CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE CHICO-SAN PEDRO MÁRTIR (0223), 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 10
4.2 Geología estructural 11
4.3 Geología del subsuelo 11
5. HIDROGEOLOGÍA 13
5.1 Tipo de acuífero 13
5.2 Parámetros hidráulicos 14
5.3 Piezometría 14
5.4 Comportamiento hidráulico 14
5.4.1 Profundidad al nivel estático 14
5.4.2 Elevación del nivel estático 15
5.4.3 Evolución del nivel estático 16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 17
7.1 Entradas 17
7.1.1 Recarga natural (Rn) 17
7.1.2 Recarga inducida (Ri) 17
7.1.3 Flujo horizontal (Eh) 18
7.2 Salidas 18
7.2.1 Evapotranspiración (ETR) 18
7.2.2 Descargas naturales (Dn) 18
7.2.3 Bombeo (B) 19
7.2.4 Flujo subterráneo horizontal (Sh) 19
7.3 Cambio de almacenamiento ΔV(S) 19
8. DISPONIBILIDAD 20
8.1 Recarga total media anual (R) 21
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 21
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 21
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 22

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 de Valle Chico-San Pedro Mártir, definido con la clave 0223 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción nor-oriental del estado de Baja California, cubre una superficie de 3,459 km^2, que representa aproximadamente 3.9% del territorio estatal, de este porcentaje el 51.6% corresponde con la superficie acuífera. Geopolíticamente, comprende la superficie total del municipio de Mexicali.

