



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO LORETO (0328), ESTADO DE BAJA  
CALIFORNIA SUR**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación Administrativa del acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD. ....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>13</b>
3.1 Provincia Fisiográfica.....	13
3.2 Clima.....	13
3.3 Hidrografía.....	14
3.4 Geomorfología.....	14
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
4.1 Estratigrafía.....	15
4.2 Geología Estructural.....	17
4.3 Geología del subsuelo.....	17
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	18
5.2 Parámetros hidráulicos.....	19
5.3 Piezometría.....	20
5.4 Comportamiento hidráulico.....	20
5.4.1 Profundidad del nivel estático.....	20
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	21
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	22
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	23
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>24</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>25</b>
7.1 Entradas.....	25
7.1.1 Recarga Vertical.....	26
7.1.2 Recarga natural.....	26
7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	26
7.2 Salidas.....	28
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	28
7.2.2 Salida por flujo subterráneo.....	28
7.2.3 Evapotranspiración.....	29
7.2.4 Descargas naturales.....	29
7.3 Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ).....	29
<b>8. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>30</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	31
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	31
8.3 Rendimiento permanente.....	31
8.4 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	32
8.5 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	32
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>33</b>

## **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 Loreto, definido con la clave 0328 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro- oriental del estado de Baja California Sur, entre los paralelos 25° 39' y 26° 12' de latitud norte y los meridianos 111° 12' y 111° 32' de longitud oeste. El acuífero Loreto corresponde a una porción de la planicie costera del Mar de Cortés. Su localización se presenta en la figura 1.



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

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	54	53.7	22	35	53.0	
2	101	54	50.7	22	33	39.4	
3	101	53	45.4	22	31	55.6	
4	101	52	1.6	22	28	10.1	
5	101	52	38.2	22	26	22.8	
6	101	54	53.0	22	20	0.8	
7	101	55	46.1	22	17	54.8	
8	101	55	17.9	22	13	9.9	
9	101	58	16.7	22	12	43.2	
10	101	59	52.6	22	12	32.7	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE ESTATAL
11	102	7	6.5	22	17	11.7	DEL 11 AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	102	7	23.6	22	17	13.1	
13	102	7	8.7	22	20	43.4	
14	102	6	0.2	22	24	53.5	
15	102	6	35.4	22	26	9.5	
16	102	6	5.7	22	28	6.2	
17	102	4	46.1	22	27	51.4	
18	101	57	10.3	22	36	29.4	
19	101	55	56.0	22	36	49.3	
1	101	54	53.7	22	35	53.0	

## 1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Loreto queda pertenece al Organismo de Cuenca Península de Baja California; así mismo forma parte del Consejo de Cuenca Baja California Sur instalado el 3 de marzo de 2003. Actualmente no cuenta con Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

Dentro del territorio que comprende el acuífero está en vigor la veda tipo III “Distrito Nacional de Riego de Baja California Sur” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 2 de julio de 1954, que se establece por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo para el control de la extracción, pues se considera que el incremento de la actividad agrícola pone en peligro al acuífero. De acuerdo con ella, la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones limitadas para los diferentes usos del agua.

Excepto cuando se trate de alumbramientos de aguas para usos domésticos, a partir de la fecha de publicación de este acuerdo en el DOF, nadie podrá efectuar alumbramientos de aguas del subsuelo en la zona vedada, ni modificar los existentes, sin previo permiso por escrito de la Autoridad del Agua, la que sólo los expedirá en los casos en que de los estudios correspondientes se deduzca que no se causarán los daños que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

El uso principal del agua extraída del acuífero es para abastecimiento de agua potable a la ciudad de Loreto, por lo que el Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del municipio es el usuario mayoritario. En menor proporción, está el uso agrícola y el doméstico-abrevadero. De acuerdo con el volumen inscrito en el REPDA, el uso principal es el doméstico-abrevadero y en segundo lugar el uso público-urbano. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua Nacionales 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

## **2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.**

Entre los principales estudios técnicos realizados con anterioridad se distinguen los siguientes:

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LORETO, elaborado por Ingeniería Integral, S.A. de C. V., para FONATUR, en el año de 1980.** En este trabajo se hace una descripción geológica del área de Loreto y un análisis geohidrológico general, que incluye la descripción litológica y terminación de los pozos 9 y 9A de Loreto. Incluye también sondeos eléctricos de resistividad.

Dentro de los principales aspectos que menciona este informe, se indica que Loreto no tiene cuenca de captación, además de que se registra una escasa precipitación pluvial, lo cual ocasiona la escasez de agua. Considera que el agua existente es limitada y que se originó después de muchos años de precipitación, que es de renovación lenta o, para fines prácticos, no renovable, por lo que su extracción implica el minado del acuífero.

La transmisividad calculada en pruebas de bombeo para los pozos 5A, 5B, 9A y el pozo Gemelos, fue de 0.3, 0.78, 2.0 y  $0.69 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s respectivamente y sus caudales de extracción fueron de 7.5, 11.0, 20.0 y 15.0 lps, respectivamente. La geofísica realizada muestra la presencia de un cuerpo acuífero superficial. A mayor profundidad se midieron valores bajos de resistividad, los que se correlacionan con agua salada y/o arcillas de muy baja permeabilidad.

Datos sobresalientes:

Considera que, para fines prácticos, el agua no es renovable.

Transmisividad: de 0.3 a  $2.0 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA CUENCA DE “LORETO-PUERTO ESCONDIDO”, MUNICIPIO DE COMONDÚ, EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR, elaborado por Acuplan, S.A. para la SARH en el año de 1981.**

Corresponde a un estudio geohidrológico completo que incluyó una descripción geológica, un censo de aprovechamientos, análisis químicos, nivelación topográfica, pruebas de bombeo, configuraciones del nivel estático y la obtención de volúmenes de extracción y descarga natural de agua subterránea.

Considera a la Formación Comondú como barrera al flujo del agua subterráneo. Para esta fecha (1981), indica que la extracción era del orden de 2.153 hm<sup>3</sup>/año, volumen que se extraía con 105 aprovechamientos, de los cuales 13 correspondían a pozos y los restantes a norias y sondeos exploratorios. Califica la calidad del agua como regular.

La evolución anual del nivel estático en 1981–1982, fue del orden de -0.32 m para Loreto y de -0.30 m para la zona de Nopoló-Notri. Indica que la transmisividad de los materiales clásticos que constituyen el acuífero es de  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s y que el coeficiente de almacenamiento varía de 0.1 a 0.2.

El censo realizado incluyó 105 aprovechamientos, de los cuales 13 son pozos, 88 norias y 4 sondeos. El balance de agua subterránea presentado en este trabajo, indicó que el acuífero se encuentra sobreexplotado con una extracción de 1.54 hm<sup>3</sup>/año y el área de Nopoló-Notri sobreexplotada con una extracción de 0.28 hm<sup>3</sup>/año.

Por lo que se refiere a las unidades geológicas y su comportamiento geohidrológico, indica que los materiales de la Formación Comondú se clasifican como poco permeables a impermeables que funcionan como barrera al flujo del agua; los conglomerados de las terrazas los considera de buena permeabilidad; los materiales aluviales indica que tienen buena permeabilidad y que en ellos se encuentran la mayor parte de las captaciones existentes.

Respecto a la calidad del agua, indica que ésta es de buena calidad tierra adentro, la cual pasa a mala calidad conforme se acorta la distancia a la costa, donde se encuentra afectada por una intrusión marina.

Concluye que en ambas áreas (Loreto y Nopoló-Notri-Puerto Escondido), se presenta una sola unidad acuífera constituida por materiales granulares depositados en pequeños valles y que en las terrazas de conglomerados los acuíferos son pobres. El volumen de extracción anual obtenido fue de 2.153 hm<sup>3</sup>/año.

