CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO MELITÓN ALBAÑEZ (0310), ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES 2
Antecedentes 2
1.1 Localización 2
1.2 Situación Administrativa del acuífero 4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD 4
3. FISIOGRAFÍA 6
3.1 Provincia Fisiográfica 6
3.2 Clima 6
3.3 Hidrografía 6
3.4 Geomorfología 7
4. GEOLOGÍA 7
4.1 Estratigrafía 8
4.2 Geología Estructural 10
4.3 Geología del subsuelo 11
5. HIDROGEOLOGÍA 12
5.1 Tipo de acuífero 12
5.2 Parámetros hidráulicos 12
5.3 Piezometría 13
5.4 Comportamiento hidráulico 13
5.4.1 Profundidad al nivel estático 13
5.4.2 Elevación del nivel estático 14
5.4.3 Evolución del nivel estático 15
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea 15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 16
7.1 Entradas 17
7.1.1 Recarga vertical (Rv) 17
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) 18
7.2 Salidas 19
7.2.1 Evapotranspiración (ETR) 19
7.2.2 Bombeo (B) 21
7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) 21
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS) 21
8. DISPONIBILIDAD 22
8.1 Recarga total media anual (R) 23
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 23
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 23
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 24
9. BIBLIOGRAFÍA 25

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 Melitón Albañez, definido con la clave 0310 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroeste del estado de Baja California Sur, entre los paralelos 23°38' y 23°51' de latitud norte y los meridianos 110°22' a 110°38' de longitud oeste tiene una superficie aproximada de 360 km^2.

Colinda al norte y oeste con el acuífero El Conejo-Los Viejos, al noreste con la Paz, al este con el acuífero El Carrizal, todos ellos pertenecientes al estado de Baja California Sur y al sur con el Océano Pacifico (figura 1). Geopolíticamente se encuentra ubicado en el municipio de La Paz.

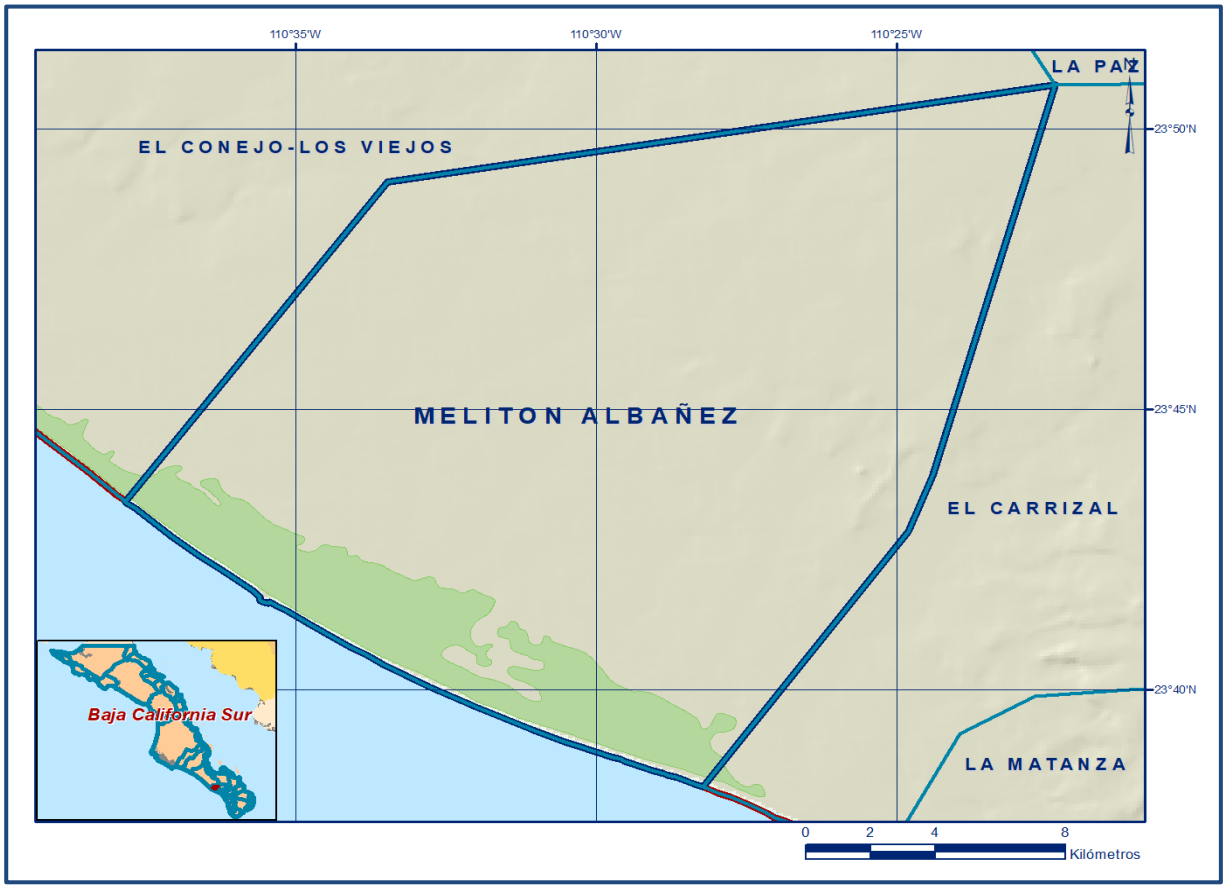


Figura 1. Localización del acuífero

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 0310 MELITON ALBAÑEZ							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	110	37	49.3	23	43	21.3	
2	110	33	27.8	23	49	2.6	
3	110	22	22.7	23	50	46.5	
4	110	24	24.4	23	43	49.5	
5	110	24	48.9	23	42	49.3	
6	110	28	14.0	23	38	16.3	DEL 6 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	110	37	49.3	23	43	21.3	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero "Melitón Albañez" pertenece al Organismo de Cuenca "Península de Baja California" y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Baja California Sur. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del *"Acuerdo que establece el Distrito Nacional de Riego de Baja California Sur, declarando de utilidad pública la construcción de las obras que lo forman."* publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 2 de julio de 1954 y por el *"Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la región meridional del Territorio Sur de Baja California"* publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de julio de 1954. Ambos decretos son de tipo III que permiten 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 usuario principal del agua es el agrícola. No existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el acuífero Melitón Albañez no se han realizado estudios geohidrológicos; sin embargo, el acuífero vecino al sur "El Carrizal" cuenta con algunos estudios que mencionamos a continuación:

ESTUDIO GEOFÍSICO EN LAS ZONAS DE LA PAZ, EL CARRIZAL, ARROYOS SAN JOSÉ DEL CABO Y SANTIAGO, EN EL TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Elaborado por la empresa GEOFIMEX, S.A. en 1971. Tuvo como objetivo definir la configuración del basamento para los valles de la Paz, Arroyo Cajoncitos y Arroyo San José del Cabo.

