



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LA MATANZA (0311), 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.....	8
3.1 Provincia fisiográfica.....	8
3.2 Clima.....	8
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	9
4. GEOLOGÍA.....	10
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural.....	13
4.3 Geología del subsuelo.....	14
5. HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1 Tipo de acuífero.....	15
5.2 Parámetros hidráulicos.....	15
5.3 Piezometría.....	16
5.4 Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	16
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	18
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1 Entradas.....	20
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	20
7.1.2 por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	21
7.1.3 Recarga inducida (Ri).....	23
7.2 Salidas.....	23
7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....	23
7.2.2 Bombeo (B).....	25
7.2.3 Salidas subterráneas (Sh).....	25
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	25
8. DISPONIBILIDAD.....	26
8.1 Recarga total media anual (R).....	27
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	27
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
9. BIBLIOGRAFÍA.....	29

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 La Matanza, definido con la clave 0311 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroeste del estado de Baja California Sur, abarcando una superficie aproximada de 281 km².

Colinda al norte y oeste con el acuífero El Carrizal, al sur y sureste con Cañada Honda, al suroeste con el Océano Pacífico (figura 1). Geopolíticamente se encuentra en el municipio de La Paz.

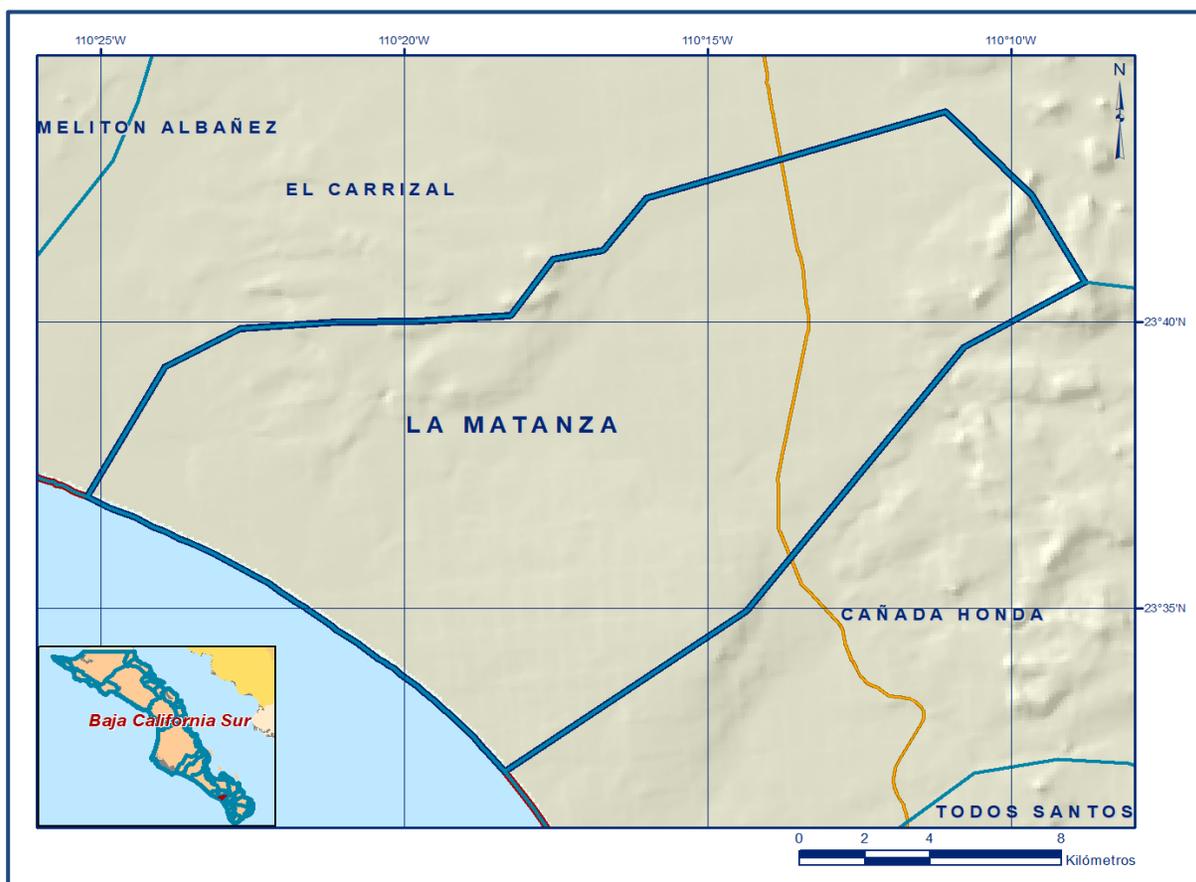


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 0311 LA MATANZA							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	110	25	44.3	23	36	57.3	
2	110	23	57.2	23	39	13.0	
3	110	22	42.9	23	39	53.5	
4	110	21	8.2	23	39	59.7	
5	110	19	46.3	23	40	12	
6	110	18	15.0	23	40	7.0	
7	110	17	33.2	23	41	5.8	
8	110	16	43.8	23	41	15.4	
9	110	16	14	23	42	10.3	
10	110	11	5.3	23	43	40.8	
11	110	9	39.3	23	42	12.9	
12	110	8	47.3	23	40	42.2	
13	110	10	47.4	23	39	33.2	
14	110	14	22.2	23	34	57.5	
15	110	18	212	23	32	9.0	DEL 15 AL 10 POR LA LÍNEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	110	25	44.3	23	36	57.3	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero “La Matanza” pertenece al Organismo de Cuenca I “Península de Baja California”. 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 2. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca Baja California Sur, instalado el 3 de marzo del 2000. No se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el acuífero La Matanza no se han realizado estudios geohidrológicos; sin embargo, regionalmente se ha llevado a cabo estudios en los acuíferos vecinos “El Carrizal”, “Cañada Honda” y “Todos Santos”, los cuales se mencionan 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, en las zonas de La Paz, El Carrizal, Arroyos San José del Cabo y Santiago; tuvo como finalidad 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 la localización de 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.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE TODOS SANTOS, TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA (VALLES DEL SUROESTE), elaborado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) en 1974. El objetivo del estudio fue conocer el funcionamiento hidráulico de los acuíferos y evaluar su potencial para determinar las condiciones de explotación y recarga, como base para establecer una política adecuada de explotación de los recursos hídricos.