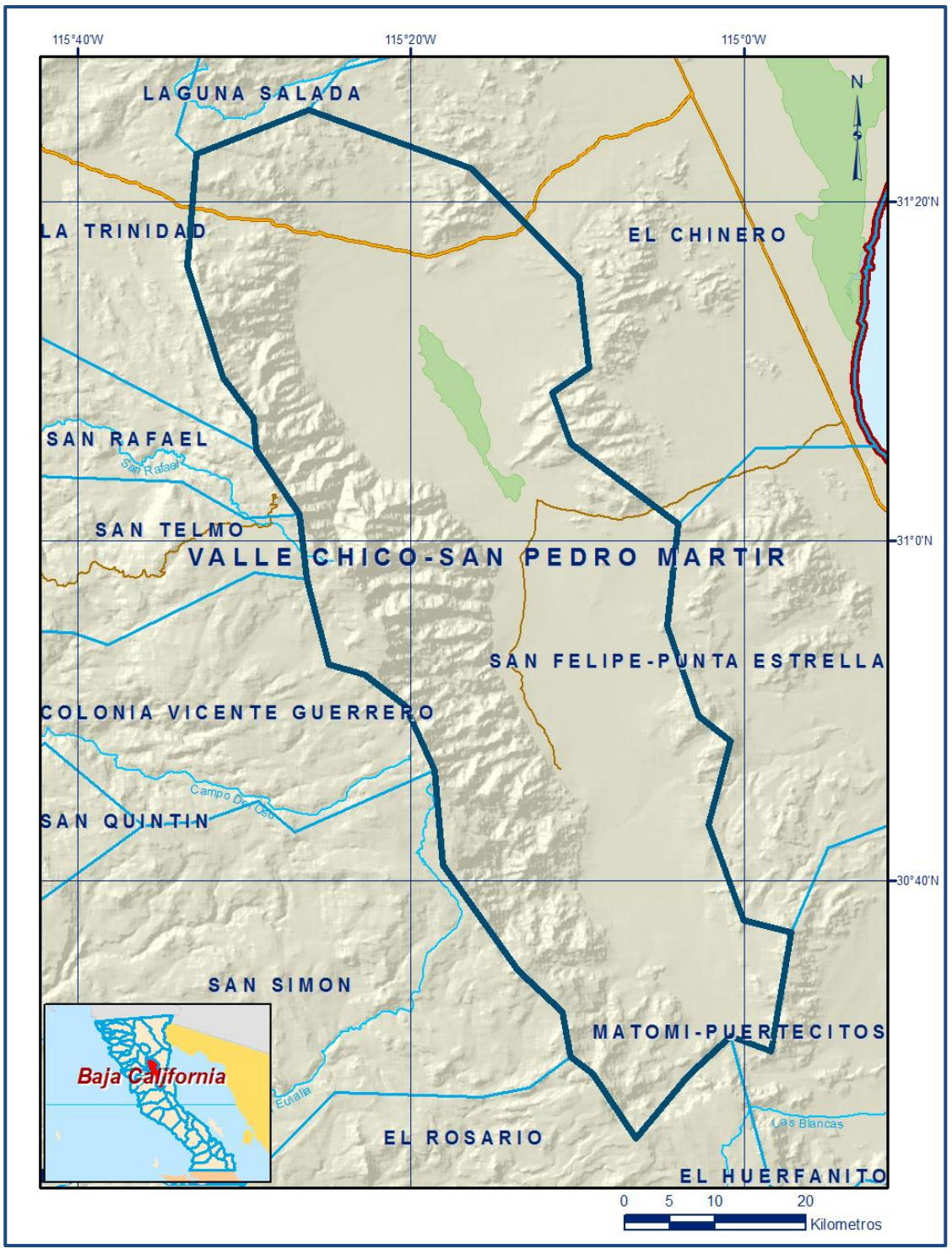

Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0223 VALLE CHICO-SAN PEDRO MARTIR						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	115	33	25.5	31	16	10.3
2	115	32	50.8	31	22	48.5
3	115	26	9.5	31	25	23.7
4	115	16	27.2	31	21	59.7
5	115	9	55.3	31	15	30.1
6	115	9	18.3	31	10	15.0
7	115	11	30.9	31	8	44.7
8	115	10	24.4	31	5	46.5
9	115	3	57.9	31	1	10
10	115	4	38.0	30	54	59.6
11	115	2	47.3	30	49	44.7
12	115	0	50.5	30	48	12.5
13	115	2	8.0	30	43	21.0
14	115	0	3.8	30	37	41.6
15	114	57	10.4	30	36	58.5
16	114	58	25.7	30	29	59.6
17	115	0	49.4	30	30	51.4
18	115	3	21.0	30	28	31.7
19	115	6	32.5	30	24	50.6
20	115	9	7.0	30	28	40.8
21	115	10	25.0	30	29	40.2
22	115	10	56.9	30	32	19.6
23	115	13	35.1	30	34	43.1
24	115	18	5.1	30	40	58.0
25	115	18	35.3	30	46	32.6
26	115	20	20.8	30	50	21.1
27	115	22	47.2	30	52	9.9
28	115	24	54.4	30	52	44.4
29	115	26	15.4	30	57	47.8
30	115	26	43.0	31	1	36.3
31	115	29	15.8	31	5	24.0
32	115	29	28.7	31	7	14.7
33	115	31	16.8	31	9	38.9
1	115	33	25.5	31	16	10.3

1.2 Situación administrativa del acuífero

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En 1973 se inician los primeros trabajos para determinar la factibilidad geohidrológica del valle.

En 1977, la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería realizó para la SARH un estudio geofísico, por el método eléctrico de resistividad, teniendo como objetivo principal, determinar la estructura geológica que enmarca el valle, además de conocer la disposición y naturaleza de los materiales de relleno, y establecerlas relaciones hidrogeológicas existentes entre el Valle de San Pedro Mártir y Valle Chico. Se realizaron alrededor de 80 sondeos geoeléctricos resistivos a profundidades teóricas de 500 m, agrupados en 12 perfiles, de los cuales, 7 corresponden a Valle Chico y 5 al Valle de San Pedro Mártir. Dentro de los resultados obtenidos está, la diferenciación de 4 tipos de materiales que componen el relleno, clasificados bajo el siguiente criterio: materiales areno-arcillosos dentro del tipo A, arenosos con bajo contenido de arcillas como tipo B, en tanto que los del tipo C incluyeron los depósitos de pie de monte y abanicos aluviales empacados en arenas, y finalmente los del tipo D, los asocian con rocas graníticas del basamento geológico. Basándose en lo anterior se determinó, que las zonas favorables para la perforación de pozos, son las correspondientes a los materiales tipo A y B. Dentro de las conclusiones a que llegaron en el estudio destacan: el acuífero se encuentra constituido por materiales granulares heterogéneos, el agua del Valle de San Pedro Mártir es de mala calidad y finalmente determinaron la existencia de una continuidad de los materiales de relleno en ambos valles.

A principios de la década de los 80’s el agua superficial ya era insuficiente para satisfacer los requerimientos del desarrollo urbano y agrícola, es por ello que en 1982 la SARH, programó la ejecución de un Estudio Geohidrológico en las Zonas del Valle Chico, San Felipe y La Laguna Salada, con la finalidad de evaluar la calidad y cantidad de agua existente, disponible en dichas zonas.

En este trabajo, establecen la presencia de condiciones de permeabilidad más favorables en el área de la Laguna Salada, y menos propicias en el Valle Chico y San Felipe, así mismo determinan que en el Valle de San Felipe las condiciones de explotación son de mayor dificultad debido a la cercanía que guarda con el mar, y al riesgo de propiciar la intrusión salina por sobreexplotación del acuífero.

Por otra parte en la Laguna Salada, existe el riesgo de que un incremento de la explotación del acuífero, propiciaría problemas de calidad y cantidad del agua, sin embargo se menciona que existe la alternativa de que las extracciones del recurso se pueden llevar a cabo en pozos lejanos a la Laguna.

Como conclusión se señala que, de las tres áreas estudiadas, el Valle Chico es la única en la cual la explotación no ha producido cambios en las condiciones geohidrológicas, lo cual genera la posibilidad de que se pueda incrementar la explotación en este valle.

En 1986 la SARH elabora el Resumen de Factibilidad Hidrogeológica del Valle Chico-San Pedro Mártir, en donde ya existían 62 pozos profundos, para el riego de 560 Ha, con una extracción media de 10.9 hm^3. El estudio establece la necesidad de implementar un programa, consistente en operar los 11 pozos agrícolas que se encontraban inactivos, con el objeto de observar el comportamiento hidráulico del acuífero con los 22 pozos agrícolas originales, perforados en la primera etapa. De acuerdo a los resultados observados, establecer si existe la posibilidad de perforar los pozos contemplados en la segunda etapa. Así mismo se estima conveniente realizar una mejor distribución de los pozos en todo el valle, con el objeto de lograr una mejor y eficiente explotación del acuífero.