Para la zona de El Carrizal y Juan Márquez el objetivo fue localizar los niveles de salinidad del acuífero y en la zona del Arroyo Santiago informar sobre la estructura de los terrenos permeables o impermeables del subsuelo del valle. Los resultados obtenidos para El Carrizal sugieren la presencia de aguas salobres someras entre los 10 y 15 m de profundidad; en tanto que por debajo de los 30 y 40 m el agua contenida presenta buena calidad.

ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE LOS VALLES DE LA PAZ Y CARRIZAL, TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA. Elaborados por la empresa INGESA, Ingeniería y Geotecnia, S.A., en 1972 para la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Como parte de las actividades, se realizó la piezometría, censo de aprovechamientos, nivelación de brocales y muestreo de agua subterránea para análisis fisicoquímicos, cuya información permitió el planteamiento de un balance de aguas subterráneas preliminar para el periodo 1970-1972.

CENSO DE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEAS Y COLECCIÓN DE DATOS GEOHIDROLÓGICOS EN LA ZONA LA PAZ-EL CARRIZAL, B.C.S. Elaborado por la empresa ADI Construcciones, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 1997. El objetivo de este trabajo fue la actualización del conocimiento de las condiciones de funcionamiento de los acuíferos y, en particular, hacer un bosquejo de su geometría y fronteras con base en la información existente, así como actualizar el censo de captaciones de agua subterránea, la piezometría y aportar información hidrogeoquímica para el monitoreo y control permanente de la calidad del agua. De los resultados obtenidos en este estudio destaca que en los valles la calidad del agua es de tipo sódico clorurado, lo que se atribuyó a la abundancia de sedimentos marinos en el subsuelo que ocupa el acuífero del Valle de la Paz.

El contenido de sales varía dentro del rango de 430 hasta 3,900 ppm de STD y las concentraciones mayores de 1,000 ppm de STD, se registran en las llanuras costeras. Se determinó que los principales contaminantes corresponden a sales y diversos compuestos en solución derivados de las aguas excedentes del riego, así como de la aplicación de pesticidas y fertilizantes; contribuyen también los contaminantes orgánicos como inorgánicos que son acarreados por las aguas infiltradas en las zonas urbanas e industriales.

Reporta la existencia de una laguna de oxidación que se localiza entre la costa y el borde norte de la zona agrícola que aporta sus aguas para el riego de cultivos ubicados en la porción noroccidental del valle, y un relleno sanitario al oriente del valle, cercano a una de las baterías de pozos de agua potable que abastece a la ciudad de La Paz, que son fuentes potenciales de contaminación.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

La zona se encuentra localizada en la provincia fisiográfica conocida como llanura costera de Baja California, dentro de la subprovincia Purísima-Iray, la cual se caracteriza por la presencia de sierras de mediana altura en las que afloran sedimentos terciarios marinos y rellenos aluviales hacía las partes más bajas y planas.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de climas de Köppen, modificada por E. García (1964), el clima imperante dentro del área de estudio es del tipo BW (h') hw (x'), que corresponde a un clima muy seco o desértico, muy cálido y con régimen de lluvias en verano.

Para el análisis de las condiciones climáticas de la región, se analiza la información de la estación climatológica ubicada dentro de la localidad de El Rosario, con un registro de 47 años que comprende el periodo 1961-2007 ya que por su ubicación próxima a la línea de costa y colindante a dicho acuífero presenta condiciones similares. De acuerdo con los registros de dicha estación, se obtuvo un valor de precipitación media anual de 107 mm/año y la temperatura media anual de 20°C. En lo que respecta al valor de la evaporación potencial media, se obtuvo de la estación El Carrizal con un valor de 1,840 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 3, Baja California Suroeste (Magdalena). Forma parte de la Cuenca A, correspondiente a la vertiente que drena hacia el Océano Pacífico. El acuífero pertenece a la cuenca A "Arroyo Caracol - Arroyo Candelaria", que incluye a los acuíferos de toda la porción suroeste de BCS, desde Las Pocitas-San Hilario hasta Migriño, y continúa al sur, casi hasta llegar a Cabo San Lucas.

La región se caracteriza por presentar condiciones de régimen de lluvias en verano con valores bajos de precipitación y escasez natural del agua, que ocasionalmente se ven alteradas debido a la presencia de huracanes. En ambos casos, los escurrimientos superficiales son de tipo intermitente que generalmente desaparecen por infiltración hacia la planicie costera.

Los escurrimientos superficiales únicamente ocurren durante la temporada de lluvias. Existen numerosos arroyos de poca importancia que bajan de la sierra y se pierden en la planicie, como son: el Arroyo Los Bueyes, El Mezcaloso, El Tecolote, El Tesito, Arroyo de Boche, Copagui y el Arroyo Palos Amarillos. No existen estaciones hidrométricas, ni infraestructura hidráulica para el almacenamiento de las corrientes superficiales.

3.4 Geomorfología

Se distinguen 2 unidades geomorfológicas, (1) valles costeros y (2) lomeríos. Los valles tienen formas planas con ligera pendiente al mar, de dimensiones reducidas y drenaje denso de carácter intermitente, de tipo dendrítico y subdendrítico en los lomeríos y paralelo en los valles.

El valle en este acuífero tiene una longitud de 10 km y presenta una pendiente suave que inicia en la zona costera y termina a 100 msnm; en tanto que en la zona costera tiene una amplitud de 10 km.