Para el caso de Todos Santos, para entonces, se calculó una recarga de 0.5 hm³ anuales, en tanto que la extracción estimada ascendía a 1.0 hm³. Se calculó un volumen almacenado de 33.0 hm³.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA CUENCA DE “VALLES DEL SUROESTE” EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA, elaborado por Acuaplan, S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en el año de 1981.

El objetivo del trabajo fue el definir las condiciones que prevalecían en ese momento en los acuíferos de los valles del suroeste de Baja California Sur, cuantificarlos y definir la salinidad del agua subterránea. Indica que para esta fecha existían, en toda esta región, 152 captaciones correspondientes a 33 pozos, 107 norias, 2 manantiales y 10 sondeos exploratorios. Como parte de los trabajos de campo se realizaron 24 pruebas de bombeo mediante las cuales se obtuvo un coeficiente de transmisividad que varía entre 10⁻² y 10⁻³ m²/s. Los caudales de extracción de los aprovechamientos variaba de 4.4 y 37.9 lps, con los que fue posible calcular caudales específicos entre 0.37 y 22.0 lps/m.

ESTUDIO GEOFÍSICO Y GEOHIDROLÓGICO EFECTUADO EN LA CUENCA: SAN PEDRITO-PESCADERO, MUNICIPIO DE LA PAZ, BCS, elaborado por Woge Estudios Geofísicos S. de R. L. de C.V., en el año de 1991.

Este estudio tuvo como finalidad determinar, a través de la geohidrología y geofísica, las estructuras del subsuelo y localizar sitios adecuados para la perforación de pozos profundos. Mediante la realización de 30 sondeos eléctricos verticales fue posible elaborar 6 perfiles geofísico-geológicos que permitieron definir que el espesor de los materiales aluviales varía de 10 a 60 m, identificándose debajo de ellos la presencia de rocas graníticas. Concluye que la capacidad instalada en la zona estudiada era de 8.6 hm³/año y que la extracción real era del orden de los 6.0 Mm³/año. Evaluó un potencial de 21.0 hm³/año en la cuenca, que garantizaban el abastecimiento de agua por tiempo indefinido. Determina que existía un flujo subterráneo hacia el mar, del orden de los 21.0 hm³/año que al emerger dan lugar a la presencia de la Laguna San Pedrito. El cambio de almacenamiento calculado fue positivo, con valor de 15.3 hm³/año. Por último, propone 3 sitios favorables para perforación, mediante los cuales se esperaba obtener gastos de 20 a 25 lps por pozo.

ANÁLISIS SOBRE ANTECEDENTES HIDROGEOLOGÍCOS DEL ACUÍFERO DE TODOS SANTOS, B.C.S., elaborado para la Sociedad de Historia Natural Niparajá, A.C. en el año de 1996. Entre sus conclusiones más importantes destaca la estimación de una recarga de 2.1 hm³ anuales para el periodo 1980-1995, mostrando indicios de sobreexplotación durante el lapso de tiempo de los últimos cinco años (1989-1995) que se reflejaron en un abatimiento promedio de 0.3 m. Estima un volumen de 1.0 hm³ anuales para la descarga a través de manantiales, valor que es superior al que se puede captar por lluvia en la pequeña cuenca de este acuífero, por lo que sugiere un flujo proveniente de otra cuenca

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.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA SALOBRE PARA SU DESALACIÓN EN LOS ACUÍFEROS DE: MIGRIÑO, PLUTARCO ELÍAS CALLES, EL PESCADERO, TODOS SANTOS Y CAÑADA HONDA, B.C.S., elaborado por Lesser y Asociados, S.A. de C.V. en 2007.

El objetivo principal de este estudio fue determinar o actualizar el conocimiento del funcionamiento hidrodinámico de estos acuíferos. Las actividades de campo incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría, nivelación de brocales, ejecución de pruebas de bombeo y obtención de muestras de agua subterránea para su análisis físico químico. Con la información aportada por estas actividades, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para determinar la recarga total media anual y, a partir de ella, determinar su disponibilidad correspondiente.

