489 mg/l, identificando 3 grupos. El primero se observa hacia las elevaciones topográficas de la margen derecha del arroyo Guadalupe, a la altura de El Porvenir, sobre toda la margen izquierda del valle y en todo el Valle de Calafia.

Presenta concentraciones menores de 1000 mg/l que establece como límite máximo permisible 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.

El segundo grupo corresponde a agua que presenta una concentración de STD entre 1,000 y 2,000 mg/l, de salinidad media, que estrictamente no debe ser utilizada para consumo humano, de acuerdo a la norma mexicana mencionada. Se registra en la mayor parte de la fosa El Porvenir.

El tercer grupo, corresponde al agua que presenta más de 2,000 mg/l de STD, que la hacen no apta para consumo humano y que para su utilización en el riego agrícola necesita suelos permeables y lavado de ellos para evitar la salinización. Se identifica en zonas locales del centro del valle, principalmente al suroeste de la población El Porvenir.

La calidad del agua subterránea de la zona del acuífero se ha deteriorado debido al abatimiento de los niveles estáticos, a procesos geoquímicos naturales, a la percolación de agua de retorno de riego y a la infiltración de otros lixiviados provenientes de actividades domésticas, agrícolas e industriales.

En cuanto a la conductividad eléctrica, el agua se clasifica como dulce a salobre, de acuerdo al criterio establecido por la American Public and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de manera general de 670 a 6,790 μ S/cm.

Los mayores valores de concentración de STD y de conductividad eléctrica se registran en la porción central y suroccidental del acuífero, dentro de la fosa El Porvenir, y las menores hacia las zonas de recarga ubicadas en los flancos de las sierras que delimitan el acuífero al norte, sur y en la porción nororiental. Ambos valores se incrementan gradualmente desde la porción nororiental del acuífero hacia el suroccidente, en la dirección del escurrimiento superficial del arroyo Guadalupe. El pH varía de 6.5 a 7.7.

En el estudio realizado en 2013, se consideró la toma de 7 muestras de agua en la zona agrícola, para identificar la presencia de plaguicidas y herbicidas definidos en la norma mexicana, así como el registro vertical de la salinidad en 21 pozos.

Los resultados indican que no se encuentran presentes los plaguicidas ni herbicidas por arriba del límite de detección del laboratorio. En cuanto a los perfiles de salinidad, en 5 de los 21 pozos se registró un incremento de la conductividad eléctrica con la profundidad.

Los pozos se localizan en la zona de explotación intensiva, en la región central y suroccidental de la fosa El Porvenir, hacia donde se dirige el flujo subterráneo que es la parte baja de la cuenca.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los censos realizados como parte de estudios previos, complementados con el realizado en 2013 y la base de pozos del REPDA, se identificó la existencia de 1,355 aprovechamientos del agua subterránea, 348 pozos y 983 norias y 24 manantiales. Del total de obras, 794 están activas y 561 se consideran inactivas. De los aprovechamientos activos, 481 son para uso agrícola; 254 para uso público-urbano, 42 para uso pecuario, 10 para uso industrial y 7 para otros usos.

El volumen total estimado de extracción es de **21.7 hm³/año**, de los cuales 13.1 hm³/año (60.4 %) son utilizados en la agricultura (principalmente para el cultivo de uva que se utiliza en la elaboración de vinos), 7.5 hm³/año (34.6%) para uso público-urbano, y 1.1 hm³/año (5.0%) para otros usos.

Adicionalmente, a través de los 24 pequeños manantiales se descarga un caudal de 3 lps, que equivalen a un volumen anual de 0.1 hm³ anuales, para público urbano y pecuario.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2010-2013, en una superficie de **51 km²**, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

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:

Entradas (E) – Salidas (S) = Cambio de masa

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

7.1 Entradas

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

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, del agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en la red de distribución de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero.

Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (Ri).

Debido a que el riego agrícola es tecnificado y el volumen de agua para uso público-urbano es pequeño, para fines del balance se considera que no existe recarga incidental.

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 (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$\mathbf{Rv + Eh - B - Sh - Dm = \pm \Delta V(S)} \quad \mathbf{(1)}$$

Donde:

Rv= Recarga vertical

- Eh**= Entradas por flujo subterráneo horizontal
- B**= Bombeo
- Sh**= Salidas por flujo subterráneo horizontal
- Dm**= Descarga a través de manantiales
- $\Delta V(S)$** = Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene lo siguiente:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

La recarga natural al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

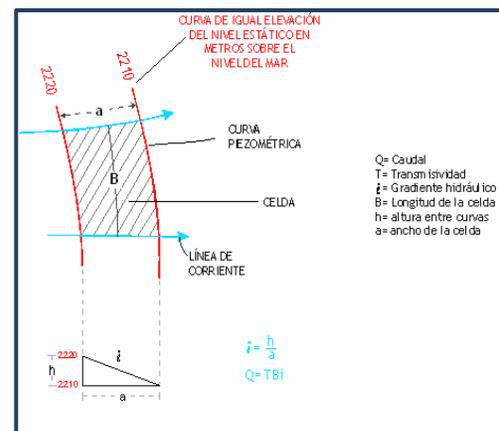
Para el cálculo de las entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2013, mostrada en la figura 5.