Este acuífero presenta una franja costera orientada de noroeste a sureste, con una morfología de sierras bajas conformadas por areniscas y conglomerados, limitadas en su planicie costera por llanuras aluviales en cauces y arroyos, separados por lomeríos de conglomerados y en su zona costera por depósitos lacustres, en marismas y esteros interceptados por un lineamiento estructural de areniscas.

Todos estos materiales se depositaron en una posible depresión tectónica originada por fallas que tienen un fondo de materiales areno-arcillosos: areniscas y limonitas medianamente cementadas, intercaladas de capas arcillosas, conglomerados y horizontes fosilíferos, la parte superior es arcillosa impermeable, constituyendo los materiales de arenas y gravas, los receptáculos de agua subterránea, donde se forma el acuífero libre costero.

4. GEOLOGÍA

Los depósitos sedimentarios están constituidos por areniscas y limos de la Formación Salada de edad Mioceno Medio-Plioceno. Le sobreyacen discordantemente una serie de materiales semiconsolidados constituidos por limos y conglomerados del Pleistoceno, así como arenas, limos, conglomerados polimícticos, depósitos litorales y aluvión del Holoceno.

La columna geológica de la zona de estudio está constituida por rocas sedimentarias cuya edad corresponde al Cuaternario. La distribución de las diferentes unidades litológicas se presenta en la figura 2.

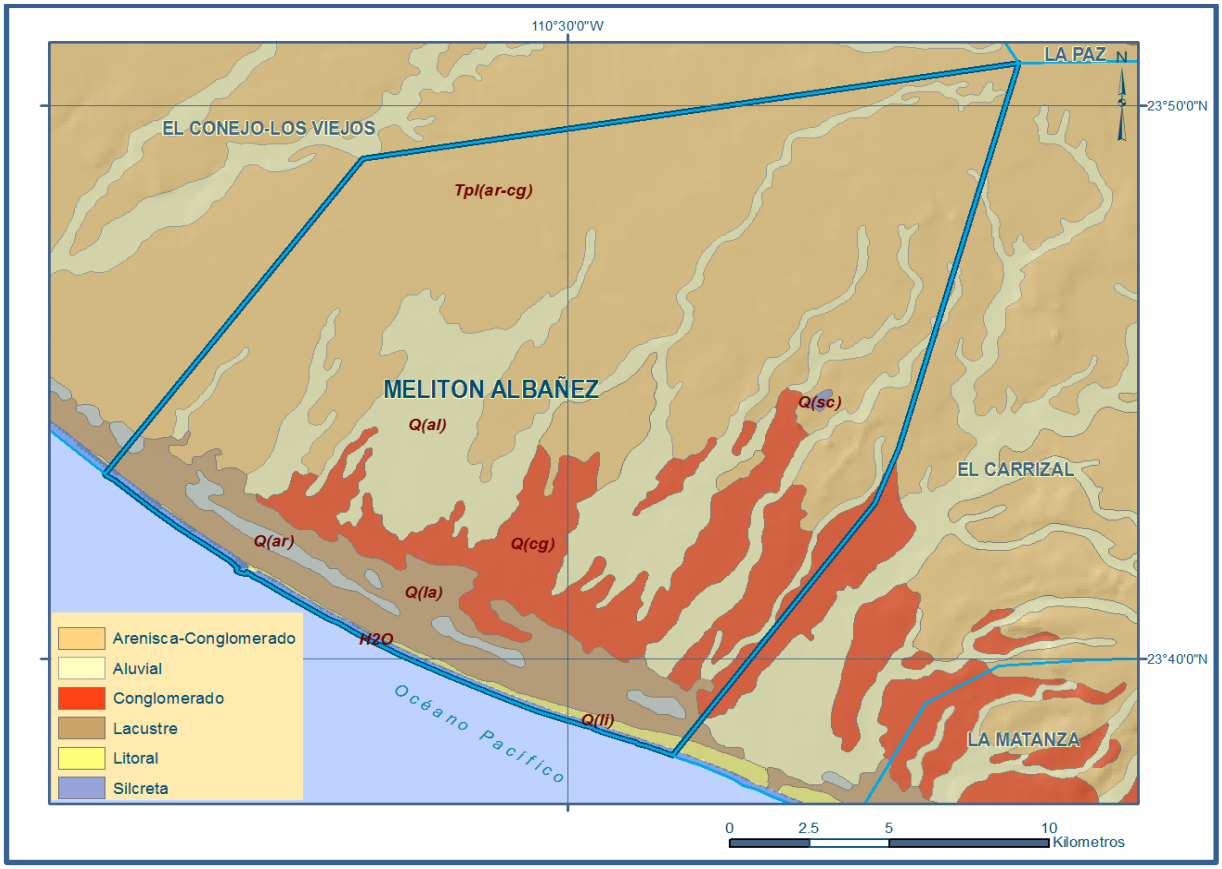


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En el área que comprende este acuífero afloran rocas de tipo sedimentario, pertenecientes a los periodos Cuaternario y Neógeno.

ARENISCAS. Roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Después de la lutita, es la roca sedimentaria más abundante y constituye cerca del 20 % de ellas. Afloran en la parte media y alta del acuífero, de coloración parda, constituidas por arenas de grano medio.

ARENISCA-CONGLOMERADO. Unidad constituida por arenas y gravas intercaladas; las arenas presentan una granulometría mediana a gruesa y su grado de redondez varía de subanguloso a subredondeado, constituidas por cuarzo y feldespato.

CONGLOMERADOS. Constituidos por gravas bien redondeadas que afloran al pie de los lomeríos conformados por arenisca y conglomerados.

Formación Salada. (Nombre propuesto por Heim en 1922, considerando su localidad tipo en el arroyo que lleva el mismo nombre y que se localiza a 1.5 Km. al NE del Rancho La Salada, consiste en areniscas de grano fino a grueso de color café y gris, así como conglomerados. El espesor medido por Heim es de 30 m. Los principales afloramientos de esta Formación se restringen a las porciones altas ubicadas en la porción sur occidental del área de estudio, en lo que corresponde al extremo sur de la Sierra Filos del Treinta y Cinco. Beal (1948).