Por otra parte, recomiendan reanudar las observaciones periódicas del nivel estático, y la conveniencia de continuar el muestreo y análisis del agua subterránea.

Para 1990 se presenta una notable disminución de la actividad agrícola y prácticamente todos los pozos se encuentran inactivos, sin que exista una explotación significativa de las aguas subterráneas.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas establecida por INEGI (1997), la mayor parte de la zona del acuífero (70%), se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica de la Península de Baja California, en la Subprovincia de Sierras de Baja California Norte, y un pequeño sector (30%), se incluye en la Provincia Llanura Sonorense, específicamente en la Subprovincia del Desierto de Altar.

Los materiales que conforman estas Subprovincias son sedimentos granulares Pliocuaternarios y rocas ígneas mesozoicas.

3.2 Clima

Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación de las estaciones climatológicas, que cubren la zona del acuífero, y con apoyo en la carta de climas, se observa que la superficie del acuífero está caracterizada por cuatro tipos de climas: Seco Templado (**BSk**), Semifrío Subhúmedo con lluvias en invierno (**C(E)s**), Muy Seco Semicálido (**BWh)** y Muy Seco Templado (**BWk)**, los días de mayor precipitación se presentan en el verano, asociadas con las perturbaciones climatológicas en el Mar de Cortés, por otra parte la zona tiene como característica relevante, condiciones de extrema aridez.

La temperatura media anual registrada en la superficie del acuífero varía de 18° C en la Sierra de San Pedro Mártir a 21° C en la Sierra de San Felipe; el período más caluroso del año es entre julio y agosto, con temperaturas máximas registradas de 45° C en la Sierra de San Pedro Mártir y 57° C en la Sierra de San Felipe, en tanto que las temperaturas mínimas registradas, fluctúan entre -6° C y -12° C durante el mes de enero, siendo este el mes más frío.

De acuerdo con el estudio de la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería realizado en 1977, la precipitación media anual varía de 100 mm en la porción oriental a 200 mm en el sector occidental, manifestándose el periodo de lluvias entre los meses de agosto y octubre, donde ocurre cerca del 50% de la precipitación total anual.

Por su parte en el estudio de la SARH del año de 1982, se reporta que la precipitación media anual se encuentra en un rango de 125 mm, mencionando que la zona, se encuentra influenciada por perturbaciones atmosféricas que alteran los periodos de lluvias.

De acuerdo con los datos de la estación climatológica Santa Clara, para el año de 1977, la evaporación potencial media anual fue de 2,222 mm, lo cual manifiesta condiciones de alta radiación solar y un déficit muy elevado de humedad.

3.3 Hidrografía

El área corresponde a un valle orientado NW-SE, el cual está dividido por un pequeño parteaguas, que delimita a los Valles de San Pedro Mártir y Chico; conforma una depresión delimitada hacia el norte por las Sierras Juárez y Las Tinajas, al oeste por la Sierra de San Pedro Mártir, la cual es una de las más elevadas de la Península, al sur por la Sierra de Santa Isabel y al este por las Sierras El Borrego, Santa Rosa y San Felipe.

El Acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 4 “Baja California Noreste” y a la Subregión denominada Laguna Salada. El área está localizada dentro de la Cuenca A. Agua Dulce-Santa Clara.

La estructura que forman los arroyos que alimentan el valle, es de un drenaje de tipo subdendrítico. El principal alimentador del Valle San Pedro Mártir, es el Arroyo Taraíso, sin descartar la Cañada San Matías que también contribuye a la recarga del acuífero, el primero nace en la Sierra Juárez, siguiendo su curso hacia el sureste, hasta unirse con el Arroyo Huatamote, que nace en la Sierra de San Pedro Mártir, del cual toma su nombre al continuar su escorrentía. Respecto al Valle Chico, sus principales alimentadores son los arroyos Parral, el Berrendo, la Gringa y Agua Caliente, que nacen en la Sierras de San Pedro Mártir, Santa Isabel y San Felipe, los cuales siguen su curso hacia el norte del valle hasta unirse al Arroyo Huatamote, en donde cambia su dirección al noreste, para posteriormente desembocar en el Golfo de California, siendo esta la única salida superficial del valle.

Hacia la región noroeste, en el Valle de San Pedro Mártir se presenta una cuenca endorreica, en donde se forma una laguna intermitente, la cual, debido al clima desértico de la región, permanece seca la mayor parte del año. El Valle Chico-San Pedro Mártir, además de encontrarse drenado por los arroyos mencionados, llega a ser alimentado por los tributarios de los arroyos principales.

3.4 Geomorfología

Las principales unidades geomorfológicas en el acuífero corresponden con las Sierras y el Valle, las cuales tienen un comportamiento hidrogeomorfológico característico. En la zona de las sierras la infiltración se realiza a través del patrón de fallas y fracturas de las rocas, la cual será mayor a medida que la densidad de estas estructuras aumente; a su vez, en los valles, ocurre a través de los materiales granulares que constituyen el relleno.

