



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN VICENTE (0214), 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.....	7
3.1 Provincia fisiográfica.....	7
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología estructural.....	12
4.3 Geología del subsuelo.....	12
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
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
7.1 Entradas.....	19
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	19
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	20
7.1.3 Recarga inducida (Ri).....	21
7.2 Salidas.....	21
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	22
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	22
7.2.3 Evapotranspiración (ETR).....	22
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	24
8. DISPONIBILIDAD.....	24
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	25
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	26
9. BIBLIOGRAFÍA.....	27

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 San Vicente, definido con la clave 0214 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción noroccidental del estado de Baja California, geográficamente se localiza entre los paralelos 31° 12' y 31° 51' de latitud norte y los meridianos 115° 43' y 116° 28' de longitud oeste; abarca una superficie aproximada de 2,082 km² (figura 1). Limita al noroeste con los acuíferos Maneadero y Santo Tomás, al norte con Laguna Salada y Ojos Negros, al este con Jamau y La Trinidad, al sur con el acuífero Cañón La Calentura y al oeste con el Océano Pacífico. Geopolíticamente se encuentra en el municipio de Ensenada.



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 0214 SAN VICENTE							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	15	54	25.7	31	51	0.8	
2	15	45	8.0	31	47	17.7	
3	15	46	58.3	31	46	3.7	
4	15	43	15.2	31	43	48.4	
5	15	44	18.5	31	39	57.7	
6	15	48	6.3	31	37	4.2	
7	15	47	56.5	31	26	17.9	
8	15	49	29.7	31	24	17.6	
9	15	53	21.6	31	24	12.9	
10	15	59	46.9	31	21	26.4	
11	15	1	50.9	31	21	26.4	
12	15	3	6.6	31	19	25.5	
13	15	5	34.5	31	18	51.8	
14	15	8	22.0	31	16	52.0	
15	15	18	11.8	31	14	49.9	
16	15	20	20.6	31	12	29.9	DEL 16 AL 17 POR LA LINEA DE BAJ AMAR A LO LARGO DE LA COSTA
17	15	27	41.6	31	20	55.2	
18	15	26	21.7	31	24	26.8	
19	15	23	2.3	31	25	38.6	
20	15	21	13.2	31	29	34.2	
21	15	19	24.9	31	30	22.5	
22	15	12	42.0	31	30	14.9	
23	15	11	49.4	31	30	40.2	
24	15	8	35.4	31	30	5.4	
25	15	2	42.2	31	32	56.0	
26	15	1	54.7	31	37	23.5	
27	15	3	48.6	31	38	11.6	
28	15	59	19.5	31	44	14.4	
29	15	57	25.1	31	48	23.5	
1	15	54	25.7	31	51	0.8	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca I “Península de Baja California”. Su territorio se encuentra 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 el 15 de mayo de 1965; esta veda se clasifica como tipo III, la cual 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 3. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca Baja California y cuenta con el Comité Técnico de Aguas Subterráneas, (COTAS) de San Vicente, A.C., instalado el 11 de agosto de 1999.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación; entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE SAN VICENTE, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA NORTE. 1977. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por la Empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. Como parte de las conclusiones se mencionan las siguientes: La aridez en el valle de San Vicente ha provocado la explotación de los recursos de agua subterránea ya que es la única fuente para el abastecimiento de las actividades productivas. El acuífero presenta problemas de contaminación de agua marina en la zona costera. El acuífero intermontano presenta condiciones más favorables para explotar los recursos de agua subterránea, de acuerdo con los valores de permeabilidad y de calidad del agua.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN PIEZOMÉTRICA Y GEOQUÍMICA DEL VALLE DE SAN VICENTE, MUNICIPIO DE ENSENADA, B. C., 1990. Comisión Nacional del Agua. Entre sus principales conclusiones destacan que en el acuífero existían 289 aprovechamientos, 123 activos, 3 inactivos y 113 en mal estado o abandonados; del total de activos 44 corresponden a pozos y 79 a norias; la principal recarga proviene de las infiltraciones a lo largo de los cauces de los arroyos de San Vicente, El Calvario y San Jacinto; la evolución del nivel estático en el periodo de 1977 a 1983 presenta una recuperación de 2.0 m anuales, producto de las lluvias extraordinarias presentadas en la región; en tanto que durante el periodo de 1983-1990 se registró un abatimiento promedio de 1.0 m anuales, como consecuencia de que durante este periodo la recarga fue menor y se incrementó la extracción. Se identificó un cono de abatimiento en las inmediaciones del Ejido Eréndira provocado por la sobreexplotación. La red de flujo subterránea muestra una dirección preferencial de oriente a poniente, de las sierras hacia la zona costera, excepto en las inmediaciones del Ejido Eréndira donde el cono de abatimiento invirtió el gradiente hidráulico, del mar hacia tierra adentro, provocando el avance del frente salino. De acuerdo a la evolución del nivel estático determinada en el periodo 1983-1990, el acuífero se consideraba en condición geohidrológica de equilibrio. Con respecto a la calidad del agua subterránea, las concentraciones de STD oscilaron entre 750–4000 ppm, predominando las concentraciones menores de 2000 ppm.

ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO ZONA DE EJIDO ERÉNDIRA BC-14 SAN VICENTE, B. C., 1997. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Península de Baja California.

Concluye que la evolución del nivel estático para el periodo 1977–1990, mostró un abatimiento promedio de 0.3 m anuales, y de 1.1 m en la desembocadura del Cañón de San Vicente.

Para 1997 se recuperaron los niveles estáticos en el Ejido Eréndira, logrando un retroceso del frente de intrusión marina, comprobado con el muestreo de agua en la zona costera que mostró menor concentración de sales.

