

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Caborca (2605), Estado  
de Sonora***

*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.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE SONORA							
2605	CABORCA	212.9	0.0	302.835012	321.2	0.000000	-89.935012

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 EN  
EL ACUÍFERO 2605 CABORCA, ESTADO DE SONORA***

***México, D.F. Mayo de 2010***

## CONTENIDO

1. GENERALIDADES .....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización .....	2
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.....	7
3.3. Hidrografía .....	7
3.4. Geomorfología .....	8
4. GEOLOGÍA .....	8
4.1. Estratigrafía .....	10
4.2. Geología estructural .....	11
4.3. Geología del subsuelo .....	12
5. HIDROGEOLOGÍA .....	13
5.1. Tipo de acuífero.....	13
5.2. Parámetros hidráulicos.....	14
5.3. Piezometría.....	15
5.4. Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1. Profundidad al nivel estático .....	15
5.4.2. Elevación del nivel estático .....	16
5.4.3. Evolución del nivel estático .....	17
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	19
7. BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA .....	19
7.1. Entradas .....	20
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	20
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	21
7.1.3. Retornos de riego (Rr).....	22
7.2. Salidas .....	23
7.2.1. Bombeo .....	23
7.3. Cambio de almacenamiento ( $\Delta V_S$ ) .....	23
8. DISPONIBILIDAD .....	24
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	24
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	24
8.3. Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS).....	25
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) .....	25
9. BIBLIOGRAFÍA .....	26

## **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-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 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPD).

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 Caborca, definido con la clave 2605 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroccidental del estado de Sonora, entre las coordenadas las coordenadas geográficas 29°54' y 31°22' de latitud norte y 111°29' y 113°08' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 13,242 km<sup>2</sup>.

Colinda al oeste el Golfo de California, al norte colinda con los acuíferos Arroyo Sahuaro y Los Chirriones; al este con Arroyo Seco, Río Altar, Busani, Magdalena y Costa de Hermosillo; al sur con Puerto Libertad y Arivaipa; todos ellos pertenecientes al estado de Sonora (figura 1).

Geopolíticamente el acuífero comprende parcialmente los municipios Caborca, Pitiquito, Trincheras, Altar y Oquitoa.

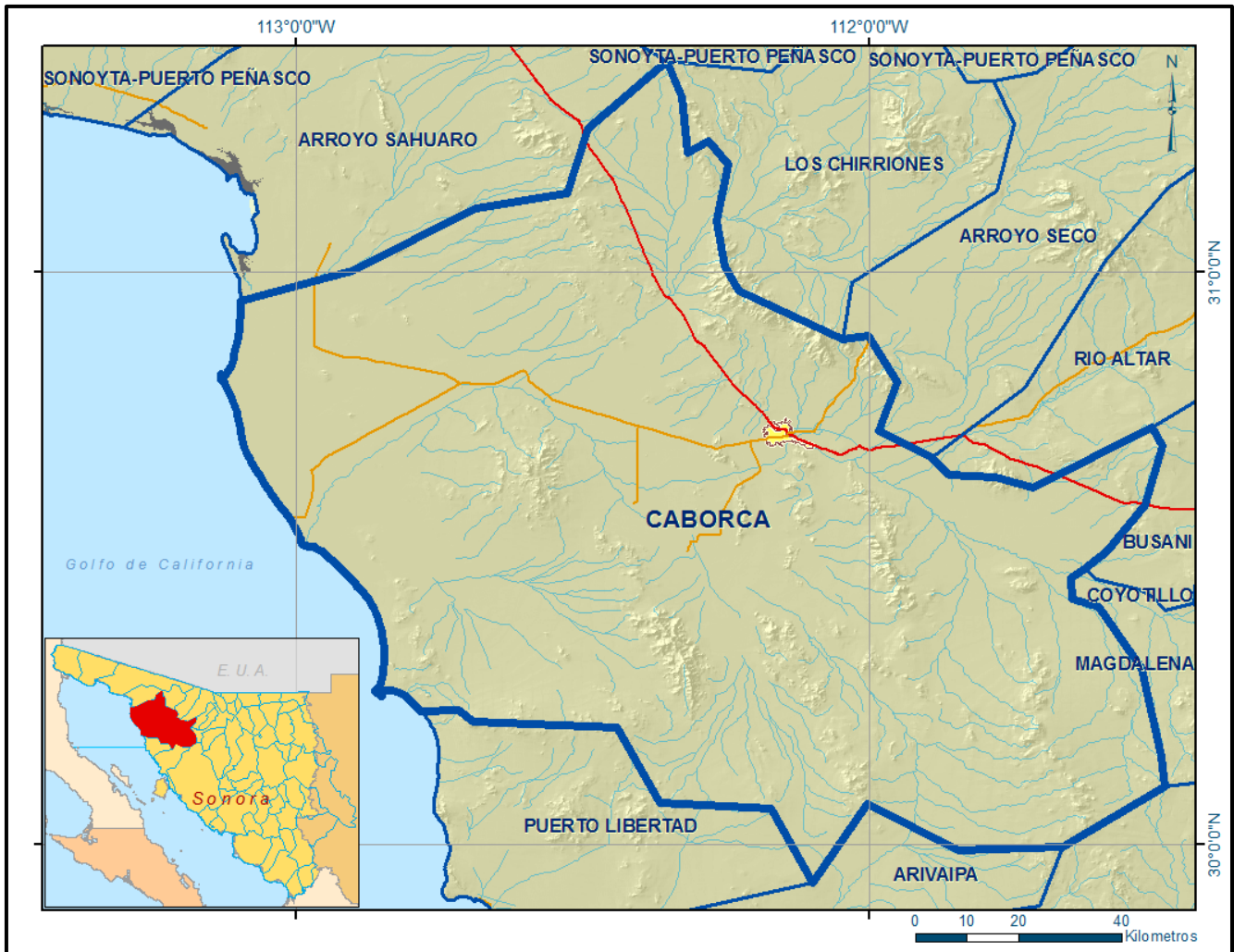


Figura 1. Localización del acuífero Caborca

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

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada que delimita al acuífero Caborca

ACUIFERO 2605 CABORCA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	111	53	28.2	30	40	36.1	
2	111	51	40.6	30	38	41.8	
3	111	46	46.0	30	38	32.1	
4	111	42	51.7	30	37	23.2	
5	111	30	20.4	30	43	46.1	
6	111	29	14.9	30	41	42.9	
7	111	31	10.3	30	35	35.0	
8	111	35	8.9	30	30	46.9	
9	111	37	26.1	30	28	52.6	
10	111	38	54.3	30	27	56.0	
11	111	38	44.0	30	25	46.8	
12	111	36	0.0	30	24	55.1	
13	111	31	25.8	30	18	28.2	
14	111	29	22.7	30	9	17.5	
15	111	29	0.9	30	6	5.7	
16	111	39	40.1	29	59	45.5	
17	111	50	35.6	29	59	29.1	
18	112	0	14.0	30	4	17.7	
19	112	5	58.1	29	56	5.4	
20	112	10	17.8	30	3	46.5	
21	112	21	58.2	30	4	25.7	
22	112	26	24.5	30	12	15.8	
23	112	41	27.8	30	12	52.1	
24	112	43	0.5	30	14	7.3	
25	112	47	0.2	30	14	0.9	del 25 al 26 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
26	113	5	52.3	30	56	57.9	
27	112	54	11.8	31	0	6.9	
28	112	41	15.1	31	6	38.6	
29	112	31	37.6	31	8	13.4	
30	112	29	24.8	31	15	3.0	
31	112	21	15.8	31	22	0.0	
32	112	19	35.1	31	18	19.7	
33	112	19	4.9	31	12	26.4	
34	112	16	51.1	31	13	41.7	
35	112	14	44.6	31	11	12.4	
36	112	15	58.4	31	5	21.8	
37	112	15	7.2	31	0	35.1	
38	112	13	42.4	30	57	58.6	
39	112	2	46.1	30	52	53.2	
40	112	0	9.9	30	53	20.0	
41	111	57	1.5	30	48	23.6	
42	111	59	4.3	30	43	24.1	
1	111	53	28.2	30	40	36.1	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Caborca pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. El territorio completo que cubre el acuífero está cubierto por dos decretos de veda. El primero rige en la porción central y está sujeto a las disposiciones del “*Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende la región de Altar, Pitiquito y Caborca, estado de Sonora*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 18 de Octubre de 1962. Este decreto es tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

