

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Marabasco (0612),
Estado de Colima***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CDXXXV REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"

| CLAVE | ACUÍFERO | R | DNCOM | VCAS | VEXTET | DAS | DÉFICIT |
|-------|----------|--|-------|------|--------|-----|---------|
| | | CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES | | | | | |

ESTADO DE COLIMA

| | | | | | | | |
|------|-----------|------|-----|-----------|------|----------|----------|
| 0612 | MARABASCO | 28.6 | 9.6 | 15.647953 | 11.5 | 3.352047 | 0.000000 |
|------|-----------|------|-----|-----------|------|----------|----------|

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



*Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas*

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

*DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO
MARABASCO, ESTADO DE COLIMA*

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. GENERALIDADES..... | 3 |
| Antecedentes..... | 3 |
| 1.1 Localización..... | 3 |
| 1.2 Situación Administrativa del Acuífero..... | 5 |
| 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD..... | 5 |
| 3. FISIOGRAFÍA..... | 6 |
| 3.1 Provincia Fisiográfica..... | 6 |
| 3.2 Clima..... | 6 |
| 3.3 Hidrografía..... | 7 |
| 3.4 Geomorfología..... | 7 |
| 4. GEOLOGÍA..... | 7 |
| 4.1 Estratigrafía..... | 8 |
| 4.2 Geología estructural..... | 9 |
| 4.3 Geología del subsuelo..... | 9 |
| 5. HIDROGEOLOGÍA..... | 9 |
| 5.1 Tipo de Acuífero..... | 9 |
| 5.2 Parámetros Hidráulicos..... | 10 |
| 5.3 Piezometría..... | 10 |
| 5.4 Comportamiento hidráulico..... | 10 |
| 5.5 Hidrogeoquímica y Calidad del Agua Subterránea..... | 14 |
| 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA..... | 15 |
| 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | 15 |
| 7.1 Entradas..... | 16 |
| 7.2 Salidas..... | 18 |
| 7.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ | 20 |
| 8. DISPONIBILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA..... | 21 |
| 8.1 Recarga total media anual..... | 22 |
| 8.2 Descarga natural comprometida..... | 23 |
| 8.3 Rendimiento permanente..... | 23 |
| 8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas..... | 23 |
| 8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas..... | 23 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS..... | 23 |

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación, la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPGA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Marabasco se localiza en la porción occidental del Estado de Colima, en la zona costera del Municipio de Manzanillo. Colinda al sur con el Océano Pacífico, al noroeste lo limita el Río Cihuatlán y colinda con los acuíferos Cihuatlán y Cuautitlán del Estado de Jalisco, al noreste con los acuíferos Minatitlán y Santiago-Salagua; y al este con el acuífero Central Peña Blanca; todos ellos del estado de Colima (Figura No.1). La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla No.1.

El Acuífero Marabasco se encuentra ubicado totalmente en el Municipio de Manzanillo, Colima.

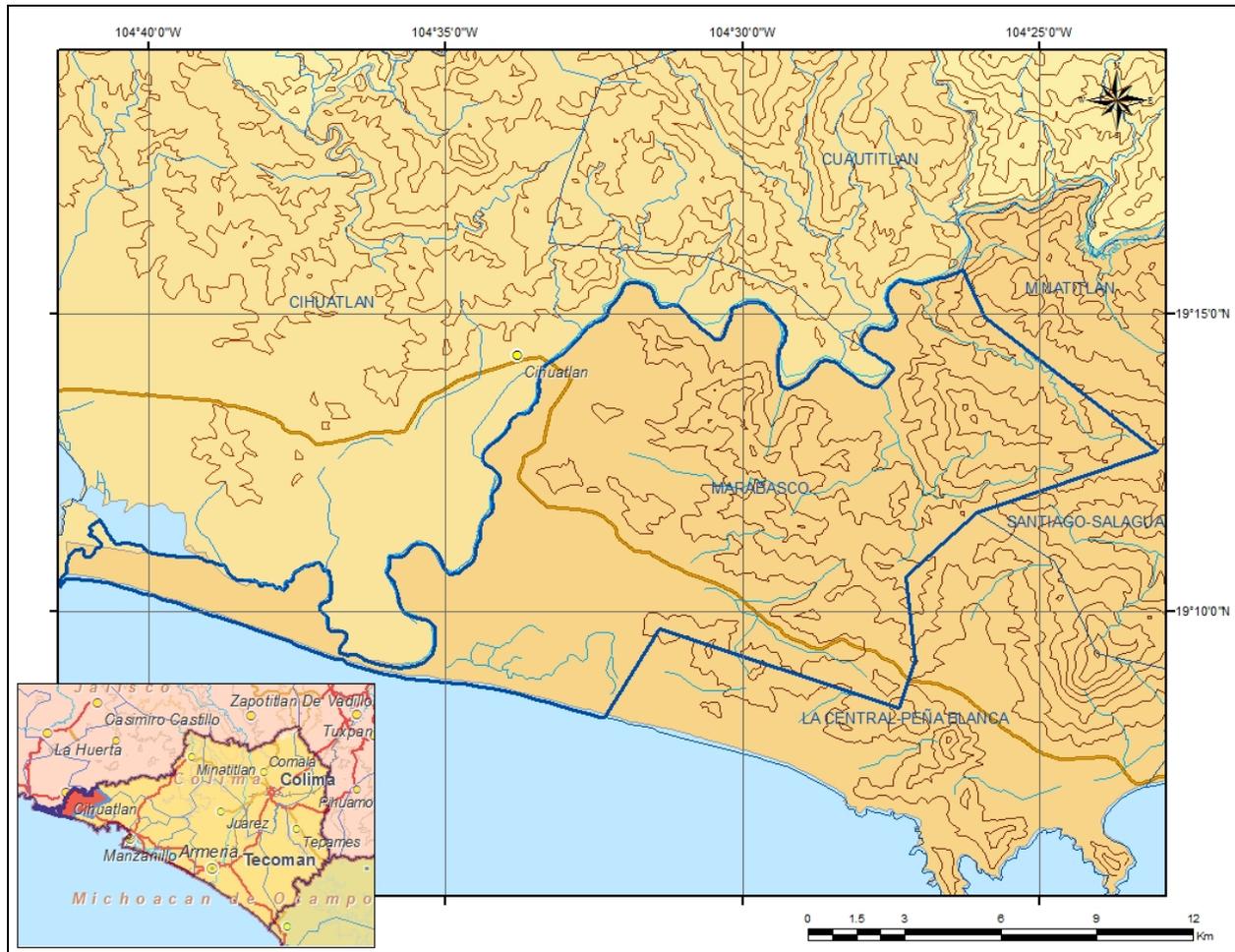


Figura No. 1. Localización del acuífero Marabasco

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita al acuífero Marabasco

ACUIFERO 0612 MARABASCO

| VERTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | | OBSERVACIONES |
|---------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|---|
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | |
| 1 | 104 | 23 | 1.5 | 19 | 12 | 42.1 | |
| 2 | 104 | 26 | 3.5 | 19 | 11 | 39.3 | |
| 3 | 104 | 27 | 14.7 | 19 | 10 | 34.7 | |
| 4 | 104 | 27 | 4.9 | 19 | 9 | 10.1 | |
| 5 | 104 | 27 | 21.6 | 19 | 8 | 22.1 | |
| 6 | 104 | 31 | 24.3 | 19 | 9 | 42.3 | |
| 7 | 104 | 32 | 18.6 | 19 | 8 | 12.1 | DEL 7 AL 8 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA |
| 8 | 104 | 41 | 29.5 | 19 | 10 | 24.2 | DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 9 | 104 | 27 | 57.7 | 19 | 14 | 26.9 | DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 10 | 104 | 26 | 17.8 | 19 | 15 | 44.7 | |
| 11 | 104 | 25 | 54.5 | 19 | 14 | 56.4 | |
| 1 | 104 | 23 | 1.5 | 19 | 12 | 42.1 | |