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:

$$Q = T * B * i$$

Donde:

- Q** = Gasto;
- T** = Transmisividad;
- B** = Longitud de la celda;
- i** = Gradiente hidráulico;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas definidas. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **9.2 hm³/año**.

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo horizontal (2013)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	1050	345	5	0.01449	0.0010	0.0152	0.5
E2	1595	385	5	0.01299	0.0010	0.0207	0.7
E3	2165	290	5	0.01724	0.0010	0.0373	1.2
E4	2100	270	5	0.01852	0.0010	0.0389	1.2
E5	1505	760	5	0.00658	0.0010	0.0099	0.3
E6	1350	305	5	0.01639	0.0020	0.0443	1.4
E7	955	275	5	0.01818	0.0020	0.0347	1.1
E8	415	1085	5	0.00461	0.0060	0.0115	0.4
E9	945	350	5	0.01429	0.0020	0.0270	0.9
E10	1910	1290	5	0.00388	0.0040	0.0296	0.9
E11	1490	659	5	0.00759	0.0020	0.0226	0.7
TOTAL							9.2

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre de manera artificial por bombeo (B) y de manera natural por salidas subterráneas (Sh) y a través de manantiales (Dm). No existen descargas naturales por evapotranspiración (ETR) ni por flujo base de ríos (Dfb).

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor calculado de la extracción por bombeo es de **21.7 hm³**.

7.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se identificaron 24 pequeños manantiales que en conjunto descargan un caudal promedio de 3 lps, que representan un volumen anual de **0.1 hm³**.

7.3.3 Salida 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 nivel estático del 2013, mostrada en la figura 5. En la tabla 3 se muestra el detalle del cálculo. El volumen total de salidas por flujo subterráneo horizontal asciende a **0.3 hm³/año**.

Tabla 3. Cálculo de las salidas por flujo horizontal (2013)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	465	1135	5	0.00441	0.0040	0.0082	0.3
Total entradas							0.3

7.4 Cambio de almacenamiento (ΔV_S)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático registrada durante el periodo 2010-2013 (figura 6).

Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y variable de 0.02 a 0.05, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

- ΔV_S :** Cambio de almacenamiento en el período analizado
- S:** Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance
- A:** Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km²)
- h:** Valor de la variación piezométrica en el período (m)

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 4, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento para el periodo es de -10.1hm³, por lo que el promedio anual es de **-3.3 hm³**.

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento (2010-2013)

Evolución media (m)	Área (km ²)	Sy	$\Delta V(S)$ (hm ³ /año)
-20.0	0.2	0.02	-0.1
-19.0	1.9	0.02	-0.7
-16.0	3.2	0.02	-1.0
-12.0	2.5	0.02	-0.6
-9.0	1.8	0.04	-0.6
-8.0	0.9	0.04	-0.3
-6.5	3.1	0.04	-0.8
-4.0	18.7	0.05	-3.7
-2.5	10.3	0.05	-1.3
-2.0	7.1	0.05	-0.7
TOTAL	49.7	TOTAL	-9.9
Promedio anual			-3.3

Solución a la ecuación de balance

Una vez estimadas las componentes que intervienen en el balance de aguas subterráneas, se procede a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones (Rv), mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad.

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

$$Rv = 21.7 + 0.3 + 0.1 - 3.3 - 9.2$$

$$Rv = 9.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

De esta manera, la recarga total es la suma de todas las entradas:

$$R = Rv + Eh$$

$$R = 9.6 + 9.2$$

$$R = 18.8 \text{ hm}^3/\text{año.}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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:

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

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 **18.8 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 este caso, su valor es de **0.1 hm³ anuales**, que corresponden a la descarga de los manantiales. **DNC= 0.1 hm³ anuales.**

No se considera comprometida la salida subterránea porque se dirige hacia el cañón del arroyo Guadalupe y evaluó a una distancia aproximada de 8 km con respecto al límite con el acuífero La Misión.

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 (REPGA), 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 **36,658,130 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 18.8 - 0.1 - 36.658130 \\ \text{DMA} &= -17.958130 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **17,958,130 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1999. Estudio de Simulación Hidrodinámica del Acuífero Guadalupe, B.C. Realizado por Desarrollo y Sistemas, S.A.

Comisión Nacional del Agua, 2007. Plan de manejo integrado de las aguas subterráneas en el acuífero de Guadalupe, estado de Baja California.

Comisión Nacional del Agua, 2013. Estudio Geohidrológico para la Reglamentación de los Acuíferos Guadalupe y Colonia Vicente Guerrero, en el estado de Baja California. Realizado por Lesser y Asociados, S.A. de C.V.