Debido a las prominentes elevaciones montañosas que se encuentran en los bordes occidental y oriental del área estudiada, estas se consideran de permeabilidad baja a media, dado que estas áreas funcionan como zonas de recarga, pero el agua de las precipitaciones en las partes altas adquieren una gran velocidad debido a los elevados gradientes del terreno, lo cual obstruye su infiltración al subsuelo, por lo general los arroyos conducen el caudal hacia las partes bajas, a lo largo del cual se van infiltrando.

Bajo esta perspectiva los valles constituyen las zonas con mayor potencial en la recarga natural, debido a que sus constituyentes presentan altos índices de permeabilidad.

4. GEOLOGÍA

El área del acuífero queda comprendida dentro de la Provincia Geológica de Baja California, específicamente en la Subprovincia Sierra de Juárez; la zona se caracteriza por presentar una columna geológica, consistente de rocas metamórficas y sedimentarias de edad Mesozoica, expuestas en las Sierras de San Pedro Mártir y San Felipe; así como rocas cristalinas derivadas del emplazamiento de cuerpos batolíticos del Cretácico Inferior, las cuales se encuentran conformando las sierras circundantes al Valle Chico-San Pedro Mártir; finalmente, hacia la parte sur del valle en la Sierra de Santa Isabel, se encuentran los afloramientos de las rocas más jóvenes de origen volcánico, pertenecientes al Sistema Terciario (figura 2).

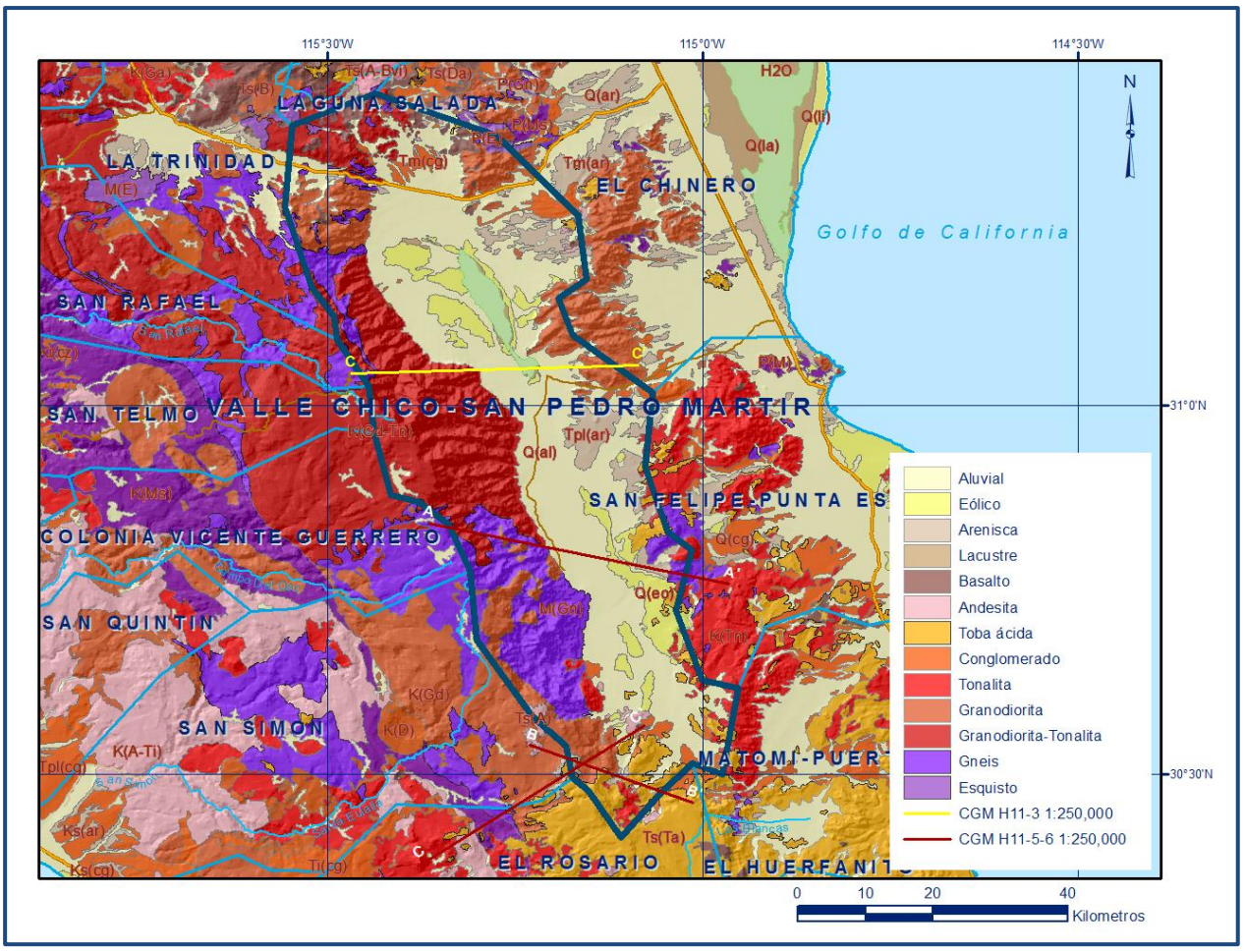

Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

La estratigrafía del sector nororiental de la Península de Baja California (en donde se incluye el área del acuífero), está compuesta hacia la base por rocas metamórficas mesozoicas, intrusionadas por cuerpos graníticos de dimensiones batolíticos, los cuales llegan a estar sobreyacidos por materiales de origen volcánico.