1.2 Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero pertenece a la región Hidrológico-administrativa VIII Lerma-Santiago-Pacífico y se encuentra sujeto a las disposiciones del Decreto de Veda de Aguas del Subsuelo tipo II “Zona Costera del Estado de Colima”, publicado el 20 de agosto de 1973 y comprende la Costa de Colima, cuya extensión y límites geopolíticos corresponden a los Municipios de Manzanillo, Armería y Tecomán, del Estado de Colima. La veda establece que *“excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la Autoridad del Agua; ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas sin la concesión o asignación que expida también según el caso”*.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2007), el municipio de Manzanillo se encuentra en zona de disponibilidad tres.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Los estudios que se han realizado en la zona son:

- **Estudios geohidrológicos de los Valles Costeros Aledaños a la Bahía de Manzanillo. PROYESCO, S.A. 1978.** El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial hidráulico y definir las fuentes de abastecimiento de agua de buena calidad. Se efectuaron las siguientes actividades: reconocimientos hidrogeológicos de campo, censo de aprovechamiento, nivelación de brocales, recorridos piezométricos, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, muestreo y análisis fisicoquímico, sondeos eléctricos verticales. Incluye los Valles de La Central, Santiago-Salagua, Valle Jalipa-Tapeixtles, Valle El Colomo y algunas actividades para el Valle de Cihuatlán, que incluye la porción del actual acuífero Marabasco.
- **Sinopsis Geohidrológica del Estado de Colima. 1990.** Se presenta un resumen de los aspectos climatológicos, fisiográficos, geológicos, de hidrología superficial, y condiciones geohidrológicas de los acuíferos del Estado de Colima.
- **Trabajos de campo efectuados por la Dirección Local de la CONAGUA, 2006.** Integración del censo de aprovechamientos e hidrometría para distintos años; el más reciente corresponde con el año 2006.
- **Actualización de mediciones piezométricas en los acuíferos de Colima, El Colomo, Santiago-Salagua y Marabasco en el Estado de Colima. 2007.** Elaborado para la Comisión Nacional del Agua por la empresa consultora Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo S.A. de C.V. Incluye piezometría, muestreo y análisis fisicoquímico.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

El acuífero Marabasco se ubica dentro de la Provincia Fisiográfica denominada Sierra Madre del Sur, cuyo drenaje principal lo constituyen las corrientes que fluyen de la sierra hacia el mar. Esta provincia se caracteriza por tener un relieve variado que incluye sierras, valles y llanuras costeras. Las sierras están ampliamente distribuidas en toda la provincia y alcanzan elevaciones que varían desde 500 metros sobre el nivel del mar (msnm), en la porción Centro-Occidental, hasta más de 2,400 msnm en la porción noroeste. La red de drenaje está compuesta por cauces poco profundos en forma de “V” con pendiente pronunciada en las montañas y suave en los lomeríos. Los valles se encuentran en las partes bajas de las cuencas, son estrechos y tienen drenaje paralelo con arroyos de poca pendiente. Las llanuras están diseminadas en la faja costera, separadas por cadenas montañosas que desde las sierras se extienden hasta el litoral.

3.2 Clima

Prevalece el clima tropical lluvioso. La temporada de lluvias comprende los meses de junio a octubre. La precipitación más abundante se registra en los meses de julio a septiembre, durante los cuales son frecuentes las lluvias torrenciales de origen ciclónico. El estiaje abarca de noviembre a mayo, con la lámina media mensual menor que 15 mm.

Debido a su posición geográfica, a su condición costera y a las corrientes de aire marítimo, el clima predominante en el estado de Colima es cálido subhúmedo con lluvias en verano A(W); sin embargo a pesar de su extensión reducida existe una diversidad climatológica, la cual se describe en la tabla No. 2.

Tabla No.2. Climatología del estado de Colima

| CLIMA | SÍMBOLO | % DEL ESTADO |
|--|-----------|--------------|
| Cálido subhúmedo con lluvias en verano | A(W) | 78.8 |
| Semicálido subhúmedo con lluvias en verano | AC(W) | 7.8 |
| Templado subhúmedo con lluvias en verano | C(W) | 2.0 |
| Semifrío subhúmedo con lluvias en verano | C(E) (W) | 0.6 |
| Semiseco muy cálido y cálido | BS(h) | 10.8 |

Fuente: C.G.S.N.E.G.I. Cartas de Colima

3.2.1 Temperatura Media Anual

De acuerdo con los resultados de la estación climatológica Cihuatlán (DGE), que es la más próxima a la zona de estudio, la temperatura media anual es de 26.4 °C, para el período comprendido entre el año 1961 y 2000.

3.2.2 Precipitación Media Anual

La precipitación media anual, obtenida de la estación climatológica Cihuatlán (DGE) para el período 1961-2000, es igual a 910 mm.

3.3 Hidrografía

3.3.1 Región Hidrológica

El acuífero Marabasco está comprendido en la Región Hidrológica No. 15, denominada Costa de Jalisco. Esta región hidrológica comprende parte de la cuenca Chacala-Purificación, a la que pertenece el acuífero en estudio.

3.3.2 Cuenca

El acuífero se ubica en la Cuenca denominada Chacala-Purificación. La parte norte del acuífero corresponde con la Subcuenca del Río Chacala y la porción sur del acuífero pertenece a la Subcuenca Laguna de Cuyutlán. Dentro de la Subcuenca de Cuyutlán, cuya extensión superficial es de 508 km², las corrientes principales nacen en la sierra Perote, cruzan valles intermontanos en las direcciones norte-sur y noreste-suroeste e ingresan a la planicie costera para desembocar al Océano Pacífico en la Bahía de Manzanillo o en la Laguna de Cuyutlán (Sinopsis Geohidrológica).

Dentro de las corrientes superficiales del Estado de Colima que desembocan en el Océano Pacífico, destaca el río Cihuatlán. Este río es el límite norte y occidental del acuífero Marabasco. El Río Cihuatlán nace de la confluencia de varios arroyos en la porción sur de Jalisco a una elevación de 2600 msnm, 15 km aproximadamente al norte del poblado de Minatitlán, Estado de Jalisco. Los primeros 30 km, el río corre de norte a sur hasta llegar al límite de esa entidad con el estado de Colima, donde cambia de dirección hacia el suroeste en un trayecto de 65 km. Desde este sitio hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, constituye la frontera política entre ambas entidades federativas. Al llegar a la costa forma pequeñas lagunas y esteros, siendo el más importante el estero Potrero Grande. En su recorrido recibe varios tributarios, entre ellos el más importante es el río Marabasco. El río Cihuatlán tiene un régimen permanente. Los hidrogramas construidos en el intervalo 1965-1977 para el río Cihuatlán en la estación hidrométrica del mismo nombre, permiten obtener un flujo base de 61×10^6 m³/año en el período de estiaje.

3.4 Geomorfología

Localmente se distinguen dos expresiones fisiográficas: la región montañosa y la región costera; en ésta última, los agentes erosivos han modelado el paisaje de cinco cuencas abiertas, de las cuales una de ellas corresponde con el acuífero Marabasco, cuyo drenaje es hacia el mar. Las fronteras laterales al flujo del agua subterránea coinciden con los contactos entre los sedimentos fluviales y las rocas impermeables que bordean el Valle.

4. GEOLOGÍA

El acuífero está formado por un relieve irregular de rocas intrusivas graníticas, las cuales fueron erosionadas por el antiguo cauce del Río Cihuatlán, que fue rellenado posteriormente por materiales aluviales. En la figura No. 2 se observa el mapa geológico de la zona de estudio.

La geología de la zona se define por la presencia de un batolito de tipo granítico que predomina en el acuífero Marabasco. Estas rocas han estado sujetas a un intenso intemperismo y erosión que han rellenado el valle de materiales aluviales. A continuación se describen brevemente las unidades estratigráficas identificadas en el acuífero, de la más antigua a la más reciente.

4.1 Estratigrafía

Granito (Ksgr)

Está formado por un intrusivo batolítico de composición granítica y de edad cretácica que constituye las elevaciones que rodean al valle. Este granito ha estado expuesto a un fuerte intemperismo debido a las condiciones climáticas imperantes, por lo que ha desarrollado una capa de espesor variable de alteración, que forma localmente suelos residuales que enmascaran en muchas ocasiones el contacto real con los materiales aluviales. Este granito en estado sano es una roca sumamente compacta e impermeable que no permite el paso del agua a través de ella. Sin embargo, la zona de alteración, que generalmente es arenosa empacada con arcilla, puede retener temporalmente el agua de precipitación y comunicarla lateralmente hacia los valles.

