



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SONOYTA-PUERTO PEÑASCO (2603),
ESTADO DE SONORA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	5
2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	6
3 FISIOGRAFÍA.....	8
3.1 Provincia Fisiográfica.....	8
3.2 Clima.....	8
3.3 Hidrografía.....	9
3.4 Geomorfología.....	10
4 GEOLOGÍA.....	11
4.1 Estratigrafía.....	12
4.2 Geología estructural.....	14
4.3 Geología del subsuelo.....	16
5 HIDROGEOLOGÍA.....	18
5.1 Tipo de acuífero.....	18
5.2 Parámetros hidráulicos.....	18
5.3 Piezometría.....	19
5.4 Comportamiento hidráulico.....	19
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	19
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	20
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	22
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	22
7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	23
7.1 Salidas.....	23
7.1.1 Evapotranspiración (ETR)	23
7.1.2 Bombeo (B)	23
7.1.3 Salidas subterráneas (Sh)	24
7.2 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	25
7.3 Entradas.....	26
7.3.1 Recarga vertical (Rv).....	26
7.3.2 Entradas subterráneas horizontales (Eh).....	27
7.3.3 Recarga inducida (Ri).....	28
8 DISPONIBILIDAD.....	28
8.1 Recarga total media anual (R).....	29
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	29
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	29
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	30
9 BIBLIOGRAFÍA.....	31

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.

Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Valle de Sonoyta-Puerto Peñasco, definido con la clave 2603 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en el extremo norte del estado de Sonora, limitando al norte con la línea que define la frontera con los EUA, al oeste con el acuífero Los Vidrios, al este con los acuíferos Arroyo Sahuaro, Los Chirriones y Arroyo Seco y al sur con el Mar de Cortés, cubriendo una superficie de 8,900.5 km². (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

El acuífero está localizado en el gran Desierto de Altar, al Noroeste del estado de Sonora y forma parte de la Cuenca del Río Sonoyta en territorio Mexicano. Cubre parcialmente los municipios de Puerto Peñasco, Plutarco Elías Calles, Caborca y Altar.

La economía de la región se fundamenta en las actividades desarrolladas en los dos principales centros de población, Sonoyta y Puerto Peñasco, de 14 ejidos, 20 colonias, y 12 propiedades particulares.

Sus límites geográficos están representados por los paralelos 31° 15' a 32° 05' de latitud Norte y por los meridianos 111° 30 a 114° 00'. Colinda al Norte con los Estados Unidos de Norteamérica, al Sur con el Golfo de California, al Este con las Sierras Los Tanques, San Francisco, Sierra Pinta y Sierra Prieta, y al Oeste con la Sierra del Pinacate, Sierra Blanca y Cerro Colorado.

El área se encuentra en general bien comunicada por vías aéreas, marítimas y terrestres. La Carretera Federal No. 2, que proviene desde la ciudad de Hermosillo, atraviesa el área de sur a norte hasta el poblado de Sonoyta, en donde prosigue paralela a la frontera internacional, rumbo a Mexicali, y posteriormente a Tijuana, B.C.; también se entronca con la carretera estatal No. 8, que comunica a los poblados de Sonoyta y Puerto Peñasco. Existen además diversos caminos de terracería y numerosas brechas transitables en toda época del año.

Al sur del área, el ferrocarril es otra vía de comunicación importante para las actividades comerciales. Proveniente de Mexicali, pasa por puerto Peñasco y continúa hacia Hermosillo. Por otra parte, la comunicación marítima se efectúa en Puerto Peñasco y en el puerto de Guaymas; este último de carácter internacional, sirve también de enlace con otros puertos del sur.

La actividad económica más importante en la región es la agricultura, teniendo como cultivo principal el algodón, y otros de menor importancia como son alfalfa, maíz y sorgo. También se desarrolla en gran medida la actividad pesquera en Puerto Peñasco, así como el turismo, aunque en menor escala.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 2603 SONOYTA-PUERTO PEÑASCO							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDO	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	113	22	46.4	32	3	12.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE INTERNACIONAL
2	111	35	9.9	31	29	46.4	
3	111	34	23.9	31	26	48.1	
4	111	42	34.2	31	20	48.1	
5	111	46	58.3	31	19	55.8	
6	111	49	46.3	31	19	49.0	
7	111	55	55.8	31	29	38.6	
8	112	4	55.9	31	30	38.7	
9	112	6	48.6	31	23	49.7	
10	112	10	15.6	31	20	55.5	
11	112	21	15.8	31	22	0.0	
12	112	34	45.3	31	30	11.9	
13	112	44	38.5	31	28	5.4	
14	112	47	12.5	31	29	18.5	
15	112	51	40.7	31	30	33.4	
16	113	7	15.5	31	22	59.2	
17	113	18	8.0	31	15	5.2	
18	113	56	15.6	31	36	18.5	
19	113	55	23.0	31	39	20.8	
20	113	29	51.3	31	46	16.8	
21	113	31	23.8	31	49	34.9	
1	113	22	46.4	32	3	12.7	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Sonoyta-Puerto Peñasco pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa II Noroeste y se encuentra sujeto a las disposiciones de los decretos de veda tipo II “Conservación de los mantos acuíferos en la zona conocida como Sonoyta, estado de Sonora”, y “Conservación de los mantos acuíferos del estado de Sonora, en la parte oeste del Meridiano 110° de Greenwich”, publicados en el DOF el 7 de abril de 1976 y el 19 de septiembre de 1978, respectivamente; los cuales establecen que *“Excepto cuando se trate de extracciones para usos doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia de este Decreto, nadie podrá efectuar 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 aguas mencionadas, sin la concesión o asignación que expida”*; adicionalmente, dispone que: *“... concederá permiso de construcción para obras, únicamente en los casos en que de los estudios relativos se concluya que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse”*.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

En el acuífero existe un Centro de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER) en la población de Sonoyta, que depende del Distrito de Desarrollo Rural No. 139 de H. Caborca, estado de Sonora, (SAGARPA). No se ha constituido hasta la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO SONOYTA-PUERTO PEÑASCO, SON., Realizado por la empresa de Estudios Geológicos y Obras Civiles, S.A. de C.V. en el año 1973, para la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Las actividades principales fueron encaminadas a obtener un conocimiento preliminar del funcionamiento hidráulico de los acuíferos existentes, incluyendo su evaluación preliminar, definiendo la necesidad de realizar actividades complementarias que permitan una cuantificación más precisa de su potencial para la explotación del agua subterránea. La conclusión más importante al respecto, fue que era conveniente duplicar el volumen de extracción que se realizaba en aquellas fechas, con objeto de aprovechar la disponibilidad de aguas del subsuelo que se perdían por evaporación, o bien, alimentaban acuíferos que no eran explotados.

A partir de esa fecha, se incrementó la perforación de pozos profundos, causando como consecuencia la explotación exhaustiva del acuífero, por lo que el planteamiento de objetivos mejor definidos constituyó una necesidad prioritaria para mejorar el aprovechamiento, uso y distribución del agua subterránea, así como mantener su calidad mediante una explotación racional y controlada.

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL RÍO SONOYTA, realizado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la subdirección de Promoción y Programas en el año 1978. Incluyó una superficie de 6,732 km² y consistió principalmente en la evaluación del acuífero, sus condiciones de explotación, determinación del volumen aprovechable de aguas del subsuelo sin inducir efectos perjudiciales y las recomendaciones para su explotación futura.