Con base en los resultados del estudio, dada la escasez natural de agua en la región, define la posibilidad de extraer agua subterránea salobre para su desalación, en cuyo caso propone los sitios apropiados para la extracción.

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 del Paleógeno-Neógeno marinos y rellenos aluviales hacia las partes más bajas y planas.

3.2 Clima

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

BW – Clima desértico, árido, con precipitaciones inferiores a los 400 mm.

h – Muy cálido con temperatura media anual de 22° C y la del mes más frío 18° C.

Para el análisis de las condiciones climáticas de la región, se analizó la información de 35 estaciones climatológicas ubicadas tanto dentro del acuífero como en su entorno cercano, con registros que comprenden el periodo 1997-2007. De acuerdo con los registros de dichas estaciones, por el método de las isoyetas, se obtuvo un valor de precipitación media anual en la región de 266.5 mm/año y la temperatura media anual de 21.5° C. En lo que respecta al valor de la evaporación potencial media, se obtuvo un valor de 1,840 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 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 de precipitación bajos 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 intermitentes que generalmente desaparecen por infiltración hacia la planicie costera.

Los escurrimientos superficiales únicamente ocurren durante la temporada de lluvias. Los principales arroyos que alimentan las entradas de agua subterránea al acuífero son El Palmarito y Las Castellanas, mientras que entre los de menor importancia figuran los siguientes: A. El Molino, A. El Corralito, A. La venta, A. La Matanza, A. Segunda y Primera Bocanita. A. El Corralito, A. El Batazote y el A. Palo Fierro.

3.4 Geomorfología

Se distinguen 2 unidades geomorfológicas, (1) valles costeros y (2) sierras. 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 las sierras y paralelo en los valles.

El valle en este acuífero tiene una longitud de 8 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 que varía de 2 a 6 km.

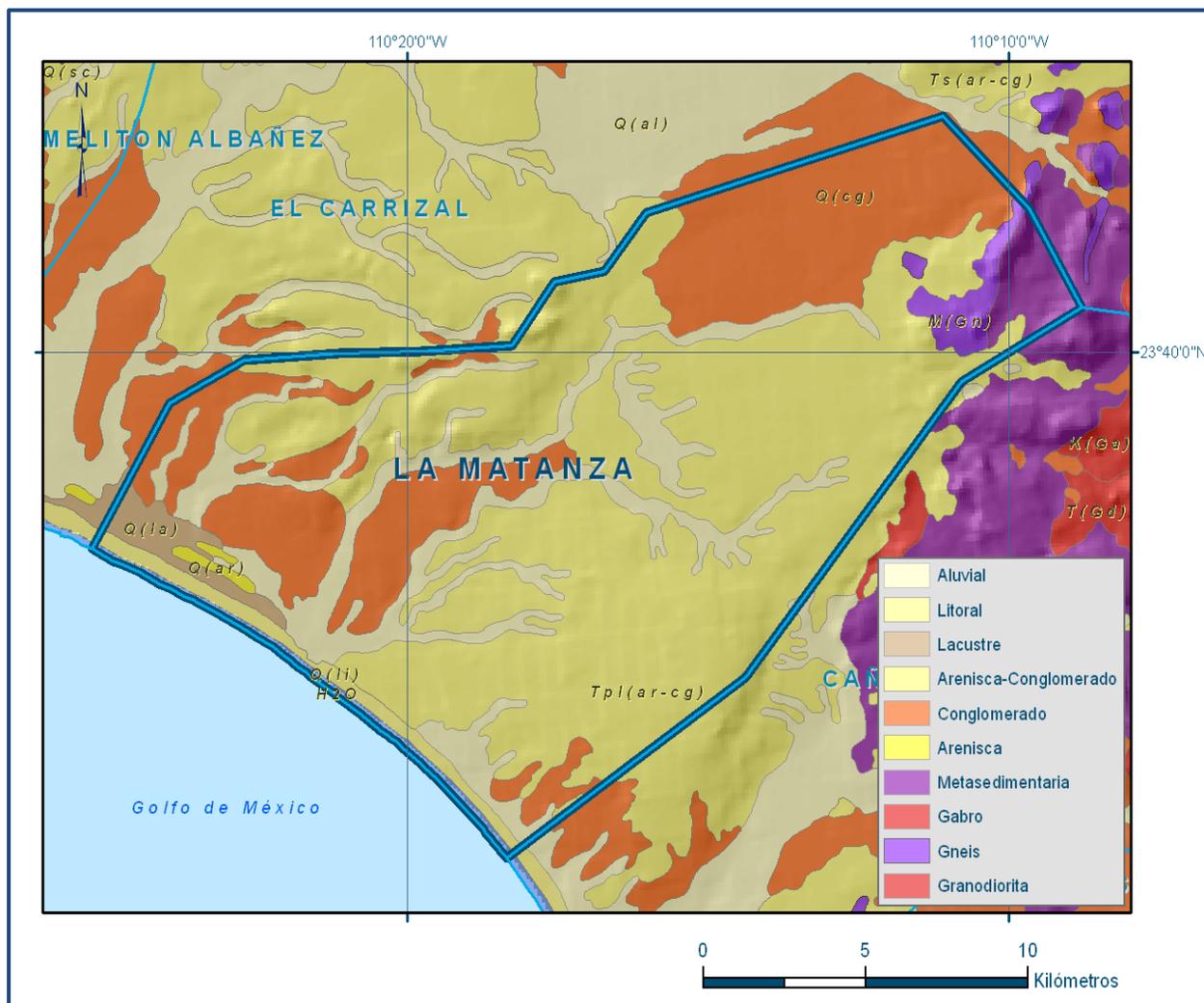
Este acuífero presenta una franja costera orientada de noroeste a sureste, con una morfología de sierras bajas conformadas por areniscas y conglomerados, limitadas en su planicie costera por llanuras aluviales en cauces y arroyos, separados por lomeríos de conglomerados y en su zona costera por depósitos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