Menciona que esta unidad está formada por areniscas de grano fino de color gris amarillento y calizas impuras, dentro de los materiales granulares es común la presencia de restos de fósiles marinos. Mina (1957) cita un espesor máximo probable de 500 m y finalmente Lozano en 1975, al norte de San Antonio mide un espesor de 80 m para esta formación.

El contacto inferior de esta Formación es de tipo discordante con la Formación Comondú, de igual manera el contacto superior con sedimentos continentales recientes se marca por medio de una discordancia erosional.

Las características litológicas de la unidad sugieren un ambiente de depósito asociado a zonas muy cercanas al mar, en donde las fluctuaciones del agua permitieron el depósito de materiales granulares. Se le asigna una edad correspondiente al Plioceno.

ALUVIAL. Este tipo de suelo está formado principalmente de aluviones, el cual es un material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua, que puede ser repentina y provocar inundaciones. Dicho material puede estar compuesto por arena, grava, arcilla o limo. Se acumula en los canales de las corrientes, en las planicies inundables y en los deltas.

DEPÓSITOS LACUSTRES. Materiales conformados por limos y arcillas depositados en un ambiente marino, donde prevalece baja energía del mar sobre la zona limítrofe de materiales fluviales provenientes de fuertes avenidas.

DEPÓSITOS DE LITORAL. Materiales arenosos generados por el proceso de oleaje del mar en las zonas de marismas y esteros, depositados en forma de barras que generan un ambiente marino de baja energía hacia el interior del litoral donde descarga el flujo subterráneo y superficial.

4.2 Geología Estructural

Desde el punto de vista estructural, la región está dominada por rasgos similares a los de la Península de Baja California y Golfo de California. Las estructuras principales son fallas normales con rumbo NW y echados al NE y SW y algunas componentes con rumbo NE-SW.

El aspecto estructural es complejo sobre todo en las inmediaciones de la Falla La Paz, donde existen varios periodos de deformación, entre los que están las fallas de bajo ángulo parcialmente cizalladas, con longitudes de hasta 5 km y espesores variables de 10 a 80 m.

La historia tectónica del Golfo de California y provincias peninsulares es muy compleja debido al hecho de estar ubicadas sobre una margen continental que ha sido afectada por varios procesos de convergencia y divergencia. Sin embargo, dos importantes eventos tectónicos regionales están expuestos en la región.

Uno corresponde a la Orogenia Laramide, responsable del movimiento compresivo producto del choque de la placa Farallón con la placa norteamericana, lo que dio origen a la intrusión de grandes masas ígneas (parte del Batolito Peninsular).

Un segundo evento tectónico se desarrolló del Mioceno Medio al Plioceno Temprano, cuando ocurrió la configuración del límite entre la placa Pacífica y la placa norteamericana, lo que dio origen a la formación de la Cuenca de California, por medio de movimientos oblicuos extensionales con orientación NW-SE, modelando de esta manera un relieve peninsular gobernado por bloques escalonados, con sensible basculamiento hacia el poniente y fallas laterales dextrales.

Este periodo es muy importante en la región, ya que se le asocia a la intrusión de estructuras tabulares de diferente composición.

4.3 Geología del subsuelo

La información de los cortes litológicos de pozos, las evidencias de campo y los sondeos eléctricos (2008), permiten definir que el acuífero se aloja en los sedimentos aluviales que han sido transportados por los escurrimientos superficiales y depositados en los cauces de los arroyos y en la planicie costera, constituidos por arenas y gravas que subyacen al aluvión, mezcla de arenas y gravas bien graduadas con algunos boleos, pobremente cementados y permeables.

Su espesor varía de 10 a 60 m y conforma un acuífero de baja capacidad de almacenamiento debido a sus reducidas dimensiones, tanto en la vertical como en planta.

El acuífero tiene como fronteras laterales y basamento los materiales de tipo areno arcillosos conformados por areniscas y limonitas medianamente cementadas, las capas arcillosas de la Formación Salada, conglomerados y horizontes fosilíferos.

En la figura 3 se muestra la sección geológica esquemática del acuífero Melitón Albañez, ubicada en la zona de mayor extracción, en donde fueron realizados los sondeos eléctricos verticales sobre el Arroyo El Carrizal.