El resto de su superficie está sujeto a las disposiciones del “*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del Estado de Sonora, en la parte oeste del meridiano 110° de Greenwich para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo, en dicha zona*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 19 de Septiembre de 1978. Este decreto es tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2010), los municipios de Caborca, Altar y Pitiquito, se encuentran en zona de disponibilidad 4, en tanto que Trincheras y Oquitoa se ubican en zona de disponibilidad 6. El principal usuario es el agrícola. En el acuífero se localiza el Distrito de Riego 037 “Altar-Pitiquito-Caborca. A la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie cubierta por el acuífero se han realizado varios estudios hidrogeológicos, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

**INTERPRETACIÓN DE DATOS Y DETERMINACIÓN POTENCIAL ACTUAL DEL ACUÍFERO EN LA COSTA DE CABORCA, SONORA**, elaborado por la empresa **Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A.**, para la **Secretaría de Recursos Hidráulicos**, en 1975. De este estudio se obtuvo la información de la interpretación de 24 sondeos eléctricos verticales de resistividad, así como pruebas de bombeo.

**MODELO MATEMÁTICO PARA SIMULAR EL AVANCE DE INTRUSIÓN SALINA DE LA COSTA DE CABORCA, SONORA**, elaborado por la empresa **Ingenieros Civiles, Geólogos y Asociados, S.A. Consultores**, para la **Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos**, en 1977. Sus objetivos principales fueron determinar el espesor y resistividad de las capas del subsuelo en sitios de interés para correlacionarlas con las unidades acuíferas identificadas; identificar la distribución de las formaciones cortadas por los pozos exploratorios y de explotación; definir la zona de intrusión salina



en la porción norte y centro del valle, reubicar los sitios de perforación y áreas de explotación en la porción norte del valle. Aporta información valiosa de pruebas de bombeo.

**ATLAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y RED DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DEL ESTADO DE SONORA, elaborado por la Universidad de Sonora, para la Comisión Nacional del Agua, en 2005.** El estudio consistió en establecer una red de monitoreo piezométrico para cada acuífero que se encuentra bajo la administración del Organismo de Cuenca Noroeste, que incluye la totalidad del Estado de Sonora y parte del Estado de Chihuahua. Además de planos temáticos (clima, precipitación, temperatura, geomorfología, vegetación, etc.), se incluyen planos de profundidad y elevación (mostrando las direcciones de flujo subterráneo). Representa un estudio de consulta general de los acuíferos.

**ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y PIEZOMETRÍA DE LOS ACUÍFEROS COSTEROS DE LA REGIÓN NOROESTE, elaborado por la Universidad de Sonora, para la Comisión Nacional del Agua, en 2006.** Contiene información de la calidad del agua subterránea relacionada con las concentraciones de los iones mayores y de parámetros físicos (conductividad eléctrica, pH y temperatura), con sus respectivos planos de isodistribuciones.

**ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA SALOBRE PARA SU DESALACIÓN, EN LOS ACUÍFEROS DE CABORCA, PUERTO LIBERTAD, ARIVAIPA Y FUERTE – MAYO, SONORA, elaborado por la Universidad de Sonora, para la Comisión Nacional del Agua, en 2007.** En este estudio se planteó el balance hidrometeorológico y con los resultados de las actividades de campo fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para determinar la recarga media anual que recibe el acuífero. Con esta información y la hidrogeoquímica, se definió el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero. Finalmente se determina la disponibilidad de aguas subterráneas.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1. Provincia fisiográfica**

El acuífero Caborca se ubica en la Provincia Fisiográfica Llanura Sonorense (INEGI, 1997) Subprovincia Fisiográfica Sierras y Llanuras Sonorenses constituida por una amplia variedad de rocas, en cuanto a su edad y composición, que se caracteriza por la presencia de sierras aisladas de rumbo NW-SE y N-S, con alturas que varían de 200 a 1,400 msnm, sepultadas por suelos cuaternarios; entre ellas se ubican llanuras amplias hacia la costa y bajadas de aluviones.

### **3.2. Clima**

El 96 % del acuífero está representado por climas muy secos semi-cálidos. En los alrededores de la cabecera municipal se aprecia un clima muy seco cálido y hacia la porción sur en una pequeña zona se presenta un clima seco; su régimen de lluvias es de verano, pero con un porcentaje de lluvia invernal de 22% respecto a la media anual. De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García (1981) el tipo de clima es BS, KW (x') (8e'). La temperatura media anual para el Acuífero Caborca es de 21.2°, la precipitación media anual es de 269 mm/año, con una lámina mínima de 84.6 mm. El valor de evapotranspiración potencial, de acuerdo con los datos obtenidos de las estaciones, es de 262.9 mm, en tanto que el valor de la evaporación potencial media es de 2346 mm anuales.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica 8 Sonora Norte, abarcando parte de las cuencas Desierto de Altar-Río Bámorei, Río Concepción-Arroyo Cocóspera y Río San Ignacio y Otros. El río Asunción es la corriente más importante; drena una superficie de 25,757 km<sup>2</sup> de los cuales 310 corresponden a territorio de Estados Unidos de Norteamérica. Limita al oriente con la cuenca del río Sonora; al sur con la del río San Ignacio; al norte con la cuenca del río Sonoyta y las de los ríos San Pedro y Santa Cruz; al noroeste con las cuencas de las corrientes poco definidas que descargan directamente en el Golfo de California.

La topografía de la cuenca se caracteriza por grandes extensiones de terrenos planos en las zonas media y baja; tiene una altitud media de 700 msnm aproximadamente y una máxima de 2,530 msnm al norte de Cananea, Sonora. La formación montañosa más importante de la cuenca se extiende desde Magdalena, hasta los orígenes del colector general, abarcando además las cuencas de los ríos Babasac, Los Alisos, Coyotillo, Busani y Altar, afluentes del río Concepción.

El río Concepción nace con el nombre de río Casa de Piedra en el cerro Vereda, a 9 km al sureste de Santa Cruz, en el parteaguas con el río Santa Cruz. Su cauce sigue un rumbo suroeste, recibe por su margen derecha al arroyo San Antonio a una altitud de 1,100 m y cambia su nombre al de arroyo Cocóspera; por su margen izquierda confluye el río Babasac a una altitud de 930 m. El arroyo Cocóspera recibe las aportaciones de su primer afluente importante, el arroyo Los Alisos, inmediatamente aguas abajo de Ímuris, por su margen derecha, y toma el nombre de río Los Alisos hasta las inmediaciones de Magdalena, donde el colector general fluye por zonas de topografía más suave y se inicia el aprovechamiento de sus escurrimientos. A partir de Magdalena, el colector general toma el nombre de esta población y continúa con curso hacia el suroeste; pasa por la población Santa Ana donde cruza la carretera Hermosillo-Nogales y aguas abajo, a la altura del ejido la Tinaja, recibe por su margen derecha el arroyo El Coyotillo.

Desde la confluencia anterior hasta Caborca, el río Magdalena sigue un curso poniente- norponiente, penetra a zonas de topografía suave donde su cauce se hace divagante y sus escurrimientos se aprovechan parcialmente por derivación. En este tramo los principales aportadores provienen de la margen derecha, como son el arroyo Busani y los ríos Altar y Seco.

A partir de la confluencia del río Altar, el Magdalena cambia su nombre por el de Asunción y a él confluye el río Seco, a una altitud de 300 m, ligeramente aguas arriba de la estación hidrométrica Pitiquito. Aguas abajo de Caborca, el río Asunción sigue con rumbo oriente hasta llegar a la sierra El Álamo, bordeándola por el norte para después tomar un curso surponiente y finalmente descargar sus aguas en el Golfo de California. En este tramo el arroyo Tesota confluye al río Asunción por la margen izquierda al oriente de la sierra El Álamo, a una altitud de 180 m. Aguas abajo recibe al arroyo Coyote por la margen derecha, al norte de la misma sierra, a una altitud de 130 m.