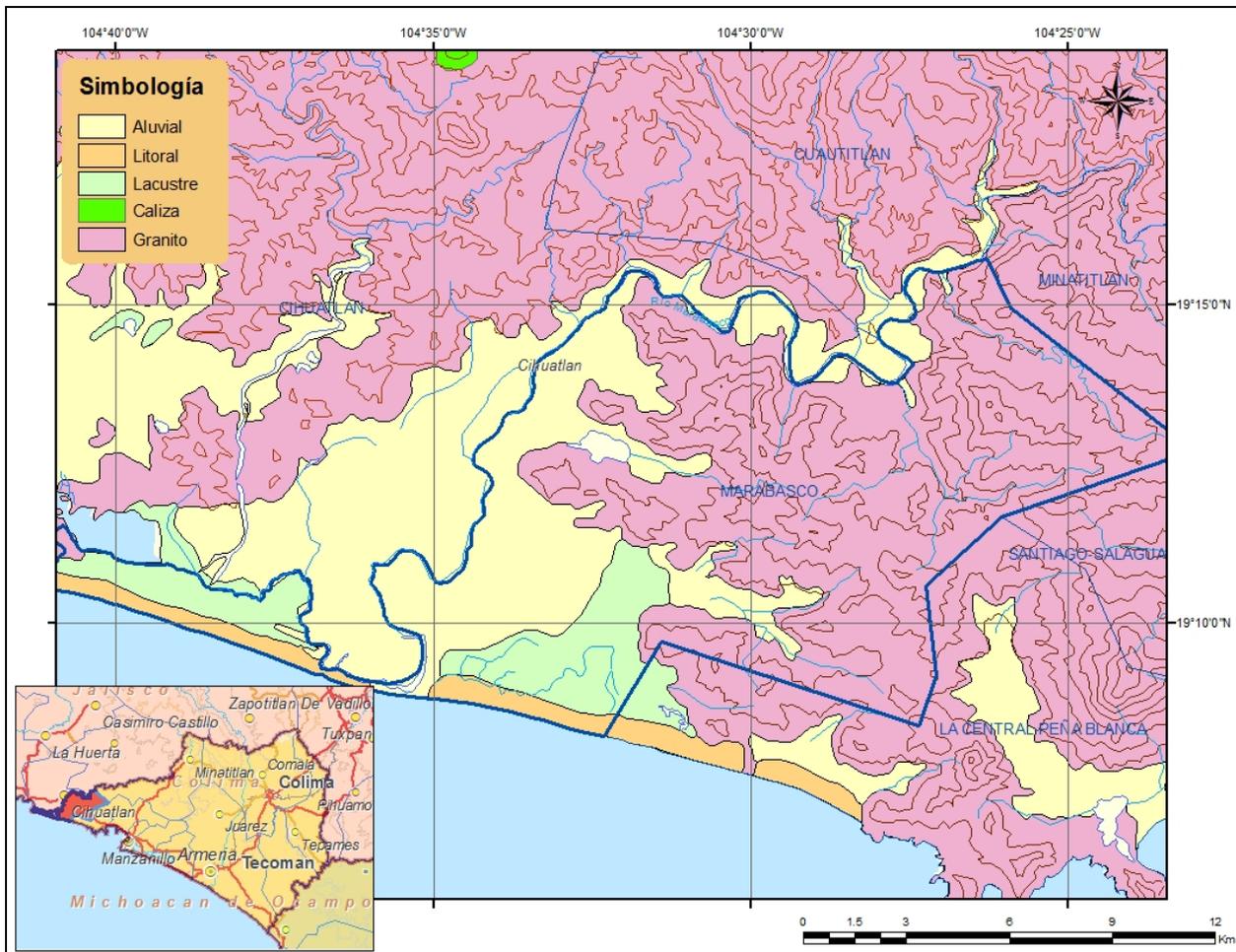


Figura No. 2. Mapa geológico del acuífero Marabasco

Aluvión (Qal)

Los materiales de aluvión en la zona de estudio están formados principalmente por arenas, gravas y limos que constituyen los rellenos de los valles costeros. Debido a las condiciones sedimentológicas que prevalecieron durante su depósito, presentan generalmente alta permeabilidad, la cual se reduce conforme se acerca a la Planicie Costera y a las lagunas o descargas hacia el mar. En la parte baja del Valle de Marabasco se presentan depósitos lacustres más arcillosos, que disminuyen la permeabilidad o forman lentes menos permeables.

4.2 Geología estructural

Los principales elementos geológicos estructurales de la zona son intrusiones ígneas, fracturas, así como fallas normales de gran longitud con orientación norte-sur, provocadas por fuerzas tensionales, que dieron lugar a fosas y altos estructurales.

El intemperismo y erosión de las rocas graníticas han modelado la actual expresión morfológica del valle de Marabasco. Este valle se originó a partir de zonas de debilidad de la corteza terrestre, lo que favoreció el labrado de profundos caños por medio de los escurrimientos superficiales.

4.3 Geología del subsuelo

PROYESCO (1978) realizó 2 sondeos eléctricos verticales en el acuífero Marabasco, que permiten identificar tres unidades geoeléctricas.

La unidad más superficial se divide en dos horizontes. El primero con resistividad de 20 a 35 ohm-m y espesor medio de 2 m corresponde a la capa superficial de materiales de granulometría fina como arcillas y limos. El segundo horizonte presenta resistividades de 15 a 25 ohm-m con un espesor de 38 m y acuniándose hasta alcanzar solamente un espesor de 18 m; este horizonte eléctrico se relaciona con una posible zona acuífera, con predominio de materiales arcillosos.

La unidad geoeléctrica intermedia presenta resistividades de 30 a 50 ohm-m, con espesor de 34 m; ésta se relaciona con posible material acuífero de granulometría arenosa.

La tercera unidad presenta resistividad del orden de 245 a 310 ohm-m identificada a una profundidad de 52 m en un sondeo y a 74 m en el otro sondeo. Esta unidad geoeléctrica se relaciona con el basamento granítico, con incipiente grado de alteración en su parte más alta.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de Acuífero

El acuífero es de tipo libre y está constituido por depósitos aluviales formados por gravas y arenas, cuyo espesor varía de 35 m, en la porción norte, a 120 m en la porción sur. Las rocas graníticas inalteradas constituyen las barreras al flujo subterráneo y el basamento del acuífero. Sus fronteras físicas son al poniente el río Cihuatlán y el acuífero Cihuatlán, Estado de Jalisco, y al sur el Océano Pacífico.

La recarga proviene de la infiltración de la lluvia que ocurre en las laderas de las montañas y que ingresan a la zona de explotación como entradas subterráneas, y de la precipitación pluvial

que se infiltra sobre el valle. Su descarga se efectúa por medio de bombeo de agua subterránea, por evapotranspiración, salidas subterráneas y flujo base en el Río Cihuatlán.

5.2 Parámetros Hidráulicos

Las características hidráulicas de los acuíferos aluviales dependen de su granulometría y espesor. En general en los acuíferos costeros de Colima el coeficiente de transmisividad varía de 0.005 a 0.05 m²/s; los valores mayores se registran en las porciones de la planicie costera y en las inmediaciones de los cauces principales, donde predominan los clásicos gruesos muy permeables. Estos valores de transmisividad son característicos de acuíferos de tipo libre; se estima que su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su porosidad efectiva y toma valores entre 0.12 y 0.25, dependiendo de la granulometría de los clásticos en que oscila la superficie freática. Sin embargo, el valor de ese coeficiente puede ser mucho menor en aquellas áreas donde el acuífero está semiconfinado por estratos de materiales limo-arcillosos (Sinopsis Geohidrológica). Se considera que el valor del coeficiente de almacenamiento y el valor de la porosidad eficaz por rendimiento específico (Sy) es de 0.15.

5.3 Piezometría

Las configuraciones piezométricas proporcionan valiosa información acerca de la circulación del agua en el subsuelo. El agua ingresa al acuífero desde las áreas de recarga que se localizan en flancos montañosos, abanicos aluviales y cauces de corrientes alimentadoras, localizadas en las partes altas de valles y planicies; y transita hacia las áreas de descarga bajo el control de la geología subterránea.