La columna geológica de la zona está constituida por rocas metamórficas, areniscas y conglomerados, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Mesozoico (Jurásico) al Cenozoico (Cuaternario).

La distribución de las diferentes unidades litológicas se presenta en la figura 2.



4.1 Estratigrafía

De acuerdo con la identificación de las unidades litológicas que afloran en la región, a continuación se presenta la descripción de las distintas unidades cronoestratigráficas:

Rocas Metamórficas Jurásicas

Esta unidad corresponde a metasedimentos (rocas sedimentarias metamorfoseadas) de posible edad Jurásico Superior (?) que afloran principalmente en el valle de Todos Santos, donde constituyen la mayor parte de las elevaciones topográficas. En el acuífero Cañada Honda sus afloramientos se ubican en el centro del valle, hacia el límite con los acuíferos Todos Santos y La Matanza, en la parte alta de la cuenca.

Se trata de areniscas que fueron afectadas por metamorfismo regional de alta temperatura y baja presión, generando en algunos sitios un paragneis de anfibolita. Las rocas tienen un aspecto bandeado, de coloración gris verdoso a café óxido; es cortada por diques y dique-estratos de pegmatita y aplita con presencia de turmalina. El bandeamiento que presentan las rocas refleja cambios en su composición y textura, los cuales se pueden apreciar a escala microscópica.

En la porción nororiental de Todos Santos afloran filitas El Cardonoso, cuya edad también puede ser posiblemente Jurásico Superior. No se observan relaciones de campo, pero se infiere un contacto discordante con la unidad anterior. Las rocas presentan una estructura semicompacta de color pardo rojizo, textura de grano fino y esquistosidad bien desarrollada. Esta unidad se orienta en una franja de rumbo NW-SE que tiene continuidad hacia el norte de Todos Santos.

Posiblemente también del Jurásico afloran anfibolitas y esquistos en la región de El Pescadero, cuyas relaciones de campo con las unidades anteriores están enmascaradas por la presencia de intrusivos, aunque se infiere un contacto discordante con las filitas jurásicas. Las rocas son de grano fino, textura granular y estructura compacta, con tonalidades que varían de color pardo a verde. Dentro de esta unidad se alojan cuerpos lenticulares de caliza recristalizada que afloran en forma de crestones con rumbo NE e inclinaciones hacia el NW. Estos horizontes calcáreos por lo general siguen el rumbo de la foliación. Esta unidad, junto con la anfibolita y esquistos, se presentan como colgantes en granodioritas.

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, 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

Arenisca-conglomerado. Unidad constituida por arenas y gravas intercaladas; las arenas presentan una granulometría mediana a gruesa y su grado de redondez varía de sub anguloso a sub redondeado, constituidas por cuarzo y feldespato.

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

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.

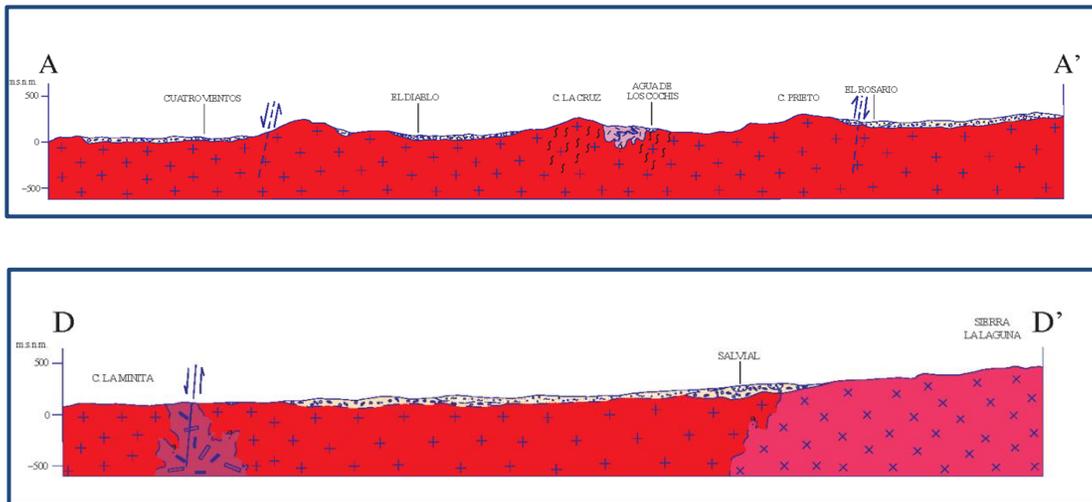
Uno corresponde a la Orogenia Laramide, responsable del movimiento compresivo producto del choque de la placa Farallón con la placa Norteamericana, lo que dio origen a la intrusión de grandes masas ígneas (parte del Batolito Peninsular).