En el Valle de Loreto se obtuvo un abatimiento medio anual de -0.32 m, lo que ocasionó un cambio de almacenamiento de -0.16 hm<sup>3</sup>/año. La extracción por bombeo a través de 36 captaciones ascendió a 1.7 hm<sup>3</sup>/año en tanto que la total se estimó en 1.54 hm<sup>3</sup>/año. En el Valle de Nopoló-Notri el abatimiento medio anual considerado fue de -0.10 m, el volumen de extracción de 0.36 hm<sup>3</sup>/año, la recarga por flujo subterráneo fue de 0.31 hm<sup>3</sup>/año y la descarga total de 0.28 hm<sup>3</sup>/año. Indica que en la zona de Puerto Escondido se han registrado abatimientos, pero no se menciona el valor promedio.

Datos sobresalientes:

Censo: 105 aprovechamientos,

Extracción: 2.153 hm<sup>3</sup>/año

Transmisividad:  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s

Coefficiente de almacenamiento: de 0.1 a 0.2

Extracción: En Loreto 1.54 hm<sup>3</sup>/año; en Nopoló-Notri 0.28 hm<sup>3</sup>/año.

Formación Comondú: Funciona como barrera al flujo del agua

Unidad acuífera: Materiales granulares

En Loreto: Abatimiento medio anual -0.32 m, cambio de almacenamiento -0.16 hm<sup>3</sup>/año, extracción 1.7 hm<sup>3</sup>/año, recarga total 1.54 hm<sup>3</sup>/año.

En Nopoló-Notri: Abatimiento medio anual -0.10 m, volumen de extracción 0.36 hm<sup>3</sup>/año, recarga por flujo subterráneo 0.31 hm<sup>3</sup>/año, descarga total 0.28 hm<sup>3</sup>/año.

Puerto Escondido no se cuantifica.

### **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS DEL DESARROLLO TURÍSTICO DE LORETO, BCS, elaborado por IEPSA para FONATUR en el año de**

**1984.** Corresponde a un informe muy completo que describe las características geohidrológicas e incluye un análisis hidrometeorológico superficial y un modelo simplificado del acuífero. Menciona que para el año de 1984 el poblado de Loreto se abastecía mediante un pozo y una noria que extraían 45 lps y que el abastecimiento se complementaba con dos pozos de FONATUR que aportaban 12 lps.

En este trabajo se localizaron 48 aprovechamientos de los cuales 13 correspondían a pozos, 25 a norias y 5 a manantiales, no indica el tipo de los restantes. Se efectuó un completo análisis de datos pluviométricos y pluviográficos, que permitieron obtener los gastos máximos de los arroyos Loreto y Primer Agua para períodos de retorno desde 5 hasta 10,000 años.

Obtiene que, para períodos de retorno de 5 a 20 años, se podría construir pequeñas obras sobre los cauces con el fin de retener el agua que escurre y propiciar una mayor recarga al acuífero. Sin embargo, información verbal de los lugareños, indicó que dichos escurrimientos no llegan a descargar superficialmente al mar, lo que indica que éstos se infiltran. Por otra parte, se indica que las lluvias ciclónicas ocasionan descargas al mar pero considera que la construcción de obras de recarga serían de una magnitud tal que su costo no justificaría los beneficios. En este trabajo, se efectuaron 40 sondeos eléctricos verticales calibrados con 9 cortes litológicos de pozos, los que permiten delimitar a los materiales granulares que constituyen la principal zona acuífera, así como zonas asociadas con intrusión marina. Mediante 7 pruebas de bombeo se obtuvieron valores de transmisividad de  $1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Se realizó un balance de agua subterránea que arrojó los valores siguientes:

Área de Loreto, entrada por flujo horizontal 1.45, salida por flujo horizontal 1.28, extracción por bombeo 1.64, recarga vertical 1.47 y recarga total 2.92 (valores expresados en  $\text{hm}^3/\text{año}$ ). Área de Nopoló, entrada por flujo horizontal 0.58, salida por flujo horizontal 0.52, extracciones por bombeo 0.44, recarga vertical 0.38 y recarga total 0.96 (valores expresados en  $\text{hm}^3/\text{año}$ ).

Indica que aunque aparentemente el balance muestra una sobre-explotación, el hecho de no generarse abatimientos progresivos del nivel estático en el período 1981-1985 permite, razonablemente, suponer que la recarga es mayor.

Se sugiere restringir la explotación en una franja de 1.5 kilómetros de ancho a partir de la línea de costa, para prevenir el avance de la intrusión marina. Indica que existen posibilidades de incrementar la extracción en  $1.0 \text{ hm}^3/\text{año}$  y concluye que en la actualidad, se extrae un volumen del orden de  $2.1 \text{ hm}^3/\text{año}$  en la zona de Loreto-Nopoló, mediante 5 pozos y 13 norias, que la construcción de pequeñas obras de recarga artificial no parece estar justificada y que existe una condición de equilibrio en el acuífero.

Datos sobresalientes:

Fuente de abastecimiento de Loreto en 1984: Un pozo y una noria (45 lps)  
complementado con dos pozos de FONATUR (12 lps)

Censo: 13 pozos, 25 norias y 5 manantiales

La construcción de obras de recarga sería de una magnitud tal que su costo no justificaría los beneficios.

Zona acuífera: Materiales granulares

Transmisividad:  $1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### **Área de Loreto:**

Entrada por flujo horizontal 1.45,

Salida por flujo horizontal 1.28,

Extracción por bombeo 1.64,

Recarga vertical 1.47

Recarga total 2.92

(valores expresados en  $\text{hm}^3/\text{año}$ ).

### **Área de Nopoló:**

Entrada por flujo horizontal 0.58,

Salida por flujo horizontal 0.52,

Extracciones por bombeo 0.44,

Recarga vertical 0.38

Recarga total 0.96

(valores expresados en  $\text{hm}^3/\text{año}$ ).

Aparentemente el balance muestra una sobre-explotación, sin embargo, al no generarse abatimientos permite suponer que la recarga es mayor. Existen posibilidades de incrementar la extracción en  $1.0 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

**ESTUDIO GEOFÍSICO DE LA ZONA DE PUERTO ESCONDIDO, B.C.S., elaborado por IEPSA para FONATUR en el año de 1986.** Se realizó un estudio geofísico (sondeos eléctricos de resistividad), con el objeto de determinar los sitios más favorables para la perforación de pozos y su diseño constructivo.

Se determinó la presencia de 5 unidades hidrogeológicas en el subsuelo: U1 Depósitos sedimentarios hasta los 25 metros de profundidad. U2 Tobas vulcano-clásticas y andesíticas basálticas con entre 25 y 95 metros de espesor y permeabilidad baja.

U3 Toba vulcano-clástica arcillosa con espesor promedio de 30 metros y baja permeabilidad. U4 Toba vulcano-clástica-aglomerado, saturados con agua de alta concentración salina. U5 Aglomerado vulcano-clástico presentan alto fracturamiento y considerable espesor, constituyen la principal unidad acuífera.

En este trabajo, se indica que la unidad superior de la Formación Comondú, en el área de Puerto Escondido (derrames lávicos, andesíticos y basálticos interdigitados con aglomerados, brechas y tobas clásticas), forma el acuífero principal, con un espesor de entre 100 y 360 metros. Indica que las andesitas de la unidad media (Tmcva) permiten el flujo vertical y horizontal de agua subterránea y es en ellas es donde afloran los manantiales. (En contraste con Acuaplan, 1981, que considera a la Formación Comondú como poco permeable e impermeable y que funciona como barrera al flujo subterráneo).

Menciona también que los depósitos aluviales son susceptibles de ser acuíferos, aunque por su poco espesor proporcionan gastos pequeños, además de que pueden ser fácilmente intrusionados por el agua de mar.