En condiciones naturales, el gradiente hidráulico tenía fuertes variaciones en el área, determinadas por cambios en la permeabilidad y en la sección de los acuíferos o por variaciones en el caudal de flujo. A lo largo de las trayectorias de flujo, una parte del caudal afloraba en los cauces o era transpirado por la vegetación nativa, el resto continuaba su curso subterráneo hacia aguas abajo y, finalmente escapaba al mar (Sinopsis Geohidrológica).

La posición de los niveles estáticos del agua subterránea con respecto a la superficie del terreno varía dependiendo de la distribución de la recarga y del bombeo, de la configuración topográfica y de la transmisividad de los acuíferos.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En las planicies costeras los niveles freáticos afloran en las proximidades del litoral. Desde esas áreas, la profundidad a los niveles del agua aumenta gradualmente hacia aguas arriba, debido a que el gradiente hidráulico es menor que la pendiente topográfica. En el acuífero Marabasco, en 1997 la profundidad al nivel estático era de 0 m en las proximidades de la costa, de la Laguna y de la zona de Esteros Potrero Grande; y de 3 m al oriente de la población Cihuatlán y al oeste de los poblados San Carlos, Las Vishis y Las Acidias, como se observa en la figura No. 3.

En el año 2007 la profundidad al nivel estático variaba de 0.5 m, en las proximidades de la zona de Esteros Potrero Grande y de La Laguna, pero en la zona de estanques acuícolas, localizada a 1 km al norte del aeropuerto, la profundidad al nivel estático para ese año era de 3 m. En la porción norte del acuífero, en el poblado Marabasco, la profundidad al nivel estático registrada para este año fue 13 m, como se observa en la figura No. 4.

5.4.2 Elevación del nivel estático

Las menores elevaciones al nivel estático en el año 1997 eran de 0 msnm, en la zona cercana a la costa, y de 1 msnm bordeando la zona de La Laguna y la zona de esteros Potrero Grande. Las mayores elevaciones se observaban al norte, a la altura del Poblado Marabasco, donde variaban de 16 a 20 msnm y en la porción sureste del acuífero donde alcanzan hasta 50 msnm (figura No.5).

Para el año 2007 las elevaciones al nivel estático eran de 0 msnm en la zona de Estanques Acuícolas y al norte de la Laguna, de 1 msnm en la zona que rodea al Estero Potrero Grande. En el poblado Marabasco la elevación del nivel estático era de 15 msnm, y alcanzaba 18 m en el poblado Las Acidas, localizado en la porción sureste de la zona con información piezométrica (figura No.6).

De la configuración de nivel estático del año 2007 se observa que la dirección de flujo subterráneo en el acuífero Marabasco sigue siendo paralelo al Río Cihuatlán desde las zonas de recarga hacia la zona de descarga ubicadas hacia la laguna, los Esteros Potrero Grande. Es evidente también la existencia de descarga por flujo base hacia el Río Cihuatlán.

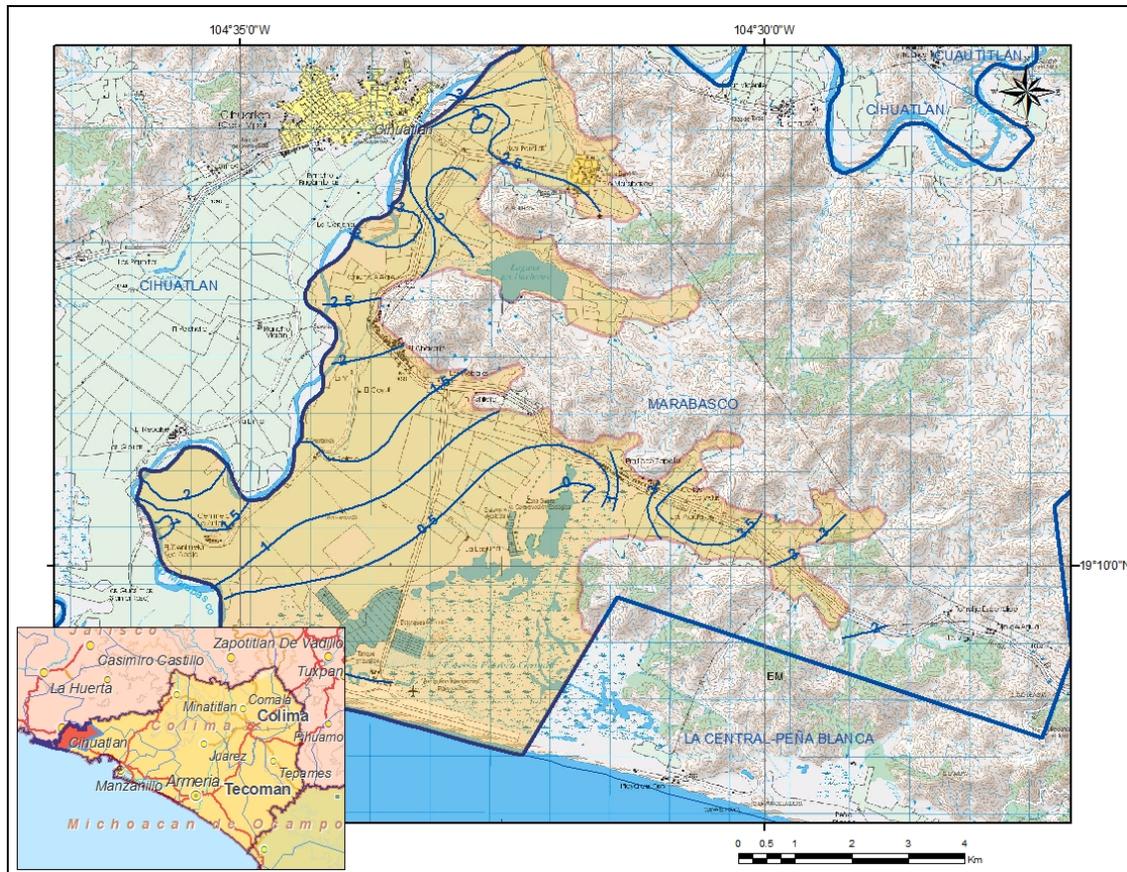


Figura 3. Profundidad al nivel estático en el acuífero Marabasco en 1997 (m)