### **3.4. Geomorfología**

De acuerdo a la carta de unidades Geomorfológicas de México (Lugo, 1990), en el acuífero las unidades geomorfológicas presentes son las siguientes:

**Ladera Montañosa:** la condición principal de esta unidad morfogenética es una altura relativa mayor a 200 m; que, según Lugo Hubp (1989) se debe a procesos endógenos de plegamiento, magmatismo, vulcanismo y también puede ser originada por la disección de una estructura de formación endógena modelada.

**Lomerío:** el factor determinante es que su altura relativa sea menor a 200 m; se origina por la nivelación de montañas (endógeno modelado) o por la disección de una planicie inclinada (exógeno erosivo); sin embargo, puede tratarse de relieve endógeno de baja altura, producto de tectónica cuaternaria (Córdova F. de A., 1988).

**Piedemonte:** constituye márgenes montañosas o zonas transicionales que se distinguen por cambio de pendiente y altura considerablemente menor, de 0 a 200 m, dependiendo del comportamiento del terreno; está compuesto de material detrítico y presenta drenaje fluvial.

**Planicie:** es una superficie de poca inclinación y diferencia altitudinal, corresponde al relieve exógeno acumulativo de depósitos aluviales, eólicos y costeros. Se consideró para su identificación el uso de suelo (agrícola y urbano), el cambio de pendiente y el patrón de drenaje.

## **4. GEOLOGÍA**

La geología regional está constituida por un basamento ígneo-metamórfico del Proterozoico inferior-medio, denominado Complejo Metamórfico Bámori (Longoria *et al.*, 1978) constituido por gneises y

esquistos afectados por un granito micrográfico denominado Granito Aibó, fechado en 1,100 Ma por Anderson y Silver (1979); ambas unidades afloran en la porción sureste del área de estudio. Sobreyacen discordantemente sedimentos de edad proterozoica, representados por dolomías y areniscas, denominadas Capas Gamuza, que afloran en la porción oriental. Sobreponiéndose concordante y transicionalmente a dichas capas, se encuentran paquetes de calizas y areniscas; en la porción central Norte y Este, sobreyaciendo a estas rocas se encuentran discordantemente (hiato en el Cámbrico Superior) calizas y lutitas de facies de cuenca profunda de edad Ordovícico-Devónico.

Al Norte de Sierra El Álamo en la porción central del acuífero, afloran calizas y limolitas de la Formación Monos (Cooper, 1965) del Pérmico Superior, sobreyacidas discordantemente por calizas y lutitas del Pérmico Superior-Triásico Superior, seguidas discordantemente por una unidad de meta-areniscas y meta-lutitas de edad Triásico Superior, que a su vez es cubierta discordantemente por un paquete de areniscas y limolitas, calizas y areniscas, areniscas y conglomerados polimícticos del Jurásico, correlacionables con la Formación San Antonio (González, 1980). Estas unidades afloran principalmente en la Sierra El Antimonio.

En forma aislada afloran en la parte norte del acuífero rocas graníticas y granodioríticas de edad Jurásico Superior (Stewart, 1986). Cabalgando a rocas jurásicas, afloran rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Jurásico Medio, consistentes en riolitas, andesitas, areniscas y conglomerados deformados, que conforman casi la totalidad de Sierra La Gloria, en esta localidad cabalga a rocas sedimentarias del Jurásico Inferior y del Cretácico-Terciario. En contacto por falla normal con esta unidad, se encuentra la unidad metasedimentaria de la misma edad, constituida por conglomerados polimícticos y areniscas deformadas expuestas en el Cerro El Álamo. En esta misma porción cabalga a la Formación Morita, constituida por lutitas y areniscas, de edad Aptiano y a su vez está en contacto por falla normal con una secuencia de riolitas y andesitas del Complejo Volcánico El Charro.

Cubriendo discordantemente a las rocas triásicas y jurásicas, aflora una secuencia volcanosedimentaria constituida por andesitas y areniscas del Cretácico Superior correspondientes a la Formación Tarahumara, que aflora en la Sierra El Álamo. Sobreyaciendo discordantemente y en contacto tectónico con las unidades del Jurásico Inferior, afloran en el flanco Sur occidental de la Sierra La Gloria y Cerro El Álamo, los conglomerados polimícticos rojos y areniscas de edad Cretácico Superior - Terciario Paleoceno.

Afectando en parte a las unidades anteriores, se presentan rocas intrusivas representadas por gabros, granitos, granodioritas y dioritas que se encuentran distribuidas en la mayor parte del área de estudio; estas unidades han sido fechadas por el método K-Ar, obteniendo edades que van de  $64.3 \pm 2$  Ma (Damon *et al.*, 1983) a  $80.9 \pm 1.8$  Ma (De Jong, 1988).

El Pleistoceno está representado por depósitos semiconsolidados y no consolidados de piedemonte, constituidos por conglomerados polimícticos, gravas y arenas y el Holoceno por materiales aluviales, depósitos eólicos, lacustres, palustres y aluvión (figura 2).

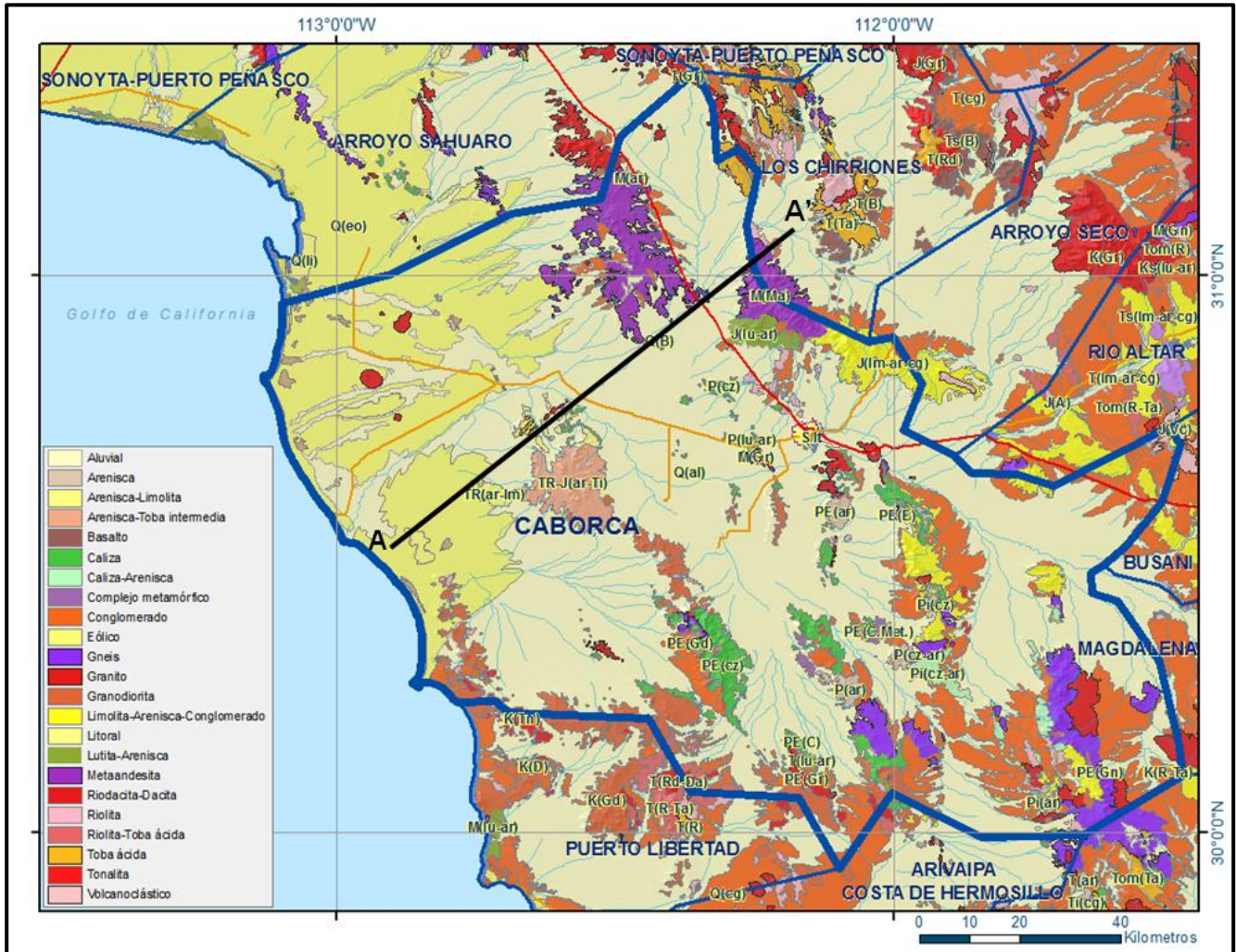


Figura 2. Geología del área Acuífero Caborca

#### 4.1. Estratigrafía

A continuación se hace una breve descripción de las unidades geológicas que se encuentran en el área de la más antigua a la más reciente:

**Precámbrico.** Dentro del área de estudio afloran rocas precámbricas metamórficas constituidas principalmente por esquistos micáceos, cuarcitas, gneis y un complejo metamórfico. Estos afloramientos se encuentran concentrados en la porción Sur del acuífero. Respecto a las rocas ígneas precámbricas se presentan en el área pequeños afloramientos de granito y granodiorita, localizados al suroeste y este de Bámori, respectivamente. El Precámbrico Superior está

representado por secuencias de areniscas y calizas correlacionables con las rocas del Precámbrico Superior de la región de Caborca, que afloran al sur de la Ciudad del mismo nombre (figura 2).

**Paleozoico.** Se encuentra representado por una secuencia detrítico-carbonatada que fue depositada en un ambiente de plataforma somera, cuyas edades varían del Cámbrico al Pérmico. Estas secuencias están constituidas de calizas y areniscas principalmente.

**Mesozoico.** Está representado por una secuencia marina, con depósitos calcáreos, arcillo-calcáreos y arcillo-arenosos. Afloran también rocas ígneas, intrusivas y extrusivas de composición ácida a intermedia, así como un complejo metamórfico. Una asociación de arenisca-toba intermedia de edad Triásico-Jurásico se encuentra aflorando al suroeste de Caborca. Respecto a rocas jurásicas, aflora una secuencia vulcanoclástica al sureste de Pitiquito. El Jurásico en el área está representado por dioritas, tonalitas y una asociación de riolita- toba ácida.

**Cenozoico.** Las rocas cenozoicas en el área están representadas por afloramientos de andesitas y de basaltos, así como extensos afloramientos de conglomerados, los cuales están diseminados sobre toda la superficie. Las rocas terciarias están representadas por rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Al suroeste del área existen afloramientos de riodacita-toba ácida y riolita-toba ácida, así como afloramientos dispersos de riodacita, riolita y toba ácida. En el extremo norte del acuífero se encuentra un afloramiento de granito. Respecto a rocas sedimentarias terciarias, afloran secuencias de areniscas-limolitas al sureste.

Del **Cuaternario** se localizan depósitos lacustres, litorales y palustres. El depósito aluvial es el que ocupa mayor extensión en el acuífero, seguido de depósitos eólicos, localizados en la zona costera.

## **4.2. Geología estructural**

La estructura regional más sobresaliente en Sonora es la hipotética Megacizalla Mojave-Sonora de Anderson y Silver (1979), que corresponde a una estructura sinestral con un desplazamiento lateral de 700 a 800 km con orientación NW-SE, la cual fue interpretada como falla activa durante el Jurásico Temprano a Medio. El estilo de deformación de las rocas sobre la traza de la Megacizalla se manifiesta como fracturamiento, fallamiento y zonas de esquistosidad afectando a rocas del Jurásico Inferior y Medio. Superpuestas a este estilo de deformación, se tienen cabalgaduras, plegamientos y esquistosidad que afectan tanto a las rocas jurásicas como a las del Cretácico Inferior, atribuibles a la Orogenia Laramide. Durante el Cretácico Superior-Terciario Inferior se evidencia una etapa de intenso tectonismo en la cual las mayores estructuras son cabalgaduras y plegamientos en los que las rocas del basamento proterozoico cristalino y rocas sedimentarias del Proterozoico Superior y Cámbrico cabalgan sobre rocas sedimentarias del Jurásico Inferior, como ocurre en las sierras La Víbora y La Joroba, donde el Precámbrico sedimentario se encuentra fuertemente plegado.



También se evidencian en algunos lugares fallas inversas como en el Cerro El Álamo, donde metaconglomerados cabalgan a rocas de la Formación Morita, que atestiguan la tectónica compresiva que los afectó. De Jong (1988), concluye que el cabalgamiento en el área de Caborca tuvo lugar durante el Cretácico Tardío entre 98 y 80 Ma, que corresponde a la Orogenia Laramide. La mayor parte de la configuración actual de la región se debe al fallamiento normal del Terciario Medio. La tectónica producida durante esta fase, trunca las estructuras preexistentes y las estructuras anteriores quedan en ocasiones completamente enmascaradas por este fallamiento regional de tipo normal, atribuido a la distensión de cuencas y sierras ("Basin and Range").

#### 4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con los SEV's realizados por las empresas TMI (1975) e ICG (1977), y los TEM's realizados por la CONAGUA (2007), es posible definir la presencia de un acuífero constituido en su porción superior por depósitos aluviales y en su porción inferior por gravas y arenas empacadas en arcillas. Hacia la zona de El Desemboque se presentan cuatro horizontes de distinta composición y granulometría. La capa más somera corresponde con gravas, arenas y arcillas, en la cual el contenido de arcillas disminuye hacia la parte costera, esta capa tiene un espesor que varía, de sureste a noroeste, de 50 a 150 m aproximadamente; debajo de esta capa se encuentra una capa de arcilla azul con un espesor mayor a 150 m, el cual se incrementa hacia la parte noroeste de El Desemboque. Subyaciendo a la arcilla azul se encuentra una arcilla de color marrón con gravillas, con un espesor aproximado de 100 m; y finalmente, a una profundidad aproximada de 250 m se encuentra la capa de cuarcita alterada.

Hacia el noreste del poblado El Coyote se ha reportado una capa de gravas y arenas con un espesor aproximado de 70 m. Subyaciendo a esta capa se encuentra otra de arenas y gravas con un espesor mayor a 150 m, la cual se acuña hacia el noreste; por último se tiene una capa arcillosa de la cual no se conoce espesor. Finalmente, se reporta hacia la parte norte de la costa, una capa superficial de gravas y arenas de espesor variable que subyace a una capa de arcilla azul de espesor desconocido. Los sondeos geofísicos permitieron identificar 6 litologías diferentes (figura 3), que de la más antigua a la más joven son: Caliza-Arenisca de edad Paleozoica por su posición estratigráfica, Arenisca del Triásico Inferior, Metasedimentarias y Metavolcánicas del Triásico Superior, Granodiorita del Cretácico-Terciario y Depósitos aluviales del Cuaternario.

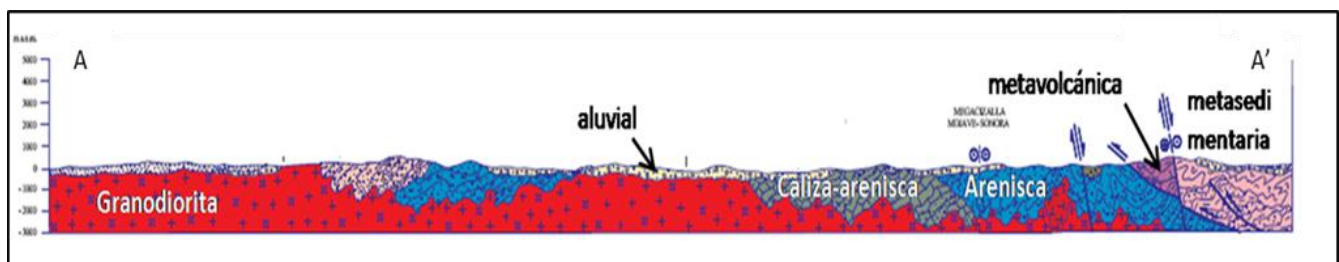


Figura 3. Sección Geológica Esquemática SE-NW (Fuente: Carta Geológica H12-4 Caborca 1:250,000 (2002))

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas y los sondeos geofísicos ejecutados, es posible definir que el acuífero es de **tipo libre**, con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de estratos de arcillas, en el que se han identificado dos unidades diferentes en el valle:

La primera unidad está constituida por los materiales aluviales conformados por gravas y arenas intercaladas con materiales finos, derivados de materiales tobáceos, que presentan permeabilidad variable, dependiendo del contenido de arcillas. Estos materiales funcionan como acuífero libre cuyo espesor es variable, del orden de 60 m en el área de Pitiquito, 170 m en Caborca, 100 m en el área de Coyote Costa y hasta 400 m en la región de Bízani; presentan las características apropiadas de permeabilidad y porosidad para almacenar el agua de la subcuenca del Río Asunción, en el tramo comprendido entre Pitiquito y Caborca, constituyendo así la unidad geohidrológica más importante.