Concluye que el acuífero Puerto Escondido está formado por tres unidades. 1) Una unidad superior (tobas vulcano-clásticas y andesíticas) de permeabilidad mala a regular. 2) Una unidad media de tobas arcillosas semipermeables y 3) una unidad inferior (aglomerado volcánico fracturado) con excelentes condiciones de porosidad y permeabilidad que corresponden a la principal unidad acuífera. Recomienda perforaciones a entre 110 y 150 metros de profundidad.

Datos sobresalientes:

La unidad inferior de la Formación Comondú (aglomerado volcánico fracturado) presenta excelentes condiciones de porosidad y permeabilidad y corresponde a la principal unidad acuífera en la zona.

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA LA PERFORACIÓN DE NUEVOS POZOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA POTABLE PARA EL ABASTECIMIENTO DEL**

**DESARROLLO TURÍSTICO GOLDEN BEACH, EN LORETO, BCS. Elaborado por Basin, S.A. de S.V. para FONATUR en el año del 2003.** En este trabajo se describe el estado actual (2003) del sistema de captación del proyecto Golden Beach que consiste en los pozos Tabor-1 y Tabor-2; realiza sondeos eléctricos verticales y propone sitios para perforación de pozos nuevos. Indica que la parte inferior de la Formación Comondú está compuesta de tobas y conglomerados de muy baja permeabilidad, en tanto que el miembro superior de esta formación está compuesto por andesitas, basaltos y aglomerados afectados por fracturamiento, lo que les confiere una permeabilidad baja a media. Una falla “normal” afecta a la Formación Comondú, cuyo bloque caído corresponde a la zona costera y da origen a la acumulación de rellenos aluviales que constituyen el acuífero actualmente en explotación.

Indica que en el año 2003, el pozo Tabor-2 rendía 27 lps y el Tabor-1 se encontraba desmantelado pero rendía 13 lps (la identificación de los pozos Tabor-1 y Tabor-2 en este estudio se encuentra invertida respecto al resto de los trabajos recopilados) así como a la identificación asignada en el 2006.

Menciona que el censo de pozos adolece de información precisa. Calcula un indicador de la relación volumen infiltrado entre el área, el cual resulta de  $0.007 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , valor que ratifica utilizando como índice la relación de volumen de recarga entre el área. Considera que, desde el punto de vista hidráulico, el acuífero es de tipo libre ya que no se han detectado en las perforaciones materiales con permeabilidades que pudieran significar un confinamiento o semiconfinamiento.

Menciona el pozo denominado el Cajón de Tecomajac, del cual se dice que su productividad fue muy alta cuando fue equipado para probarlo. En este sitio se efectúa un cálculo de flujo subterráneo considerando un espesor saturado de 200 metros. Recomienda perforar un pozo adicional en la Cañada Tabor, así como otra perforación en la Cañada Tecomajac, que junto con dos pozos existentes podrían abastecer el área de Ligüi y Ensenada, mientras que para Nopoló indica que es probable captar agua subterránea adicional a la que se extrae con los pozos 5-B y Gemelos.

Finalmente, para Loreto indica que el abastecimiento debe buscarse en la misma cuenca de Loreto, aguas arriba de las captaciones actuales, ya que su potencial lo permite.

**OPINIÓN TÉCNICA SOBRE EL PROYECTO DE DESARROLLO TURÍSTICO DE FONATUR EN LA REGIÓN DE LORETO, B.C.S., elaborado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la CNA en el año 2005.**

Se presenta un resumen de las condiciones geohidrológicas, técnicas y administrativas que prevalecen en la región de Loreto, en relación al proyecto de desarrollo turístico de FONATUR. Para el acuífero Loreto, con una extensión de 300 km<sup>2</sup>, menciona que está constituido por depósitos aluviales de reducido espesor, permeabilidad media y baja capacidad de almacenamiento.

Su recarga se origina por la infiltración del agua de lluvia y de los escurrimientos en los flancos de la sierra, la cual probablemente sea menor de 2 hm<sup>3</sup>/año.

Es probable que la recarga se haya incrementado en Loreto a raíz de la importación de agua desde el acuífero de San Juan B. Londó. Indica que en el estudio más reciente se censaron 56 captaciones y que se presenta una sobreexplotación incipiente con una intrusión salina también incipiente.

El acuífero San Juan B. Londó con una superficie de 940 km<sup>2</sup>, está constituido por depósitos aluviales con permeabilidad media y limitado a profundidad por la Formación Comondú. Entre 1986 y el 2005 se han registrado abatimientos de 5 a 10 metros en zonas localizadas. Se estima que la extracción es de 7 hm<sup>3</sup>/año captados por 22 pozos agrícolas y 4 de agua potable. Los pozos para abastecimiento de agua potable tienen alrededor de 110 metros de profundidad y caudales de aforo de 50 a 60 lps, así como agua de buena calidad, con entre 470 y 570 ppm de sólidos totales disueltos. Se destinan 95 lps para ser conducidos a través de un acueducto a la zona de Loreto.

En la década de los 50's se estableció "veda" para la extracción de aguas subterráneas en todo el Estado de Baja California Sur. Según el REPDA, al 31 de mayo del 2005 los volúmenes concesionados en estos acuíferos era de 0.156 hm<sup>3</sup>/año para Loreto y 7.7 hm<sup>3</sup>/año para San Juan B. Londó. Este trabajo estima que la extracción de agua subterránea de ambos acuíferos es de unos 8 hm<sup>3</sup>/año y que la recarga debe ser de entre 6 y 8 hm<sup>3</sup>/año, por lo que considera que "de confirmarse lo anterior con los estudios y trabajos en proceso, no habría disponibilidad de agua para otorgar concesiones sobre volúmenes adicionales o, en el mejor de los casos, sería muy reducida".

También destaca que “resulta viable para el proyecto de FONATUR desalinizar agua marina”. Recomienda reducir la dotación actual de agua a los habitantes, la cual indica que actualmente es muy alta.

Datos sobresalientes:

Loreto

Recarga: 2 hm<sup>3</sup>/año

Extracción: Alrededor de 2 hm<sup>3</sup>/año

Volumen concesionado REPDA: 0.156 hm<sup>3</sup>/año

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia Fisiográfica**

La zona se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica de Sierras de Baja California de acuerdo a la clasificación del Ing. Manuel Álvarez Jr. (1954) y dentro de la Subprovincia fisiográfica de la Sierra La Giganta de acuerdo a la clasificación del Sistema Geológico Mexicano (antes Consejo de Recursos Minerales). Esta provincia constituye prácticamente la mitad oriental del Estado de Baja California y comprende el macizo montañoso conocido como Sierra La Giganta formado por altas elevaciones y profundos cañones de paredes verticales que en muchos sitios terminan en acantilados abruptos sobre el Golfo de California. Dentro de esta provincia se encuentran potentes espesores de rocas volcánicas que descansan en discordancia sobre sedimentos marinos del Cenozoico, así como rocas graníticas que constituyen un batolito.

#### **3.2 Clima**

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por Enrique García para adaptarla a las condiciones climáticas de la República Mexicana, se tiene que la zona pertenece al tipo de clima desértico, cuya temperatura media anual es de 21° C con una máxima de 40° C y una mínima de 5° C, por lo que se considera de tipo caluroso extremo.

En cuanto a la precipitación, ésta varía de 150 a 300 mm anuales, presentando lluvias durante el otoño e invierno en forma de intervalos, siendo los meses en que más llueve los de septiembre a diciembre. Por último, la evaporación potencial de acuerdo a los datos recopilados es del orden de 1,500 mm anuales.

### **3.3 Hidrografía**

La red hidrográfica de la región está representada por una serie de arroyos de tipo intermitente que descienden de las partes altas de la Sierra La Giganta; estos arroyos son pocos profundos, están orientados transversalmente a la traza de la falla regional y corresponden también a fracturas y fallas.