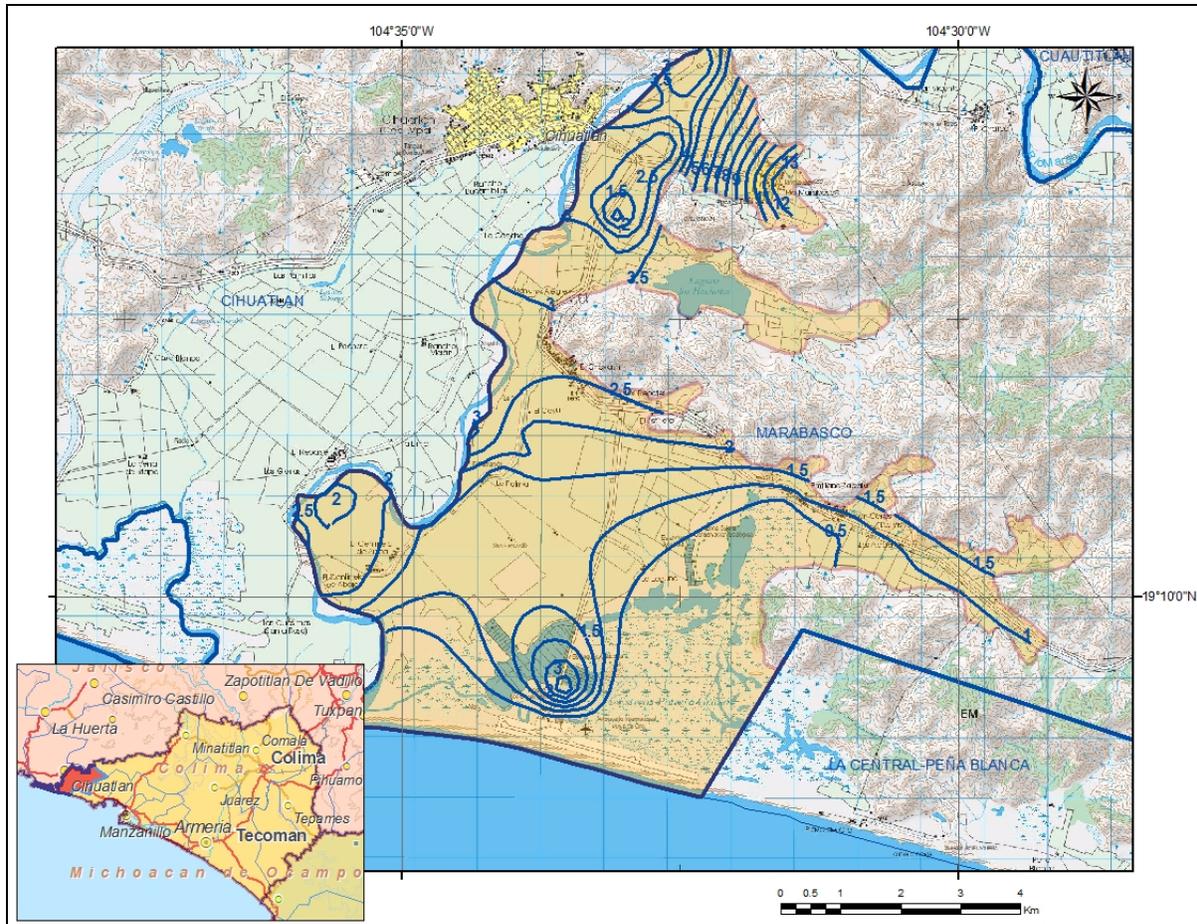


Figura 4. Profundidad al nivel estático en el acuífero Marabasco 2007 (m)

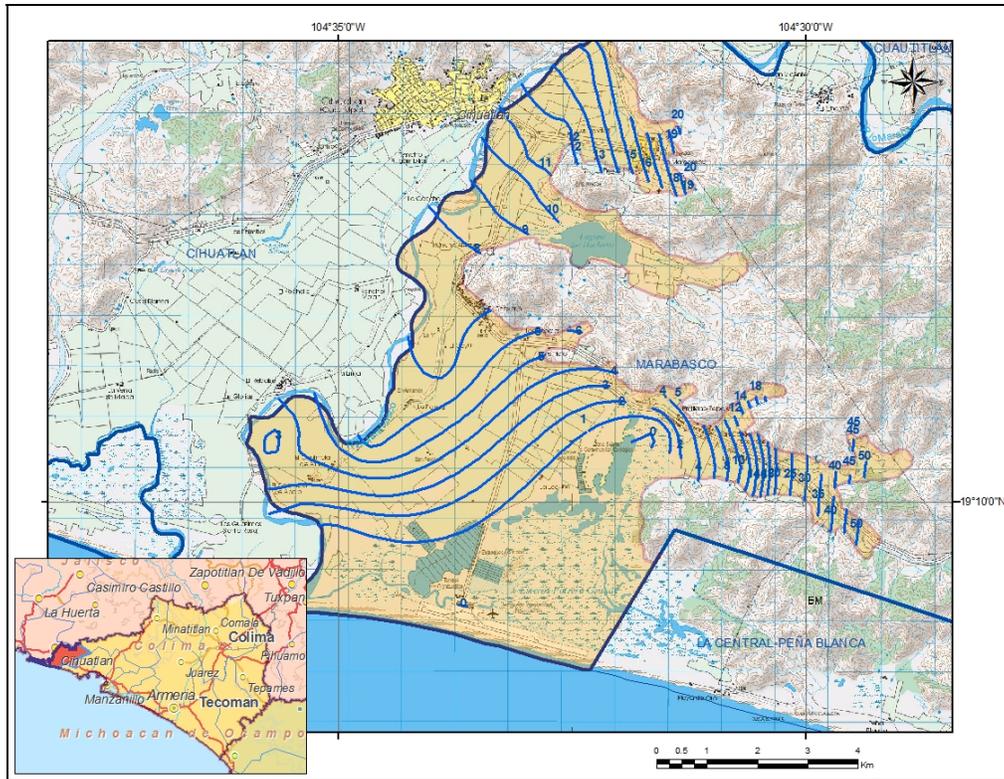


Figura 5. Elevación del nivel estático en el acuífero Marabasco 1997 (msnm)

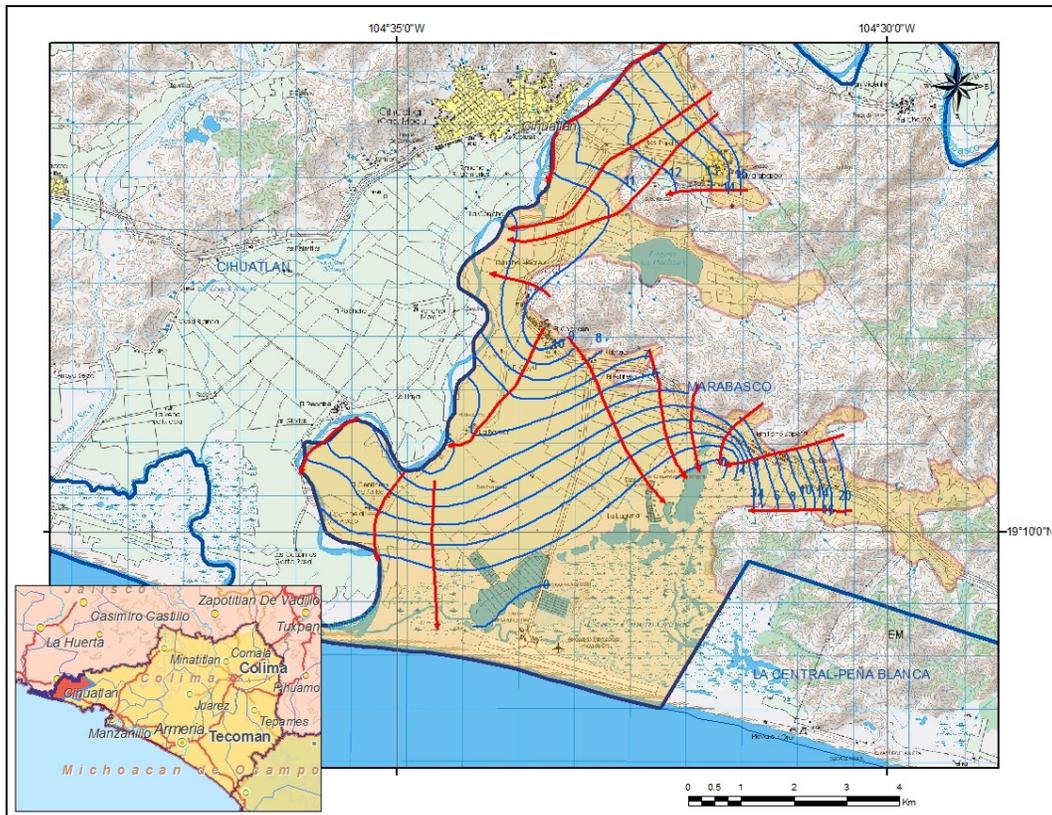


Figura 6. Elevación del nivel estático en el acuífero Marabasco en el año 2007 (msnm)

5.4.3 Evolución del nivel estático

En el período 1997-2007 la evolución varió de 3 m en los poblados Las Acidas y San Carlos; de 1.4 m en el poblado Marabasco, hasta -0.1 m en las vecindades del río Cihuatlán y -0.7 m en el poblado de Cihuatlán (figura No.7).