Los materiales más jóvenes corresponden con una serie de terrazas marinas del Pleistoceno, terrazas continentales del Terciario Superior y derrames de basaltos Cuaternarios.

Las unidades que constituyen el basamento corresponden con las unidades graníticas, granodioríticas y diorítas.

En el valle los depósitos areno-gravillentos de facies aluviales, derivados de la desembocadura de los arroyos, así como los generados a partir de la actividad de la Falla Agua Blanca, localizada en el borde septentrional del valle contribuyen en gran medida con el relleno del depocentro; por otra parte esta depresión tectónica también está rellenada por sedimentos lacustres, de planicies de inundación y eólicos, los cuales de acuerdo con los datos de gravimetría se puede estimar que configuran un espesor de hasta 3,000 m, en las cercanías de la Sierra de San Pedro Mártir.

4.2 Geología estructural

El marco tectónico-estructural que se observa en el área de estudio se encuentra gobernado por la apertura del Golfo de California, propiciado por la actividad de la Falla de San Andrés, cuya dinámica se estima que se inició a finales del Mioceno. La Falla Agua Blanca es considerada como una componente de la Falla San Andrés y constituye el límite septentrional del Valle de San Pedro Mártir. Como consecuencia de esta actividad se tienen los tres sistemas de fallas que afectan la secuencia ígnea, en donde el sistema principal, está representado por fallas normales con rumbo NW-SE y con una variación de 15° a 45°, provocando la formación de la depresión tectónica en la que se encuentra el valle. Este sistema se encuentra formando el límite de la Sierra de San Pedro Mártir con el valle, y es interrumpido por la falla Agua Blanca, que es de desplazamiento lateral derecho, en los límites con la Sierra Juárez. Otro sistema secundario de fallas normales escalonadas, con un rumbo NE-SW y con una variación de 20° a 50°, muy posiblemente fue originado como resultado del esfuerzo principal, causando fracturamiento sobre las unidades volcánicas, con el mismo rumbo, y formando una fosa al norte de la Sierra de San Felipe. El tercer sistema corresponde con la falla horizontal que se encuentra dividiendo la Sierra de San Pedro Mártir con la Sierra Juárez, que se involucra a las fracturas y fallas presentes a lo largo de esta, el rumbo es ESE y probablemente esta se continúe atravesando la parte norte del Valle de San Pedro Mártir.

4.3 Geología del subsuelo

La estructura del subsuelo el valle, corresponde con una depresión tectónica subsidente, la cual se considera que experimentó un hundimiento progresivo, conforme se depositaban los materiales granulares, variando su tamaño en función de su ubicación dentro de éste; de tal forma que, hacia los bordes del valle, los sedimentos tienden a ser de mayor granulometría (cantos, gravas), en tanto que hacia su parte central, los materiales tienden a presentar un grano más fino.

De acuerdo con el estudio geofísico elaborado por TMI (1977), se determinó potencialmente las características del subsuelo hasta una profundidad de aproximadamente 300 m, conformando a los materiales en los siguientes grupos:

Grupo A. Corresponde con materiales areno-arcillosos, con ciertas variaciones de permeabilidad, provocada por el aumento o disminución de las arcillas, sin llegar a considerarse como impermeable, estos materiales granulares, se localizan al sur del Valle Chico a profundidades que van de los 150 a 200 m; en tanto que hacia el oriente del valle, se estima que, se encuentran entre 75 y 100m, notándose un incremento del espesor hacia el occidente.

Grupo B. Está representado por arenas con bajo contenido de arcillas y arenas con gravas, con una permeabilidad aceptable y buena calidad de agua. Este grupo predomina sobre los demás, posicionado generalmente sobre la unidad A, encontrándose entre los 10 y 200 m en todo el Valle Chico y en la parte sur de San Pedro Mártir.

Grupo C. Este grupo es subdividido en C_1 el cual corresponde con los depósitos de pie de monte y abanicos aluviales, constituidos por fragmentos rocosos empacados en arenas, con espesores de hasta 60 m y buena permeabilidad, localizándose en la porción occidental de Valle Chico, en las estribaciones de la Sierra San Pedro Mártir.

La otra subdivisión C_2 corresponde con materiales de la misma granulometría a mayor profundidad, cementados y de naturaleza impermeable, o bien puede corresponder con el basamento granítico alterado, con espesores del orden de 300 m, localizados en la parte nor-occidental de Valle Chico.

Grupo D. Este grupo probablemente puede corresponder con el basamento geológico granítico, el cual se encuentra constituyendo las sierras aledañas.