El análisis de la piezometría histórica refleja el típico comportamiento de los acuíferos costeros restringidos a las llanuras de inundación de ríos y la planicie costera, en el que las variaciones en el nivel del agua subterránea son producto de la alternancia de periodos de estiaje o de lluvias extraordinarias.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS SAN VICENTE Y SAN TELMO, EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA. 2010, realizado por la Universidad Autónoma de Baja California para la Comisión Nacional del Agua.

Este estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico y el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, para contar con información necesaria que permita 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, toma de muestra de agua para análisis fisicoquímicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

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 porción oriental 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 mejor exposición de esta subprovincia está representada por las sierras Juárez, San Felipe y San Pedro Mártir. Esta última, con una elevación máxima de 3,078 msnm en el cerro Pico del Diablo.

Se reconoce una gran variedad de tipos litológicos, estructuras y geoformas del relieve. Por ejemplo, las rocas calizas que afloran en la región muestran una gran resistencia a la erosión, que en ocasiones forman lomeríos y escarpes escalonados de diferentes alturas, mientras que las rocas intrusivas forman grandes montañas con cañones profundos y estrechos.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por E. García (1964), para las condiciones de la República Mexicana, los climas presentes en el área son muy áridos o secos BW (con lluvias en verano, invierno y escasas todo el año), subtipos muy secos, muy cálidos y cálidos: BW (h') hw (x'); Secos BSo (con lluvias en invierno), subtipos secos mediterráneos templados: BSKs y BSKs (x'); así como climas templados C, subtipos con lluvia invernal (Cs). Para el análisis estadístico de las variables climatológicas se utilizaron los registros de la estación San Vicente para el periodo 1948-2006. Los valores promedio anuales de precipitación y temperatura son de 173 mm y 17.4 °C, respectivamente; en tanto que la evaporación potencial promedio es de 1,618 mm anuales. Las mayores precipitaciones se registran en el periodo diciembre a marzo; la temperatura muestra valores extremos de 40 y 4 °C

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 1, "Baja California Noroeste", dentro de la cuenca del arroyo San Vicente también llamado San Isidro, la cual drena un área de 1954 km².

El arroyo San Vicente nace en la sierra de San Pedro Mártir a una elevación aproximada de 1500 metros sobre el nivel del mar, el dren principal tiene una longitud de 60 Km., hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, tiene una trayectoria general este-oeste y a partir de su nacimiento se integran a él varios arroyos, entre los más importantes destacan San José, El Calvario, San Jacinto y Guadalupe, en su porción final.

3.4 Geomorfología

Morfológicamente el área correspondiente al acuífero presenta una variación de relieve, en el que se pueden observar valles, cañadas, cerros, cañones y sierras. El área presenta una morfología de tipo montañoso, con una elevación máxima de 1500 msnm.

El relieve de tipo montañoso es predominante aunque también existen zonas de baja altitud y valles costeros en donde están asentadas las poblaciones San Vicente y Eréndira.

La topografía es accidentada, sólo interrumpida por las cañadas que tienen orientación preferencial NW-SE, que coincide con la presencia de rasgos estructurales regionales. El tipo de drenaje que se observa a lo largo del acuífero varía de subdendrítico a paralelo, en la parte alta del acuífero, mientras que en la zona cercana a la costa el drenaje es de tipo dendrítico bien marcado.

4. GEOLOGÍA

Desde el punto de vista geológico, el acuífero está constituido principalmente por rocas volcánicas, metamórficas (gneis y esquistos) y sedimentarias. Sobresalen por la extensión de sus afloramientos las rocas intrusivas de composición ácida (tonalita) y en menor proporción basaltos y andesitas basálticas, riolitas y dacitas (figura 2).

Los depósitos aluviales y fluviales producto de la desintegración de las rocas ígneas y sedimentarias que rodean el cauce, están constituidos principalmente por gravas arenas y limos; que conforman el acuífero.