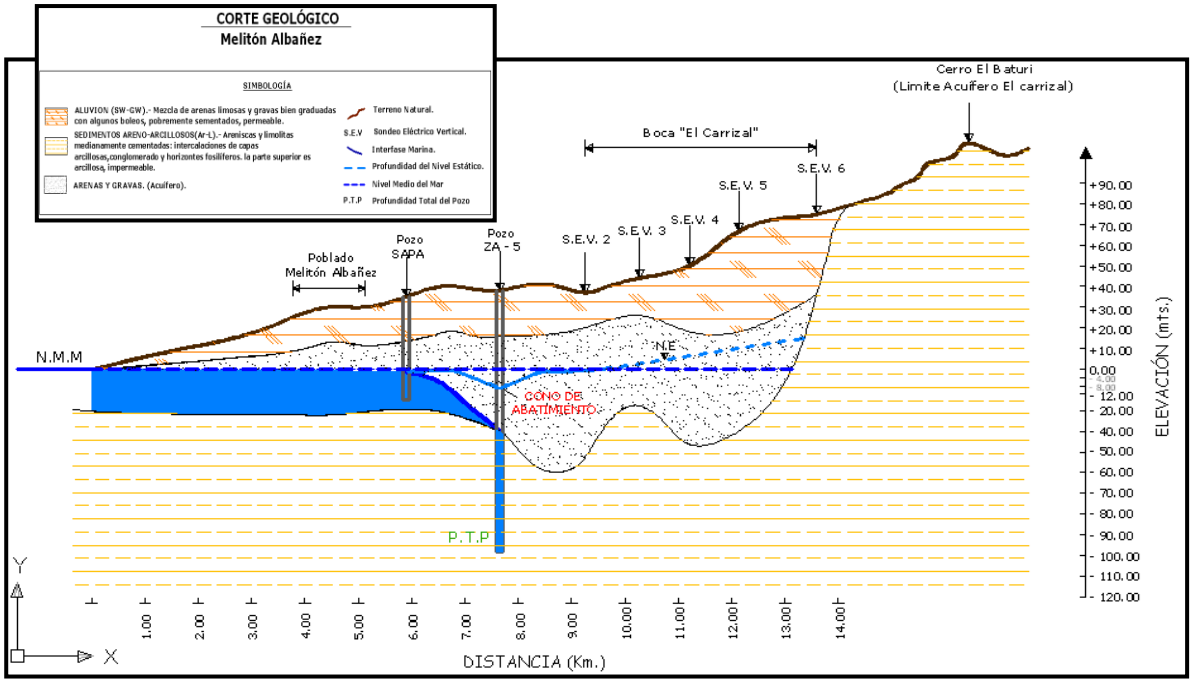


Figura 3. Sección Geológica Esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible identificar que el acuífero es de tipo libre y está constituido por sedimentos aluviales depositados tanto en los subálveos de los arroyos como en la planicie costera. Localmente se presentan condiciones de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes irregulares de materiales arcillosos.

La granulometría de estos materiales varía de gravas a arcillas y su espesor promedio fluctúa entre 10 y 60 m, conformando un acuífero de reducidas dimensiones y poca capacidad de almacenamiento.

La permeabilidad del acuífero es media a baja, dependiendo del contenido de sedimentos arcillosos.

La recarga que recibe el acuífero procede de la infiltración directa de la lluvia sobre el valle, así como por la infiltración del agua superficial que escurre a través de los arroyos intermitentes, durante las lluvias. La descarga se produce de manera natural por flujo subterráneo hacia el mar y por evapotranspiración en pequeñas zonas que presentan niveles freáticos someros; de manera artificial se efectúa por medio de la extracción que se lleva a cabo por medio de las captaciones.

Aunque el valor de la precipitación pluvial media anual es bajo, la presencia ocasional de los huracanes tiene un efecto muy importante sobre la recarga de los acuíferos, siendo evidente en muchos casos la rápida recuperación de los niveles del agua subterránea.

5.2 Parámetros hidráulicos

Para el caso de este acuífero, no existe información de los parámetros hidráulicos obtenidos a partir de pruebas de bombeo. Sin embargo, en el acuífero vecino al sur “El Carrizal” se han llevado a cabo 16 pruebas en estudios previos. Dado que la evolución geológica y la geología superficial y del subsuelo es la misma en esta porción del suroeste de Baja California, por correlación hidrogeológica podemos adoptar los valores obtenidos en “El Carrizal” y adaptarlos al espesor saturado promedio del acuífero Melitón Albañez.

Las pruebas de bombeo se realizaron tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, teniendo una duración de 12 horas en cada etapa. Sólo en una de las pruebas se contó con pozo de observación. Los valores promedio de transmisividad varían **2.0 a 10.0 x 10^{-3} m^2/s**; en tanto que el valor del coeficiente de almacenamiento (rendimiento específico) obtenido fue de 0.09.

5.3 Piezometría

Para el análisis piezométrico del acuífero Melitón Albañez se cuenta con la información recabada durante los "paros de bombeo", para el año 2008, principalmente en los pozos para uso agrícola, que se lleva a cabo al final del ciclo primavera - verano.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De la configuración de profundidad al nivel estático para el 2008 se observan valores de profundidad mayores en la zona donde se localiza la mayor concentración de aprovechamientos, de hasta los 60 m; y los valores descienden hacia la zona costera.

La dirección del flujo subterráneo presenta una trayectoria de noreste a suroeste (figura 4).

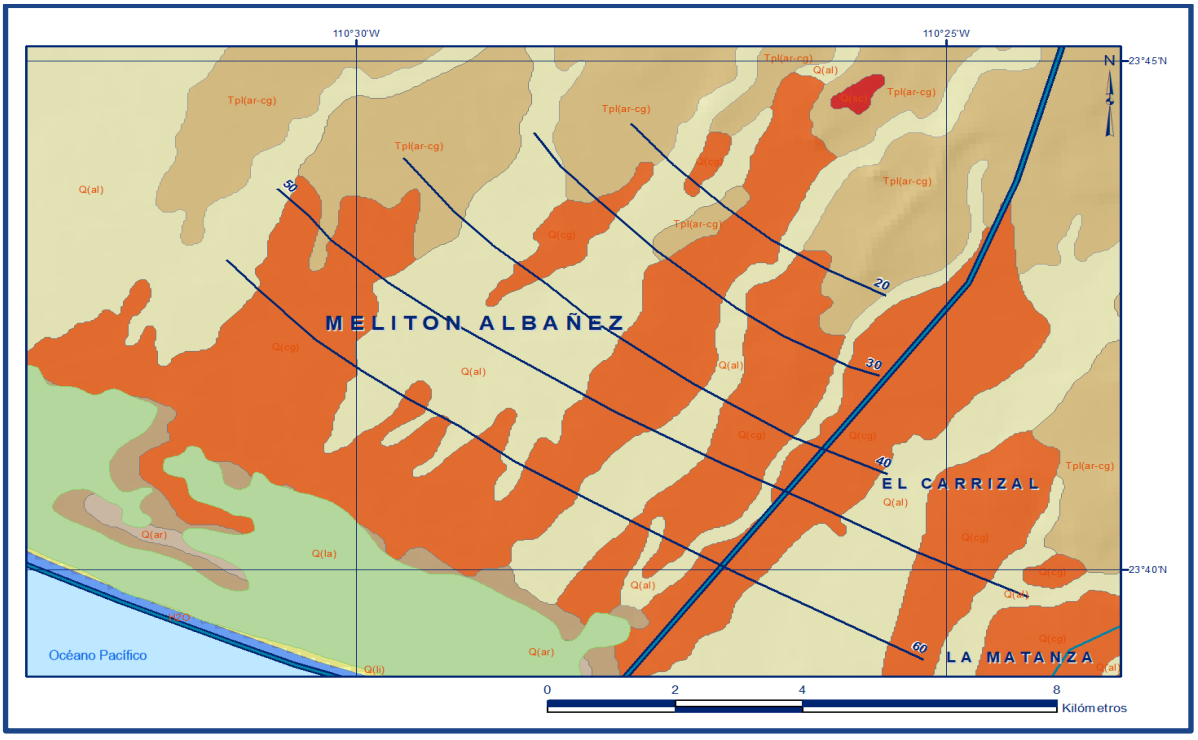


Figura 4 Profundidad al nivel estático en m (2008)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2008 manifiesta un descenso de los niveles del agua subterránea, que se refleja en una elevación máxima de 1.0 msnm, hacia la misma zona de descarga del arroyo El Carrizal; y una mínima de -9.0 msnm en la zona de mayor extracción para uso agrícola (figura 5).