La segunda unidad se encuentra constituida por una capa de materiales clásticos (gravas y arenas) terciarios, empacados en una arcilla de color rojo, con un espesor reducido de tan solo 50 m, por lo que no representa una unidad acuífera importante.

Estas unidades se encuentran divididas por una capa de arcilla de color gris-azul, con fósiles marinos, prácticamente impermeable y con un espesor de 230 m en la zona costera. Debido a su baja permeabilidad se encuentra confinando parcialmente a la segunda unidad acuífera. El basamento geohidrológico se encuentra constituido por rocas intrusivas y metamórficas. En función de las propiedades físicas de las distintas litologías, es posible definir las siguientes unidades hidrogeológicas:

**Material consolidado con posibilidades bajas.** Rocas impermeables o de baja permeabilidad, de origen ígneo, sedimentario, volcanosedimentario y metamórfico. Sin embargo, el fracturamiento intenso de poca profundidad que predomina en las sierras altas, favorece la infiltración que se manifiesta por la presencia de pequeños manantiales que desaparecen en el periodo de estiaje.

**Material no consolidado con posibilidades altas.** Se encuentra distribuida en las porciones central, centro-occidental, noreste y norte del área de estudio. Está constituida por conglomerados semiconsolidados del Terciario y Pliocuaternario, así como aluviones, depósitos eólicos y de piedemonte, acumulados en los valles.

**Material no consolidado con posibilidades medias.** Esta unidad se localiza dispersa en el occidente y en la porción sureste del área, los materiales que lo constituyen son conglomerados del



Terciario y Cuaternario, que en ocasiones se encuentran cementados. Presentan posibilidades de constituir acuíferos de tipo libre. Se explota mediante norias que presentan niveles estáticos que oscilan entre 3 a 8 m.

**Material no consolidado con posibilidades bajas.** Está constituida por un conglomerado polimíctico, formado con fragmentos redondeados de rocas volcánicas de composición ácida y, básica, así como rocas y sedimentarias, incluidos en una matriz arcillo-arenosa ligeramente cementada. Conforman una unidad con posibilidades bajas debido a la poca extensión de sus afloramientos, a su reducido espesor y escaso fracturamiento.

## 5.2. Parámetros hidráulicos

En los estudios realizados en 1975 (TMI, S.A) y 1977 (ICG, S.A. Consultores), se realizaron 112 pruebas de bombeo cuya interpretación arroja valores de transmisividad que varían de  $2.0 \times 10^{-3}$  a  $7.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , registrándose los valores más altos a lo largo del cauce del Río Asunción o Magdalena, entre la región de Coyote y Bízani, disminuyendo hacia el este y oeste.

En la región de Coyote-Costa, los valores se encuentran en un rango de  $5.0 \times 10^{-3}$  y  $7.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , mientras que en la región de Pitiquito-Caborca los valores son menores a  $2.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ; finalmente, en la región de Bízani, los valores se encuentran en un rango de  $5.0 \times 10^{-3}$  y  $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ . En la planicie costera los valores de transmisividad son bajos, debido al incremento en los materiales finos.

Los valores del coeficiente de almacenamiento obtenidos de la interpretación de las pruebas de bombeo, se encuentran en un rango de  $8 \times 10^{-5}$  y  $1 \times 10^{-1}$ . Adicionalmente, como parte del estudio de 2007, se realizaron siete pruebas de bombeo de larga duración distribuidas en toda la zona de explotación intensiva del acuífero (tabla 2). Estas pruebas fueron interpretadas con el método de Theis utilizando el software Aquifer Test, con el fin de obtener la transmisividad del acuífero.

Tabla 2. Pruebas de bombeo realizadas en el acuífero Caborca

POZO	PREDIO	TRANSMISIVIDAD $\text{m}^2/\text{s}$	X	Y
35-28	VIÑEDO SAN ANDRÉS	$1.6 \times 10^{-2}$	349,490	3,414,028
51-29	EXPORTADORA DE CABORCA	$9 \times 10^{-3}$	358,621	3,406,249
62-11	BAHÍA	$7.3 \times 10^{-3}$	312,687	3,398,451
62-26	BAHÍA	$4 \times 10^{-3}$	311,174	3,394,134
84-09	AGUILAR NORIEGA ALEJANDRO	$5 \times 10^{-4}$	382,864	3,387,670
87-49	S.L.C.E. DE R.I. LLANO BLANCO	$5.1 \times 10^{-3}$	412,794	3,388,172
103-06	LAS TRES CALIFORNIAS	$1.7 \times 10^{-2}$	423,516	3,378,948

Los valores de transmisividad obtenidos varían de  $5 \times 10^{-4}$  a  $1.7 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , con un valor medio de  $9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , que fue utilizado para la estimación de las entradas subterráneas al acuífero.

### **5.3. Piezometría**

La información de piezometría se tomó del "Atlas de Aguas Subterráneas y de la Red de Monitoreo Piezométrico del Estado de Sonora", correspondiente a los años 2004 y 2007. Para la descripción del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se describirán las configuraciones para el año 2007.

### **5.4. Comportamiento hidráulico**

El Acuífero Caborca presenta una topografía que se caracteriza por la distribución de bloques levantados y caídos correspondientes a la tectónica Basin and Range del Terciario y eso hace que la geometría del acuífero sea sumamente irregular y compleja. Por lo mismo, existe un patrón hidrogeológico de recarga y flujo también complejo, que requiere de estudios más detallados para su definición. Se definieron tres zonas dentro del acuífero:

**La Zona Este** geológicamente se caracteriza por ser una fosa angosta de orientación NW asociada a fallamiento profundo de edad mesozoica.

**La Zona Centro** de geología compleja, caracterizada por la interacción de fallamiento terciario en dirección NW que genera cuencas y sierras, con fallas dirección en dirección E. Esta interacción genera una cuenca profunda por donde pasa el actual Río Concepción. Es en esta zona en donde se localiza el mayor número de aprovechamientos y las mayores profundidades al nivel estático.

**La Zona Costera** separada de la Zona Centro por medio de un parteaguas subterráneo, se caracteriza por ser un delta acotado por la paleotopografía, donde actualmente se presenta un proceso incipiente de intrusión marina.

#### **5.4.1. Profundidad al nivel estático**

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático (figura 4), los valores en el acuífero varían de 10 a 133 m. Las menores profundidades se registran hacia la zona costera, aumentando gradualmente por efecto de la topografía hacia las porciones más altas.

En la zona costera los valores oscilan entre 10 y 100 m, en tanto que en la opción central del acuífero se registran profundidades que varían entre 30 y 133. Finalmente, en la región de Pitiquito, la profundidad varía de 20 a 112 m.