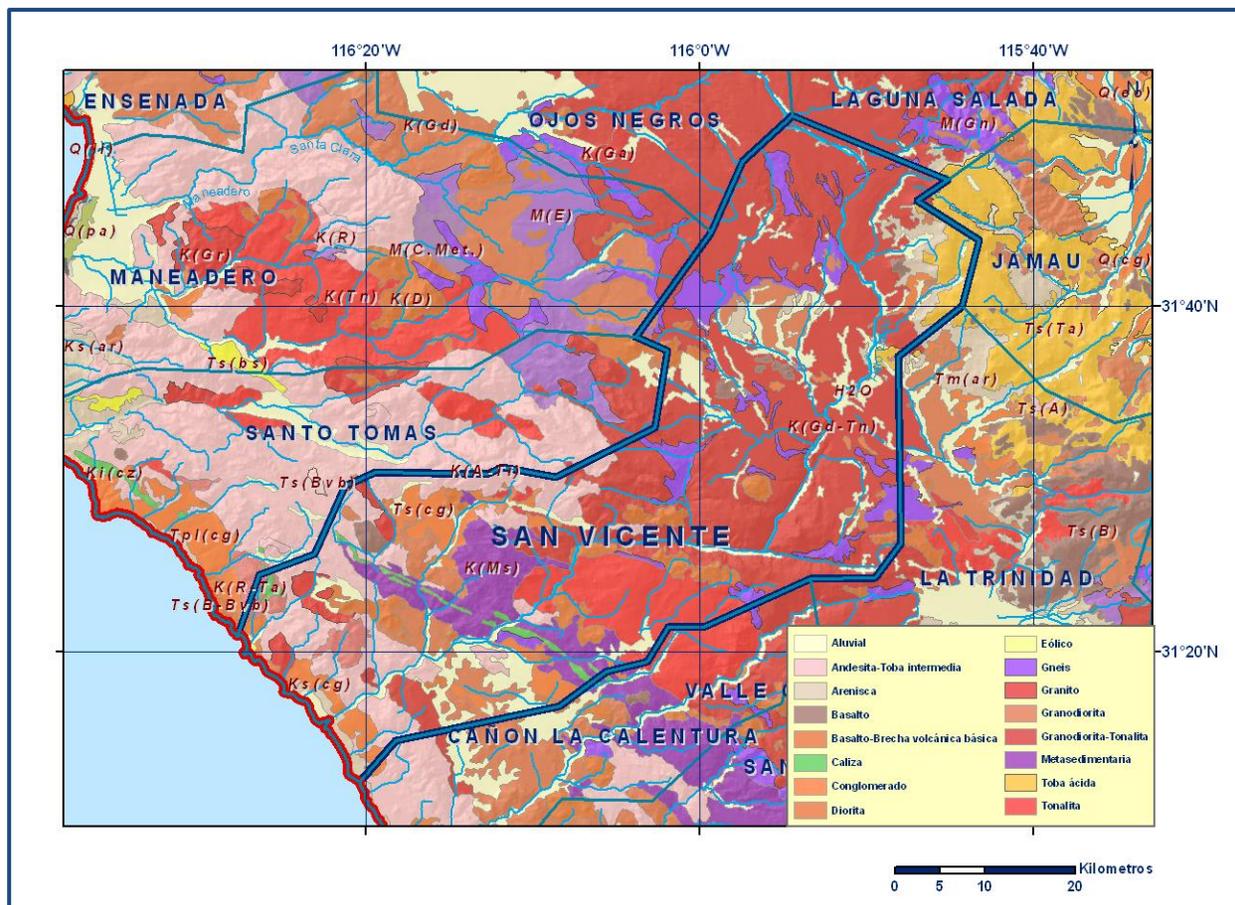


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En el área afloran rocas cuya edad varía del Paleozoico al Reciente. El Paleozoico está representado por rocas sedimentarias marinas con metamorfismo regional, las rocas del Mesozoico que afloran predominantemente corresponden a intrusivos de composición ácida e intermedia así rocas sedimentarias marinas que manifiestan metamorfismo regional de bajo grado.

Formación Alisitos (Kas). Secuencia vulcanosedimentaria que en el área consta de cuatro miembros, de abajo hacia arriba: Tobas en capas delgadas con Sills de diorita, Calizas y Areniscas, Rocas volcánicas y vulcanoclásticas de composición intermedia; y en la parte superior consiste de calizas biógenas que hacia la cima se interdigitan con rocas volcánicas de composición intermedia.

Consiste en interestratificaciones de rocas calcáreas y derrames de composición dacítico-riolítica.

Las calizas se presentan en estratos masivos a delgados, predominando estos últimos, de color gris oscuro a claro, con lentes de limolita calcárea y bajo contenido de arcillas. La caliza está silicificada y presenta un bajo grado de metamorfismo.

Su fracturamiento es intenso y en algunas áreas tiene aspecto lajoso. La unidad calcárea está interestratificada también con tobas líticas de composición ácida. En las áreas cercanas al cuerpo intrusivo presenta aureola de metamorfismo. En los alrededores del Arroyo Santo Domingo y hacia el norte y sur del área, se encuentra una secuencia metasedimentaria formada por pizarras, esquistos, meta-areniscas, meta-conglomerados, calizas y mármol, afectada por diques andesíticos o fuertemente plegada.

Formación Rosario (Kr). Está formada por paquetes de lutitas, areniscas y conglomerados con presencia de fósiles de origen continental y marino. Se presenta poco consolidada, descansando en discordancia angular sobre la Formación Alisitos, formando el tercer cinturón (postbatolítico), y cuyo límite oriental es la denominada “Línea Santillana-Barrera” (Gastil *et al*, 1975), que representa una línea de costa fluctuante que marca el límite de dos eventos tectónicos.

Tiene un espesor aproximado de más de 750 m y su edad corresponde al Maestrichtiano.

Sus principales afloramientos se localizan sobre la costa del Pacífico.

Formación Bedford Canyon (KsGd - Tn). La integran un conjunto de bloques caóticos empastados en una masa arcillosa, de calizas del Jurásico Medio al Tardío, que presenta fósiles de varias especies de amonoideos que tienen afinidad al Sur. Con base en la similitud litológica al complejo Franciscano y por analogía de la Formación Valle Frechman así como la del Esquisto Julián, han sido interpretados como trincheras o depósitos trinchera-talud.

Los ambientes de cuenca, forearc y backarc (Retro-arco y Ante-arco) respectivamente, son también sus posibles ambientes de depósito (Todd, 1988). La parte oriental está intrusionada por granitoides fuertemente deformados de edad Jurásico Medio.

Formación San Diego (Plc). Sobreyace a la Formación Rosarito Beach y en discordancia con la Formación Linda Vista; está formada por conglomerados y con intercalaciones de areniscas de matriz café a rojiza, presenta además sedimentos fluviales, depositados en los lechos de los ríos, y coluviales asociados a pendientes fuertes y aluviones debido a movimientos de ladera.

Rocas volcánicas del Cretácico (KsD). Pertenecen a dos probables períodos de vulcanismo que conforman la Sierra Las Pintas.

El primero generó andesitas y dacitas andesíticas que afloran en la porción centro-norte, su edad varía entre 7.6 a 9.5 \pm 1.0 Ma (Gastil, 1975). Estas rocas se encuentran afectadas por pequeños cuerpos intrusivos hipabisales de tipo porfídico y de composición andesítica y riodacítica.

El segundo período de vulcanismo generó derrames de riolitas andesíticas y tobas riolíticas, que afloran en la misma porción que las rocas volcánicas anteriores. Su espesor es de más de 1500 m, sobreyacen a rocas metamórficas paleozoicas y graníticas cretácicas (Leie-Hangel-Hardt, 1993); además, presentan discordancias internas y bloques basculados que sugieren que este centro volcánico fue deformado tectónicamente.