Durante la temporada de lluvias, especialmente las de tipo ciclónico, son capaces de transportar grandes volúmenes de acarreo. Los principales cauces son los denominados Las Parras y Loreto en la subcuenca del mismo nombre; Primer Agua y Nopoló en la subcuenca de Nopoló-Notrí y el Ligüí, Cañada de Tabor y Tecomajac en la de Puerto Escondido.

### **3.4 Geomorfología**

Respecto a la geomorfología, el área de Loreto corresponde a una angosta planicie costera de entre 1 y 4 kilómetros de ancho, que se extiende desde el poblado de Loreto hasta la zona conocida como Ensenada Blanca. Esta planicie costera se encuentra interrumpida por elevaciones topográficas en cuando menos 4 sitios, las que separan a la planicie costera en las 4 zonas siguientes: Loreto, Nopoló, Puerto Escondido y Ensenada Blanca. La planicie presenta elevaciones de hasta 30 msnm que descienden hacia el Mar de Cortés. Están surcadas por algunos arroyos que forman cauces fluviales, los cuales presentan escurrimientos en temporadas de lluvias, las que son escasas, pero cuando ocurren son torrenciales.

Generalmente los escurrimientos se infiltran antes de llegar al mar, excepto durante los eventos ciclónicos. En el poniente de la planicie se presentan terrazas en materiales aluviales, formadas principalmente por la erosión de las corrientes fluviales. Al poniente de las planicies costeras mencionadas, se encuentra la continuación de la Sierra La Giganta, la cual se eleva a más de 1200 msnm.

Presenta formas abruptas y un gran número de escurrimientos superficiales que circulan del poniente al oriente para desembocar en el mar. Forman cañones en forma de "V" y su morfología es irregular con frecuentes elevaciones triangulares y abundantes acantilados. El límite entre la sierra y la planicie costera generalmente es abrupto, debido a la presencia de una falla normal, mientras que hacia el poniente la Sierra La Giganta está constituida por un gran número de mesetas formadas por alternancia de materiales volcánicos y sedimentos.

## 4. GEOLOGÍA

### 4.1 Estratigrafía

Dentro de la zona afloran rocas volcánicas, sedimentarias e ígneas intrusivas (figura 2), cuya secuencia estratigráfica se describe a continuación.

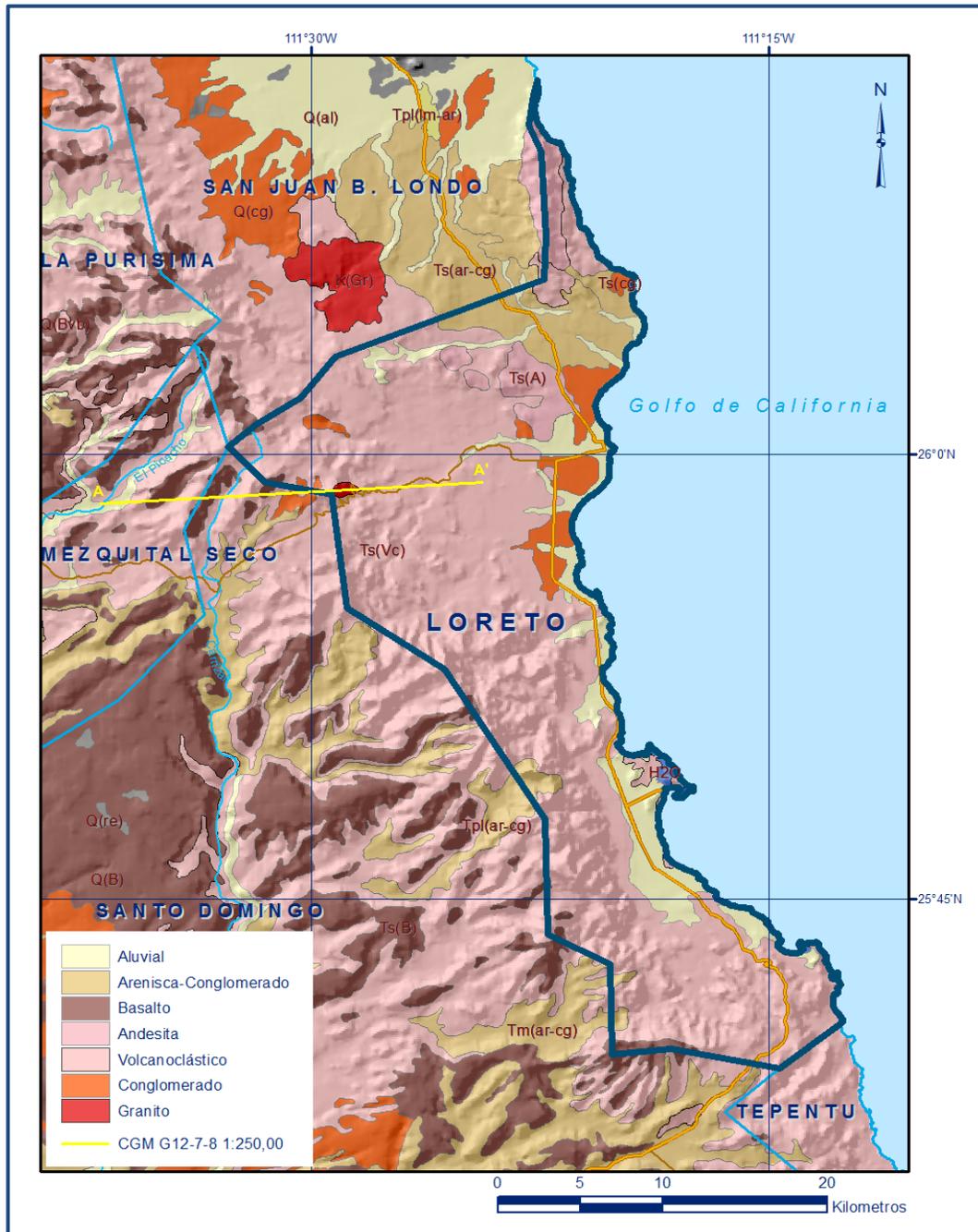


Figura 2. Geología general del acuífero

**Formación Comondú (Tco).** La Formación Comondú (Heim, Arnold, 1922) está constituida por una alternancia de materiales volcánicos y sedimentarios. Incluye areniscas, conglomerados, brechas volcánicas, andesitas y tobas. Las areniscas se presentan bien consolidadas y compactas, en varios sitios presentan estratificación cruzada. Tiene un color rojizo. Los conglomerados están constituidos por fragmentos redondeados, de origen ígneo, empacados en arenas.

Las areniscas y los conglomerados se encuentran complejamente interestratificados e intrusionados por diques de composición intermedia y básica. Se observan afloramientos de este paquete 15 km al NW de Loreto. Las tobas y brechas presentan una composición predominantemente básica. Las brechas están constituidas por fragmentos de 0.3 a 40 cm de diámetro, empacadas en una matriz tobácea. Se encuentran intrusionadas por diques. Constituye la mayor parte de las elevaciones topográficas que corresponden a la Sierra La Giganta. Presenta una estratificación casi horizontal, con una sensible inclinación hacia el poniente. Su espesor se estima en más de 1,000 metros. Se considera de edad Mioceno.

**Formación Salada (Tps).** La Formación Salada (Heim, 1922) corresponde a un conjunto de sedimentos semiconsolidados de origen marino, del período Plioceno. Incluye horizontes de areniscas y conglomerados semiconsolidados, de color gris, de origen marino con fósiles. Se han reportado espesores de aproximadamente 1,000 m y una edad Plioceno Inferior. Presenta también limolitas en colores gris claro y amarillo que sobreyacen a las areniscas y conglomerados. Se le estima a este cuerpo un espesor de 200 m.

Otro horizonte dentro de esta formación, corresponde a material calcáreo con material terrígeno. Se le asigna una edad de Plioceno Tardío. Aflora principalmente al norte del poblado de Loreto. Cubriendo a los materiales mencionados anteriormente, se encuentran andesitas, basaltos y brechas basálticas en un espesor que varía entre 100 y 200 metros.