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 realizados en la región permiten definir que el acuífero se aloja en los sedimentos aluviales que conforman las terrazas, 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 las rocas metasedimentarias y gneises, así como los sedimentos arcillosos de la Formación Salada, que se localizan a mayor profundidad.

En la figura 3 se muestra una sección geológica esquemática típica de la región suroccidental de Baja California Sur, que corresponde a la región de Todos Santos, en la que se observa el escaso espesor de los acuíferos, subyacidos por la presencia de rocas ígneas intrusivas y metasedimentarias.



Fuente: SGM (2001). Carta Geológica Minera F12-B33 Todos Santos 1:50,000

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

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

Con respecto a los parámetros hidráulicos del acuífero, existe información escasa procedente de pruebas de bombeo realizadas en pozos ubicados dentro del acuífero. Sin embargo, en el acuífero vecino al sur, "Cañada Honda" se cuenta con información de 10 pruebas: 2 del estudio realizado en 1974 por TMI S.A. y 8 del estudio realizado en 1981 por ACUAPLAN, S.A, ambos para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH).

Adicionalmente, como parte de las actividades realizadas en el estudio de 2007, se ejecutaron 5 pruebas de bombeo en los acuíferos de la región suroccidental de Baja California Sur, una de las cuales en el acuífero Cañada Honda. De esta manera, los valores obtenidos de transmisividad varían de 2.6 a $84.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, para los acuíferos del suroeste de B.C.S considerados en el estudio realizado en el 2007, son consistentes con los reportados por las pruebas realizadas en estudios previos, las cuales reportan valores que oscilan entre 0.1 y $77.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

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 “Cañada Honda” y adaptarlos al espesor saturado promedio del acuífero La Matanza. Los valores promedio de transmisividad varían de 2.0 a $10.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Se cuenta además con información de los caudales específicos ($Q/\text{abatimiento}$) de los pozos en operación. El caudal específico definido como la relación que existe entre el caudal de extracción del pozo Q (lps) y el abatimiento producido para extraerlo (m), para la estimación de valor de la transmisividad es otra técnica que ha demostrado su efectividad. La relación empírica de uso muy difundido entre los hidrogeólogos es la siguiente: $Q_e \text{ (lps/m)} \approx T \text{ (} \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s)}$.

Los valores obtenidos de esta manera varían de 3.4 a $13.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, que son consistentes con los promedios de 2.0 a $10.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ que se presentan en toda la porción suroccidental de Baja California Sur. Esto hace válida la correlación hidrogeológica.

5.3 Piezometría

Para el análisis piezométrico del acuífero se cuenta con la información para el periodo 2000-2008 recabada durante por la Dirección Local en Baja California Sur durante los “paros de bombeo”, principalmente en los pozos para uso agrícola, que se lleva a cabo al final del ciclo primavera - verano. Debido a que la profundidad al nivel estático no ha sufrido variaciones importantes en el transcurso de los últimos años, únicamente se presentan las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático para el año 2008.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2008, igual que la mostrada para el 2004 presenta los valores varían desde algunos metros, registrados en la zona próxima a la desembocadura de los arroyos Las Castellanas y El Palmarito, hasta 53.0 m, hacia la proximidad de la carretera La Paz-Cabo San Lucas, conforme se asciende topográficamente (figura 4).