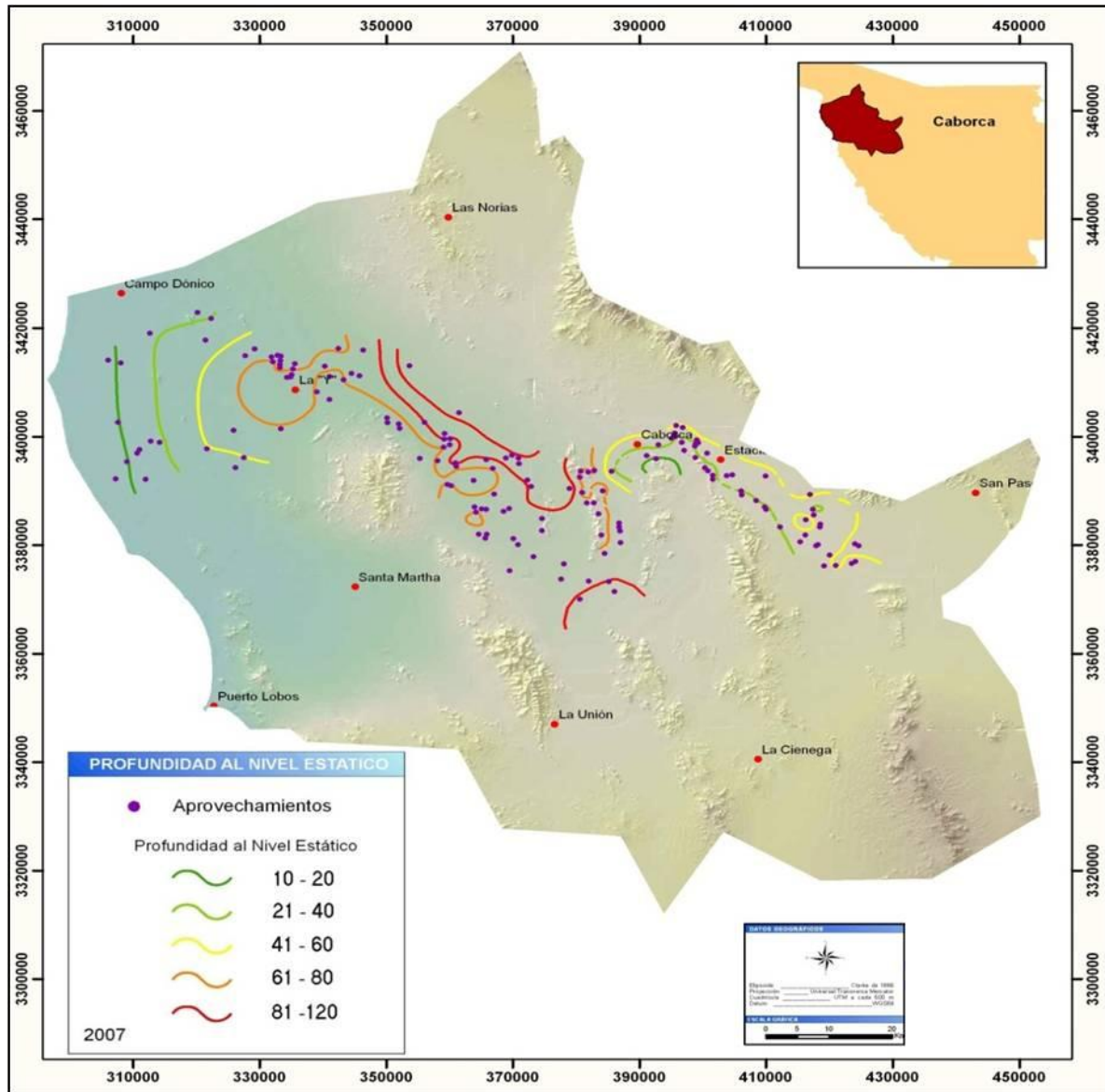


Figura 4. Profundidad al Nivel Estático en metros (2007)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

Con respecto a la elevación del nivel estático para el año 2007 (figura 5), se observa que sus valores varían de 450 a -5 msnm, mostrando que el flujo subterráneo tiene una dirección preferencial de este a oeste, con alteraciones en las zonas de concentración de pozos.

En la Zona Pitiquito, las elevaciones al nivel estático oscilan en un rango de 122 a 400 msnm; las mayores hacia las elevaciones topográficas, que se localizan en la parte este, en los alrededores de Sierra La Víbora. Para la Zona Central las elevaciones oscilan en el rango de 10 a 155 msnm; las menores se localizan en el Ejido Morelos y las mayores al suroeste (figura 5). Por otra parte, en la zona costera los valores de elevación varían de -5 a 0 msnm.

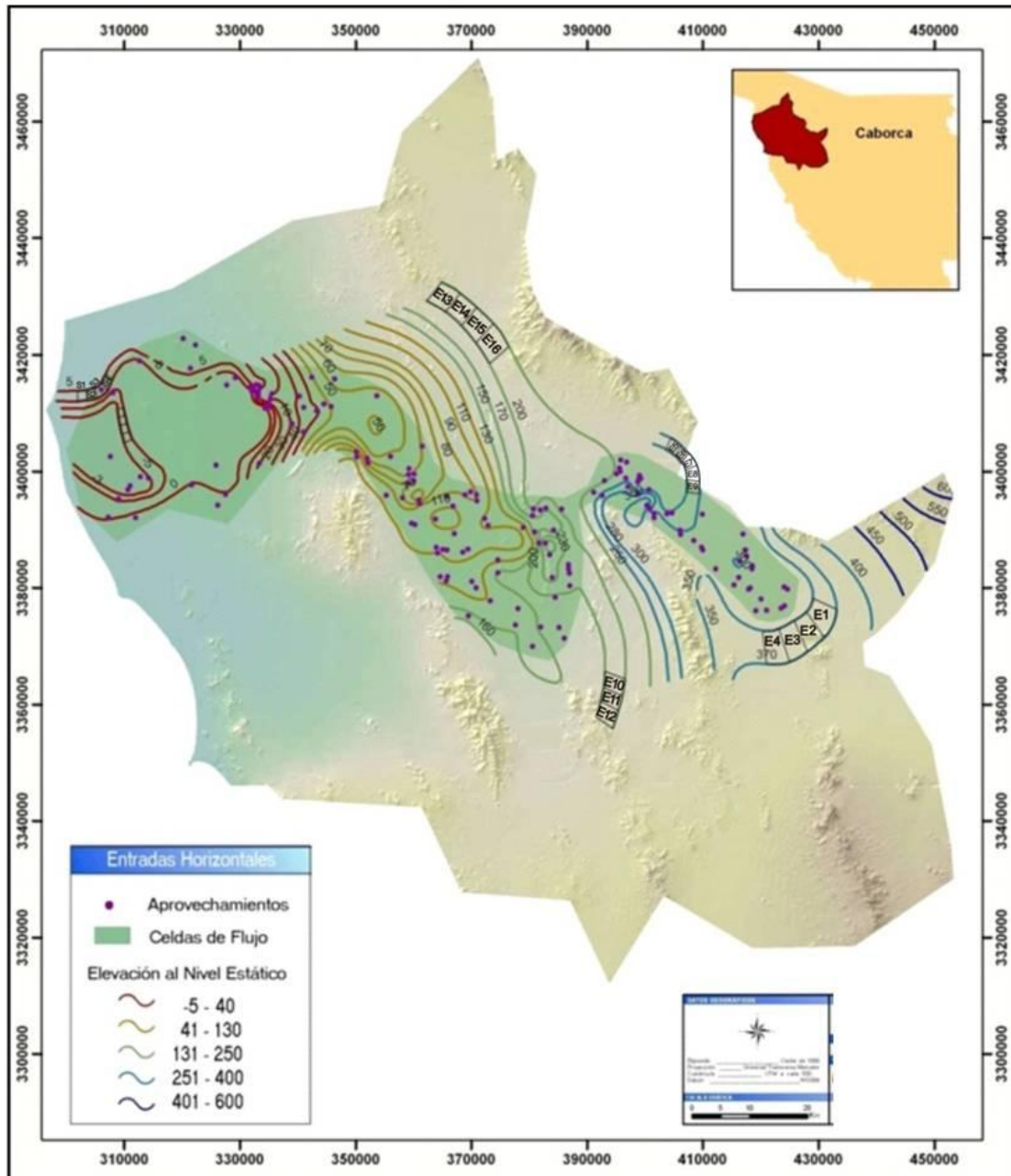


Figura 5. Elevación del Nivel Estático en msnm (2007)

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Respecto a la evolución del nivel estático, la figura 6 presenta la configuración para el periodo 2004-2007, en la que se puede observar que se registran valores de abatimiento de 1 hasta 6 m, que representan un ritmo anual de 0.25 a 1.5 m. Adicionalmente, se observan valores locales de recuperación de hasta 4 m en dicho periodo; es decir 1.0 metros anuales. Como es de esperar, en las zonas costera y centro se registran los mayores abatimientos, ocasionados por la concentración del bombeo y/o la cercanía con el nivel medio del mar. En la zona costera se muestran indicios de intrusión marina.