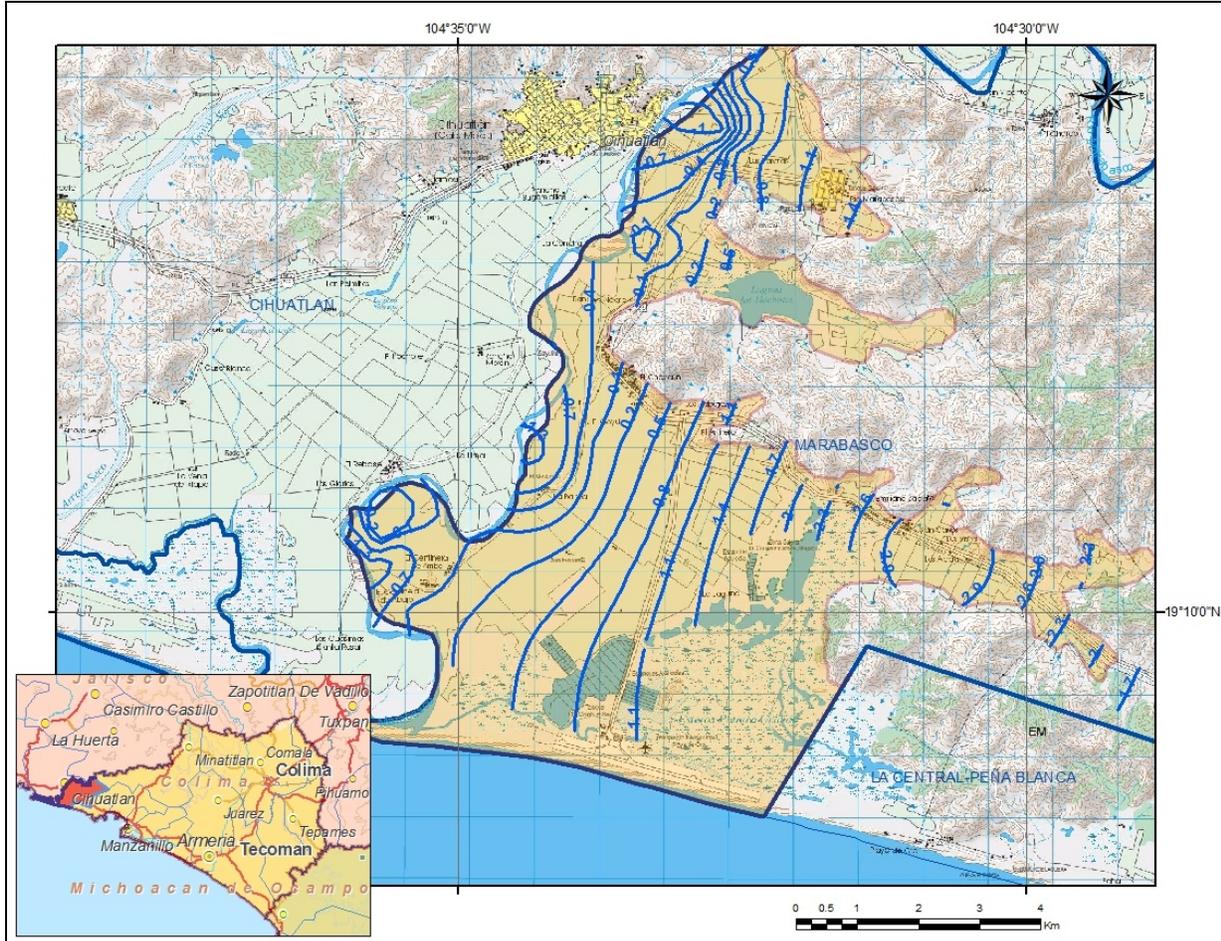


Figura No. 7. Evolución del nivel estático en el acuífero Marabasco 1997 – 2007

5.5 Hidrogeoquímica y Calidad del Agua Subterránea

La concentración de sales en el agua subterránea de los acuíferos del Estado de Colima es en general baja. El valor promedio es de 500 partes por millón (ppm) de sólidos totales disueltos (STD), en todas las zonas geohidrológicas.

Esta característica hidrogeoquímica tan favorable, se debe a la combinación de varios factores: La corta permanencia del agua en el subsuelo, derivada de su rápida circulación a través de medios de alta permeabilidad y de dimensiones relativamente reducidas; la gran resistencia al ataque químico del agua, de las rocas acuíferas predominantes ígneas fracturadas y clásticos gruesos derivados de su erosión y la abundante precipitación pluvial. Calcio, Sodio y bicarbonato son los iones disueltos predominantes en esas aguas, procediendo los dos primeros de la disolución de los feldespato cálcicos y sódicos constituyentes de las rocas ígneas. (Sinopsis Geohidrológica).

Del muestreo efectuado en el año 2007, se observa que la concentración de Sólidos Totales Disueltos varía desde 170 ppm en la zona del poblado Marabasco, hasta alcanzar un máximo de 870 ppm, registrado en el poblado La Palma.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Durante el año 2006 se censaron 223 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 169 son norias, 53 son pozos y 1 manantial. Para uso agrícola se destinan 123 norias y 41 pozos; 2 norias y 5 pozos para agua potable; 24 norias, 5 pozos y un manantial para uso pecuario; 18 norias y un pozo para uso doméstico; una noria para uso industrial y un pozo para servicios (tabla No.3).

Tabla No.3. Censo de aprovechamientos del acuífero Marabasco (2006)

| Uso | Aprovechamientos | | | |
|-----------------------|------------------|------------|-----------|------------|
| | Pozos | Norias | Manantial | Total |
| Agrícola | 41 | 123 | 0 | 164 |
| Público urbano | 5 | 2 | 0 | 7 |
| Doméstico | 1 | 18 | 0 | 19 |
| Industrial | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Pecuario | 5 | 24 | 1 | 30 |
| Acuícola | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Servicios | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | 53 | 169 | 1 | 223 |

De acuerdo con la hidrometría del año 2006, del acuífero Marabasco se extraen 11.5 millones de metros cúbicos anuales de agua subterránea para los distintos usos. De ellos, 10.8 hm³/año son utilizados por el sector agrícola, 0.6 hm³/año para uso público-urbano y los 0.1 hm³/año restantes para satisfacer la necesidades del uso doméstico-abrevadero (Tabla No. 4).

Tabla No 4. Volúmenes de extracción de agua subterránea en el acuífero Marabasco (Millones de metros cúbicos anuales)

| Uso | Volumen de extracción (hm ³ /año) |
|------------------------|--|
| Agrícola | 10.8 |
| Público-urbano | 0.6 |
| Doméstico-abrevadero | 0.1 |
| Industrial y servicios | 0.0 |
| Total | 11.5 |

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 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 del acuífero:

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

El período de balance es 1997-2007. Se definió un área de balance de 56.6 km² que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la gran mayoría de los aprovechamientos.

La ecuación de balance propuesta es la siguiente:

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

Donde:

- E_h:** Entrada subterráneas por flujo horizontal
- R_v:** Recarga vertical por lluvia
- B:** Bombeo
- ETR:** Evapotranspiración
- S_h:** Salida subterránea por flujo horizontal
- F_b:** Flujo base
- ΔV(S):** Cambio en el volumen de almacenamiento

7.1 Entradas

La recarga total (R_t) al acuífero está integrada básicamente por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta a través de las zonas de pie de monte.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

La 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 ΔV(S), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance. De esta manera:

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

7.1.2 Entradas subterráneas horizontales (E_h)

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

En la figura No. 8 se observa la configuración de elevación del nivel estático mostrada en el año 2007, el área de balance y las celdas de flujo consideradas para el cálculo de entradas y salidas subterráneas. Con base en esta configuración se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero subterráneamente.

$$Q = B * i * T$$

Donde:

B: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ($i = (h_2 - h_1) / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

T: Transmisividad (m^2/s) en el canal de flujo

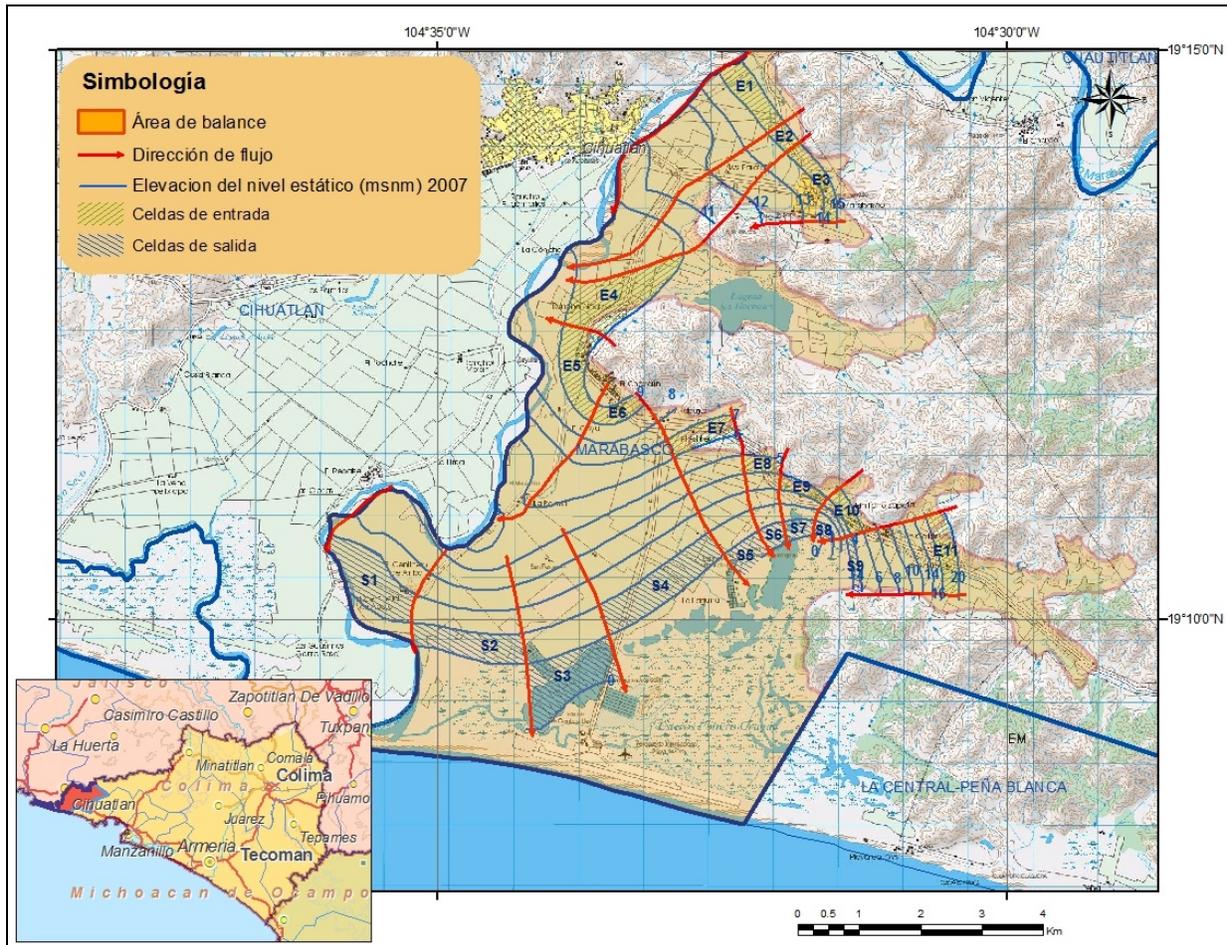


Figura No 8. Elevación del nivel estático y red del flujo (2007)

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas fueron tomados del Estudio Geohidrológico de los Valles Costeros Cercanos a Manzanillo, en el Estado de Colima, desarrollado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A. Por

correlación geológica e hidrogeológica con otros acuíferos costeros del Estado de Colima, en los que las pruebas de bombeo efectuadas obtienen valores de transmisividad de $0.010 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, se utilizó este valor para el cálculo de las entradas subterráneas.

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas. En la tabla 5 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de **16.5 hm³/año**.

Tabla No. 5. Entradas subterráneas por flujo horizontal

| Celda | Ancho (m) | L (m) | Delta h (m) | Gradiente | Transmisividad (m ² /s) | Caudal (m ³ /s) | Entrada subterránea (hm ³ /año) |
|---------------------------------------|-----------|-------|-------------|-----------|------------------------------------|----------------------------|--|
| E1 | 1252 | 355 | 1 | 0.0028 | 0.010 | 0.035 | 1.1 |
| E2 | 418 | 305 | 1 | 0.0033 | 0.010 | 0.014 | 0.4 |
| E3 | 1427 | 207 | 1 | 0.0048 | 0.010 | 0.069 | 2.2 |
| E4 | 1146 | 1144 | 1 | 0.0009 | 0.010 | 0.010 | 0.3 |
| E5 | 1502 | 352 | 1 | 0.0028 | 0.010 | 0.043 | 1.3 |
| E6 | 824 | 282 | 1 | 0.0035 | 0.010 | 0.029 | 0.9 |
| E7 | 1066 | 361 | 1 | 0.0028 | 0.010 | 0.030 | 0.9 |
| E8 | 588 | 273 | 1 | 0.0037 | 0.010 | 0.022 | 0.7 |
| E9 | 777 | 184 | 1 | 0.0054 | 0.010 | 0.042 | 1.3 |
| E10 | 769 | 205 | 1 | 0.0049 | 0.010 | 0.038 | 1.2 |
| E11 | 1365 | 285 | 4 | 0.0140 | 0.010 | 0.192 | 6.0 |
| Total de entradas subterráneas | | | | | | | 16.5 |

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), por evapotranspiración (ETR), flujo base al río Cihuatlán (Fb), salidas subterráneas (Sh) hacia la laguna y la zona del Estero Potrero Grande.

7.2.1 Bombeo (B)

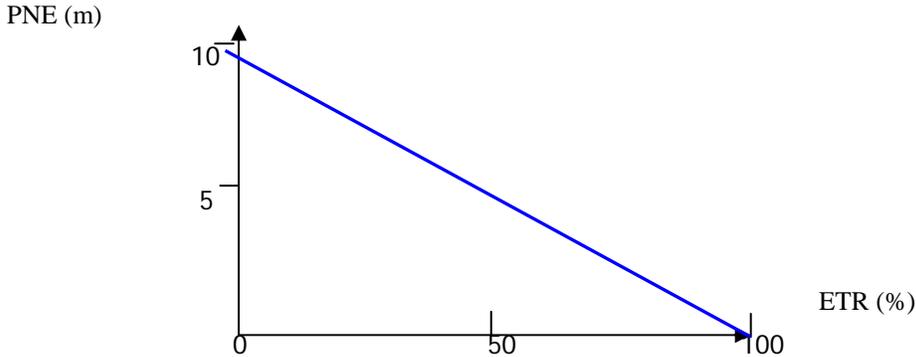
La extracción de agua subterránea en el área de estudio es del orden de **11.5 hm³/año**. Este volumen se emplea principalmente para uso agrícola.

7.2.2 Evapotranspiración (ETR)

El fenómeno de evapotranspiración ocurre en gran parte del área de balance del acuífero Marabasco, en un área aproximada de 51 km², donde el nivel de saturación se encuentra a profundidades menores a 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración. Se aplicó el método de Coutagne para calcular que la lámina de evapotranspiración real es de 726 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 26.4 °C y precipitación de 910 mm.

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de agua subterránea, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el porcentaje de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el porcentaje de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



De la configuración de profundidad al NE mostrada en la figura No. 6, correspondiente a 2007, se consideraron las curvas menores e iguales a 10 m, se calculó el área entre ellas y se tomó el valor promedio entre curvas. Por ejemplo entre las curvas de 3 y 4 m, el valor promedio considerado fue 3.5 m. El resultado de multiplicar el valor promedio por el área entre las curvas, se ponderó de acuerdo a la relación lineal mencionada anteriormente; en el ejemplo, el valor medio de profundidad fue de 3.5 m, por lo que se multiplicó por 0.65, que significa que a esta profundidad, el 65 % es susceptible de evapotranspirarse. Las mismas consideraciones se hicieron para cada área comprendida entre dos curvas de profundidad menor a 10 m. Al final se obtuvo la suma de los volúmenes evapotranspirados.

Para el cálculo de la evapotranspiración del Acuífero Marabasco, se omitió la zona costera de laguna y del Estero Potrero Grande, debido a que en ellas se presenta la influencia del agua marina. Por esta razón para la estimación del valor de la evapotranspiración se tomó como referencia la superficie que se encuentra aguas arriba de la curva de elevación del nivel estático de 1 msnm.

El resultado de este proceso se presenta en la tabla No.6, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de **10.7 hm³/año**.

7.2.3 Salidas subterráneas (Sh)

Las salidas subterráneas que ocurren como descarga hacia la laguna y del Estero Potrero Grande fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático y celdas de flujo presentadas en la figura No.8. La transmisividad en las celdas de flujo de salida, corresponde a la más baja reportada en la zona de estudio debido al predominio de sedimentos lacustres. Las salidas subterráneas se evaluaron en **4.2 hm³/año**, tal como se muestra en la tabla No. 7.