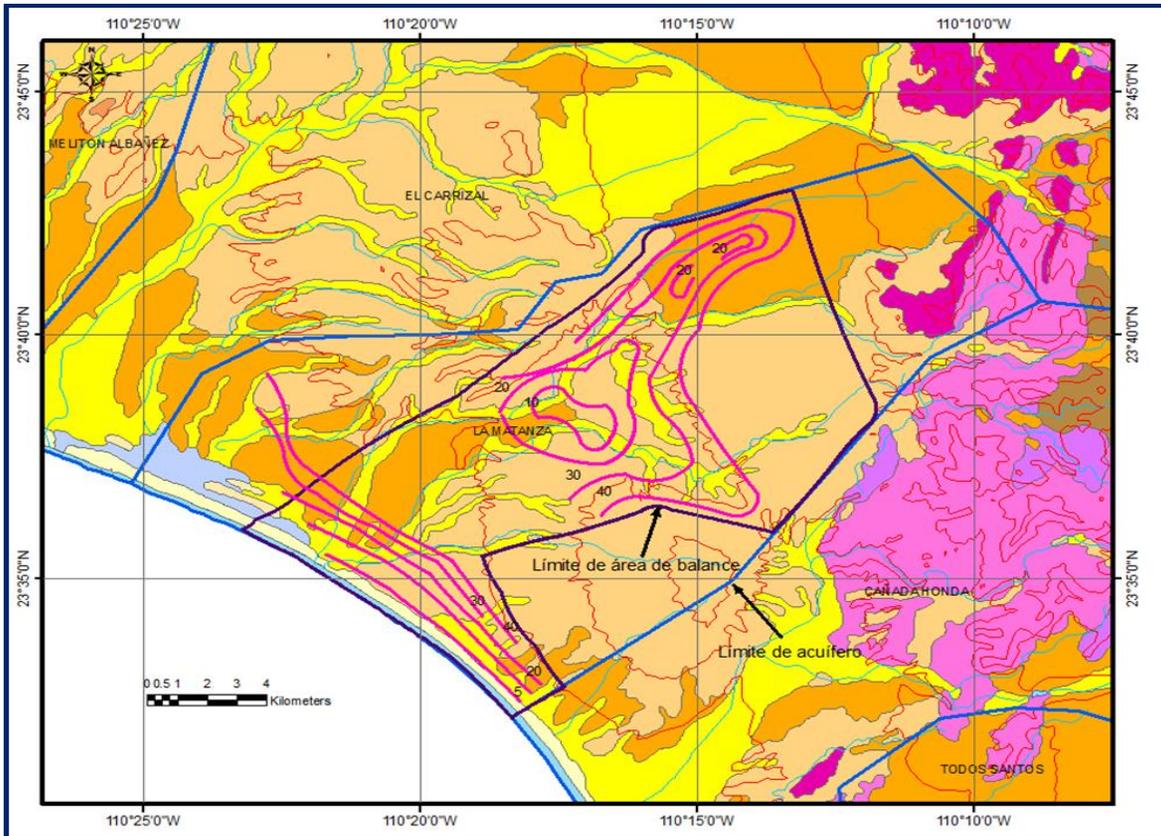


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2000)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la elevación del nivel estático para el año 2000 mostrado en la figura 5, se observa que sus valores, al igual que la profundidad, muestran claramente el reflejo de la topografía, evidenciando de esta manera que el flujo subterráneo no ha sufrido modificaciones causadas por la concentración de pozos o del bombeo. Se registran valores desde algunos metros, hacia la zona costera, hasta los 220 msnm que se presentan en la proximidad de la carretera La Paz-Cabo San Lucas. Los valores más bajos se ubican en la zona de descarga del acuífero hacia el mar. Para el 2008 la configuración muestra la misma tendencia general, con los mismos valores extremos, salvo el caso la porción baja del acuífero en el que el pozo ZA-43" El Chapingo" muestra evidencias de niveles de extracción por debajo del nivel del mar y, por tanto, indicios de inversión del gradiente hidráulico. De manera local, esto puede ser el principio de la intrusión marina. La dirección del flujo subterráneo presenta una trayectoria de noreste a suroeste.