Esto refleja el descenso progresivo de los niveles del agua subterránea, incluso con presencia de niveles por debajo del nivel medio del mar en la zona agrícola, causado por el incremento de la extracción en esta región y/o por una disminución en la recarga que recibe el acuífero.

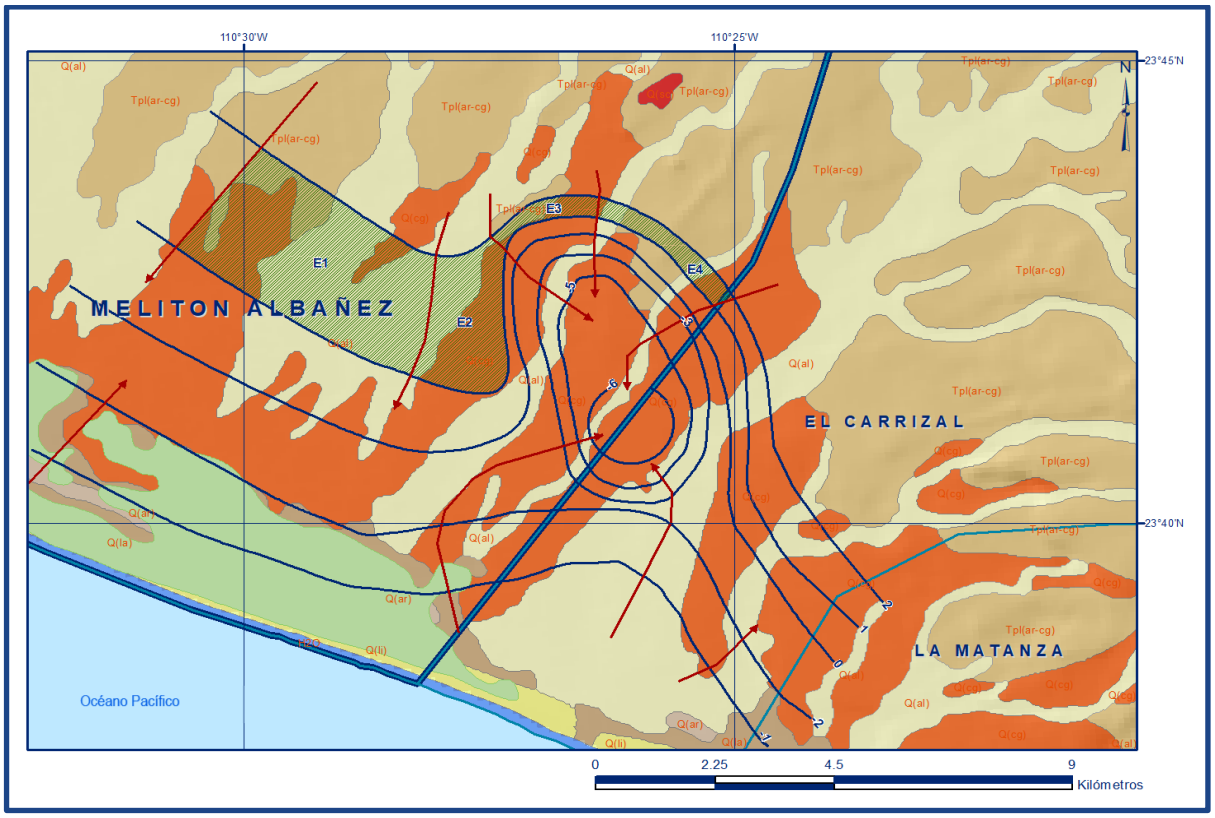


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático para el periodo 2000-2008, se observa que los valores varían de -3 a -7 m, para la zona agrícola donde se extrae el mayor volumen de agua (figura 6), que representa un descenso del nivel estático de 0.4 a 0.9 m anuales.

Para el resto de la superficie del acuífero, fuera del área de balance localizada en el valle, no se registran variaciones en la posición de los niveles del agua subterránea.

El nivel estático responde de manera muy rápida al efecto de la recarga por lluvia. Aunque el valor de la precipitación pluvial es bajo, la incidencia de las lluvias ciclónicas que se presentan con frecuencia de 4 a 6 años en la región favorece su recuperación.