Tabla No. 6. Cálculo de la Evapotranspiración real

| Profundidad (m) | Profundidad considerada (m) | Fracción | Área (km ²) | ETR (10 ⁶ m ³) |
|------------------------------------|-----------------------------|----------|-------------------------|---------------------------------------|
| 9 a 10 | 9.5 | 0.05 | 0.17 | 0.01 |
| 8 a 9 | 8.5 | 0.15 | 0.203 | 0.02 |
| 7 a 8 | 7.5 | 0.25 | 0.254 | 0.05 |
| 6 a 7 | 6.5 | 0.35 | 0.305 | 0.08 |
| 5 a 6 | 5.5 | 0.45 | 0.359 | 0.12 |
| 4 a 5 | 4.5 | 0.55 | 0.611 | 0.24 |
| 3 a 4 | 3.5 | 0.65 | 0.771 | 0.36 |
| 3 a 3.5 | 3.25 | 0.675 | 2.944 | 1.44 |
| 3 | 3 | 0.7 | 0.123 | 0.06 |
| 2.5 a 3 | 2.75 | 0.725 | 4.156 | 2.19 |
| 2.5 | 2.5 | 0.75 | 0.366 | 0.20 |
| 2 a 2.5 | 2.25 | 0.775 | 4.648 | 2.62 |
| 1.5 a 2 | 1.75 | 0.825 | 4.034 | 2.42 |
| 1 a 1.5 | 1.25 | 0.875 | 0.018 | 0.01 |
| 0.5 a 1 | 0.75 | 0.925 | 1.031 | 0.69 |
| 0 a 0.5 | 0.25 | 0.975 | 0.28 | 0.20 |
| Total de evapotranspiración | | | | 10.7 |

Tabla No. 7. Cálculo de salidas subterráneas

| Celda | Ancho (m) | Longitud (m) | Delta h (m) | Gradiente | Transmisividad (m ² /s) | Caudal (m ³ /s) | Salida subterránea (hm ³ /año) |
|--------------------------------------|-----------|--------------|-------------|-----------|------------------------------------|----------------------------|---|
| S1 | 1701 | 682 | 1 | 0.0015 | 0.005 | 0.012 | 0.4 |
| S2 | 1771 | 422 | 1 | 0.0024 | 0.005 | 0.021 | 0.7 |
| S3 | 1474 | 721 | 1 | 0.0014 | 0.005 | 0.010 | 0.3 |
| S4 | 2154 | 526 | 1 | 0.0019 | 0.005 | 0.020 | 0.6 |
| S5 | 637 | 422 | 1 | 0.0024 | 0.005 | 0.008 | 0.2 |
| S6 | 363 | 370 | 1 | 0.0027 | 0.005 | 0.005 | 0.2 |
| S7 | 449 | 303 | 1 | 0.0033 | 0.005 | 0.007 | 0.2 |
| S8 | 334 | 186 | 1 | 0.0054 | 0.005 | 0.009 | 0.3 |
| S9 | 973 | 118 | 1 | 0.0085 | 0.005 | 0.041 | 1.3 |
| Total de salidas subterráneas | | | | | | | 4.2 |

7.2.4 Flujo base (Fb)

En el acuífero Marabasco todavía ocurre una descarga hacia el río Cihuatlán, de acuerdo con la configuración de elevación al nivel estático y el hidrograma del mismo río en la Estación Cihuatlán. Para el año 2007 durante la temporada de estiaje se registró un gasto promedio de

0.07 m³/s, que corresponde con un flujo base o descarga del acuífero hacia el río de **2.2 hm³/año**.

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

La configuración de elevación del 2007 permite observar que no existen conos de abatimiento en la zona de estudio, ni deformación de las curvas de igual elevación causadas por la concentración del bombeo. De igual manera, existen aún descargas naturales por flujo base y salidas subterráneas hacia la laguna y la Zona del Estero Potrero Grande. Adicionalmente, la evolución para el período 1997-2007 registra variaciones mínimas y muy puntuales. Todo esto permite inferir que el cambio de almacenamiento en el acuífero Marabasco tiende a ser nulo. Por lo tanto para fines del balance de aguas subterráneas $\Delta V(S) = 0$.

Solución de la ecuación de balance:

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procede a evaluar la recarga vertical por lluvia, mediante la expresión (2):

$$R_v = B + ETR + Sh + F_b - \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

$$R_v = 11.5 + 10.7 + 4.2 + 2.2 - 0.0 - 16.5$$

$$R_v = 12.1 \text{ hm}^3/\text{año}$$

De esta manera la recarga total media anual:

$$R_T = R_v + E_h = 12.1 + 16.5$$

$$R_T = 28.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

En la tabla 8 se presenta el resumen del balance del acuífero Marabasco.

Tabla No.8. Resumen del balance de aguas subterráneas del acuífero Marabasco

| ENTRADAS (hm ³ /año) | | SALIDAS (hm ³ /año) | |
|---------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| Entrada subterránea | 16.5 | Bombeo | 11.5 |
| Recarga vertical | 12.1 | Salida subterránea | 4.2 |
| | | Evapotranspiración | 10.7 |
| | | Flujo base | 2.2 |
| | | Cambio de almacenamiento | 0.0 |
| TOTAL DE ENTRADAS | 28.6 | TOTAL DE SALIDAS | 28.6 |

8. DISPONIBILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea, se aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica = Recarga total media anual - Descarga natural comprometida - Volumen anual de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA

Disponibilidad Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2007

Recarga total media anual

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Marabasco es de **20.0** millones de metros cúbicos por año ($\text{hm}^3/\text{año}$).

Descarga natural comprometida

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 Marabasco, la descarga natural comprometida es de **2.0 hm^3 anuales**.

Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Marabasco el rendimiento permanente es **18.0 hm^3 anuales**.

Volumen concesionado de aguas subterráneas

En el acuífero Marabasco el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 31 de mayo de 2005 es de **10,451,683 $\text{m}^3/\text{año}$** .

Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la NOM-011-CNA2000, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA:

$$7,548,317 = 20,000,000 - 2,000,000 - 10,451,683$$

La cifra indica que existe volumen disponible de **7,548,317 m^3 anuales** para nuevas concesiones en el acuífero denominado Marabasco en el Estado de Colima.

Actualización Técnica y Administrativa de la Disponibilidad al 31 de diciembre de 2007

8.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Marabasco es de **28.6** millones de metros cúbicos por año ($\text{hm}^3/\text{año}$).

8.2 Descarga natural comprometida

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 Marabasco, la descarga natural comprometida es de **9.6 hm^3 anuales**, de los cuales 4.2 corresponden a las salidas subterráneas hacia el mar que se deben dejar escapar para mantener el equilibrio de la interfase marina y los 5.4 hm^3 restantes corresponden al 50 % de la evapotranspiración que debe comprometerse para preservar el ecosistema costero.

8.3 Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Marabasco el rendimiento permanente es **19.0 hm^3 anuales**.

8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas

En el acuífero Marabasco el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 31 de diciembre del 2007 es de **10,444,223 $\text{m}^3/\text{año}$** .

8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la NOM-011-CNA2000, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA:

$$8,555,777 = 28,600,000 - 9,600,000 - 10,444,223$$

La cifra indica que existe volumen disponible de **8,555,777 m^3 anuales** para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero Marabasco en el Estado de Colima.

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1974. “Informe de Terminación del Estudio Geohidrológico Preliminar en los Valles de Tecomán y Manzanillo, Colima”. HIDROTEC S.A.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ,1978. “Estudios geohidrológicos de los Valles Costeros Aledaños a la Bahía de Manzanillo”. PROYESCO, S.A.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1975. “Ampliación del Estudio Geohidrológico de los Valles Costeros cercanos a Manzanillo, en el Estado de Colima”. . Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A.
- Comisión Nacional del Agua, 1990. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Colima.
- Comisión Nacional del Agua, 2006. Dirección Local en Colima. Piezometría, censo e hidrometría.
- Comisión Nacional del Agua, 2007. Actualización de mediciones piezométricas en los acuíferos de Colima, El Colomo, Santiago-Salagua y Marabasco en el Estado de Colima. Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo S.A. de C.V.