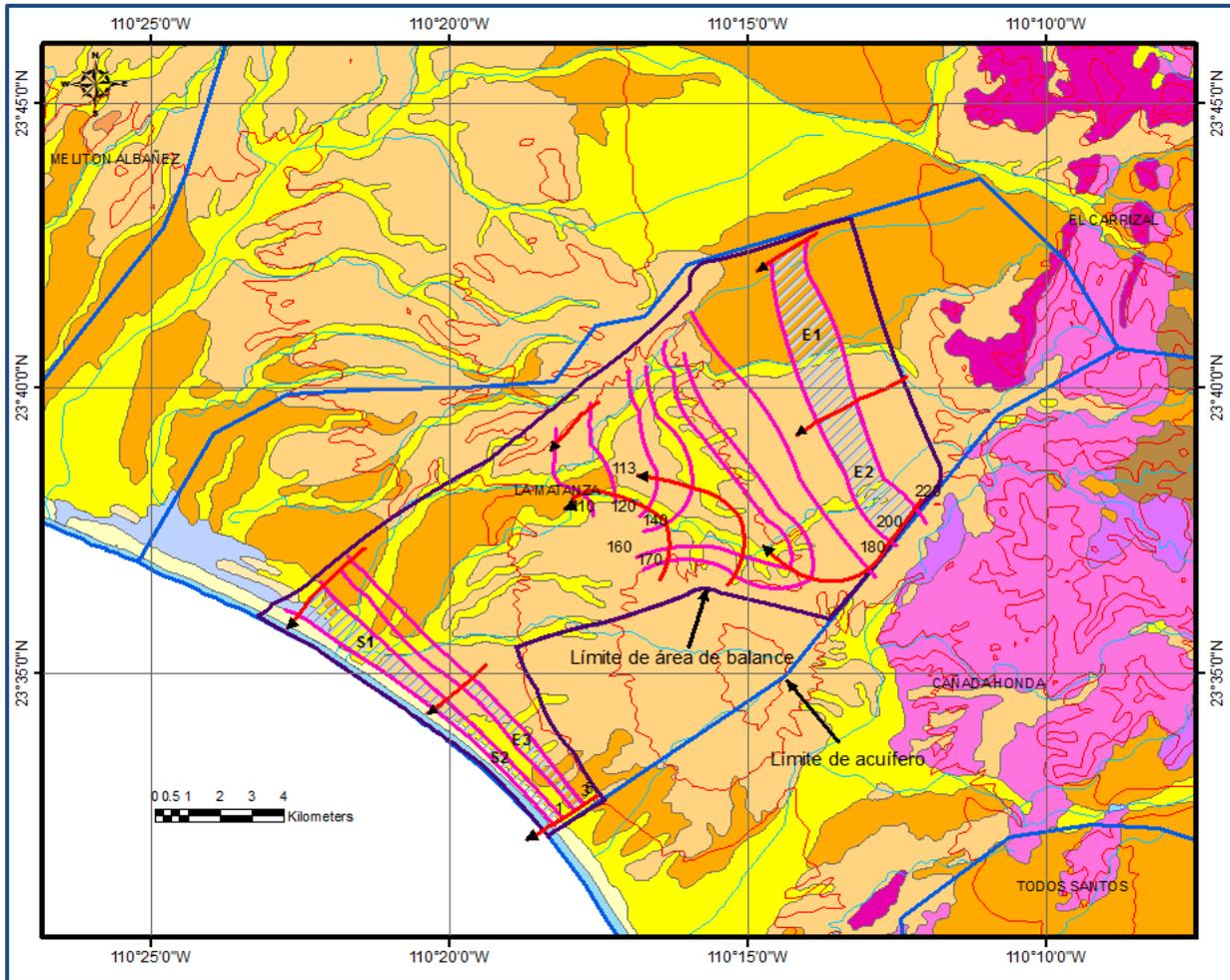


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático para el periodo 2000-2008, se observa que se registran valores extremos de -3 a -1 m, sin mostrar relación alguna con su ubicación respecto de la zona cercana a la costa. Esto representa un abatimiento promedio de 0.4 a 0.1 m anuales. De igual manera, se registran valores de recuperación de 1 a 2 m, que representan de 0.1 a 0.2 m anuales. En general, se observa que los niveles del agua subterránea no muestran cambios significativos en su posición.

De lo anterior se puede concluir que las variaciones puntuales son tanto positivas como negativas y que las mediciones piezométricas no cubren en su totalidad la extensión del acuífero. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra aún alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

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.

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 indicios de 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. De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos en acuíferos de la porción suroccidental de Baja California Sur, salvo en la zona costera, la familia del agua predominante es la bicarbonatada-cálcica, que representa agua de reciente infiltración.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del último censo de aprovechamientos realizado en el acuífero en 2007, se registraron un total de 72 pozos, de los cuales 37 son para uso agrícola, 15 para uso pecuario, 12 para abrevadero, 7 más para uso doméstico y 1 solo para uso público-urbano.

El volumen de extracción conjunto asciende a los 2.5 hm³ anuales, de los cuales 2.4 hm³ (96.0%) son para uso agrícola, 0.07 hm³ (2.8 %) para satisfacer las necesidades de uso doméstico-abrevadero y los 0.03 hm³ restantes (1.2 %) para uso público-urbano. 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 350 habitantes, de los ejidos Matanza y El Palmar de La Matanza.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2000-2008, en una superficie de 97.0 km², que corresponde a la zona en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos que cuentan con registro piezométrico. 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:

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

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

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

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 (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).

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:

$$R_v + E_h + R_i - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

R_v: Infiltración por lluvia

R_i: Recarga inducida

E_h: Recarga por flujo horizontal

B: Bombeo

S_h: Salidas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración real

ΔV(S): Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Por flujo subterráneo horizontal (E_h)

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

La recarga 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 2007 (figura 5). La principal zona de recarga se localiza en la porción nororiental del acuífero, que fluye hacia el centro del valle, donde se localiza la mayor extracción para uso agrícola.

De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos, tenemos que:

$$Q = V \cdot A$$

Considerando una sección, con una longitud (B) y ancho (a), con una diferencia de alturas de (Δh). El área de la sección quedará definida por:

$$A = B \cdot a$$

Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

i = Gradiente hidráulico ($\Delta h / \Delta L$) Δh y ΔL son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

Sustituyendo en la ecuación de continuidad tenemos que:

$$Q = B \cdot a \cdot K \cdot i$$

Ya que la transmisividad $T = K \cdot a$, la ecuación queda reducida a:

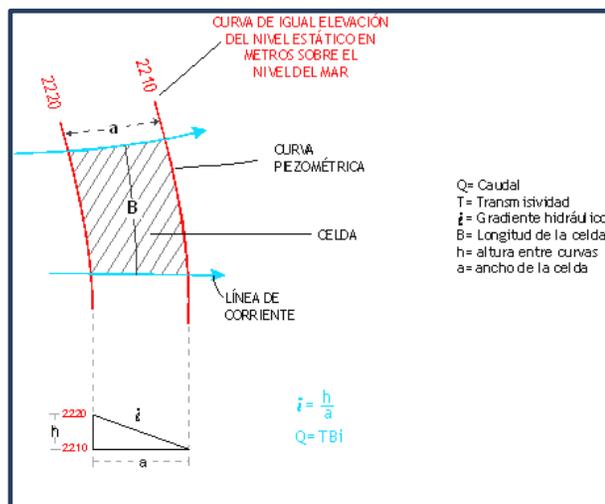
$$Q = T \cdot B \cdot i$$

Donde:

T = Transmisividad en m^2/s .