Dicho estudio fue dividido en 4 regiones: La primera, en la porción oriental del Río Sonoyta (1,026 km²); la segunda, al occidente de dicho río, la tercer región entre la Sierra Cubavi y la Sierra de los Tanques (512 km) y la región 4, que corresponde a la zona donde el Río Sonoyta cambia su trayectoria con dirección N-S hasta su desembocadura al mar, donde se pierde o se infiltra antes de llegar a él en zonas

de pantano o terrenos sujetos a inundaciones, esta región tiene una superficie de 3,978 km².

ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO REGIONAL EN LA ZONA LA CHOLLA-PUERTO PEÑASCO, realizado en 1996 por la empresa Especialidades Técnicas del Noroeste, S.A. de C.V., para el Gobierno del Estado de Sonora. Posteriormente se han llevado a cabo otros estudios muy locales, tanto geológicos como geofísicos, encaminados a la ubicación de sitios para la perforación de pozos profundos.

El resto de la información existente consiste en cortes litológicos, registros eléctricos, sondeos geofísicos, reconocimiento geológicos superficiales, etc., así como los estudios de mayor investigación y contenido que la S.R.H., S.A.R.H., y actualmente la Comisión Nacional del Agua han llevado a cabo, constituyendo junto con las investigaciones de otros organismos, un gran acervo técnico que la propia CONAGUA ha conservado vigente con los recorridos periódicos de lecturas piezométricas en aprovechamientos hidráulicos subterráneos, a efecto de vigilar el comportamiento de los niveles de las aguas del subsuelo en cuanto a su profundidad, elevación y evolución a través del tiempo.

Otras actividades han consistido en la ejecución de pruebas de bombeo en pozos rehabilitados o de perforaciones nuevas, así como también el monitoreo permanente de la calidad del agua por medio de análisis físico químicos en pozos seleccionados, sobre todo aquellos cercanos a la costa ó en zonas donde se considera posible la contaminación del agua subterránea por otros factores.

El explosivo desarrollo turístico ha generado una creciente demanda para este uso; aunado a esto, la baja precipitación pluvial de la región hace que la recarga natural sea escasa, siendo necesario por lo tanto la explotación del almacenamiento no renovable del acuífero. Esto ha causado la disminución de las reservas y el deterioro de la calidad química del agua subterránea debido al avance de la interfase salina.

Es importante decir que los estudios realizados, contribuyen para establecer los marcos conceptuales de los diferentes apartados que constituyen el presente trabajo; además de que la información fue útil para el análisis y contraste de los resultados de este documento.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

De acuerdo a la clasificación de Provincias Fisiográficas hecha por INEGI (1997), el área del acuífero se encuentra comprendida dentro de la Provincia Llanura Sonorense, la mayor parte de esta llanura se localiza en el estado de Sonora. Consta de una serie de sierras paralelas con una orientación nor-noroeste a sur-sureste, separadas entre sí por grandes bajadas y llanuras extensas, que se van ampliando hacia la costa. Al oriente del río Colorado se localiza una extensa zona de dunas, casi desprovistas de vegetación, que se extienden hasta la Sierra del Pinacate, en la que destacan cráteres volcánicos, mesetas de lava y su gran volcán "El Pinacate" que alcanza una altura de 1,600 m sobre el nivel del mar. Estos rasgos constituyen una muy marcada discontinuidad fisiográfica en esta provincia.

3.2 Clima

El clima dominante de la región es de tipo muy seco BW, con lluvias en verano, invierno y escasas todo el año; subtipo muy seco semicálido; con lluvias en verano BWhw (x'). Sólo en una pequeña porción (3.2%), ubicada en el extremo noroeste del Municipio de Altar, se presenta un tipo de clima seco BSo, con lluvias en verano y escasas a lo largo del año; subtipo muy seco semicálido, con lluvias en verano BSohw (x').

De acuerdo con datos de las estaciones climatológicas localizadas en Puerto Peñasco, que corresponden a la región costera y al poblado Sonoyta, localizado en la porción media alta de la cuenca del Río del mismo nombre, las temperaturas máximas varían de 30° C a 43° C, las cuales se registran por lo general en los meses de junio a julio y las mínimas de 9° C a 12° C, de diciembre a enero. La temperatura media anual es de 22.5° C.

Las lluvias son escasas y esporádicas, motivo por el cual no tiene un efecto significativo en la disminución de la temperatura durante la temporada de mayor calor, la precipitación media anual es del orden de 135 mm con valores promedio del orden de 93.7 mm en Puerto Peñasco y 184.4 mm en Sonoyta, aunque en los últimos cinco años ha variado considerablemente, ya que para el periodo 1992-1996 la primera estación registró un volumen de precipitación medio anual de 74 mm, en tanto que la segunda registró un valor de 253 mm.

Respecto a la evaporación potencial, esta tiene un valor promedio de 2,172 mm/año en Puerto Peñasco y se mantiene constante, según las observaciones en la estación climatológica correspondiente.

Respecto a la vegetación, las especies existentes son típicas de zonas desérticas predominando los mezquites, choyas y sahuaros, que compiten con arbustos silvestres y plantas aromáticas a las que se atribuyen propiedades vigorizantes como la damiana silvestre.

Aunque la vegetación dista mucho de ser exuberante, cabe mencionar que es más escasa hacia el sur y más abundante hacia el norte de la zona, sobre todo en las inmediaciones y en las partes altas de las zonas montañosas.

En las zonas bajas correspondientes a los valles, este tipo de vegetación combinada con pastizales, solo existe en las áreas no cultivadas, ó bien, en aquellas con cultivos temporales y que son los que ocupan la mayor superficie, ya que el riego por bombeo prácticamente está desapareciendo por los altos costos de operación, a excepción de superficiales agrícolas con cultivos o frutales de alto rendimiento económico, tanto en el mercado nacional como en el de exportación.

3.3 Hidrografía

La hidrografía en esta zona está representada principalmente por el Río Sonoyta, cuya cuenca cubre un área de captación de 6372 km² en territorio mexicano.

En los Estados Unidos de Norteamérica, antes de cruzar la frontera con México se le conoce como Río Bámori o “San Simón Wash”, al cual se le unen dos corrientes de importancia por su margen izquierda al cruzar la frontera. El área del acuífero está localizada dentro de la Cuenca Hidrológica 8B-Río Sonoyta.

El Río Sonoyta constituye el colector principal, su trayecto es de aproximadamente 178 km desde la Sierra La Manteca, localizada al Este de Sonoyta, hasta su desembocadura en el Golfo de California, su pendiente media es de 0.35 % y su dirección preferencial NE-SW hasta el Papalote, donde cambia al Sur hasta su desembocadura.

Las corrientes secundarias de la zona que drena el Río Sonoyta, consisten en arroyos de régimen torrencial que forman un drenaje paralelo característico en la zona, excepto hacia la parte baja de la cuenca de la zona desértica, en donde existe un drenaje incipiente en algunos lugares y en otros es prácticamente nulo.

3.4 Geomorfología

Como resultado de la caracterización geomorfológica del área, la zona se encuentra básicamente en una etapa geomorfológica de madurez, dado que su estado de erosión es bastante avanzado. Hacia la parte alta de la cuenca del Río Sonoyta se forma un valle de considerable amplitud, sin embargo, existen rasgos estructurales muy importantes que influyen en la modificación de la morfología y que en algunas zonas han propiciado un rejuvenecimiento en el régimen erosivo y cambios en los caracteres geomórficos.

El área ocupa parte de la Subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses y de la Subprovincia Desierto de Altar, además de la Discontinuidad Sierra del Pinacate, y de acuerdo con las características del paisaje se representa por varios tipos de fisiografías o topoformas:

Llanura aluvial con dunas. Pertenece a la Subprovincia de Sierras y Llanuras Sonorenses, ocupa toda la porción central y este de la zona. Es la topoforma más extensa del área.

Campo de Dunas. Se localiza al norte de Puerto Peñasco y adyacente al sur de las mesetas basálticas de la discontinuidad que constituye el Volcán Pinacate.

Llanura Costera Salina con Dunas. Se extiende en el litoral sur y este del área con la presencia de bajos lomeríos conformados por las dunas de playa, conformando el 12% del área.

Llanura costera salina con ciénegas. Representada en la parte norte del litoral.

Llanura con dunas. Se Ubica al oeste del acuífero y está representada por lomeríos suaves de dunas.

Sierra Escarpada. Está representada por las Sierras: El Pinacate, Blanca, San Francisco y La Pinta, las cuales tienen una orientación noroeste-sureste.

Meseta. Se ubica en las faldas de la Sierra el Pinacate con bajada amplia y de pendiente suave. La Discontinuidad del Pinacate se caracteriza por la presencia de Sierras Escarpadas Volcánicas (Sierra El Pinacate) y Mesetas Basálticas con cráteres; sierras escarpadas como Sierra Blanca, ubicada cerca de la Carretera Federal No. 8 Sonoyta-Peñasco.

El cambio abrupto del curso del Río Sonoyta en el extremo del Cerro La Nariz, muestra el efecto de un movimiento de bloques, que en algún momento cambió el régimen erosivo de dicha corriente y que actualmente representa un obstáculo que la corriente tiende a eliminar.

Por otra parte, existe un segundo cambio abrupto en la dirección del Río Sonoyta hacia el sur, debido a un rejuvenecimiento producido por los flujos de lava del campo volcánico de la Sierra del Pinacate.

4 GEOLOGÍA

En la región se presentan tres grandes grupos de tipos de rocas, de acuerdo con su origen: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Rocas Ígneas. De este grupo se presentan las rocas intrusivas y extrusivas. Las primeras son representadas por granitos del Periodo Cretácico, que afloran al sureste y sur de la Ciudad de Sonoyta, en el Cerro Cipriano, Sierra Cubabi y al sur del Cerro La Nariz; también se encuentran al oriente de la Ciudad de Puerto Peñasco.

Rocas Sedimentarias. Este grupo está representado por dos grupos de rocas de diferentes edades.

Por su posición estratigráfica a las de mayor edad se les considera anteriores al Cretácico (aunque su edad no está bien definida), corresponden a las Calizas, Dolomías y Areniscas Cuarcíferas; tienen una extensión de aproximadamente 5,000 Ha, con afloramientos al oeste de la Ciudad de Sonoyta (figura 2).

Rocas Metamórficas. Grupo representado por diferentes edades; los Gneises afloran con mayor frecuencia en la zona y están asociadas con granitos; su probable edad es del Precámbrico y forman el basamento geológico.

También forman las elevaciones montañosas como la Sierra La Espuma, al sureste de Sonoyta, continuando por la misma dirección, la Sierra El Durazno y el Cerro La Nacha. En Quitobac, al oeste de la zona, en el Cerro del Corazón y de San Antonio, al igual en la Sierra San Francisco y en la Sierra Pinta, al suroeste de Sonoyta, se encuentran otros afloramientos de este tipo.

También se encuentran en la Sierra La Alezna, al noroeste del área, en el Cerro el Huérfano al oeste de esta localidad y por último en el Río Sonoyta, donde este cambia de curso al suroeste.

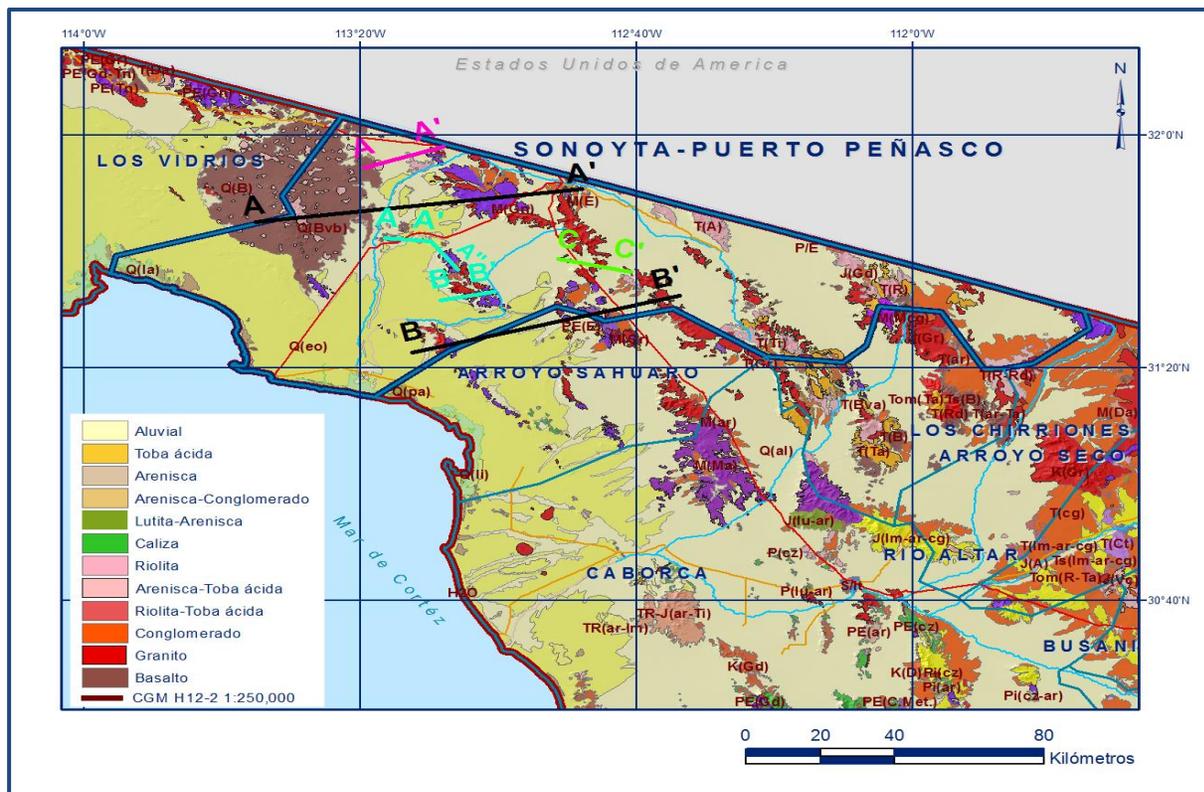


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

PRECÁMBRICO

En el área se presentan dos conjuntos litológicos. El primer conjunto está representado por rocas ígneo-metamórficas del Precámbrico Temprano, que se conocen como Complejo Bámori, las cuales forman el Basamento Cristalino del Noroeste de Nuevo México, que se extienden y afloran en la zona de Caborca y Sonoyta, en las Sierras La Salada, Los Tolitas y Tanques, Blanca, San Francisco, Pinta y al Sur de San Antonio.

Están constituidas por esquistos, cuarcitas, anfibolitas y gneis, cuyas dataciones varían entre los 1,700 y 1,800 millones de años.

Además, a este periodo corresponden las rocas ígneas que afloran en el área de Caborca, conocidas como Granito Mesteñas, fechadas con una edad de 1,100 a 1,440

millones de años; también existen se presentan andesitas y riolitas metamorfoseadas.

El segundo conjunto está formado por una serie de rocas sedimentarias del Precámbrico Tardío, que afloran en la zona de Caborca; constituidas por dolomías con abundantes estromatolitos, areniscas cuarcíferas, lutitas y calizas, que tienen una edad de 700 millones de años.

CENOZOICO

En este Periodo se presenta la exclusión de grandes volúmenes de rocas volcánicas producto del magmatismo, iniciado a fines del Cretácico y que continuó en el Terciario Inferior, durante el Paleoceno y Eoceno; además, se efectúa el emplazamiento de cuerpos intrusivos graníticos, datados de 55 a 75 millones de años.

Continuando hacia el Mioceno Medio, los esfuerzos tensionales que afectaron a la región provocaron una serie de fallamientos normales, que generaron un sistema de sierras y valles paralelos, con orientación noroeste–sureste.

También se presenta vulcanismo basáltico con presencia de otras rocas extrusivas, con características de traquitas, andesitas y rocas piroclásticas que se distribuyen sobre los valles recién originados, como en el Río Sonoyta.

A finales del Terciario y principio del Cuaternario, se presenta un vulcanismo basáltico, asociado a la tectónica distensiva y de apertura del Golfo de California. Las rocas ígneas extrusivas de este periodo son las traquitas, andesitas, basaltos y cenizas volcánicas; cuyos afloramientos más representativos se presentan en la Sierra El Pinacate.

El Cuaternario está caracterizado por una transgresión marina que ocasionó el depósito de gran cantidad de sedimentos en las planicies del occidente, la línea costera está bien definida en su posición actual. La acción del agua y el viento han generado depósitos aluviales, fluviales, litorales, palustres y lacustres, los cuales constituyen gran parte del área.

Depósitos Aluviales. Estos son los rellenos de los valles y partes bajas de la zona de estudio; son producto de la erosión, transporte y establecimiento de los agentes

externos, como el agua. Se constituyen por clásticos, de granulometría variada, desde cantos rodados y gravas gruesas hasta arenas, limos y arcillas.

Depósitos Fluviales. Son sedimentos heterogéneos por su composición y tamaño; son arrastrados por las corrientes fluviales, tienen representación esporádica e intermitente, característica más importante del Río Sonoyta. Las venas del río están constituidas por gravas, arenas, limos y arcillas.

Depósitos Eólicos. El Gran Desierto de Altar con sus dunas y médanos está compuesto por sedimentos finos del tipo de arenas erosionadas, transportadas y depositadas por el viento, estas no logran drenar superficialmente por sus características.

Depósitos Litorales. Estos se ubican en las áreas costeras, configurando la demarcación del mar y del continente. Su composición es granítica y debido a su gran permeabilidad pueden llegar a almacenar agua dulce, si su espesor es considerable.

Depósitos Palustres y Lacustres. Corresponden a los terrenos de inundación, donde predominan los depósitos de limos y arcillas y condiciones de alta descomposición de materia orgánica, que aunado a la presencia de agua y su permanente humedad, logran la generación de terrenos pantanosos. En el acuífero se ubican en la zona de la desembocadura del Río Sonoyta.

4.2 Geología estructural

El factor estructural dentro de la geología de cualquier región reviste vital importancia por la asociación que tienen los diferentes recursos naturales con las estructuras que los contienen.

Conociendo su génesis y el tiempo geológico al que pertenecen pueden correlacionarse también con las de otras zonas donde los eventos orogénicos tuvieron una influencia similar en tiempo y condiciones de depósito, constituyendo de esta manera una hipótesis que permita a través de estudios complementarios, su confirmación para la evaluación y explotación de los recursos naturales, ya sea dentro del campo de los hidrocarburos, industria química, minera, de la construcción o bien de otra índole.

En este caso, en la formación de acuíferos de rendimiento económico explotable, donde la calidad del agua subterránea también tiene que ver con el tipo de rocas o sedimentos que la contienen, así como con la estructura formada por estos materiales y con aquellos que constituyan sus fronteras impermeables. En virtud de que en la zona se existen rocas asignadas al Precámbrico y al Terciario, deben considerarse los efectos causados por la Revolución Mazatzal y la Orogenia Greenville, así como la Orogenia o magmatismo del Terciario Medio.

Es importante también señalar que estos eventos fueron eminentemente magmáticos más que de carácter deformacional, por lo que su influencia no está ligada con las características estructurales que existen en la región. Respecto a los eventos Orogénicos posteriores, no todos influyeron en el panorama estructural de la región; sin embargo, si fueron determinantes en la geología estructural de estado de Sonora.

A finales del Pérmico se llevó a cabo un periodo de actividad compresional asociado a la Revolución Apalachiana, que ocasionó el plegamiento y levantamiento de la porción central de la entidad. Las estructuras generadas fueron cubiertas posteriormente por sedimentos del Triásico-Jurásico.

Posteriormente, en el Cretácico Medio, se manifestaron perturbaciones terrestres que originaron cambios estructurales, mismos que Rangin (1978) definió como fase Mesocretácica, cuyas consecuencias se expresan en fallas de cabalgadura de poca amplitud de rocas jurásicas sobre cretácicas y pliegues recumbentes hacia el Noreste; estas estructuras se localizan en el Norte de Sonora.

En la etapa de convergencia de las placas Paleopacífica y Norteamericana se desarrolló la Orogenia Laramide (fines del Cretácico y principios del Terciario), misma que provocó importantes dislocamientos terrestres y dio origen a las grandes cordilleras como la Sierra Madre Oriental.

Sierra Madre del Sur y Sierra Madre Occidental, originando también plegamientos y levantamientos de menor intensidad como el de la región Sahuaripa-Arivechi en el estado de Sonora cuya dirección es NW-SE, así como las cabalgaduras de las secuencias del Cretácico Inferior y Paleozoico sobre el grupo formacional Cabullona del Cretácico Superior, en la región de Naco y Agua Prieta (Rangin 1977).

Más tarde, durante el Mioceno, se inicia un deslizamiento lateral entre las placas Paleopacífica y Norteamericana, provocando una megafractura en la corteza terrestre que a su vez provoca un desplazamiento lateral de las capas afectadas. Este accidente estructural se conoce como Falla de San Andrés y se extiende por más de 500 km desde el Norte de la Bahía de San Francisco, California hacia el Sur-Sureste, observándose a lo largo de la zona de falla, desplazamientos de capas rocosas que van de 40 a 240 m.

No se sabe con exactitud si esta falla pasa cerca de la costa de Sonora; sin embargo, se tiene la certeza que cruza por la desembocadura del Río Colorado, en el Golfo de California.

Una vez culminado el proceso de subducción de la placa oceánica en el Mioceno Medio (hace trece millones de años), comenzó a actuar en la región una tectónica distensiva, a la que se atribuye principalmente la formación del sistema de fracturas y fallas normales con orientación N-S y NW-SE, que originaron a su vez las sierras y valles paralelos, que es la expresión morfológica más representativa del estado de Sonora.

Por lo anterior, no es aventurado asegurar que los principales acuíferos en la entidad se generaron a raíz del relleno de fosas formadas como consecuencia de la tectónica distensiva del Mioceno Medio y que, dependiendo de la textura de los materiales que los constituyen, se pueden considerar del tipo libre y en menor proporción semiconfinados.

4.3 Geología del subsuelo

Con base en los resultados de la geología del subsuelo: geofísica de resistividad, descripción de cortes litológicos; la interpretación hidrogeomorfológica, hidrología superficial y la interpretación de pruebas de bombeo, entre otros, fue posible definir un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo de tipo libre conformado por dos medios: granular y fracturado.

De acuerdo a la información gravimétrica se obtuvieron los siguientes modelos tridimensionales esquemáticos del área. El color amarillo corresponde al relleno aluvial, y el rojo al basamento cristalino que constituye las fronteras laterales e inferiores del acuífero y barreras al flujo subterráneo (figuras 3, 4 y 5). De acuerdo con las exploraciones geofísicas realizadas, se han identificado espesores de hasta 1000 m de relleno en el acuífero.

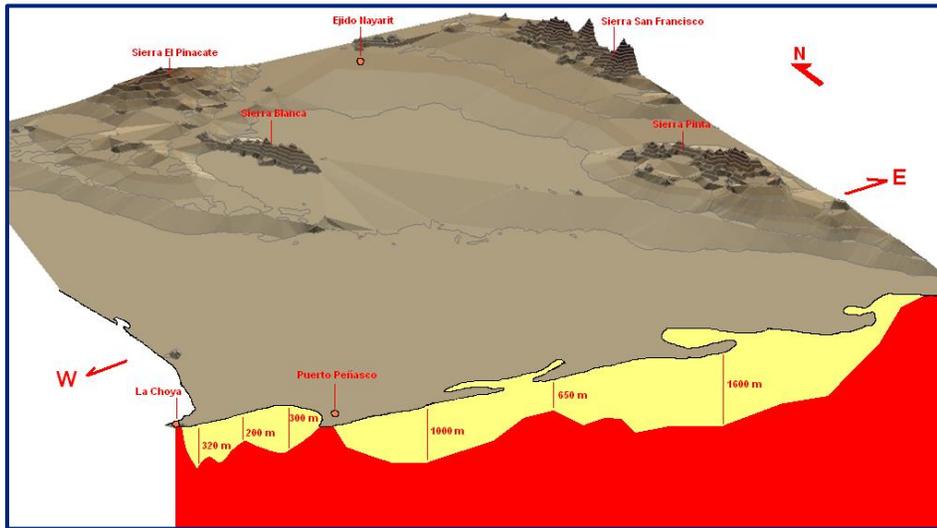


Figura 3. Perfil gravimétrico compuesto de la zona de La Choya-Peñasco-Sierra Pinta.

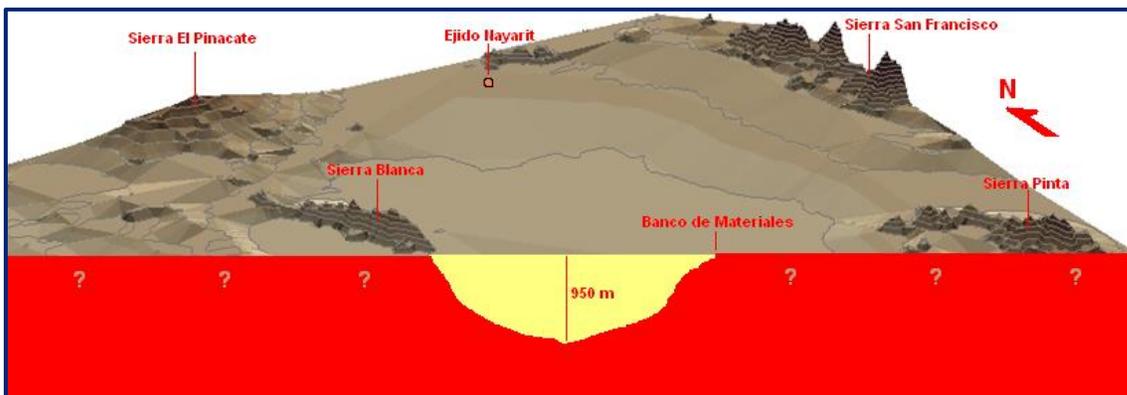


Figura 4. Perfil gravimétrico Sierra Blanca-Banco de Material.

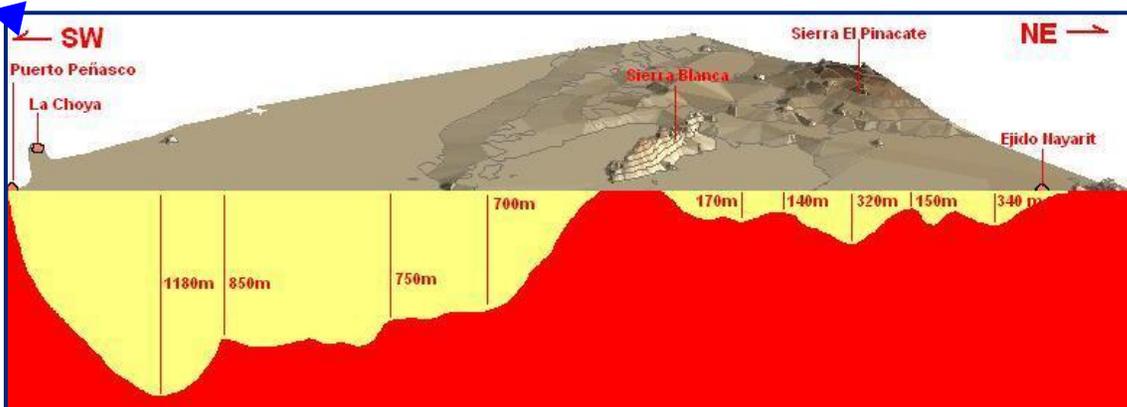


Figura 5. Perfil gravimétrico Peñasco-Ejido Nayarit.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El sistema acuífero es de tipo libre y está constituido por formaciones permeables del valle del Río Sonoyta, se encuentran principalmente en los materiales aluviales y posiblemente en las dunas occidentales. Es posible encontrar depósitos de talud, piedemonte, abanicos aluviales y principalmente depósitos fluviales, que constituyen zonas de infiltración tanto de la lluvia como de los escurrimientos superficiales. Existe la posibilidad de que entre estos materiales aluviales y de depósitos de dunas se encuentren otras formaciones de edad terciaria y cuaternaria, conformados por conglomerados gruesos a finos, con posibilidad para su explotación.

Hacia la parte alta de la cuenca, el espesor granular se encuentra interdigitado con capas lenticulares de materiales arcillo-arenosos, que generan condiciones de semiconfinamiento.

5.2 Parámetros hidráulicos

Mediante la información de 7 pruebas de bombeo realizadas en 1973 y las observadas en 1978; se llegó al conocimiento de la transmisividad de los acuíferos en 14 sitios.

La transmisividad en sus diferentes etapas se promedió obteniendo valores máximos de $75.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en el pozo 11-05 de la región 1, y mínimos de $0.17 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en el pozo 6-28 de la región 2. Para la región 1 el promedio de transmisividades es de $51.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, en la región 2 este valor tiene un promedio de $30.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y en la región 3 el promedio es de $12.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Para el caso del coeficiente de almacenamiento, tomando en cuenta el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, el valor resultó de 0.073 y el acuífero se consideró como libre, con confinamientos que deben de ser locales.

Los valores máximos de transmisividad se registraron en la Región II, en la zona de El Ejemplo, en el pozo denominado "La Colonia", con un valor medio de $0.054 \text{ m}^2/\text{s}$; los valores mínimos ocurrieron en la zona del Ejido Adolfo López Mateos, con un valor medio de $0.002 \text{ m}^2/\text{s}$. Esto indica que el Acuífero en la Región II, es de buena transmisividad, ya que su gasto específico tiene un valor máximo de 140 lps por 0.88 m de abatimiento.

5.3 Piezometría

El registro piezométrico permite conocer la variación de la profundidad y elevación del nivel estático, determinar las direcciones de flujo, así como identificar las zonas de descarga, recarga y las fluctuaciones del almacenamiento. Para este acuífero se cuenta con información que cubre los años 1977, 1978 y 1997.

La medición de los niveles estáticos se realizaba con frecuencia anual mediante paros de bombeo en todo el valle; sin embargo, a partir del año de 1993, se suspendió esta actividad y fue hasta el año de 1997 cuando se llevó a cabo otro estudio, el cual incluyó la medición de niveles en el área comprendida en dicho estudio. Las mediciones se realizaban generalmente en el mes de octubre, antes de la temporada de lluvias de invierno. La piezometría del estudio más reciente se llevó a cabo en el mes de noviembre, previo a las lluvias invernales que en ese año fueron muy escasas.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Con la información piezométrica correspondiente a 1997, se elaboró el plano de curvas de igual profundidad al nivel estático, que se considera representativo de las condiciones que imperan en ese año (figura 6). La profundidad variaba de 10 a 120 m, de la zona cercana a la costa hacia las porciones central y norte del acuífero. En los alrededores de la Colonia Ortiz Garza, donde se localizan los pozos de agua potable, las profundidades al nivel estático son de 40 a 60 m, aunque algunos pozos por condiciones locales del subsuelo tienen una profundidad mayor; de la Hielera Estrella hacia el NE las profundidades se incrementan hasta los 120 m.

Disminuyendo hacia los estrechamientos montañosos localizados en el extremo NE de la zona (hacia el límite con los Estados Unidos de América) hasta 5 m de profundidad, donde la influencia del Río Sonoyta es mayor y el espesor de los materiales de relleno es más reducido.

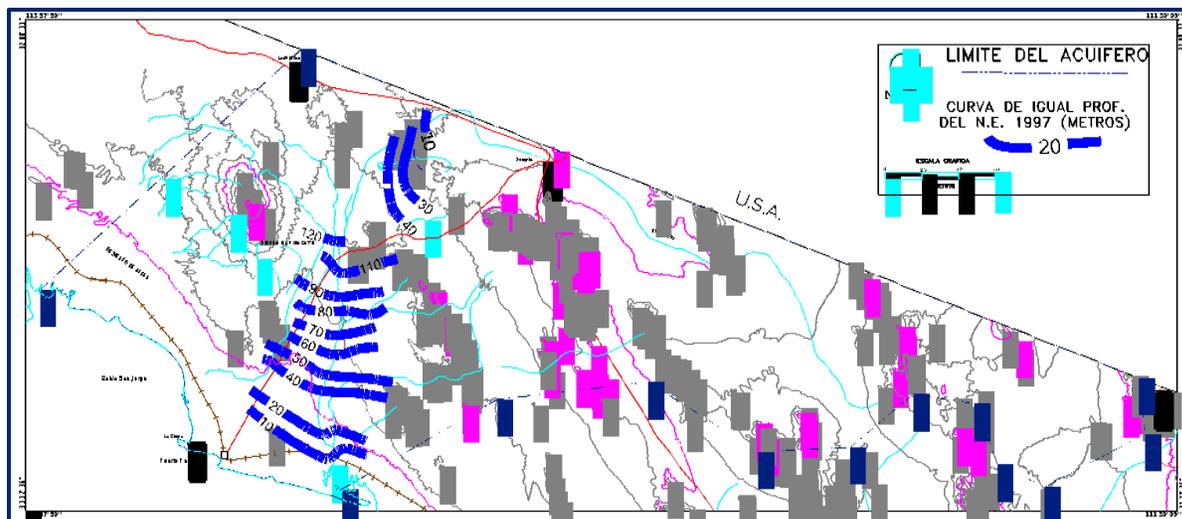


Figura 6. Profundidad del nivel estático en m (1997)

5.4.2 Elevación del nivel estático

En cuanto a la configuración de la elevación de los niveles estáticos, se observa que la dirección preferencial del flujo subterráneo es de norte a sur y sólo en la parte alta de la cuenca el flujo es en el sentido este-oeste para posteriormente continuar con la dirección paralela al río Sonoyta, hasta el Golfo de California. De acuerdo con la información del año de 1997 se observa que en virtud de que la mayoría de los pozos existentes se encuentran inactivos, exceptuando los de agua potable y algunos de uso agrícola que operan en forma irregular, la dirección del flujo se conserva prácticamente inalterada ante la ausencia de conos de abatimiento causados por el bombeo, especialmente hacia la costa donde se podría ocasionar la inversión del flujo subterráneo e inducir la migración tierra adentro de agua marina.

Los valores obtenidos respecto a la elevación del nivel estático, muestran que estos ascienden conforme a la elevación topográfica, dentro de un rango de 10 a 250 msnm (figura 7).

No se detectaron valores negativos, los cuales pudieran existir en los niveles de bombeo (dinámicos) de los pozos, ignorándose la posición de éstos con respecto al nivel medio del mar.

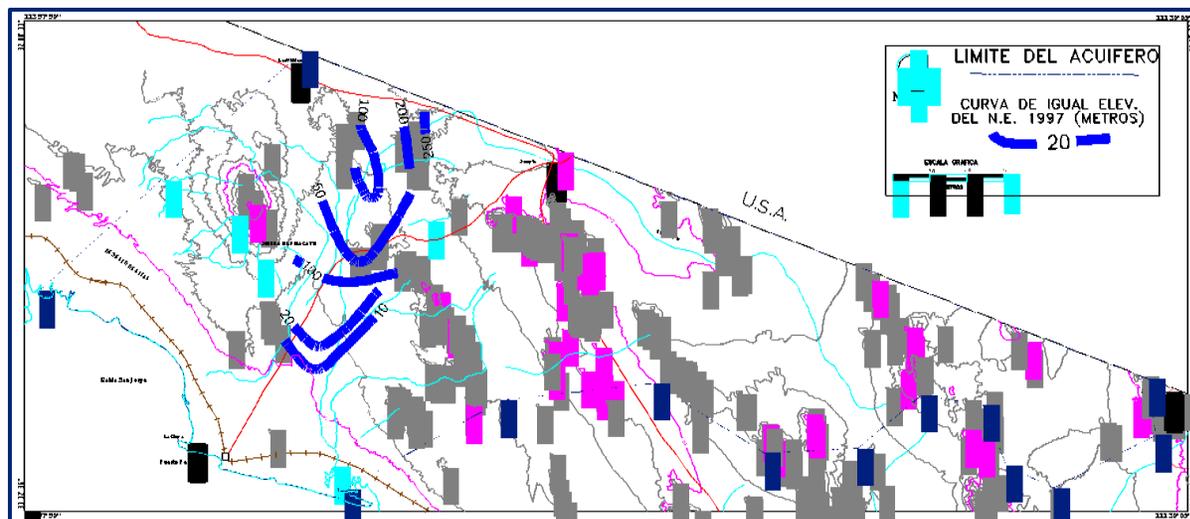


Figura 7. Elevación del nivel estático en msnm (1997)

5.4.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático del acuífero, correspondiente al período 1978-1997, presenta una recuperación de 4.9 m en los alrededores de la Colonia Ortiz Garza, donde se localizan los pozos de agua potable, lo que equivale a una recuperación de 0.25 m al año figura 8.

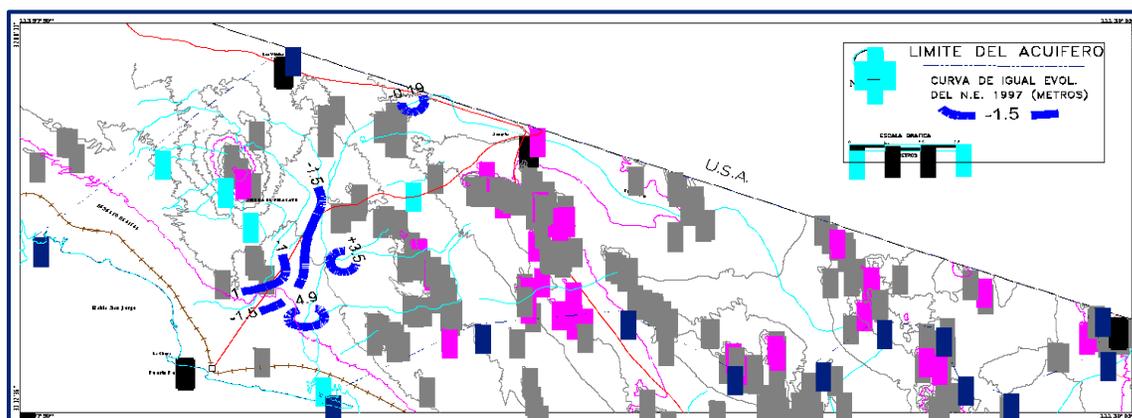


Figura 8. Evolución del nivel estático (1978-1997)

Un factor que debe considerarse en la concentración del agua subterránea en esta zona, es la posible existencia de diques graníticos cubiertos por los rellenos aluviales a lo largo de la costa y que pudieran estar actuando como fronteras impermeables impidiendo las descargas subterráneas del acuífero al mar, lo que a su vez constituiría también un freno al avance de la interfase salina tierra adentro, en el caso de bombeos exhaustivos que provocaran abatimientos de los niveles dinámicos de los pozos por debajo del nivel del mar.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De los pozos visitados en 1997, solamente se tomaron muestras de 16 pozos, dado que la zona se encuentra virtualmente abandonada, operando escasos pozos agrícolas y en su mayor parte para agua potable.

La calidad del agua subterránea, presenta variaciones que van de dulce a salada, predominando agua tolerable para consumo doméstico. En la región de Puerto Peñasco se presentan las mayores concentraciones de sales; tal es el caso de la zona cercana a la Colonia Ortíz García, donde se localizan los pozos de agua potable para el abastecimiento del Puerto antes mencionado.

En el estudio de 1973, se determinó que de 63 muestras analizadas el 33% contuvo entre 2064 y 25076 ppm de STD, considerándose no aptas para consumo humano. El 67% restante correspondió a aguas de mejor calidad, habiéndose considerado aptas para este uso. Los iones predominantes son el cloro y el sodio, los cuales se encuentran entre 94 y 5513 ppm, para el sodio y entre 37 y 3960 ppm para el cloro. Las concentraciones de STD fueron muy variables de 353 a 25076 ppm con un promedio de 221 ppm.

Respecto al riego el 32% de las muestras analizadas correspondió según la clasificación de Wilcox a agua muy salinas y con altas concentraciones de sodio, utilizables solamente con empleo de mejoradores y técnicas especiales para riego, medida que en lo general resulta antieconómica. El 43% correspondió a aguas altamente salinas y sódicas, inapropiadas para riego y solo son utilizables en suelos muy arenosos y en cultivos tolerables a las sales. El 25% restante puede usarse para riego con algunas restricciones en tipo de cultivo. Por lo que se refiere a ganadería el agua es en general de calidad aceptable.

Las familias de aguas predominantes dentro de la cuenca del Río Sonoyta, son las sódica-clorurada, sódica-bicarbonatada y sódica-mixta, en cuanto a su pH, revela en algunas zonas la presencia de agua agresivas e incrustantes. Para la zona de Puerto Peñasco, la familia predominante corresponde a la sódica-clorurada.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo de toda el área del acuífero, se indica que el número de aprovechamientos es de 317, correspondiendo a 209 pozos y a 108 norias.

De los pozos encontrados 90 se encuentran inactivos y 84 en operación, de los cuales 12 son para uso doméstico, 6 para uso potable, 66 para riego y tres perforaciones próximas a operar. De las norias encontradas 56 están activas y 53 inactivas, encontrándose que de las activas 50 son de uso doméstico y 5 de riego.

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

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

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

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

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo de 1973 a 1978, que es la información con que se cuenta de toda el área del acuífero, de manera confiable. Se tomó como base las 4 regiones en que se dividió el acuífero para el estudio de 1978.

7.1 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y por salidas subterráneas (Sh).

7.1.1 Evapotranspiración (ETR)

Dado que la profundidad de los niveles estáticos supera los 10, se considera que no existe descarga por efecto de la evapotranspiración.

7.1.2 Bombeo (B)

Región 1: La extracción de agua subterránea en 1973, se tenía un volumen anual de 0.06 hm³/año, el cual aumento hasta 18.8 hm³/año en 1978, por lo que promediando esta extracción en los 5 años y multiplicándola.

Por el periodo considerado se tiene una extracción de 47.2 hm³ en 5 años, o bien una extracción de 9.44 hm³/año en promedio.

Región 2: La extracción fue de 9.2 hm³/año en 1973, alcanzando la cifra de 43.43 hm³/año en 1978, que equivale a un volumen de 131.58 hm³ en los 5 años considerados o bien una extracción de 26.32 hm³/año.

Región 3: En 1973 la extracción era de 1.08 hm³/año, aumentando hasta 11.86 hm³/año en 1978, por lo que en los 5 años la extracción fue de 32.35 hm³ o bien un promedio de 6.47 hm³/año en el periodo considerado.

Región 4: Con la información recopilada de campo y con la investigación que se hizo de la operación y caudales de extracción de los pozos dentro del valle, se realizó el cálculo donde se indica el tiempo en horas y el volumen en hm³ que mensualmente se extraen en cada uno de los pozos para el periodo de enero a octubre de 1978, extrapoliéndose de noviembre a diciembre.

Mes	Región 4
Enero	0.323
Febrero	0.338
Marzo	0.338
Abril	0.338
Mayo	0.338
Junio	0.338
Julio	0.338
Agosto	0.338
Septiembre	0.338
Octubre	0.338
Noviembre	0.337
Diciembre	0.337
Total	4.048

Por lo que en resumen el volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos resultó de **46.3 hm³/año**.

7.1.3 Salidas subterráneas (Sh)

Región 1: Las salidas subterráneas se llevan a cabo con un gradiente promedio de 2.5*10⁻³ en una sección de flujo de 4 km frente al Cerro de la Nariz, que considerando una transmisividad promedio de 25.7*10⁻³ m²/s, corresponden a un volumen de 40.53 hm³ en los 5 años considerados, o bien una salida subterránea de 8.11 hm³/año.

Región 2: Esta región presenta salidas subterráneas a través del flujo base del río, que fue calculado en $6.91 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Región 3: Las salidas subterráneas se presentan en una sección de flujo de 1.4 km, con un gradiente piezométrico de $6.25 \cdot 10^{-3}$ en una zona que tiene una transmisividad de $3.18 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, localizada aguas abajo del estrechamiento de La Sierra de Los Tanques que cruza el Río Sonoyta. Las salidas son de 4.39 hm^3 en 5 años, que equivalen a un volumen de $0.88 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Región 4: Las salidas subterráneas son prácticamente igual a cero, pues el flujo hacia el mar debe ser prácticamente despreciable, pues no existen escurrimientos en la última parte costera del valle, hacia donde debería drenarse el escurrimiento subterráneo.

Por lo que las salidas subterráneas dan un total de **$15.9 \text{ hm}^3/\text{año}$** , 8.11 de la región 1, 6.91 de la región 2 y 0.88 de la región 3.

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

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero en el intervalo de tiempo de 1973 a 1978, con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático.

Región 1: En 305.2 km^2 de la superficie de análisis se tuvo un abatimiento de 17 cm en los 5 años, que correspondió a un promedio de 3 cm por año, o bien una disminución de volumen de sedimentos saturados de 51.88 hm^3 en los 5 años considerados.

Región 2: En la superficie de 508.2 km^2 el abatimiento observado fue de 1.19 m en 5 años, o bien un promedio de 23 cm de abatimiento por año, que corresponde a una variación de sedimentos saturados de 604.76 hm^3 en los 5 años.

Región 3: En una superficie de 228.4 km^2 se tuvo una recuperación de 10.9 cm en los 5 años, que corresponde a una recuperación de 2 cm/año, o bien a una variación del volumen de almacenamiento de 24.88 hm^3 en el periodo considerado.

Región 4: En los 1990 km^2 de área acuífera de esta región se obtuvo un abatimiento de 37.6 cm en los 5 años considerados, que corresponden a un abatimiento de 7.5 cm/año, o bien una variación de sedimentos saturados de 748.24 hm^3 .

Determinando la variación de los niveles de -0.093 m/año, valor que aplicado al área de valle (3022 km²), resulta un volumen drenado de 281.0 hm³/año, lo que aplicado al coeficiente de almacenamiento de 0.074 , resulta un cambio de almacenamiento de **-20.8 hm³/año**.

7.3 Entradas

La recarga total que recibe un acuífero está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua, superficial o subterránea, que se destina a las actividades agrícolas y al abastecimiento de agua potable de los centros de población.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero Sonoyta-Puerto Peñasco.

Las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

7.3.1 Recarga vertical (R_v)

Región 1: Si el coeficiente de almacenamiento fuese igual a cero, la recarga en los 5 años sería de 87.73 hm³, o bien un promedio de 17.55 hm³/año.

En caso de que la suma de salidas subterráneas más extracción fuese igual a la variación del almacenamiento, se tendría un coeficiente de almacenamiento de 171% . Por lo anterior, se consideró que el coeficiente de almacenamiento debería ser del orden del 20% , por lo que se obtiene que la recarga vertical en 5 años es de 77.15 hm³ o bien un promedio de recarga vertical de 15.43 hm³/año.

Región 2: Si el coeficiente de almacenamiento fuese igual a cero, la infiltración debería ser de 125.58 hm³ en 5 años, o bien un volumen de 25.12 hm³/año.

Por otro lado, si el coeficiente de almacenamiento fuese de 21% la infiltración sería igual a cero, por lo que se seleccionó un coeficiente de almacenamiento del 15% con una infiltración de 34.87 hm³ en 5 años, o bien una infiltración de 6.97 hm³/año. De acuerdo con esto, la recarga anual es de 15.12 hm³/año.

Tomando en cuenta que el volumen de lluvia anual de esta región, considerándose toda la cuenca de captación, es de $264 \text{ hm}^3/\text{año}$, la recarga vertical de $7.01 \text{ hm}^3/\text{año}$ procedente de infiltración corresponde al 2.7% de la misma, lo cual parece ser factible, pues si se considerara una recarga mayor el coeficiente de almacenamiento sería mucho menor, por lo cual no se considera tenga un coeficiente de almacenamiento menor del 15%.

Región 3: La infiltración seleccionada para esta región es de 41.72 hm^3 en 5 años, o bien $8.34 \text{ hm}^3/\text{año}$ con un coeficiente de almacenamiento del 20%. En el caso de que la extracción de 1978 fuera de la mitad de la considerada, o bien $5.93 \text{ hm}^3/\text{año}$, la recarga media anual bajaría a $5.38 \text{ hm}^3/\text{año}$, pero se considera que de acuerdo con la forma en que se observó la operación de los pozos, es más factible que la recarga sea de $8.34 \text{ hm}^3/\text{año}$, que equivale al 8.9% del volumen medio anual de precipitación en la cuenca de captación del lado Mexicano de esta región.

Región 4: En el caso de que el coeficiente de almacenamiento fuese igual a cero la infiltración llegaría a ser de 15.86 hm^3 en los 5 años de observación, o bien una infiltración de $3.12 \text{ hm}^3/\text{año}$. Si la infiltración fuese igual a cero, entonces el coeficiente de almacenamiento sería del 2%, por lo que seleccionó un coeficiente de almacenamiento del 1%, que equivale a una recarga vertical de 8.10 hm^3 en 5 años o bien una recarga vertical media anual de $1.6 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Esta recarga tan baja equivale al 0.3% del volumen de precipitación media anual de la región, lo cual da una idea de que la baja extracción de 20.25 hm^3 en los 5 años de agua subterránea ha considerado un abatimiento considerable en la región. En resumen, la recarga vertical total es de **$32.4 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

7.3.2 Entradas subterráneas horizontales (Eh)

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

Región 2: Para esta región el análisis se hizo en una superficie de 508.2 km^2 , donde la precipitación media anual es de 217 mm, que corresponde a un volumen de $264 \text{ hm}^3/\text{año}$ en promedio. Además de la recarga vertical se tienen las entradas por flujo subterráneo horizontal procedentes de las descargas horizontales de la región 1, que llegan a ser de 40.53 hm^3 en 5 años, o bien un promedio de $8.11 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Región 4: La superficie acuífera de esta región es de 1990 km² y se tiene una precipitación media anual de 157 mm, o bien un volumen de 626 hm³/año. Esta región recibe como aportación subterránea una alimentación horizontal desde la región 3 con un valor de 0.88 hm³/año.

La suma de entradas horizontales de las dos regiones anteriores da un valor de **9.0 hm³/año**.

7.3.3 Recarga inducida (Ri)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen exclusivamente por concepto de los excedentes en este acuífero.

Los datos utilizados para calcular el volumen de agua inducida por riego arrojan un valor muy bajo en relación a este parámetro. Por lo tanto, la recarga inducida por riego se considera nula en el área. En la tabla 2 se presenta un resumen de la solución de ecuaciones anuales de balance volumétrico para el periodo 1973-1978.

Tabla 2. Valores del balance de agua subterráneas 1973-1978 en hm³/año

Región	Entradas Subterráneas	Recarga Vertical	Recarga Total	Salidas Subterráneas	Bombéo	Descarga Total	Variación del Almacenamiento	Variación del nivel estático en m.
1	-----	15.43	15.43	8.11	9.44	17.55	-2.12	-0.034
2	8.11	7.01	15.12	6.91	26.32	33.23	-18.11	-0.230
3	-----	8.34	8.34	0.88	6.47	7.35	+0.99	+0.020
4	0.88	1.60	2.48	-----	4.05	4.05	-1.57	-0.075
Total	9.0	32.4	41.4	15.9	46.3	62.18	-20.81	-0.093

8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

DMA	=	Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R	=	Recarga total media anual
DNC	=	Descarga natural comprometida
VEAS	=	Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **41.4 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **15.9 hm³ anuales**, que corresponde a las salidas subterráneas que aún presenta el acuífero. **DNC = 15.9 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA).

Los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **109,216,413 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 41.4 - 15.9 - 109.216413 \\ \text{DMA} &= - 83.716413 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **83,716,413 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Actualización del Estudio Geohidrológico del Río Sonoyta, Son. 1978. Ingenieros Civiles y geólogos Asociados, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Estudio Geohidrológica Preliminar Zona Sonoyta – Puerto Peñasco, Sonora. 1973. Tomo I. Estudios Geológicos y Obras Civiles, S.A., para la Secretaría de Recursos Hidráulicos.