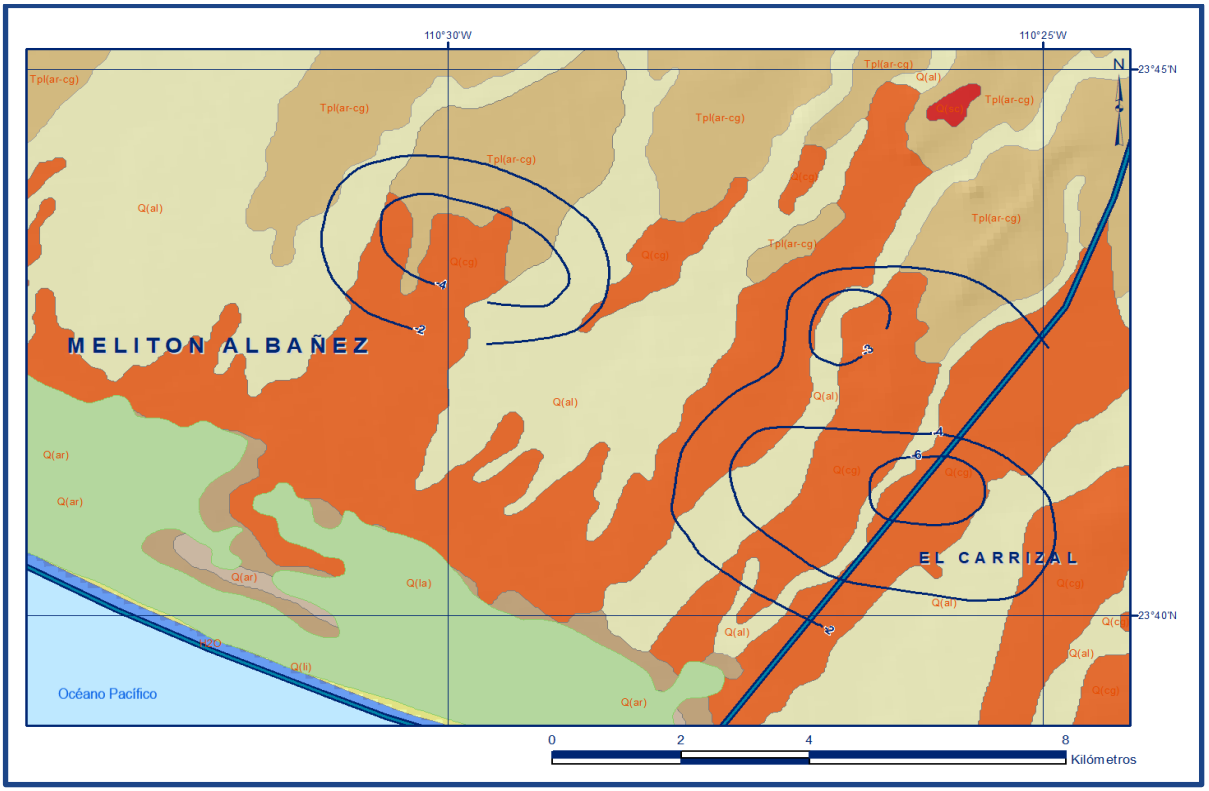


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2000-2008)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No se cuenta con información de este tipo procedente de análisis fisicoquímicos practicados a muestras de agua de pozos. Sin embargo, debido a la utilización de agroquímicos y el incremento de la extracción en la zona costera y agrícola, con niveles de extracción por debajo del nivel medio del mar, es de esperar que el agua

subterránea contenga concentraciones de cloruro de sodio y de sólidos totales disueltos que superen las normas oficiales internacionales y mexicanas para el agua destinada al consumo humano.

En estas condiciones, el riego agrícola de ciertos cultivos puede tener algunas restricciones o requerir llevar a cabo prácticas de control de la salinidad.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el último censo de aprovechamientos realizado en 2007, se registraron un total de 18 pozos, de los cuales 7 son para uso agrícola, 6 para uso pecuario, 4 más para uso doméstico y 1 de uso público- urbano.

El volumen de extracción conjunto asciende a los **3.3 hm^3 anuales**, de los cuales 3.10 hm^3 (94%) son para uso agrícola, 0.05 hm^3 (1.5 %) para satisfacer las necesidades de uso pecuario-doméstico, y los 0.15 hm^3 restantes (4.5 %) para abastecimiento de agua potable a los centros de población. La extracción para usos doméstico-abrevadero y agrícola se cuantificó con los datos obtenidos en el censo (tiempos de operación y gastos instantáneos) o medidor de flujo en su caso; para uso pecuario se utilizaron los consumos medios para cada especie animal. El volumen asignado al suministro de agua potable, fue obtenido considerando una dotación promedio anual por habitante de 350 l/h/d, para una población de 1,154 habitantes.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2000-2008, en una superficie de 90 km^2, que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localizan 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 almacenamiento

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

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos de los arroyos (Rv) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri).

Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, el riego agrícola es incipiente y utiliza sistema tecnificado, no existe recarga inducida.

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:

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

Donde:
Rv= Recarga vertical;
Eh= Entradas por flujo subterráneo horizontal;
B= Bombeo;
Sh= Salidas por flujo subterráneo horizontal;
ETR= Evapotranspiración;
ΔV(S)= Cambio de almacenamiento;

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$\mathbf{Rv = Sh + B + ETR \pm \Delta V(S) - Eh} \qquad \mathbf{(2)}$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

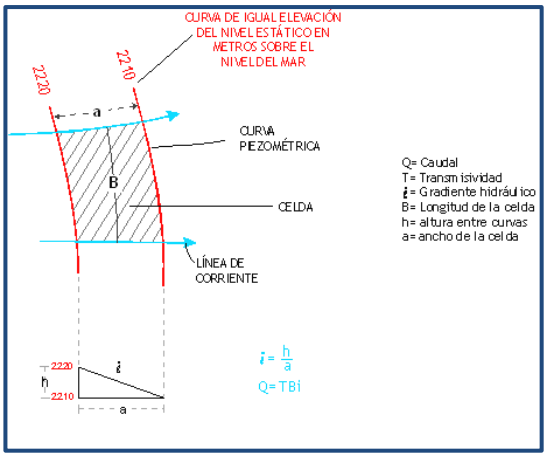
Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la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

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

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (figura 5). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos, tenemos que:

$$\mathbf{Q = B * i * T}$$

Donde:
Q = Caudal (m3/s)
B = Longitud de la celda (m)
i = Gradiente Hidráulico (adimensional)
T = Transmisividad (m2/s)



Los valores estimados de las celdas de entrada de flujo subterráneo para el año 2000 y 2008 se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2008)

CANAL	LARGO B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i (m)	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN (hm^3/año)
E1	4650	2200	1	0.0005	0.005	0.0106	0.3
E2	1950	2000	1	0.0005	0.005	0.0049	0.2
E3	2850	900	1	0.0011	0.005	0.0158	0.5
E4	3200	650	1	0.0015	0.005	0.0246	0.8
						Total entradas	**1.8**

En la tabla anterior se observa que el valor obtenido para el año 2008, es de **1.8 hm³/año**.