B= Longitud de la celda en m.

i = Gradiente Hidráulico, en ms.



Los valores estimados de las celdas de entrada de flujo subterráneo para el año 2008 se presentan en la siguiente tabla, en la que se puede observar que el total asciende a **4.0 hm³/año**.

Tabla 2. Entradas subterráneas horizontales 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	3800	900	20	0.0222	0.0005	0.0422	1.3
E2	3600	840	20	0.0238	0.0005	0.0429	1.4
E3	4100	300	2	0.0067	0.0015	0.0410	1.3
Total entradas							4.0

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 por estudios previos en acuíferos del suroeste de Baja California Sur, adaptados al espesor saturado del acuífero de La Matanza. Adicionalmente existe información de los caudales específicos promedio de pozos en explotación.

7.1.3 Recarga inducida (Ri)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen exclusivamente por concepto de los excedentes del riego ya que en la región no existen asentamientos humanos importantes cuya infraestructura hidráulica pueda generar fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable y/o de alcantarillado.

Debido a que no se tiene información de las superficies y tipos de cultivo, para calcular su volumen se estimó como un porcentaje (15%) del volumen de agua subterránea destinado al uso agrícola (2.4 hm³ anuales), considerando que el riego no está tecnificado. De esta manera, el volumen de los retornos del riego agrícola es de 2.2 (0.15) = 0.36. **Ri = 0.4 hm³/año**

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) =	21.5	
P(mm) =	266.5	P ² = 71022.25
L =	1334.41875	L ² = 1780673.4
ETR (mm)	274.9	

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 (266.5 mm) resultó menor que la relación $0.31L = 413.7$, el valor de la evapotranspiración real debe despreciarse, ya que su valor resulta mayor 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 6.

Su valor se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno (profundidad al NE <a 2, dentro del área de balance) por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial media en las estaciones climatológicas (1840 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.

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 de 16 km² de la porción costera del acuífero, 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 **0.6 hm³ anuales**.

Evaporación potencial media anual (m)	Área (km ²)	% de la Evaporación Potencial	Volumen Evaporación (Hm ³ /año)
1.84	16	0.02	0.6

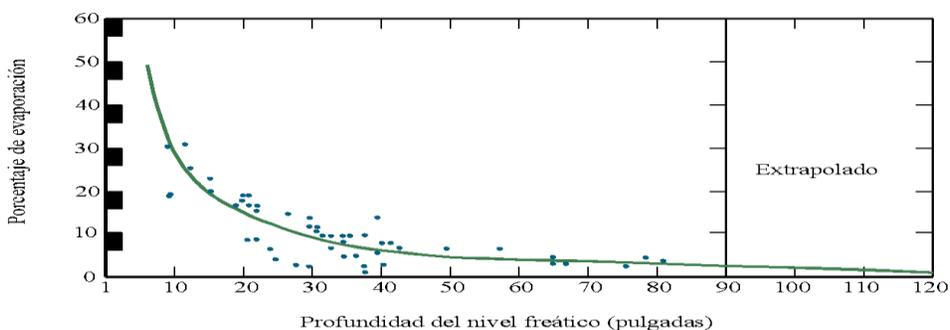


Figura 6. Evaporación del agua freática en función de la profundidad al nivel estático

7.2.2 Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **2.5 hm³/año**, destinando casi en su totalidad al uso agrícola.

7.2.3 Salidas subterráneas (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 presentada en la figura 5. El valor estimado es de **2.0 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Salidas horizontales subterráneas 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)
S1	3500	600	2	0.0033	0.002	0.0233	0.7
S2	4100	400	2	0.0050	0.002	0.0410	1.3
Total salidas							2.0

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Con respecto a la evolución del nivel estático para el periodo 2000-2008, se observa que se registran variaciones puntuales tanto positivas como negativas y que las mediciones piezométricas no cubren en su totalidad la extensión del acuífero. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra aún alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos.

De acuerdo con el registro puntual de la profundidad al nivel estático, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por lo tanto $\Delta V(S) = 0$

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:

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

$$R_v = 2.0 + 2.5 + 0.6 - 0.0 - 4.0 - 0.4$$

$$R_v = 0.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R = R_v + E_h + R_i$$

$$R = 0.7 + 4.0 + 0.4$$

$$R = 5.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **2.6 hm³** anual, de los cuales 2.0 hm³ corresponde a las salidas subterráneas hacia el mar que deben conservarse para mantener la posición de la interfase marina y los 0.6 hm³ restantes a la evapotranspiración que debe comprometerse para preservar el ecosistema costero y la creación de zonas de protección a humedales. **DNC = 2.6 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 **2,628,580 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 5.1 - 2.6 - 2.628580 \\ \text{DMA} &= -0.128580 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **128,580 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

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.

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 de Recursos Hidráulicos. 1974. Estudio Geohidrológico del Valle de Todos Santos, Territorio de Baja California (Valles del Suroeste). Elaborado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1981. Estudio Geohidrológico de la Cuenca de “Valles del Suroeste” en el estado de Baja California. Elaborado por la empresa Acuaplan, S.A.