Grupo E. Litológicamente incluyen a los materiales granulares de los grupos A y B, los cuales contienen agua de mala calidad, poseen varios grados de permeabilidad, se encuentran hacia la parte norte del valle, que corresponde con las partes topográficamente más bajas.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Con la integración de los resultados de la geología del subsuelo, la interpretación hidrogeomorfológica, la hidrología superficial y la interpretación de pruebas de bombeo, entre otros, fue posible definir un sistema acuífero heterogéneo de tipo libre, además de que los materiales en los cuales tiene lugar el movimiento del agua subterránea es a través del medio granular y muy probablemente en el medio fracturado.

El medio granular está constituido por materiales no consolidados del Terciario y Cuaternario, que rellenan la depresión tectónica del Valle Chico-San Pedro Mártir, la cual, se interpreta que es producida por una serie de fallas normales.

La fosa fue rellenada por materiales granulares, cuyo espesor se estima que es mayor a 2500 m, ocurriendo las mejores expresiones hacia la parte occidental del valle, mientras que los menores espesores se observan en las proximidades de la Sierra de San Felipe, Santa Rosa, El Borrego y La Tinaja.

En base al estudio de TMI (*op.cit.*), se considera que el medio fracturado probablemente está formado por las rocas que se encuentran constituyendo el basamento granítico del valle, el cual posiblemente presente altos grados de alteración.

Las elevaciones topográficas que limitan el valle constituyen un medio donde tiene lugar el movimiento del agua superficial, con una tendencia a formar fronteras impermeables, ya que a través de ellas se establece la recarga a la zona en explotación.

La recarga natural del acuífero proviene de la precipitación pluvial que se realiza sobre toda el área de estudio, la cual se infiltra y alimenta por flujo subterráneo horizontal al acuífero, en tanto que la inducida, es fundamentalmente por retornos del riego.

En condiciones naturales, la descarga debió de efectuarse a través de la Laguna del Valle de San Pedro Mártir, por evapotranspiración, y por la única salida que desemboca en el Golfo de California, a través de la Planicie de San Felipe.

En la actualidad la descarga se realiza de manera artificial por bombeo de pozos con fines agrícolas, en norias y directamente por la evaporación de la laguna.

5.2 Parámetros hidráulicos

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación de 6 pruebas de bombeo, ubicadas 1 en el Valle Chico y 5 en el Valle de San Pedro Mártir, de las cuales 3 fueron de tipo escalonadas con pozos de observación, y las otras tres de corta duración, las cuales fueron realizadas durante los estudios efectuados en 1977 y 1982, por TMI, e interpretadas en el año 1982.

Los valores de transmisividad fluctúan entre 537.408 y 2235.168 m^2/día, y las conductividades hidráulicas son en general del orden de 5.754 m/día, presentándose en la mayoría de los pozos valores mayores a esta cifra.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, tomando en cuenta el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, el valor resultó de 0.00305, y el acuífero se consideró como libre.

5.3 Piezometría

Los primeros datos relativos a la posición del nivel del agua corresponden al año de 1982, posteriormente la construcción de nuevos aprovechamientos permitió contar con mayor información.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Con la información piezométrica correspondiente a 1982, se elaboró el plano de curvas de igual profundidad del nivel estático, que se considera representativo de las condiciones del valle, figura 3. Las profundidades en la parte central del Valle de San Pedro Mártir oscilan entre los 10 y 20 m, aumentando hacia el norte y sur hasta los 45 m; por su parte en el Valle Chico oscilan alrededor de los 20 m, hacia la Cañada del Arroyo Huatamote la profundidad varía de 60 a 70 m; a su vez en las inmediaciones del parteaguas, entre los dos valles tiene un valor de 77 m. De manera general en el Valle Chico-San Pedro Mártir las profundidades del nivel estático varían de los 10 a los 77 m, aumentando en las cercanías de las partes topográficamente más altas.