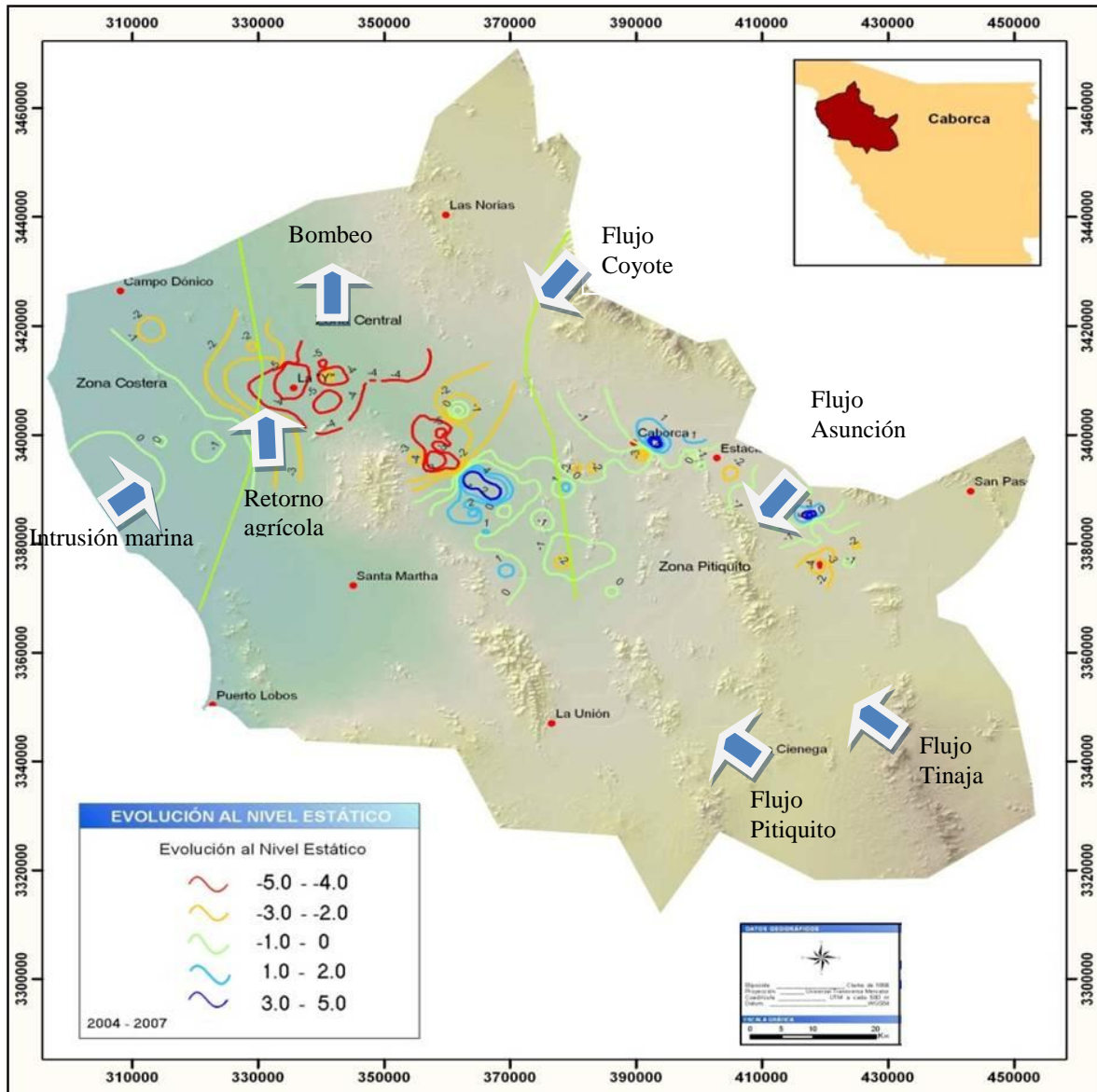


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2004-2007)

## 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte del estudio realizado en el 2007, se tomaron muestras de agua en 24 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total, elementos traza y sólidos totales disueltos.

Tomando en cuenta los resultados de los análisis físicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 700 a 4100 mg/l. En cuanto a la conductividad eléctrica, el agua varía de dulce a salobre, de acuerdo al criterio establecido por la American Potability and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 860 a 5030  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Las mayores concentraciones de STD se registran en la zona costera y las menores en la zona de Pitiquito,

ubicada al este del acuífero, lo cual demuestra la trayectoria preferencial del flujo subterráneo hacia el oeste, en dirección del mar.

Con respecto a la temperatura, en la porción costera es donde se presenta la temperatura más alta, con un valor de 35.5 °C la cual se presenta en el Ejido Último Esfuerzo. La zona central presenta temperatura promedio de 27.7 °C; con las temperaturas mínimas más bajas en las zonas aledañas a la Sierra el Álamo. La zona de Pitiquito es la que registra las temperaturas más bajas, de 22 a 25.0°C, debido a la profundidad más somera de los aprovechamientos.

Todos los valores de pH en el área de estudio se encuentran entre los LMP que marca la NOM (6.5 – 8.5).

La calidad del agua en el acuífero Caborca, se definió mediante los parámetros físico-químicos analizados en función de los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para uso y consumo humano. Los aprovechamientos que se localizan en la región costera son los que presentan concentraciones por arriba del LMP con respecto a Ca, Na, Cl, SO<sub>4</sub> y dureza total. Las dos regiones restantes (Centro y Pitiquito) se encuentran dentro de los LMP para consumo humano, pero se detectaron altas concentraciones de Bromuro en cinco aprovechamientos (67-74, 69-27, 82-11, 82-15 y 83-18) que se localizan entre estas dos regiones, cercanos a la ciudad de Caborca, posiblemente debido a la utilización de insecticidas agrícolas a base de bromuro de metilo.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo más reciente del acuífero, existe un total de 738 aprovechamientos de aguas subterráneas, de los cuales 396 son norias (53.7%), y los 342 restantes pozos (46.3 %).

El volumen de extracción calculado es de **321.2 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 298.7 hm<sup>3</sup> (93 %) se destina al uso agrícola, 19.9 hm<sup>3</sup> (6.2 %) al uso público-urbano para dotación de agua potable y los 2.6 hm<sup>3</sup> restantes (0.8 %) para satisfacer las necesidades doméstico-abrevadero.

## 7. BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido.

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

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



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

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

El balance se definió para el periodo 2004-2007 en una superficie de 2,758 km<sup>2</sup>, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

De esta manera la ecuación de balance propuesta para éste acuífero es la siguiente:

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

Donde:

**Eh**= Entrada por flujo horizontal subterráneo;

**Rv**= Recarga vertical;

**Rr**= Retornos de riego;

**B**= Bombeo;

**$\Delta V(S)$** = Cambio en el volumen almacenado;

## 7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero ( $R_t$ ) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración a lo largo de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical ( $R_v$ ), y por flujo subterráneo ( $E_h$ ).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en la redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida ( $R_i$ ), para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, sólo se consideran los retornos del riego agrícola ( $R_r$ ).

### 7.1.1. Recarga vertical ( $R_v$ )

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 (1).