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas fueron tomados de los resultados promedio de las pruebas de bombeo realizadas en el valle de El Carrizal y adaptados al espesor saturado del acuífero de Melitón Albañez.

Como puede apreciarse en la configuración de elevación del nivel estático para el 2008 (figura 5), se presentan entradas subterráneas de agua marina, cuyo valor no se incluye en el balance de aguas subterráneas debido a que es agua de mala calidad y al hacerlo se incrementaría el valor de la recarga. Adicionalmente, este tipo de agua no está sujeta al otorgamiento de concesiones.

7.2 Salidas

Las salidas representan básicamente la descarga del acuífero, la cual ocurre principalmente por bombeo (B), debido a las salidas subterráneas horizontales (Sh) y evapotranspiración (ETR).

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto, es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real). El escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR) es un parámetro utilizado para la recarga potencial de infiltración.

Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

$$ETR\ (mm) = \frac{P\ (mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2\ (mm)}{L^2}\right)}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	20		
P(mm) =	107	P^2 =	11449
L =	1200	L^2 =	1440000
ETR (mm)	112.3		

Sin embargo, debido a que el valor de la precipitación media anual es muy bajo, no se pueden aplicar los métodos empíricos para la estimación de ETR.

La limitación teórica para la utilización de esta fórmula es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. Entonces debido a que la precipitación (168 mm) resultó menor que la relación 0.31L = 399.3, el valor de la evapotranspiración real debe despreciarse, ya que su valor resulta mayor al valor de la precipitación. 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 7).

Con el propósito de no considerar en el balance de aguas subterráneas el agua salina que ingresa al acuífero por efecto de la intrusión en el área donde se concentra la extracción, únicamente se considera la franja costera de la porción occidental del acuífero, de **11 km** de largo por 1 km de ancho (11 km^2), donde existen evidencias de niveles freáticos someros. Su valor se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno (profundidad al NE < a 2 m,) por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial media en las estaciones climatológicas (**1,840 mm**).

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. Se deduce que para una profundidad al NE de 2 m (80 pulgadas) el % de evaporación es del 2%. Considerando una superficie de 11 km^2 donde la PNE es menor a los 2 m y un 2% de la evaporación potencial, se tiene que la evaporación es del orden de los **0.4 hm^3 anuales**.

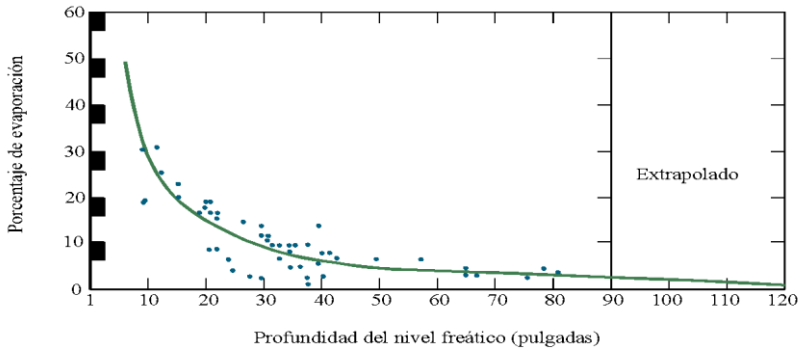


Figura 7. Evaporación del agua freática en función de la profundidad al nivel estático

Evaporación potencial media anual (m)	Área (km^2)	% de la Evaporación Potencial	Volumen Evaporación (hm^3/año)
1.84	**11**	**0.02**	**0.4**

7.2.1 Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es de **3.3 hm^3/año.**

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas horizontales se calculan de la misma manera como se evalúan las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático. Para el 2008 las condiciones que presenta el acuífero es de **Sh = 0.**

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la evolución del nivel estático registrada para el periodo septiembre 2000 a octubre del 2008 mostrada en la figura.8, considerando un coeficiente de almacenamiento S= 0.09 obtenido del estudio de la empresa Clarión S.A. en 1980, 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 entre curvas de igual evolución del nivel estático;

h= Valor medio de la variación piezométrica en el período;

El resultado indica que el valor del cambio de almacenamiento es de **-1.2 hm³/año**, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Evolución del periodo de 2000-2008

Evolución (m)	Abatimiento medio (m)	Área (km²)	Sy	ΔV(S) (hm³/año)
-6	-6.0	1.3	0.09	-0.7
-3	-3.0	1.0	0.09	-0.3
-4	-4.0	3.4	0.09	-1.2
-6 A -4	-5.0	5.4	0.09	-2.4
-4 A -2	-3.0	6.3	0.09	-1.7
-3 A -2	-2.5	9.4	0.09	-2.1
-4 A -3	-3.5	3.1	0.09	-1.0
	ÁREATOTAL	**29.9**	**TOTAL**	**-9.4**
		Promedio anual		**-1.2**

Solución a la ecuación de balance

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

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

$$Rv = 0.0 + 3.3 + 0.4 - 1.2 - 1.8$$

$$\mathbf{Rv = 0.7\ hm^3\ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical, y las entradas horizontales subterráneas.

$$\mathbf{R = Rv + Eh}$$

$$\mathbf{R = 0.3 + 1.8}$$

$$\mathbf{R = 2.5\ hm^3\ anuales}$$

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:

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

8.2 Recarga total media anual ®

La recarga total media anual que recibe el acuífero ®, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **2.5 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.3 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 de Melitón Albañez, ante la desaparición de las salidas subterráneas, considera como descarga natural comprometida el volumen de la evapotranspiración. Por lo tanto, **DNC = 0.4 hm³/año.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **2,365,500 m³ 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 = 2.5 – 0.4 – 2.365500
DMA = -0.265500 hm³/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **265,500 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría Recursos Hidráulicos, 1972. Estudios Geohidrológicos de los Valles de La Paz y El Carrizal, Territorio de Baja California. Elaborado por la empresa INGESA Ingeniería y Geotecnia, S.A.

Secretaría Recursos Hidráulicos, 1971. Estudio Geofísico en las Zonas de La Paz, El Carrizal, Arroyos San José del Cabo y Santiago, en el Territorio de Baja California. Elaborado por la empresa GEOFIMEX, S.A.