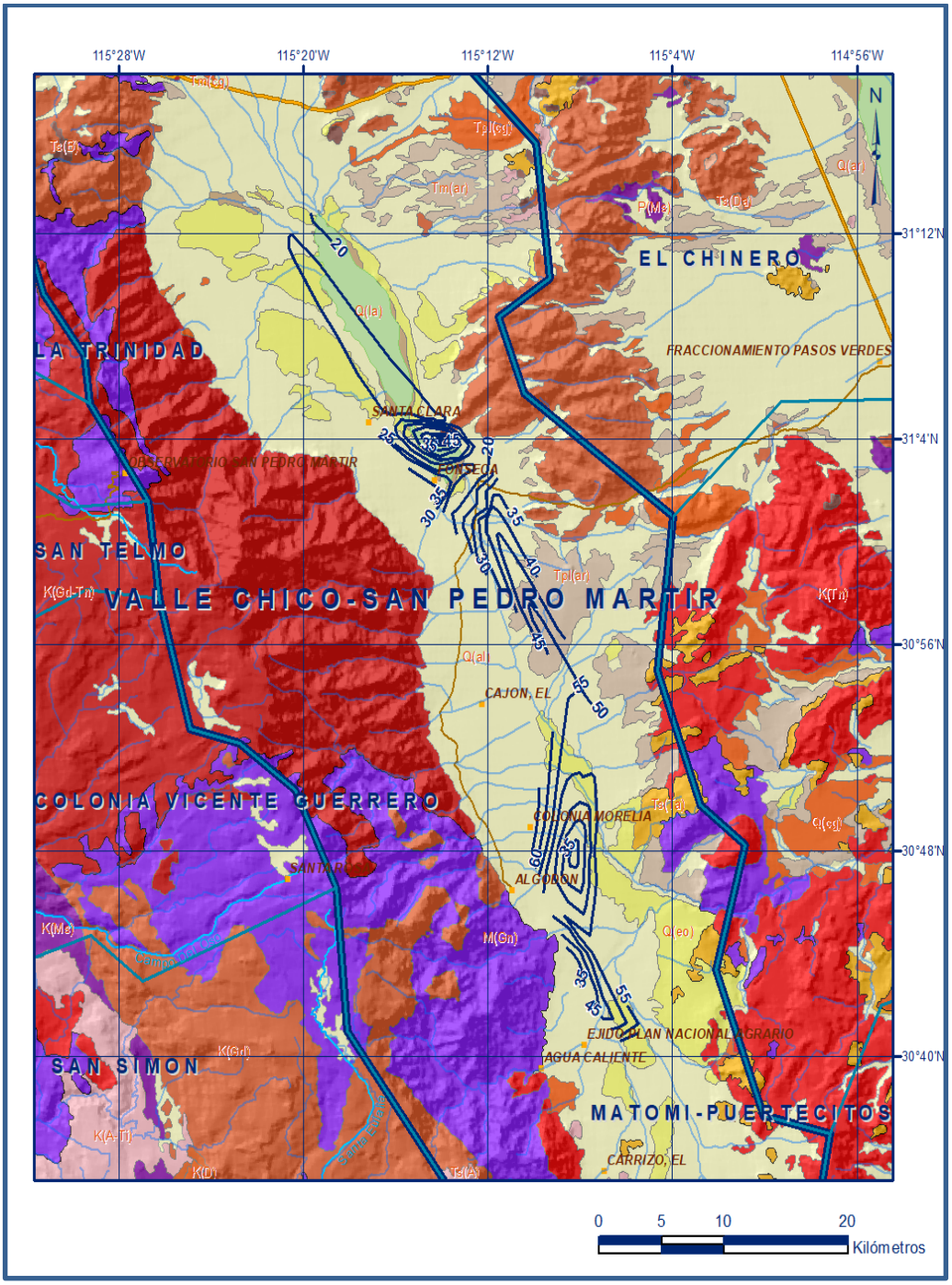

Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (1982)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Las elevaciones del nivel estático en el valle de San Pedro Mártir, están delimitadas por las isolíneas de 415 a 380 msnm, mientras que para el valle Chico las curvas de igual elevación tienen valores de 380 a 370 msnm.

En cuanto a la forma general de las configuraciones de la elevación de los niveles estáticos, se puede decir que son una respuesta, de las variaciones que se van teniendo como consecuencia del incremento de la extracción del agua subterránea a través del bombeo.

De acuerdo a la información del año de 1977 se observa que el flujo preferencial de agua subterránea, en el Valle de San Pedro Mártir ocurre de las sierras hacia el valle, formando un drenaje hacia el centro de este, en la denominada Laguna del Diablo a su vez, en el Valle Chico, el drenaje se encuentra convergiendo hacia la parte noroeste del valle.

5.4.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático del acuífero para el periodo 1982, TMI considera que en un periodo de 2 a 6 años, existe una variación mínima de la profundidad del nivel estático, ya que va de 1.6 a 7.14, en solo 4 de los 27 pozos observados, en el resto de los pozos se considera que el nivel del agua subió hasta 6.3 m de su nivel normal. Por otra parte en las proyecciones realizadas por la SARH en 1981 a través de un modelo matemático simplificado, aplicado en 5 zonas del valle, con el objeto de programar la construcción de 51 pozos, para extraer 3000 lps, con un volumen de 61 Mm^3 anuales, se obtuvo como resultado: un abatimiento potencial del orden de 25 m durante 10 años de operación, el cual consideraron poco significativo, tomando en cuenta la capacidad de almacenamiento del Acuífero.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El censo de aprovechamientos hidráulicos subterráneos, reportado por TMI (1982), reveló la existencia de 83 aprovechamientos, de los cuales 35 son inactivos. De los 58 aprovechamientos activos 8 son utilizados para riego, 1 doméstico, 1 abrevadero, 1 de agua potable, 8 para abrevadero y doméstico, 6 para riego y doméstico, y 1 para riego, abrevadero y doméstico.

De acuerdo a este estudio, se reporta la existencia de 41 obras de aprovechamiento hidráulico, mediante los cuales se extrae un volumen mayor a los 12.976 hm^3/año.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El área donde se tiene información piezométrica, considerada para la realización del balance es de 2859 km^2. A partir de la configuración de elevación del nivel estático del año de 1982, se trazó la red de flujo y área de balance.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento (1)

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, al cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica, representada como sigue:

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento (2)

7.1 Entradas

La recarga total está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterráneo.

7.1.1 Recarga natural (Rn)

La recarga natural del acuífero corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia y recarga horizontal proveniente de las zonas de recarga. La recarga por lluvia es de 2.9 Mm^3/año, al considerar un área de 159 km^2, una precipitación media entre los años de 1981 y 1982 de 184.6 mm/año y un coeficiente de recarga 0.1. Respecto a la recarga por infiltración de agua de escurrimientos superficiales naturales, no existen corrientes importantes y permanentes que se generen en la cuenca o que provengan de otras cuencas vecinas y que contribuyan a la recarga del acuífero.

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del riego que se realiza en el área se calculó multiplicando el volumen aplicado al riego (10.976 Mm^3 /año) por un coeficiente de infiltración, de 0.1, resultado un volumen de recarga de 1.1 Mm^3/año.

7.1.3 Flujo horizontal (Eh)

De acuerdo a la geología y a la información piezométrica y considerando que existen entradas al acuífero por flujos subterráneos, éste se dividió en dos zonas, la primera en la zona de San Pedro Mártir sobre el área de influencia que ejercen los arroyos Cañada San Matías y Taraíso, y la segunda zona situada al suroeste de Valle Chico, las cuales recargan por flujo subterráneo horizontal al sistema acuífero (Eh).

El cálculo de entradas por flujo horizontal (Eh), se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático del año 1997, y a la transmisividad obtenida a través de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i \quad (4)$$

Donde:
Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;
T = transmisividad;
B = ancho de la celda;
i = gradiente hidráulico

El gasto obtenido de las celdas de entrada consideradas fue de 9.751 Mm^3/año.

7.2 Salidas

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Aunque los niveles se encuentran a profundidades mayores o iguales a 10 m, de todas maneras existen volúmenes que se evapotranspiran, el valor obtenido resultó de 7.4 Mm^3 /año, en un área de 74 km^2, la cual corresponde con una zona de inundación denominada Laguna del Diablo.

7.2.2 Descargas naturales (Dn)

La única salida del acuífero es a través del arroyo Huatamote, que comunica con la Planicie de San Felipe, pero por tratarse de una sección tan estrecha, el volumen es tan pequeño, por lo que será considerado como cero en el balance.

7.2.3 Bombeo (B)

El volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos resultó de 12.976 Mm^3/año.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal (Sh)

En este acuífero de acuerdo a la piezometría, particularmente al plano de curvas de igual elevación del nivel estático y a las prospecciones geofísicas hechas por TMI en 1974, muestran una salida por flujo subterráneo del sistema Valle Chico San Pedro Mártir, en el arroyo Huatamote, la cual recarga al sistema San Felipe Punta Estrella.

El orden de magnitud de este flujo es calculado a partir de la diferencia de variables de entrada y salida en la ecuación de balance.

7.3 Cambio de almacenamiento ΔV(S)

El abatimiento o ascenso del nivel estático comparado a un periodo determinado, origina variación en el almacenamiento de agua en el subsuelo del sistema acuífero, por lo que en el presente estudio se cuantificó para dar solución a la ecuación de balance. El cambio de almacenamiento se determinó a partir de la configuración del plano de evolución de los niveles estáticos.

El análisis de la evolución del nivel estático corresponde a un periodo de agosto de 1980 a abril de 1983, en el cual se determinó una variación de volumen de los sedimentos saturados de 59.355 Mm^3 en un espacio de 2.8 años y la respuesta para un año fue de 22.2 Mm^3 y una recuperación media de 0.37 m, sin embargo en los últimos años se observó un cambio de almacenamiento negativo de -6.626 Mm^3/año.

En forma resumida el balance, reciente, se presenta en la tabla 2, de acuerdo con la expresión (3).

Tabla 2. Balance de aguas subterráneas

Área total del acuífero				km^2	3459
RECARGA TOTAL					
		Área del valle		km^2	2891
		Coeficiente			0.1
		Precipitación		mm/año	184.6
Recarga natural por lluvia				Mm^3/año	2.9
Entradas naturales				Mm^3/año	9.8

Total de recarga natural				Mm³/año	12.7
	Público Urbano				
Recarga inducida P.U.					
	Agrícola más otros				
Recarga inducida Agrícola + otros				Mm³/año	1.1
RECARGA TOTAL				Mm³/año	13.8
DESCARGA TOTAL					
Salidas horizontales				Mm³/año	0
Caudal base				Mm³/año	0
Evapotranspiración				Mm³/año	7.4
	Extracción total			Mm³/año	13
	Manantiales comprometidos			Mm³/año	0
	Agrícola			Mm³/año	11
	Público			Mm³/año	1.0
	Urbano			Mm³/año	1.0
	Industrial			Mm³/año	0
	Otros			Mm³/año	0
DESCARGA TOTAL				Mm³/año	20.376
Cambio de almacenamiento					-6.6
Coeficiente de almacenamiento					
Volumen drenado					
AGUA SUPERFICIAL					
Agrícola					
Público Urbano					
Industrial					

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

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

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **13.8 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, el volumen considerado como descarga natural comprometida es de **DNC = 0.0 hm³ anuales.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **12,163,538 m^3 anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

DMA = R – DNC – VEAS

DMA = 13.8 – 0.0 – 12.163538

DMA = 1.636462 hm^3/año.

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,636,462 m^3 anuales.**