**Terrazas y pie de montes (Qp)-** Corresponde principalmente a conglomerados poco consolidados, empacados en arenas. Los clásticos son de rocas ígneas. Aflora al pie de la Sierra La Giganta en la planicie de Loreto–Puerto Escondido.

Se pueden observar espesores superiores a los 50 metros a lo largo de los arroyos, como en el Arroyo Primer Agua.

**Aluviones (Qal).** - Están formados por materiales granulares de diferentes tamaños, tales como arenas, limos, arcillas, gravas y cantos rodados, producto del intemperismo y erosión de las rocas que constituyen las elevaciones topográficas de la región. En la línea de costa, se interdigitan con arenas y gravas trabajadas por el mar. Afloran en la planicie de Loreto.

#### **4.2 Geología Estructural**

La Falla Loreto es el rasgo estructural más importante del acuífero. Se localiza al occidente y tiene continuidad regional tanto hacia el norte como hacia el sur.

Su desplazamiento con respecto al bloque caído que representa en valle es de hasta 800 m. Hacia el occidente de la falla la topografía desciende gradualmente hacia el mar, debido a la presencia de mesas de gran extensión.

A diferencia del acuífero San Juan B. Londó, la cantidad de fracturas, fallas y diques es muy inferior. Las fallas y fracturas principales son perpendiculares a la falla regional, sobre las cuales se ha labrado el cauce de arroyos que cortan en bloques la continuidad de la secuencia vulcanosedimentaria de la Formación Comondú, expuesta en la Sierra La Giganta.

Sobre la traza de estas fracturas y fallas se han emplazado los pozos más importantes de la región, por lo que su estudio, análisis y cartografía son importantes para la prospección de los sitios más favorables para localizar obras para el abastecimiento futuro.

Se han identificado relictos de aparatos volcánicos que seguramente fueron los focos de emisión volcánica que dieron origen a los materiales que constituyen la Formación Comondú.

#### **4.3 Geología del subsuelo**

La información derivada de las exploraciones geofísicas realizadas como parte de las actividades de los estudios previos, incluidas las realizadas en el 2006, así como los cortes litológicos de los pozos perforados, permiten definir la geometría del subsuelo.

El acuífero está alojado en los sedimentos aluviales que constituyen la planicie costera del Mar de Cortés, cuyo espesor es de aproximadamente 100 m en la línea costera. Debajo de estos materiales y hacia las estribaciones de la Sierra La Giganta afloran rocas vulcanoclásticas de la Formación Comondú que reciben el agua de lluvia y la transmiten hacia los depósitos granulares y hacia niveles más profundos de la misma formación. El espesor de estas rocas es desconocido pero su continuidad y regularidad hacia la costa es interrumpida por una secuencia de fallas normales escalonadas, que forman bloques caídos.

Se considera que las fronteras y barreras al flujo subterráneo están representadas por las limolitas y areniscas de la Formación Salada y las rocas menos permeables de la Formación Comondú, cuando éstas no presentan permeabilidad secundaria.

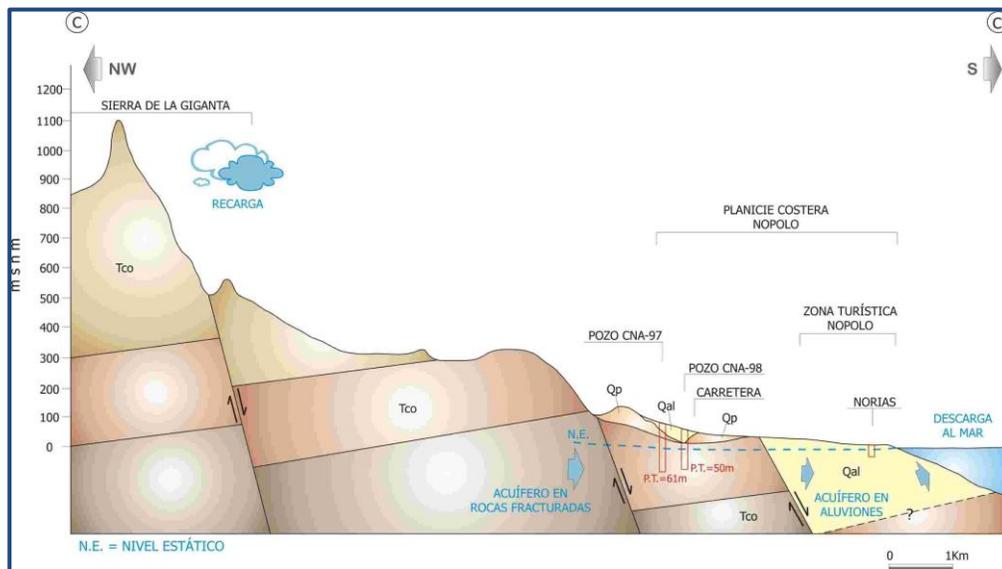


Figura 3.- Sección geológica esquemática que muestra el funcionamiento del acuífero

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

El acuífero Loreto es de tipo libre y se encuentra alojado en dos principales unidades que son los materiales aluviales que constituyen la planicie y pequeños valles que conforman la topografía de la región y las rocas fracturadas de las secuencias vulcanosedimentaria de la Formación Comondú.

**Aluviones.** - Los aluviones se encuentran a lo largo de la planicie costera y su espesor es probable que alcance más de 100 metros en la línea de costa, disminuyendo hacia

el poniente, hasta desaparecer al pie de las sierras. Estos materiales aluviales presentan permeabilidad variable y constituyen un acuífero donde se almacena agua subterránea. Sin embargo, su explotación es restringida, principalmente por ubicarse cerca de la línea de costa, donde el acuífero está influenciado por la intrusión del agua de mar. Este acuífero se recarga a partir de la infiltración que se genera principalmente a lo largo de los cauces fluviales. Una vez incorporada el agua al subsuelo, circula de manera subterránea para desembocar en el mar. Cerca de la línea de costa, parte de esta agua es capturada mediante algunas norias.

**Rocas fracturadas.** - La Formación Comondú, en general se considera como de baja a nula permeabilidad. Sin embargo, localmente algunos horizontes presentan fracturas que permiten la infiltración, circulación y almacenamiento de agua en el subsuelo, dando lugar a un acuífero de buen rendimiento.

La complejidad geológica de la distribución de estos materiales, dificulta su mapeo tendiente a ubicar hasta donde se extienden los horizontes acuíferos y para definir con claridad su zona de recarga.

La recarga de este acuífero se lleva a cabo en la parte alta de la Sierra de La Giganta y se considera que su descarga se realiza hacia los materiales granulares que forman la planicie costera. Manifestaciones de este acuífero en medios fracturados son evidentes en los 4 mejores pozos de la región, los cuales se encuentran operando con caudales entre 11 y 22 lps que constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua en la región.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

En la zona que comprende el acuífero se han realizado poco más de 15 pruebas de bombeo principalmente de corta duración, tanto en etapas de abatimiento como de recuperación. Los métodos de interpretación han sido distintos (Neuman, Jacob, Cooper y Jacob) pero, de manera general, no presentan variaciones significativas en sus valores estimados de conductividad hidráulica y transmisividad.

Los resultados de la interpretación, revelan que los valores de transmisividad varían entre  $0.3$  y  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  para los materiales granulares, en tanto que para las rocas fracturadas son muy superiores, alcanzando valores de hasta  $90 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

La capacidad transmisora es media a baja y se traduce en pozos con caudales específicos que varían entre 5.37 y 12.34 lps/m, con caudales de 5.7 a 33.5 lps. El valor del coeficiente de almacenamiento oscila entre 0.1 y 0.2 que corresponde a acuíferos de tipo libre, consistente con los materiales que lo conforman.

### **5.3 Piezometría**

La información piezométrica es escasa y se encuentra dispersa por lo que se considera que no existe registro histórico confiable.

Por esta razón la descripción del comportamiento de los niveles del agua subterránea únicamente se refiere a 2006, en las tres regiones en que se dividió el acuífero: Loreto, Nopoló y Puerto Escondido.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

#### **5.4.1 Profundidad del nivel estático**

Se trazó la configuración de la profundidad al nivel estático medida en el presente año.

Se hace notar que existen pocos pozos y por lo tanto poca información piezométrica que permita el trazo con precisión de las curvas. Las configuraciones en general incluyen curvas inferidas en varias porciones. Se observan valores de profundidad que varían entre 2 y 28 metros en Loreto, entre 5 y 30 metros en Nopoló y entre 10 y 50 metros en Puerto Escondido.



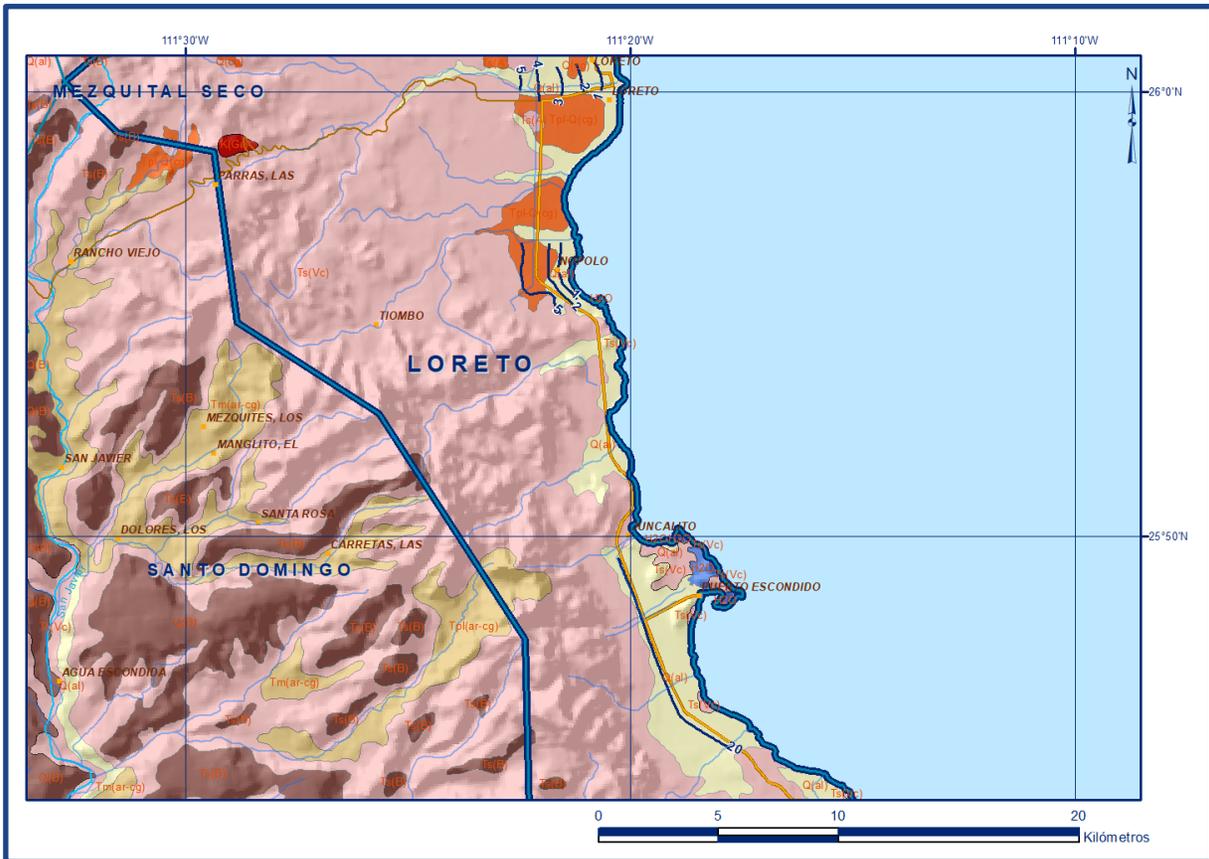


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2006).

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

Para el caso de la zona de Loreto, existe una recuperación en los niveles en el periodo 1981-2006 ya que durante el año de 1981 la elevación del nivel estático, aguas arriba de la carretera transpeninsular, permanecía por debajo del nivel medio del mar y actualmente se encuentran totalmente recuperados.

Caso contrario sucede en la zona de Nopoló, donde los niveles del agua subterránea han descendido en el periodo 1984-2006, como consecuencia del incremento de la extracción.

En la figura 6 se puede observar cómo han variado los niveles del agua subterránea en el periodo 1981-2006 para ambas zonas.

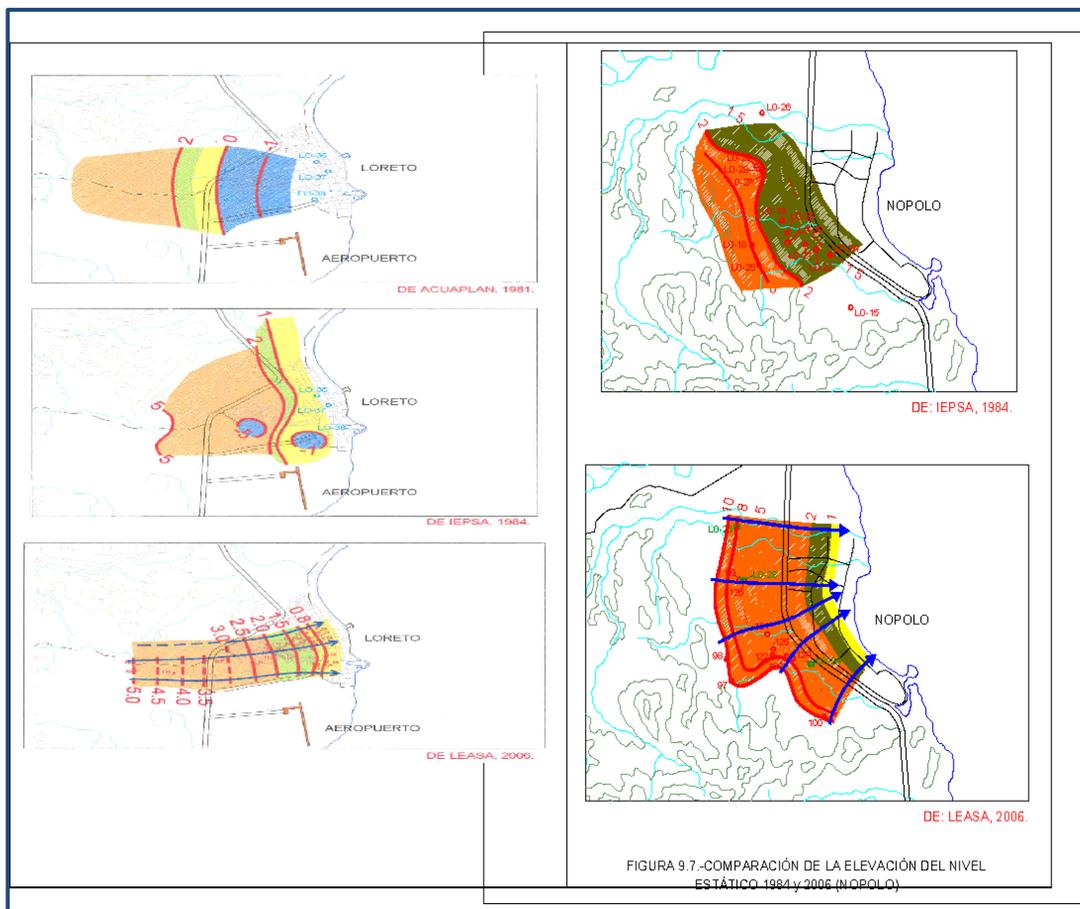


Figura 6. Evolución del nivel estático en las zonas de Loreto y Nopoló en m

### 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En la planicie costera de Loreto, los valores de conductividad eléctrica en el agua subterránea, menores de 1,000 mmhos/cm se ubican en los aprovechamientos alejados de la línea de costa y aumentan conforme se aproximan hacia el mar, lo que ocasionalmente llegan a presentar concentraciones de más 5,000 mmhos/cm. La salinidad expresada como sólidos totales disueltos (STD), presenta valores menores de 600 mg/l en áreas que se encuentran alejadas de la costa y concentraciones de alrededor de 3,000 mg/l en norias ubicadas cerca de la costa.

La planicie de Loreto-Nopoló-Puerto Escondido, corresponde a una zona costera donde los materiales granulares que constituyen el subsuelo presentan permeabilidad, lo que provoca que el agua subterránea fluya en dirección al mar.

Por otra parte, el agua de mar penetra a través de estos materiales permeables que constituyen a la planicie ocasionando lo que se conoce como intrusión salina.

Mientras exista descarga de agua subterránea al mar, la intrusión marina se mantiene en equilibrio. Conforme disminuyan las descargas al mar y se incremente la extracción de agua del acuífero costero, la intrusión avanza tierra adentro, afectando los pozos que se encuentren cerca de la línea de costa, así como también los que presenten mayor profundidad y los que tengan mayor gasto de extracción.

Por lo anterior, es recomendable ubicar las extracciones alejadas de la línea de costa (500 a 1,000 metros), perforar pozos someros (profundidad total 2 metros abajo del nivel estático), bombear caudales reducidos por pozo (de 1 a 3 lps) e instalar dispositivos dentro de los pozos que impidan abatir el nivel del agua por debajo el nivel del mar.

En contraste, los pozos en el acuífero en medio fracturado, ubicados al pie de la sierra, no han presentado manifestaciones de la presencia de intrusión salina, tanto por encontrarse relativamente lejos de la línea de costa, como por corresponder a un acuífero independiente del acuífero granular, además de que existe un gradiente hidráulico hacia el mar, lo cual constituye un impedimento para el avance de la intrusión salina.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En la zona costera correspondiente al acuífero Loreto, de los 67 aprovechamientos censados 14 corresponden a pozos, 49 a norias y 4 a manantiales. Tres aprovechamientos se utilizan en abrevadero, 4 para agua potable, 3 en doméstico, 8 para uso agrícola, 41 de ellos se encuentran sin uso y 8 más no contaron con información.

Tabla 2.- Tipo de aprovechamiento por usos

Obra	Total	Abrevadero	Potable	Agrícola	Sin uso	Doméstico	Sin información
Pozos	14	0	4	0	9	0	1
Norias	49	1	0	8	32	3	5
Manantiales	4	2	0	0	0	0	2
Suma	67	3	4	8	41	3	8

Para la estimación de los volúmenes de extracción se tomó en cuenta la información

de los medidores de flujo, el caudal y tiempo de operación, superficie y lámina de riego.

El volumen calculado asciende a 1.0 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 0.1 corresponden a la zona de Loreto, 0.4 para Nopoló y los 0.5 hm<sup>3</sup>/años restantes se extraen en la zona de Puerto Escondido. De este total 0.9 hm<sup>3</sup>/año se destinan al abastecimiento de agua potable y los 0.1 hm<sup>3</sup>/años restantes para uso doméstico-abrevadero.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Con el objeto de plantear un balance que integre las diferentes zonas de explotación identificadas en el acuífero, éste se dividió en tres zonas: Loreto, Nopoló y Puerto Escondido. Considerando que la demanda de la extracción de agua subterránea se ha incrementado y que la información piezométrica confiable disponible corresponde a los años de 1984 y 2006, se decidió plantear el presente balance para el periodo 1984-2006. Se realizó el balance para cada una de ellas y al final los resultados se integraron en uno solo.

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 definido.

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

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

Aplicando esta ecuación al 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 en el acuífero:

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

### **7.1. Entradas**

La recarga total (R) que recibe el acuífero está integrada básicamente por las entradas subterráneas (Eh) y la recarga vertical por lluvia y por los escurrimientos a lo largo del cauce de los arroyos (Rv).

### 7.1.1. Recarga Vertical

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo.

Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance.

$$Eh + Rv - B - Sh - ETR = \pm \Delta V(s) \quad \text{----- (1)}$$

De esta manera:

$$Rv = Sh + B + ETR - \Delta V(s) - Eh \quad \text{----- (2)}$$

### 7.1.2 Recarga natural

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle, de las infiltraciones a lo largo de los arroyos y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta a través de las zonas de pie de monte.

### 7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvia que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemontes, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación localizada en el valle.

En el acuífero la recarga por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre en las zonas de pie de monte que se localizan en los flancos montañosos que limitan el valle, tal como se aprecia en la figura 5 de curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2006. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos.

En la tabla 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de 2.9 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 1.0 hm<sup>3</sup>/año corresponden a la zona de Nopoló y los 1.9 hm<sup>3</sup>/años restantes a Puerto Escondido.

Para el caso de zona de Loreto, las celdas son muy pequeñas y su volumen de entradas

se incluyó en la recarga total.

$$Q = B * i * T$$

Donde:

**Q**= gasto;

**T**= transmisividad;

**B**= largo de la celda;

**i**= gradiente hidráulico;

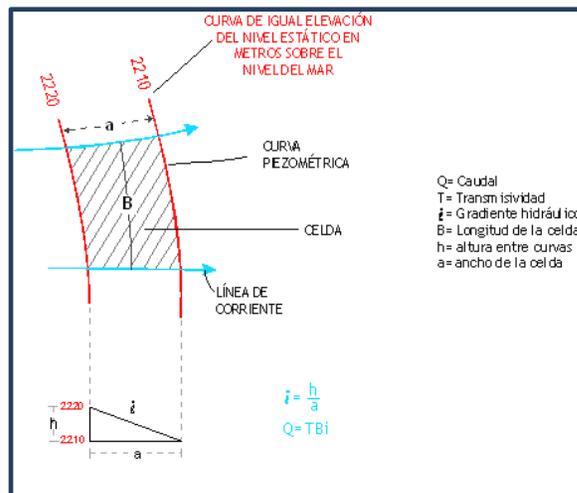


Tabla 3 Entradas subterráneas por flujo horizontal

ZONA NOPOLO						
CELDAS	LARGO m (L)	ANCHO m. (B)	GRADIENTE HIDRAULICO (i)	TRANSMISIVIDAD m <sup>2</sup> /s (T)	CAUDAL m <sup>3</sup> /s Q= TBi	VOLUMEN x 10 <sup>+08</sup> m <sup>3</sup> /año
E - 1	200.00	1100.00	0.0100	0.0006	0.006600	0.2
E - 2	200.00	1000.00	0.0100	0.0006	0.006000	0.2
E - 3	220.00	1650.00	0.0091	0.0006	0.009000	0.3
E - 4	185.00	1300.00	0.0108	0.0006	0.008432	0.3
<b>TOTAL</b>						<b>1.0</b>
ZONA PUERTO ESCONDIDO, B.C.S.						
CELDAS	LARGO m (L)	ANCHO m. (B)	GRADIENTE HIDRAULICO (i)	TRANSMISIVIDAD m <sup>2</sup> /s (T)	CAUDAL m <sup>3</sup> /s Q= TBi	VOLUMEN x 10 <sup>+08</sup> m <sup>3</sup> /año
E - 1	400.00	1400.00	0.0125	0.0003	0.005250	0.2
E - 2	300.00	1150.00	0.0167	0.0003	0.005750	0.2
E - 3	200.00	1750.00	0.0500	0.0002	0.017500	0.5
E - 4	250.00	1700.00	0.0200	0.0003	0.010200	0.3
E - 5	250.00	1800.00	0.0200	0.0003	0.010800	0.3
E - 6	250.00	1900.00	0.0200	0.0003	0.011400	0.4
<b>TOTAL</b>						<b>1.9</b>

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son promedio de los obtenidos en las pruebas de bombeo realizadas durante los estudios llevados a cabo por FONATUR (1980 y 1984) y CONAGUA (2006).

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ETR). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del río San Juan.

### 7.2.1 Extracción por bombeo (B)

La extracción de agua subterránea en el área del acuífero ha variado a través del tiempo, disminuyendo en Loreto cuando se detectó la salinización y aumentando en las otras zonas. De acuerdo con la estimación más reciente, es del orden de 1.0 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 0.1 hm<sup>3</sup>/año se extraen de Loreto, 0.4 de Nopoló y los 0.5 hm<sup>3</sup>/año restantes de la zona de la de Puerto Escondido. Este volumen se emplea principalmente para abastecimiento de agua potable a la ciudad de Loreto.

### 7.2.2 Salida por flujo subterráneo

Las salidas subterráneas que ocurren como descarga hacia el mar fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del nivel estático presentada en la figura 5. El valor estimado es de 2.6 hm<sup>3</sup> anuales, tal como se muestra en la tabla 4, que se descargan al Mar de Cortés. De ellos, 0.5 hm<sup>3</sup>/año corresponden a la zona de Loreto, 0.6 a Nopoló y los 1.5 hm<sup>3</sup>/años restantes a Puerto Escondido.

Tabla 4. Salidas subterráneas por flujo horizontal

ZONA LORETO						
CELDAS	LARGO m. (L)	ANCHO m. (B)	GRADIENTE HIDRAULICO (i)	TRANSMISIVIDAD m <sup>2</sup> /s (T)	CAUDAL m <sup>3</sup> /s Q=TBi	VOLUMEN x 10 <sup>-06</sup> m <sup>3</sup> /año
S-1	200.00	600.00	0.0025	0.0037	0.005550	0.2
S-2	175.00	900.00	0.0029	0.0037	0.009514	0.3
<b>TOTAL</b>						<b>0.5</b>
ZONA NOPOLO						
CELDAS	LARGO m. (L)	ANCHO m. (B)	GRADIENTE HIDRAULICO (i)	TRANSMISIVIDAD m <sup>2</sup> /s (T)	CAUDAL m <sup>3</sup> /s Q = TBi	VOLUMEN x 10 <sup>-06</sup> m <sup>3</sup> /año
S-1	400.00	1000.00	0.0025	0.002	0.005000	0.1
S-2	340.00	450.00	0.0029	0.002	0.002647	0.1
S-3	290.00	360.00	0.0034	0.002	0.002483	0.1
S-4	230.00	100.00	0.0043	0.002	0.009565	0.3
<b>TOTAL</b>						<b>0.6</b>
ZONA PUERTO ESCONDIDO, B.C.S.						
CELDAS	LARGO m. (L)	ANCHO m. (B)	GRADIENTE HIDRAULICO (i)	TRANSMISIVIDAD m <sup>2</sup> /s (T)	CAUDAL m <sup>3</sup> /s Q = TBi	VOLUMEN x 10 <sup>-06</sup> m <sup>3</sup> /año
S-1	350.00	1200.00	0.0143	0.00035	0.006000	0.2
S-2	350.00	1200.00	0.0143	0.0003	0.005143	0.2
S-3	400.00	1650.00	0.0125	0.00035	0.007219	0.2
S-4	300.00	1750.00	0.0167	0.00035	0.010208	0.3
S-5	300.00	1750.00	0.0167	0.00035	0.010208	0.3
S-6	300.00	1750.00	0.0167	0.00035	0.010208	0.3
<b>TOTAL</b>						<b>1.5</b>

### 7.2.3 Evapotranspiración

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). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración

Dentro de las áreas de balance definidas, sólo existen pequeñas zonas en Loreto y Nopoló donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m de profundidad. Se considera que los volúmenes que pueden escapar a la atmósfera por este concepto son muy pequeños. Por lo que **ETR= 0.0**

### 7.2.4 Descargas naturales

Las descargas naturales del acuífero están representadas por el flujo subterráneo que escapa hacia el mar, que para el presente caso no se consideraron, ya que todos los años la extracción fue mayor que la recarga y existe un gradiente inverso el cual impide la descarga del flujo de agua dulce hacia la Bahía de La Paz, B.C.S.

### 7.3 Cambio de almacenamiento ( $\Delta V(S)$ )

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la evolución del nivel estático registrada para el periodo 1984-2006 (Figura 6), considerando un coeficiente de almacenamiento  $S= 0.1$ ; el valor obtenido fue de sólo  $+0.3 \text{ hm}^3$  anuales, de los cuales 0.2 corresponden a Loreto y 0.1 para la zona de Nopoló (Tabla 5). En la zona de Puerto Escondido no existe cambio de almacenamiento. Con base en la configuración de la evolución del nivel estático, la variación del almacenamiento se determina mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

**$\Delta V(s)$ :** 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

Se hace esto para cada área entre dos curvas de diferente evolución y al final se suman todos los valores obtenidos.

Tabla 5 Cambio de Almacenamiento

Zona	Abatimiento (m)	Area (km2)	S	Av(s) hm3/a
Loreto	0.31	6.5	0.1	0.2
Napoló	0.08	12.5	0.1	0.1
Puerto Escondido	0	10	0.1	0
	Area total	29	Promedio anual	0.3

### Determinación de la Recarga Vertical.

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia y por las infiltraciones a lo largo del cauce del río, mediante la expresión (2):

$$R_v = S_h + B + ETR - \Delta V(s) - E_h \quad \text{----- (2)}$$

$$R_v = 2.6 + 1.0 + 0.0 + 0.3 - 2.9$$

**$R_v = 1.0 \text{ hm}^3$  anuales**, de los cuales  $0.1 \text{ hm}^3$  corresponden a la zona de Napoló,  $0.1$  para la zona de Puerto Escondido y los  $0.8$  restantes a la zona de Loreto. En esta última cifra están incluidas las entradas subterráneas y la recarga vertical.

De esta manera la recarga total media anual  $R = R_v + E_h$

**$R = 3.9 \text{ hm}^3$  anuales** ( $0.8 \text{ hm}^3$  corresponde a la zona de Loreto,  $1.1 \text{ hm}^3$  para Napoló y los  $2.0 \text{ hm}^3$  restantes a la zona de Puerto Escondido).

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales” que establece la Metodología para calcular 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:

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

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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Loreto es de **3.9 hm<sup>3</sup>/año**.

### 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero, sólo existen descargas por concepto de flujo subterráneo hacia el mar, y de los 2.6 hm<sup>3</sup>/año calculados se estimó que al menos al 50 % de ellos, es decir, **1.3 hm<sup>3</sup>/año** (0.25 de la zona de Loreto, 0.3 de Nopoló y los 0.75 hm<sup>3</sup>/años restantes de la zona de Puerto Escondido) deben dejarse escapar para mantener la posición de la interfase salina.

### 8.3 Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para este caso el rendimiento permanente es de **2.6 hm<sup>3</sup> anuales**.

#### **8.4 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 **2,505,368 m<sup>3</sup> 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**.

#### **8.5 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 3.9 - 1.3 - 2.505368 \\ \text{DMA} &= 0.094632 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **94,632 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 1993. Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. LIBRO V.3.2.1. Prospección Geoeléctrica y Registros Geofísicos de Pozos.

Comisión Nacional del Agua, 2006. Actualización Geohidrológica de los Acuíferos San Juan B. Londó y Loreto, B.C.S.

SARH, 1981. Actualización del Estudio geohidrológico de la Cuenca de “Loreto-Puerto Escondido”, Municipio de Comondú en el Estado de Baja California Sur (Acuaplan, S.A.)