Sobreyaciendo concordantemente a esta secuencia y discordantemente a las unidades paleozoicas y mesozoicas, se encuentra la unidad de basaltos de edad Mioceno Tardío.

Unidad Eólica (Qhoal). Está integrada por arenas de granos finos a medio, bien redondeados y clasificados, producto de la erosión de rocas ígneas y metamórficas; presenta fragmentos de moluscos.

Se localizan en las zonas costeras y en algunos valles, presentando escasos metros de espesor, formando dunas con orientación paralela a la línea de costa.

Aluvión (Qal). Está representada por los depósitos aluviales recientes de granulometría variada (gravas, arenas, arcillas y limos), producto de la desintegración de rocas preexistentes, 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.

4.2 Geología estructural

La deformación dúctil se presenta principalmente en las rocas metasedimentarias del Triásico Superior-Jurásico Medio y en los metasedimentos de la Formación Alisitos, la foliación dominante presenta un rumbo NW y en ocasiones al NE, con echados desde 30° a 80° al SW como NW, presentan esquistosidad paralela a la estratificación.

En los metasedimentos la foliación regional presenta un rumbo NW con echados desde 30° a 60° tanto al SW como NW, con esquistosidad paralela a su estratificación.

La deformación es producida por esfuerzos compresivos de la Orogenia Oregoniana (finales del Albiano) que afectaron a las rocas metasedimentarias; está evidenciada por micro-plegamientos, anticlinales y sinclinales cerrados; en las rocas del Grupo Alisitos se presentan dos fases distintas de plegamientos, en la primera se tienen sinclinales cerrados y recostados de dimensiones locales, en la segunda se originan sinclinales y anticlinales de dimensiones regionales, con presencia de fallas.

La deformación frágil se presenta en toda el área, producida por una tectónica de distensión que ha originado estructuras tipo cuencas.

Las estructuras más sobresalientes son dos fallas de rumbo con desplazamiento lateral derecho: Agua Blanca y Santo Tomás, con rumbo noroeste y longitudes de 78 a 35 km.

Se reconocieron otras estructuras de fallas normales, unas con rumbo NE, representada por las fallas Ensenada, Colonet, San Rafael; otras con rumbo NW, como la falla Tres Hermanos y las fallas de rumbo Puerto Blanco y Peralta, con longitudes de 15 a 30 km. Estas estructuras han afectado tanto a las rocas metamórficas volcánicas y sedimentarias mesozoicas, así como a los sedimentos y depósitos volcánicos del Paleógeno-Neógeno.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con los sondeos geofísicos realizados en el 2001 en el Ejido, se identificaron cinco unidades geoelectricas identificadas de acuerdo a sus valores de resistividad, la primera se refiere al estrato superficial el cual tiene un espesor de 1 a 3 m, se refiere a arenas y gravillas de permeabilidad variable.

La segunda unidad tiene un espesor de 4 a 25 m, asociado a un paquete de arenas finas a gruesas de buena permeabilidad y situadas por encima del nivel estático. La tercera unidad tiene un espesor de 17 a 25 m, se relaciona a un horizonte de arenas saturadas con buena permeabilidad. La cuarta unidad tiene un espesor de 0 - 80 m y corresponde a un depósito de arcillas. Finalmente la quinta unidad con un espesor indefinido, se refiere al basamento de la zona, basaltos con alto grado de fracturamiento. Las unidades hidrogeológicas identificadas son las siguientes:

Unidad impermeable: Se encuentra constituida por rocas metamórficas (pizarras y esquistos), ígneas intrusivas y extrusivas ácidas, así como tobas y calizas.

Unidad semipermeable: Está constituida por conglomerados y areniscas semicompactas que contienen sedimentos arcillosos. Aflora en las partes bajas sobreyaciendo a las rocas intrusivas y extrusivas.

Unidad permeable: Se constituye de gravas, arenas y arcillas, depositados en la parte baja por las corrientes, principalmente en el arroyo San Vicente.

De acuerdo con los registros geofísicos y la geología, es posible afirmar que el acuífero está constituido, en su porción superior, por depósitos aluviales y conglomerados, que se restringen al cauce de los arroyos y la planicie costera; en tanto que la porción inferior se aloja en areniscas y conglomerados que presentan fracturamiento.

Los sedimentos aluviales son los que actualmente se explotan recibiendo la recarga de los escurrimientos de los arroyos. Fuera del cauce de los arroyos existen suelos residuales constituidos por arenas, que debido a su reducido espesor, solo son explotados mediante norias y en algunos casos como en el Ejido López Rayón, por pozos de bajo rendimiento.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo **libre** conformado por depósitos aluviales, conglomerados y areniscas, que presenta condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes arcillosos, que se restringe al cauce de los arroyos y la planicie costera.

Estos materiales sobreyacen a las rocas ígneas intrusivas y extrusivas, así como a las de origen metamórfico que constituyen el basamento y fronteras laterales del acuífero. Localmente las rocas volcánicas fracturadas presentan condiciones favorables para el almacenamiento del agua subterránea.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se ejecutaron 8 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 24 a 72 horas.

De los resultados de su interpretación por diferentes métodos analíticos convencionales (Theis, Neuman, Hantush), se determina que los valores de transmisividad varían de 2.52 a $1.44 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con un promedio de $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. 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 acuífero San Vicente se cuenta con información histórica de mediciones piezométricas, que corresponden a los años 1990, 2007 y 2010.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en 1990 presentaba valores que variaron entre 1.40 y 17.4 m, las mayores profundidades se presentan en el Ejido López Rayón. Para 2007, los valores oscilaban entre 2.0 y 38.0 m, registrándose los valores más profundos en la porción sur del Ejido López Rayón y en la comunidad Buenos Aires.

La configuración de profundidad al nivel estático para 2010, mostrada en la figura 3, presenta valores que varían de 24 m, que se registran en las estribaciones de las sierras que delimitan los cauces de los ríos y arroyos, hasta 1 m en los alrededores del poblado Eréndira, en la zona costera. Los valores aumentan hacia las zonas topográficamente más altas.

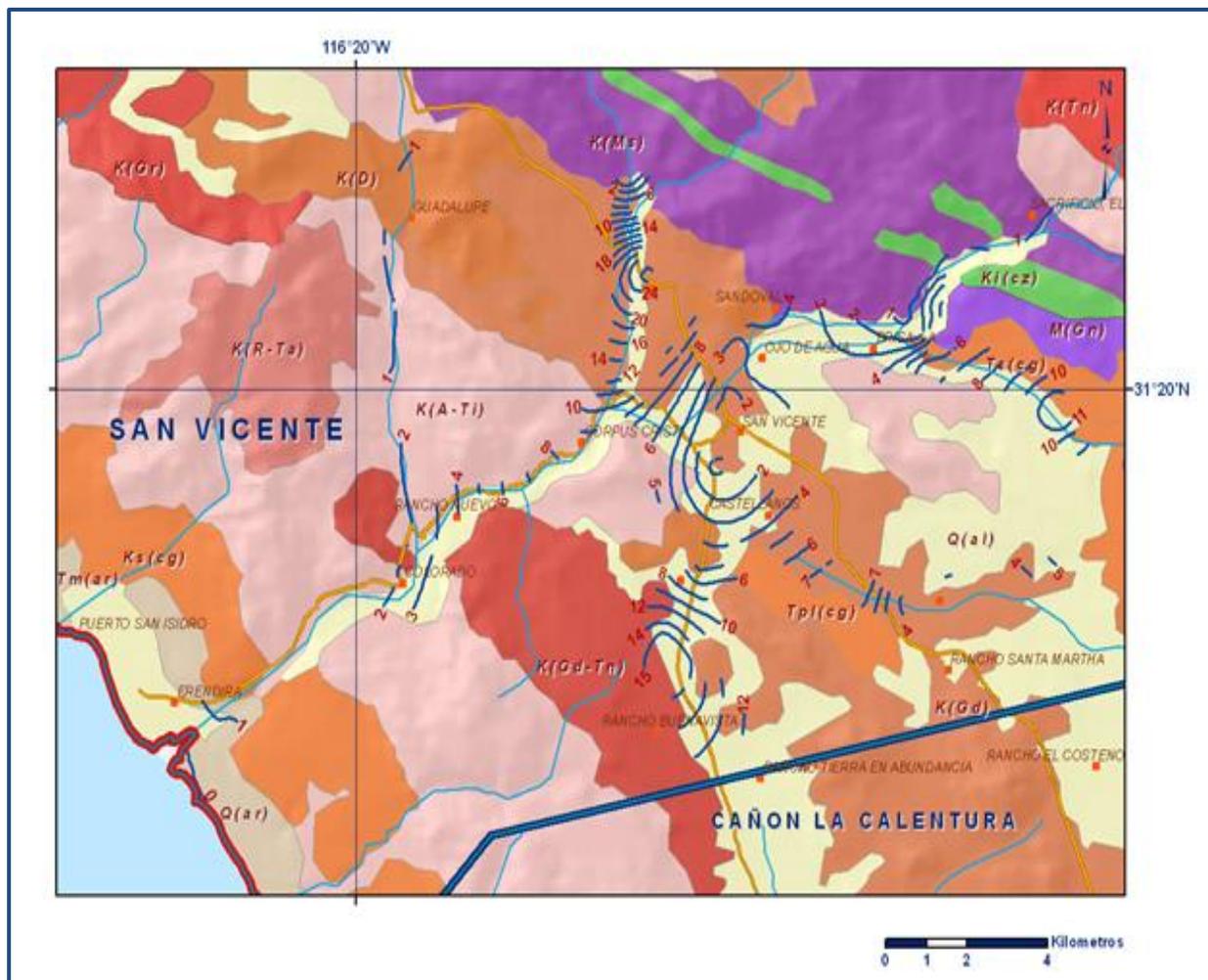


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2010)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Los valores de la elevación del nivel estático, al igual que los de profundidad, muestran el efecto de la topografía. En 1990 variaron entre algunos centímetros y 157 msnm, sólo un aprovechamiento registró un valor de 0.40 msnm.

Para 2007 se registraron valores de 0.1 a 145 m; en tanto que para el 2010 la configuración de elevación del nivel estático (figura 4) muestra valores que oscilan entre 10 y 140 msnm, disminuyendo gradualmente desde las zonas topográficamente más altas, a lo largo del cauce de los arroyos tributarios del arroyo San Vicente, para después continuar descendiendo hacia la costa.

La dirección preferencial del flujo subterráneo es este-oeste, paralela a la dirección de escurrimiento del arroyo San Vicente.

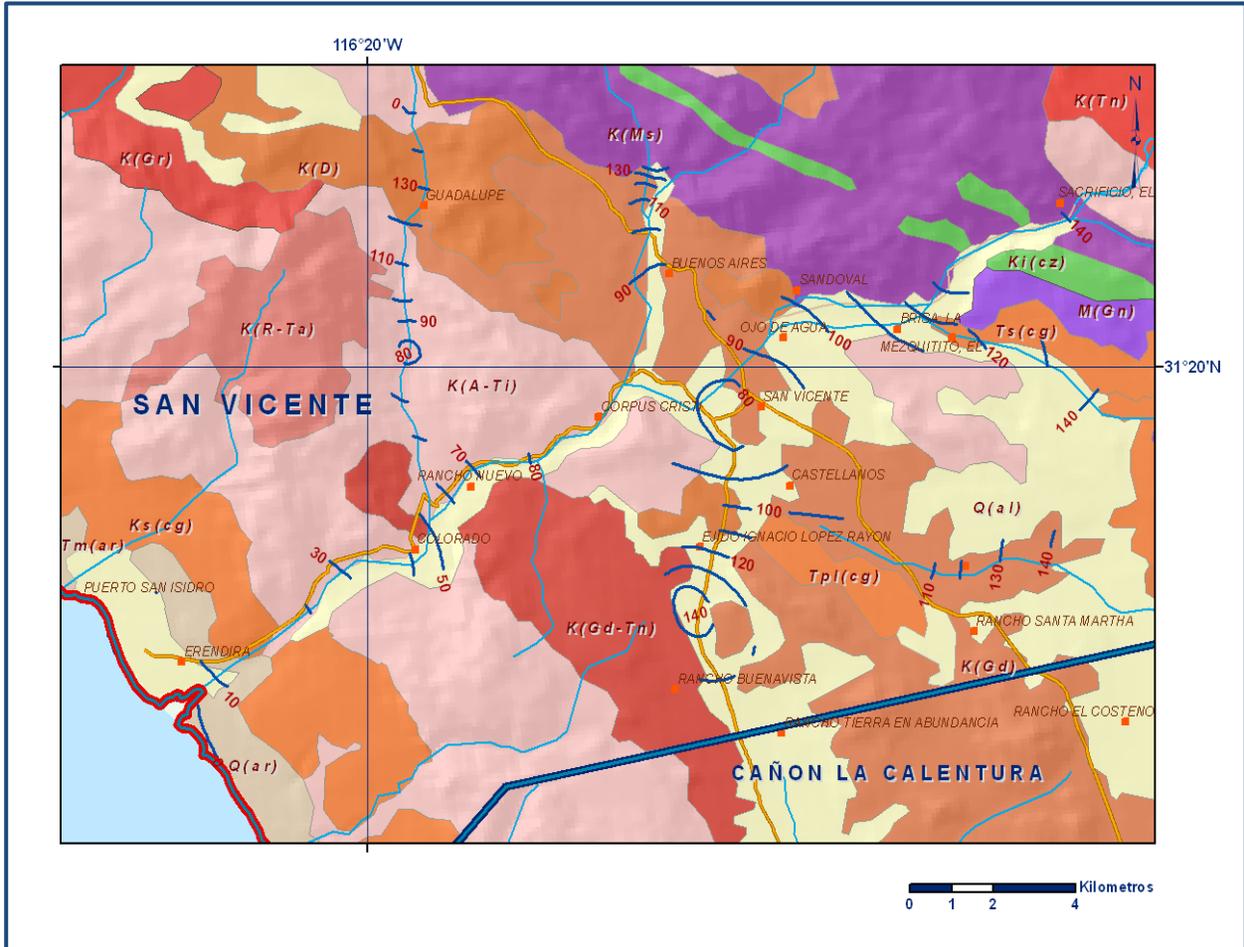


Figura 4. Elevación del nivel estático (msnm), 2010

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, para el periodo 1990-2007, se registraron valores tanto positivos como negativos.

Las recuperaciones, de 0.1 a 6.5, se registraron en la parte baja de la zona de explotación; en tanto que los abatimientos, de hasta 30 m, se presentaron en el Ejido Ignacio López Rayón, zona en la que el abatimiento medio anual fue de 1.5 m.

Para el periodo 2007-2010 (figura 5), de manera general, se registraron recuperaciones de 0.5 a 1.5 m anuales en casi toda la superficie de explotación, salvo en las zonas de los Ejidos Eréndira e Ignacio López Rayón, donde los abatimientos fueron mínimos.

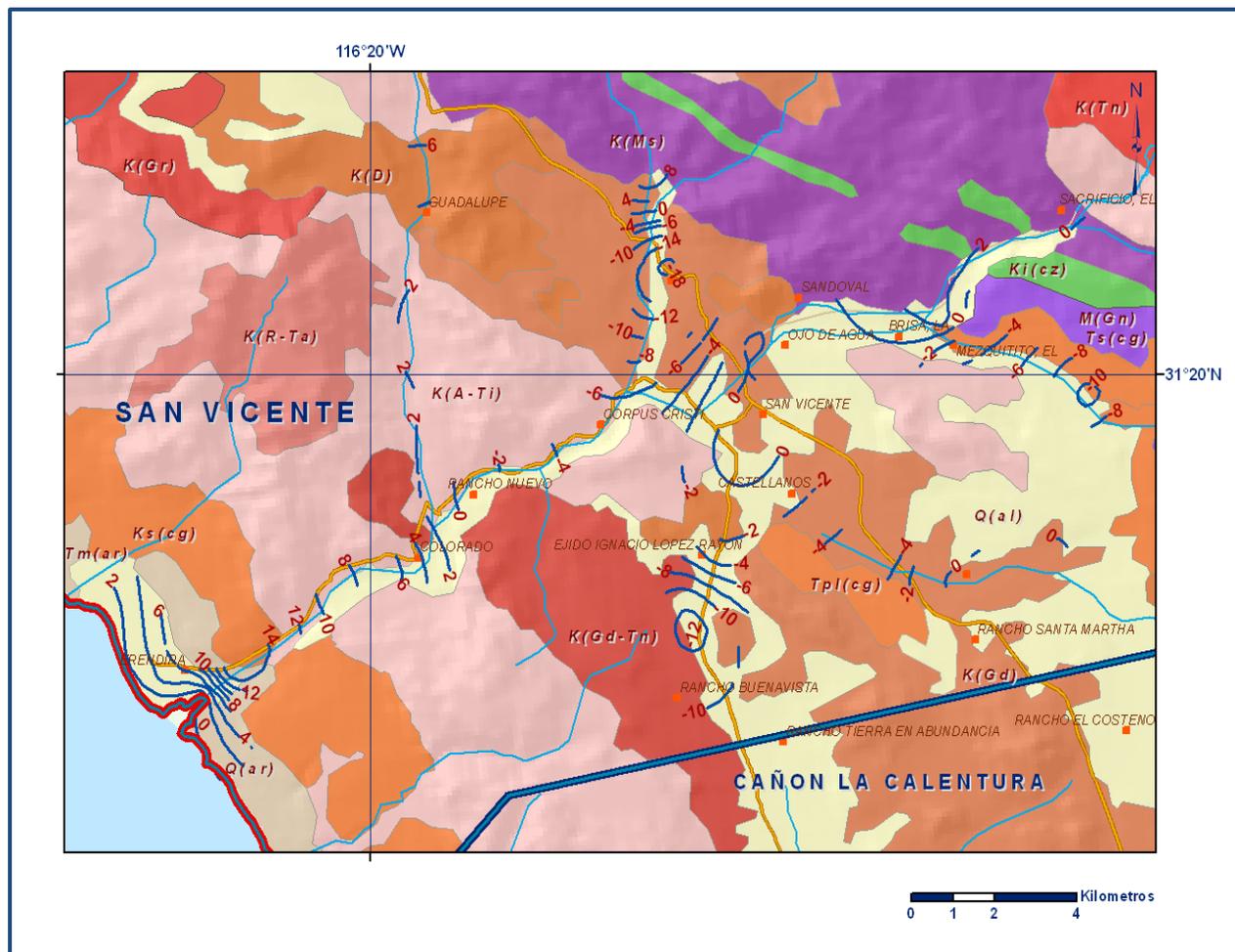


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (2007-2010)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, se recolectaron en total 10 muestras de aguas subterráneas en pozos representativos 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, coliformes fecales y totales, manganeso, arsénico, boro y litio entre otros.

En la zona alta y media del acuífero las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece 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., para los diferentes usos. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 210 a 4000 mg/l, solamente en la zona costera del ejido Eréndira la salinidad alcanza valores del orden de los 4,000 mg/l.

De manera general, las concentraciones de STD y demás constituyentes químicos disueltos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles que establece la norma.

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 (S1), 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 principales familias del agua 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. Sólo en la zona costera del Ejido Eréndira se presenta agua de la familia sódico-clorurada.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado por la Comisión Nacional del Agua en 2005, existen 723 aprovechamientos, de los cuales 450 son norias, 236 pozos y 37 tajos.

El volumen de extracción estimado es de **20.2 hm³/año**, de los cuales el 16.3 hm³ (80.7%) se destinan para uso agrícola, 1.8 hm³ para uso doméstico (8.9%), 1.3 hm³ (6.4%) para uso pecuario y 0.8 hm³ (4.0%) para uso público urbano.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2007-2010, en un área de 70 km² del acuífero 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 masa es la siguiente:

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

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:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R_t) ocurre por dos procesos naturales principales: infiltración de agua de lluvia en el valle, que se considera como recarga vertical y a través de los cauces de los arroyos (R_v), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola (R_r), 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 (R_i).

Para este caso, dado que no existen poblaciones importantes, sólo se considera la recarga por retornos de riego.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña. 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:

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

Donde:

Eh: Entrada por flujo subterráneo horizontal

Rv: Recarga vertical

Ri: Recarga Inducida

B: Bombeo

Sh: Salida por flujo subterráneo horizontal

ETR: Evapotranspiración

$\Delta V(S)$: Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

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 piedemonte, para posteriormente 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 y 2009, mostrados en la figura 4. Con base en las configuraciones 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:

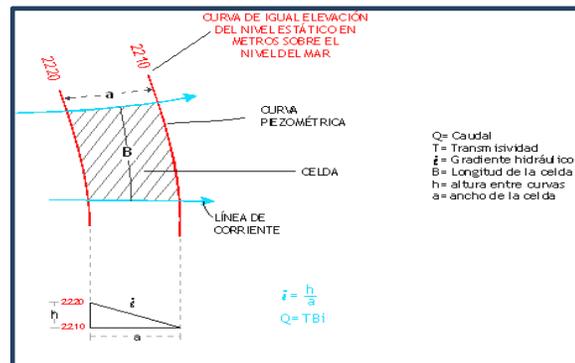
$$Q = B * i * T$$

Donde:

B: Largo del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico

T: Transmisividad en el canal de flujo



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos.

En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **6.4 hm³/año**.

Tabla 2. Estimación del volumen de entradas por flujo subterráneo 2010

CELDA	T (m ² /s)	B (m)	i	Q (m ³ /s)	VOL. ANUAL (hm ³)
ENTRADAS HORIZONTALES					
E ₁	0.00216	1633.5	0.007	0.0247	0.8
E ₂	0.0018	1250	0.008	0.0180	0.6
E ₃	0.0018	915.5	0.006	0.0099	0.3
E ₄	0.00252	1587	0.022	0.0880	2.8
E ₅	0.00216	1122.5	0.01	0.0242	0.8
E ₆	0.00144	2047.5	0.007	0.0206	0.7
E ₇	0.00144	1214	0.008	0.0140	0.4

7.1.3 Recarga inducida (Ri)

Estudios en la zona desértica de Nevada indican que entre el 8 y el 16% del agua de retorno alcanza las zonas asociadas con el acuífero (Stonestrom et al., 2003). Por otro lado, en el acuífero vecino Guadalupe se ha estimado que aproximadamente el 12% del volumen del agua de riego retorna al acuífero mediante el proceso de percolación profunda.

De los 16.3 hm³ anuales que se destinan al uso agrícola, 11.2 hm³ utilizan riego tecnificado, por lo no existe que la recarga por excedentes. Al tomar considerar un coeficiente de infiltración de 12% para los 5.2 hm³ anuales que se utilizan en la práctica de agricultura tradicional, resulta una recarga inducida de **0.6 hm³/año**.

7.2 Salidas

De acuerdo con el modelo conceptual definido, la descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ETR). No existen manantiales ni descargas de flujo base.

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **20.2 hm³ anuales**.

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 elevación del NE del año 2010, mostrada en la figura 4.

Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación, hacia el mar. El valor estimado para este año de análisis es de **0.1 hm³/año** y se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Estimación del volumen de salidas por flujo subterráneo, 2010

Celda	T (m ² /s)	B (m)	i	Q (m ³ /s)	Vol. Anua (hm ³)
SALIDAS HORIZONTALES					
S ₁	0.00144	474	0.003	0.00204768	0.06

7.2.3 Evapotranspiración (ETR)

Esta componente está representada por la descarga de un acuífero a la atmósfera y tiene lugar por evaporación directa del agua freática somera o bien por la transpiración de la flora, que en esta zona no es significativa por el tipo de vegetación que existe. Debido a que los valores de precipitación media anual son muy bajos, no se pueden aplicar los métodos empíricos Turc o el de Smith, ya que en ambos son válidos para precipitaciones mayores a 320 y 300 mm respectivamente.

El fenómeno presente en el área es la evaporación directa del agua freática somera, debido a la ausencia de cobertura vegetal. Para la observación del comportamiento del fenómeno de evapotranspiración se considera el tanque evaporímetro expresado como un porcentaje de evapotranspiración, donde la evaporación es comparativamente más alta, en los niveles freáticos < 100 cm de la superficie del suelo, posteriormente disminuye hasta hacerse despreciable, para las zonas donde los niveles freáticos son > 300 cm, según White citado por Keith (1973) figura 6.

De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno (profundidad al NE menor a 3 m, dentro del área de balance) por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial media en las estaciones climatológicas vecinas (1618 mm obtenido en la estación San Vicente).

El valor de esa fracción varía entre un máximo de uno, cuando el nivel freático aflora, y cero cuando éste se halla a profundidades mayores a la altura de la franja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático. De la figura 6 se deduce que para una profundidad al NE de 2 m (80 pulgadas) el % de evaporación es del 2%.

Considerando una superficie promedio de 40 km² de la porción costera del acuífero, donde la PNE es menor a los 2 m, y un 2% de la evaporación potencial, la evaporación es del orden de los **1.3 hm³**.

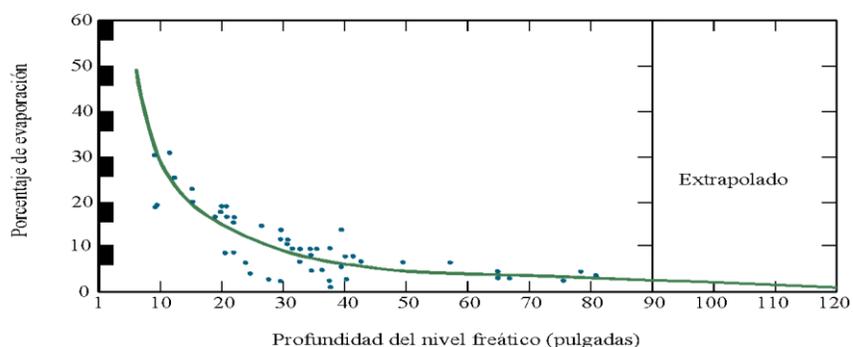


Figura 6. Evaporación del agua subterránea expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático según White.

Evaporación potencial media anual (m)	Área (km ²)	% de la Evaporación Potencial	Volumen de Evaporación (hm ³ /año)
1.618	40.0	0.02	1.3

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV)

El cambio de almacenamiento se estimó a partir de la configuración de evolución del nivel estático para periodo 2007-2010, mostrada en la figura 5.

El cambio en el volumen almacenado (ΔV) fue de 956 hm^3 , que multiplicado por el coeficiente almacenamiento (S_y) estimado de 0.02, se obtiene un valor de 19.1 hm^3 , que equivale a un promedio anual **$6.4 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

Solución de la ecuación de balance

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

$$R_v = B + S_h + ETR - E_h - R_i \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

Sustituyendo valores:

$$R_v = 20.2 + 0.1 + 1.3 - 6.4 - 0.6 + 6.4$$
$$R_v = 21.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = R_v + E_h + R_i$$
$$R = 21 + 6.4 + 0.6$$
$$R = 28.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales.}$$

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:

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

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 **28.0 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero San Vicente, la descarga natural comprometida es de 1.4 hm³, de los cuales 0.1 hm³ corresponden a las salidas por flujo subterráneo hacia el mar y 1.3 hm³ a las salidas por evapotranspiración. Por lo tanto **DNC = 1.4 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 (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 **23,350,562 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 28.0 - 1.4 - 23.350562 \\ \text{DMA} &= 3.249438 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **3,249,438 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Península de Baja California, 1997. Análisis piezométrico en la Zona del Ejido Eréndira, San Vicente, B.C.

Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal en Baja California. Departamento de Control de Sistemas Hidrológicos. Jefatura de Unidad de Aguas Subterráneas, 1990. Estudio de Actualización Piezométrica y Geoquímica del Valle de San Vicente, Municipio de Ensenada, B. C.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1977. Estudios Geohidrológico del Valle de San Vicente, estado de Baja California Norte. Realizado por la Empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A.