De esta manera, despejando la recarga vertical (Rv) se obtiene lo siguiente:

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

### 7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2007 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

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

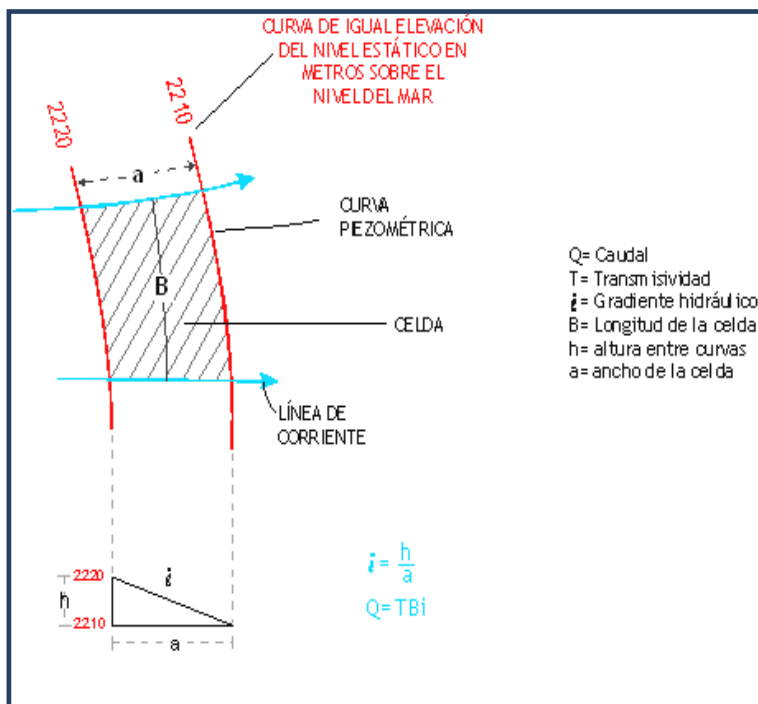
Donde:

**Q**= Gasto;

**T**= Transmisividad;

**B**= Longitud de la celda;

**i**= Gradiente hidráulico;



De acuerdo con la configuración del nivel estático para el año 2007 mostrada en la figura 5, el cálculo del flujo en las celdas de entradas se muestra en la tabla 3.

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas fueron tomados de los resultados promedio de las pruebas de bombeo realizadas por la empresas 1975 (TMI, S.A) y 1977 (ICG, S.A. Consultores) así como CONAGUA (2007) y adaptados al espesor saturado del acuífero en las celdas de flujo definidas.



Tabla 3. Cálculo de entradas subterráneas horizontales

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$	GRADIENTE i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
E1	3,306	5,739	20	0.0035	0.009	0.1037	3.3
E2	3,367	6,014	20	0.0033	0.009	0.1008	3.17
E3	3,107	5,594	20	0.0036	0.009	0.1000	3.15
E4	3,997	5,238	20	0.0038	0.009	0.1374	4.33
E5	2,068	2,102	20	0.0095	0.009	0.1771	5.58
E6	1,772	1,950	20	0.0103	0.009	0.1636	5.15
E7	1,846	1,977	20	0.0101	0.009	0.1681	5.29
E8	2,211	2,117	20	0.0094	0.009	0.1880	5.92
E9	1,972	1,931	20	0.0104	0.009	0.1838	5.79
E10	2,821	3,676	30	0.0082	0.009	0.2072	6.53
E11	3,489	2,992	30	0.0100	0.009	0.3148	9.92
E12	2,469	3,443	30	0.0087	0.009	0.1936	6.10
E13	3,750	4,136	50	0.0121	0.009	0.4080	12.85
E14	3,690	4,186	50	0.0119	0.009	0.3967	12.50
E15	3,960	4,260	50	0.0117	0.009	0.4183	13.18
E16	4,560	4,550	50	0.0110	0.009	0.4510	14.21
<b>Total entradas</b>							<b>116.9</b>

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

El valor total entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **116.9 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.1.3. Retornos de riego (Rr)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. A esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Para este caso, se consideró que un 15 % de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, tomando en cuenta una profundidad media al nivel del agua subterránea de 80 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de baja permeabilidad en el subsuelo.

De esta manera, si el volumen de extracción para uso agrícola es de 298.7 hm<sup>3</sup> anuales, la recarga inducida por retornos de riego asciende a **Rr = 44.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre únicamente por bombeo (B). No existen salidas subterráneas horizontales (Sh), descargas por evapotranspiración, flujo base ni manantiales. Por lo que **Sh = 0**.

### 7.2.1. Bombeo

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **321.2 hm<sup>3</sup>/año**, destinando en su mayor parte al uso agrícola.

## 7.3. Cambio de almacenamiento ( $\Delta V_S$ )

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución anual del nivel estático 2004-2007 mostrada en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico Sy de 0.09 se determinó la variación del almacenamiento 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 de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>);

**h**= Valor de la variación piezométrica en el período (m);

Como consecuencia de la explotación del recurso para el uso agrícola, la posición del nivel piezométrico ha descendido, propiciando en la zona costera el inicio de intrusión marina. El cambio neto de almacenamiento es de -3610 hm<sup>3</sup> para el periodo de evolución 2004-2007, lo que equivale a un promedio de 1203.3 hm<sup>3</sup> anuales. Si consideramos un coeficiente de almacenamiento Sy de 0.09, válido para un acuífero libre granular de origen aluvial y deltaico, el valor resultante es de - 108.3 hm<sup>3</sup> anuales, que representan un abatimiento promedio anual de 39 cm para la superficie de balance de 2,758 km<sup>2</sup>. Por lo tanto  **$\Delta V(S) = - 108.3 \text{ hm}^3$** .

### Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración por lluvia (Rv), por lo que despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2)$$

$$R_v = 321.2 - 108.3 - 116.9 - 44.8$$

$$R_v = 51.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R_t = R_v + E_h + R_r$$

$$R_t = 51.2 + 116.9 + 44.8$$

$$R_t = 212.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, 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 siguiente expresión:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS \quad (3)$$

Donde:

**DAS**= Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica;

**$R_t$** = Recarga total media anual;

**DNCOM**= Descarga natural comprometida;

**VCAS**= Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA;

### 8.1. Recarga total media anual ( $R_t$ )

La recarga total media anual ( $R_t$ ) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como de recarga inducida. Para este caso su valor es de **212.9 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 168.1 hm<sup>3</sup>/año son recarga natural y los 44.8 hm<sup>3</sup>/año restantes recarga inducida.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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 Caborca se considera que no existe descarga natural comprometida, por lo que **DNCOM = 0.0**.

### **8.3. Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS)**

Es el volumen anual de extracción, 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, con fecha de corte al **31 de marzo del 2010 es de 307'574,119 m<sup>3</sup>/año**.

### **8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)**

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, de acuerdo con la expresión 3, 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.

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS} \quad \mathbf{(3)}$$

$$DAS = 212.9 - 0.0 - 307.574119$$

$$\mathbf{DAS = - 94.674119 \, hm^3/año}$$

La cifra indica que no existe un volumen de agua subterránea para otorgar nuevas concesiones, por el contrario su **déficit es de 94'674,119 m<sup>3</sup> anuales**, que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 2005. Elaboración de Atlas de Aguas Subterráneas para el Estado de Sonora y Diseño de una Red de Monitoreo Piezométrico. Realizado en convenio por Universidad de Sonora.

Comisión Nacional del Agua, 2006. Estudio de Caracterización Fisicoquímica y Piezometría de los Acuíferos Costeros de la Región Noroeste. Realizado en convenio por Universidad de Sonora.

Comisión Nacional del Agua, 2007. Estudio Técnico para Determinar la Factibilidad de Extracción de agua Subterránea salobre para su Desalación, en los Acuíferos de Caborca, Puerto Libertad, Arivaipa y Fuerte – Mayo, Sonora. Realizado por la Universidad de Sonora.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1977. Elaboración del Modelo Matemático para Simular el Avance de Intrusión Salina de la Costa de Caborca, Sonora. Realizado por la empresa Ingenieros Civiles Geólogos y Asociados, S.A. Consultores.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1975. Interpretación de Datos y Determinación del Potencial Actual del Acuífero en la Costa de Caborca, Sonora. Realizado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A.

IMTA, 2005. Plan Director para la Modernización Integral del Riego del DR037 “Altar-Pitiquito-Caborca, Son.

INEGI, 2000. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora.