



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LA POZA (2622), ESTADO DE SONORA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación Administrativa del acuífero	4
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3	FISIOGRAFÍA.....	6
3.1	Provincia Fisiográfica	6
3.2	Clima.....	7
3.3	Hidrografía	8
3.4	Geomorfología.....	8
4	GEOLOGÍA	9
4.1	Estratigrafía	11
4.2	Geología Estructural	14
4.3	Geología del subsuelo	14
5	HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1	Tipo de acuífero	15
5.2	Parámetros hidráulicos.....	16
5.3	Piezometría	17
5.4	Comportamiento hidráulico.....	18
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	18
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	19
5.4.3	Evolución del nivel estático	21
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	22
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	22
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	23
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	24
7.1.2	Recarga inducida (Ri)	25
7.1.3	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	25
7.2	Salidas.....	26
7.2.1	Evapotranspiración (ETR).....	26
7.2.2	Descargas naturales por manantiales o ríos (Dn)	27
7.2.3	Extracción por bombeo (B).....	27
7.2.4	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	28
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	28
8	DISPONIBILIDAD	30
8.1	Recarga total media anual (R).....	30
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	30
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	30
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	31
9	BIBLIOGRAFÍA	32

1 GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

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

1.1 Localización

El Acuífero La Poza, definido con la clave 2622 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza al sur de la Ciudad de Hermosillo, en la porción central del Estado de Sonora, entre las coordenadas paralelos 28° 50' y 29° 57' de latitud norte y los meridianos 109° 13' y 109° 09' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 969 km². Sus límites naturales son al norte la Sierra Santa Teresa, al oriente la Sierra El Viejo, mientras que al oriente y noroeste los cerros Gavilán y Agua Lurca.

Colinda al norte con los acuíferos Santa Rosalía y Mesa del Seri-La Victoria, al sureste con el acuífero Valle de Guaymas y al poniente con el acuífero Costa de Hermosillo, todos ellos pertenecientes al Estado de Sonora (figura 1).

Geopolíticamente el 60 % de la superficie del acuífero corresponde al municipio La Colorada y 40 % a Hermosillo.

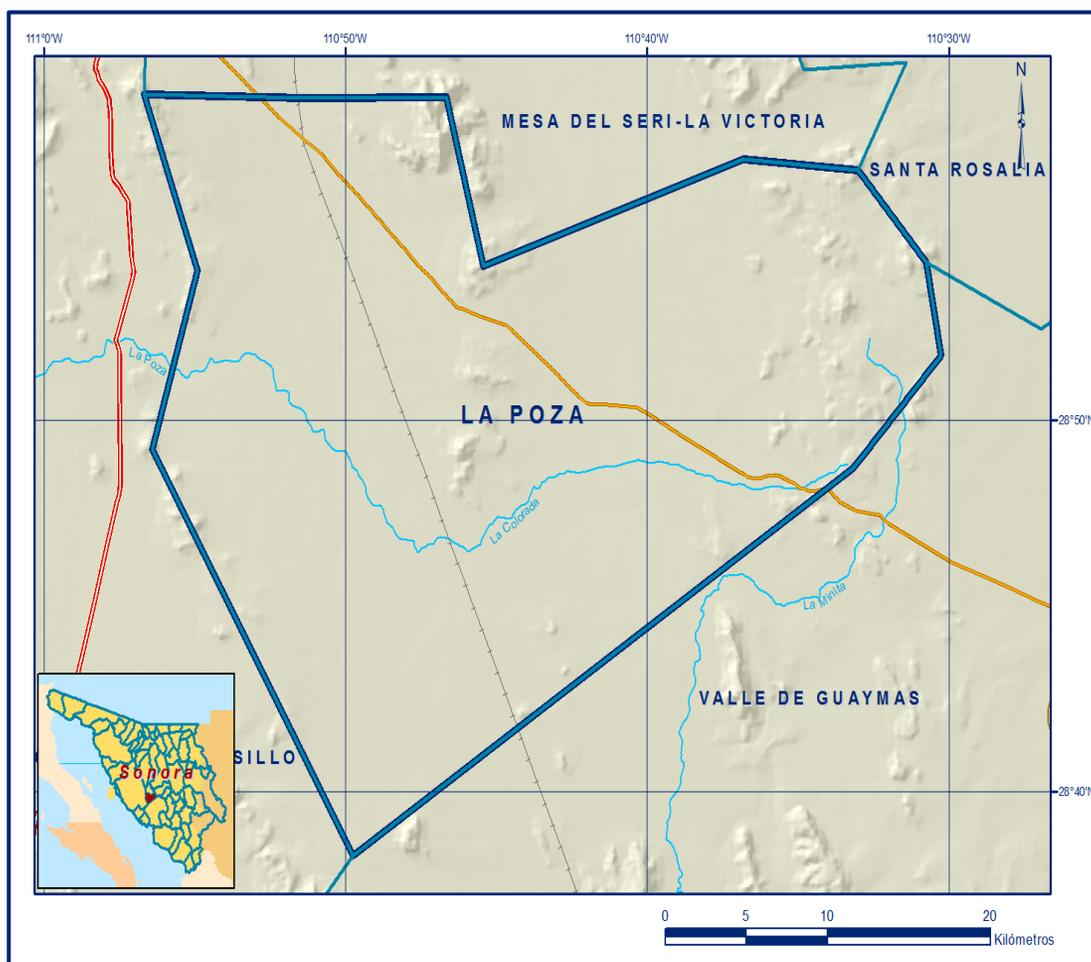


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2622 LA POZA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	110	46	40.5	28	58	42.9
2	110	45	26.0	28	54	10.2
3	110	36	48.7	28	57	2.4
4	110	33	0.4	28	56	44.4
5	110	30	45.8	28	54	15.8
6	110	30	16.0	28	51	45.3
7	110	33	9.7	28	48	44.1
8	110	49	46.4	28	38	17.3
9	110	56	25.3	28	49	13.9
10	110	54	55.1	28	54	1.9
11	110	56	41.3	28	58	47.5
1	110	46	40.5	28	58	42.9

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El Acuífero La Poza pertenece al Organismo de Cuenca II “Noroeste”. Su territorio completo, se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por medio del cual se amplía la zona de veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Costa de Hermosillo, Sonora” publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de junio de 1967.

Excepto cuando se trate de alumbramientos para usos domésticos, a partir de la fecha en que este decreto se publique en el Diario Oficial de la federación, nadie podrá efectuar nuevos alumbramientos de aguas del subsuelo en la zona vedada, sin previo permiso escrito por la Autoridad del Agua, la que sólo lo expedirá en los casos en que de los estudios correspondientes se deduzca que no se causarán los daños que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

El principal uso es el abrevadero. El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca (3) alto Noroeste, instalado el 19 de marzo de 1999 y a la Comisión de Cuenca (03B) Río Sonora.

Dentro de los límites del acuífero no se localiza Distrito o Unidad de Riego alguna, a la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Dada la importancia de este acuífero como zona potencial para el abastecimiento de agua a la Ciudad de Hermosillo, se han realizado estudios hidrogeológicos en la zona noroeste, conocida como Willard.

La mayor parte de los estudios son de carácter geológico, cubriendo áreas a nivel regional, así como áreas pequeñas con objetivos particulares.

A continuación, se hace una breve reseña de los principales estudios de corte hidrogeológico:

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS, EN LAS ZONAS DE MAZATÁN Y LA COLORADA, ESTADO DE SONORA”. REALIZADO EN 1979 POR LA EXTINTA SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS. En el estudio se concluye que el acuífero está constituido por horizontes superficiales de depósitos aluviales recientes, limitados por el cauce del Arroyo La Poza y sus tributarios principales; su permeabilidad varía de alta a media y en estos depósitos se han construido numerosas norias. Se definen a las calizas paleozoicas y a un paquete de tobas riolíticas del Terciario como de interés geohidrológico. La calidad del agua subterránea es en general buena.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA SUBCUENCA TORRES-WILLARD, MUNICIPIO DE HERMOSILLO, SONORA”, REALIZADO POR LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS EN 1984. El estudio concluye que la Subcuenca La Poza abarca una extensión de 967 km² y corresponde a la Cuenca del Río Sonora; se estima una extracción anual de 0.9 millones de m³ mediante 57 obras. El volumen de recarga anual estimado es de 6 millones de m³. La evolución geoquímica probable es estimada en un incremento de 15 ppm por año de sólidos totales disueltos. Se recomiendan no rebasar una extracción adicional de 5 millones de m³.

HIDROGEOLOGÍA AMBIENTAL APLICADA A LOS SISTEMAS ACUÍFEROS LA COLORADA Y MATAPÉ Y SUS IMPLICACIONES SOBRE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA”. ELABORADO POR RANGEL M. M. EN 1997. Este estudio propone un modelo hidrogeológico ambiental para la región La Colorada, la cual es abastecida enteramente por agua subterránea. Con el balance hidrometeorológico estima un déficit en la recarga reflejado en el periodo de observación con abatimientos de niveles.

Establece que el área se encuentra en una zona de geología compleja afectada fuertemente por tectonismo, lo que condiciona la permeabilidad, las fronteras hidrodinámicas y actúa sobre la geoquímica del agua, de esta manera define tres sistemas de acuíferos, uno aluvial y dos rocosos, que constituyen medios heterogéneos y anisótropos independientes entre sí.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA ESTABLECER ZONAS ACUÍFERAS DE RESERVA PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA”. REALIZADO POR LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA EN 1998. El estudio se llevó a cabo en cuatro subcuencas ubicadas al sur de la Ciudad de Hermosillo, entre ellas el Valle del arroyo La Poza. Confirma la existencia de almacenamientos de agua subterránea de interés en el citado valle, conformados por el fallamiento en bloques de las estructuras que descienden desde las zonas altas y que descargan superficialmente y también en forma subterránea, principalmente en los contactos de bloques donde se han labrado los cauces principales de arroyos y ríos.

Concluye que en el Valle La Poza, donde se ubica la captación Willard, es favorable para la extracción de un caudal mayor, recomiendan llevar a cabo trabajos de perforación y geofísicos a fin de dimensionar el acuífero.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA LA POZA, ESTADO DE SONORA”. ELABORADO POR EL SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO (SGM) EN EL 2006, EN CONVENIO CON EL ORGANISMO MUNICIPAL AGUA DE HERMOSILLO (AGUAHH). En el estudio se llevó a cabo una campaña de censo del total de aprovechamientos, de piezometría e hidrometría, así como análisis de la calidad del agua subterránea y del origen de la misma con base en determinaciones isotópicas.

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 queda comprendido fisiográficamente en la Provincia Desierto Sonorense (Erwin Raisz, 1964), dentro de la Subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses.

En el área se observan sierras alargadas constituidas por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas edades varían del Paleozoico al Reciente, forman grandes bloques fallados cuya orientación preferente es noroeste-sureste, separadas unas de otras por valles intermontanos. Las llanuras representan aproximadamente el 70% de la superficie total, y están constituidas litológicamente por sedimentos areno arcillosos y conglomeráticos, que varían de no consolidados a semiconsolidados.

3.2 Clima

Con el propósito de establecer las condiciones climáticas de la zona, se analizó la información de ocho estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero. Cabe mencionar que sólo dos de ellas se ubican dentro de los límites del acuífero (La Colorada y Estación Torres); las seis estaciones restantes (Mazatán, San Isidro, Ma. Del Carmen, Rancho Viejo, San José de Pimas y Hermosillo Norte), se localizan próximas a los límites del acuífero.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), para las condiciones de la República Mexicana, en el acuífero La Poza se pueden diferenciar tres tipos de climas.

BW (h´) (x´), (muy seco, cálido con lluvias en verano). Presenta una temperatura media anual mayor a 22° C, la temperatura media mensual máxima se presenta en el mes de julio y la temperatura más baja se produce en enero.

BSoh (x), (muy seco – semicálido). Tiene lluvias abundantes en verano mientras que el porcentaje de lluvia invernal es entre 5 y 10.2 mm. La temperatura media anual es mayor a 18° C, también se caracteriza por tener un invierno fresco.

BWh (x´), (seco – semicálido). Se caracteriza por un porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2 mm y temperatura media anual menor a 18° C.

La temperatura media anual en la zona es de 22.7° C. Valores medios anuales máximos se registraron en la estación Hermosillo Norte con 25.0° C, mientras que la temperatura media mínima se registra en la estación Mazatán con 20.8° C. De acuerdo con los registros de las estaciones climatológicas, la precipitación media anual es de 327.0 mm/año. La precipitación media anual mayor se registra en la estación Mazatán con valor de 467.9 mm/año, mientras que la mínima se registró en la estación San Isidro con 182.7 mm/año.

El ciclo de lluvias empieza en julio y termina a finales de septiembre. La evaporación potencial media anual registrada para las estaciones climatológicas varía de 1,314 a 2,992 mm, con un valor promedio de 2,524 mm/año.

3.3 Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 7 “Río Colorado”, dentro de la cuenca del río Sonora, la cual limita al norte y noroeste con la cuenca Río Concepción – Arroyo Cocóspera, de la Región Hidrológica Río Colorado, al poniente con la cuenca Río Bacoachi, al sur con la cuenca Río Mátape, mientras que al oriente con la cuenca Río Yaqui, todas pertenecientes a la Región Hidrológica Sonora Sur.

Tiene una forma irregular con alargamientos en dirección noreste y sur, sus corrientes superficiales son efímeras y estacionales, en periodos de estiaje no existe flujo en los arroyos.

En época de lluvias el caudal mayor lo forma el arroyo La Poza, el cual nace en la sierra ubicada al norte de La Colorada, fluye en dirección suroeste hasta la parte centro sur del acuífero, posteriormente cambia su rumbo al noroeste hasta el Rancho Santa Cruz, después avanza hasta el Cerro el Gorgus para después modificar su rumbo al suroeste hacia la Costa de Hermosillo. Sus tributarios principales son los arroyos Los Viejitos, La Colorada, La Blanca y Buena Vista.

La infraestructura hidráulica consiste, en su gran mayoría, de obras de captación de agua subterránea, preferentemente norias, una menor cantidad de pozos, así como tiros de mina inundados. La mayoría de los aprovechamientos se utilizan para abrevadero, en menor proporción se usan con fines agrícolas, pecuario y para consumo humano. Existen sistemas de riego por aspersión al poniente de la zona, conocida como Willard.

3.4 Geomorfología

Geomorfológicamente el área presenta elementos litológicos y estructurales que la ubican dentro del ciclo erosivo de montañas plegadas, en una etapa de madurez tardía. Como evidencia de esta etapa, en la Sierra Santa Teresa y en las inmediaciones de los cerros Agualurca, El Albañil y La Sonora, se observan algunos bloques de calizas de edad Paleozoico, plegadas y metamorfoseadas, que forman escarpes abruptos.

Las andesitas de la Formación Tarahumara presentan topografía suave, forman barrancos poco profundos y algunos cerros de poca altura (Sierra Santa Teresa, inmediaciones de los cerros La Zorra, La Colorada, Mina El Agua y Lomas El Rayo).

Rocas volcánicas del Paleógeno-Neógeno (Formación Lista Blanca) forman cordones y mesetas alargadas con pendientes menos escarpadas; cabe señalar que esta unidad, hacia el sur, fuera del área, incrementa su espesor y extensión.

Las rocas intrusivas del Batolito Sonora presentan formas con pendientes suaves y poca elevación, esto es debido al alto grado de alteración e intemperismo que han desarrollado (Sierra Santa Teresa, La Colorada, inmediaciones de los cerros Agualurca, El Gorguz, Pando, La Trinchera y El Cajete).

Las rocas que forman los valles están constituidas por conglomerados, arenas, gravas y arcillas de edad Mioceno-Holoceno, forman pequeños lomeríos y cerros con pendientes suaves.

En la zona de valles la topografía es suave, al poniente del área las elevaciones oscilan entre 150 y 200 msnm (El Gorguz, Cruz Gálvez), al sur y oriente entre 250 y 370 msnm (Estación Torres, La Misión, El Papache); mientras que en las sierras la topografía es semiabrupta y abrupta, sobresale en la porción central la Sierra Santa Teresa, con una elevación máxima de 900 msnm, así como los cerros Agualurca y Caloso, con elevación de 600 y 500 msnm.

Al oriente, en la Sierra La Colorada, sobresalen los cerros La Bronzuda, La Zorra, La Mazoneña, El Valiente, el Albañil y El Zubiato.

Cuyas elevaciones oscilan entre 600 y 900 msnm, mientras que al poniente sobresalen los cerros El Gorguz, Colorado, El Yeso, La Puerca, Grande, La Cueva, Chupaderos, El Orégano, El Tordillo, cuyas elevaciones oscilan entre 300 y 450 msnm.

4 GEOLOGÍA

Dentro de un contexto regional en la zona se presenta una gran variedad de unidades litológicas sedimentarias, metamórficas e ígneas, cuyas edades varían desde el Paleozoico al Reciente (figura 2) Las de mayor distribución se describen a continuación:

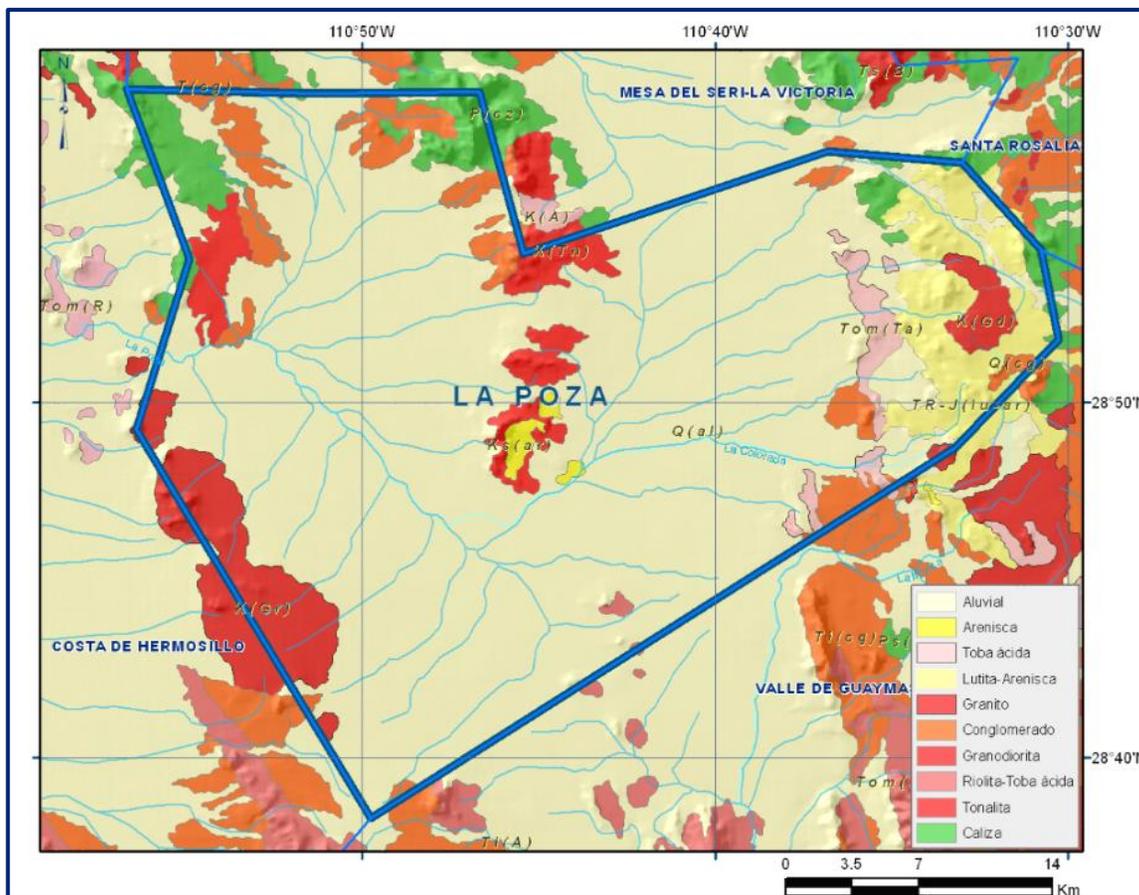


Figura 2. Geología general del acuífero

Formación Tarahumara

De edad Cretácica Superior - Paleoceno, corresponde a la unidad volcánica más antigua, constituida por derrames andesíticos, toba andesítica y toba riolítica con niveles sedimentarios intercalados.

El Batolito Laramide de Sonora

Aflora ampliamente en el Estado de Sonora, consiste de una serie de granito y granodiorita con textura fanerítica. Es producto de la evolución magmática durante el Cretácico Tardío - Paleógeno.

Formación Báucarit

Es un conglomerado polimíctico constituido por rocas volcánicas e intrusivas, con intercalaciones de arenisca y basalto, grava y arena poco consolidadas. Su ambiente de depósito fue en cuenca intermontana que en ocasiones favorece el depósito de yeso. Cubre discordantemente a la gran mayoría de unidades litológicas mencionadas anteriormente.

Formación Lista Blanca

De edad Mioceno, consiste de una secuencia de tobas riolíticas, riolitas, ignimbritas, andesitas, dacitas y aglomerados que se han depositado en un ambiente vulcanosedimentario asociado a cuencas cerradas con emplazamiento de magmas asociados a fallas y fracturas de carácter distensivo.

Conglomerado polimíctico

Rocas del Pleistoceno asociadas principalmente a valles y bordes de elementos orográficos. Consiste de un conglomerado polimíctico semiconsolidado, constituido por fragmentos de riolita, andesita, granito, rocas metamórficas y calcáreas contenidos en una matriz arenosa que forman depósitos de talud.

Aluvión

Constituido por grava, arena, limo y arcilla sin consolidar que llegan a formar espesores de hasta 50 m. Cubren generalmente todas las unidades litológicas más antiguas.

4.1 Estratigrafía

A continuación, se hace una breve descripción de las unidades litológicas que afloran en la zona, en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente, cuya distribución se observa en la figura 2. La descripción litológica se obtuvo del Consejo de Recursos Minerales, de las Cartas Geológico Mineras Hermosillo y Sierra Libre, escala 1: 250,000.

PALEOZOICO

Caliza arenisca (Pop Cz-Ar)

Engloba a los Grupos Guayacán y Tinajas, a las Formaciones Vuelta Colorada, Picacho Colorado y Mina México. Afloramientos que se observan en las inmediaciones de los ranchos Las Norias, El Albañil, La Colorada, Sierra Santa Teresa, Las Víboras, Cerro El Orégano, Cerro La Campana, así como en las inmediaciones de la Ciudad de Hermosillo.

De edad Ordovícico–Pérmico, se trata de capas gruesas y medianas alternantes de caliza, arenisca, dolomía, hornfels, mármol y pedernal. Estructuralmente presenta plegamiento e intenso fracturamiento, con evidencias de disolución, lo que permite que tenga una permeabilidad alta. En las zonas con presencia de mineralización parte del fracturamiento está relleno por calcita. Esta unidad tiene asignada un espesor de 1,000 m.

Lutita-Arenisca Conglomerado (TRs Ar-Lu)

Unidades areno arcillosas que corresponden al Grupo Barranca, el cual está dividido en tres formaciones, de la base a la cima: Formación Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. Aflora al norte de la Sierra Santa Teresa y en las inmediaciones del Cerro San Francisco.

Se trata de una alternancia de capas gruesas y medianas de areniscas de cuarzo, limolita y conglomerado; la arenisca es de color ocre y gris, textura de grano medio a grueso, las capas de limolita son de color café y crema, el conglomerado es de color rosa y rojo, mal clasificado, está constituido por clastos de cuarcita, pedernal y caliza, cementado por sílice. Sus características hidráulicas permiten asignarle permeabilidad media. Su espesor puede alcanzar más de 3,000 m, mientras que su edad varía entre el Triásico Superior y Jurásico Inferior.

Andesita-Toba Andesítica (Ks A-TA)

Se trata de rocas de la Formación Tarahumara, se distribuyen en las inmediaciones de la comunidad La Colorada, el Cerro El Valiente, la Sierra Santa Teresa, así como en las inmediaciones del Cerro Chupadero.

Se trata de derrames andesíticos, escasa toba andesítica y toba riolítica. Es de color gris y café con tonalidades rojizas, intemperiza a pardo y ocre, su textura es variable de afanítica a porfídica, se le observa plagioclasa, hornblenda, piroxenos, biotita, presenta alteración propilítica y ligera silicificación. Presenta pseudoestratificación en capas gruesas. Su espesor puede llegar a 600 m, mientras que su permeabilidad es media debido a su fracturamiento y alteración.

Granito - Granodiorita (KsTpa Gr-Gd)

Aflora en las inmediaciones de la comunidad La Colorada, en los cerros El Valiente, Las Piedras, Agua Lurca, La Puerca, entre otros, así como en los alrededores de los ranchos La Mina y El Pilar. En afloramiento se observa color gris, intemperiza color ocre y verde. De estructura compacta y masiva, en algunas partes está intemperizado y deleznable, con textura fanerítica equigranular, constituido por cuarzo, feldespato, plagioclasas, biotita; presenta alteraciones; propilitización, potásica, seritización, cloritización, epidotización y oxidación.

Intrusiona a las secuencias sedimentarias del Paleozoico, Triásico Superior, así como a la andesita de la Formación Tarahumara, de igual forma es intrusionado por diques pegmatíticos y aplíticos.

Le sobreyacen discordantemente depósitos conglomeráticos de la Formación Baucarit, rocas volcánicas de la Formación Lista Blanca, además de gravas y arenas del Cuaternario. Hidrogeológicamente opera como fronteras y basamento hidrogeológico.

Conglomerado polimíctico- Arenisca (Tm Cgp-Ar)

Los afloramientos en el área son reducidos, únicamente se presentan en las inmediaciones de La Colorada, así como al norte de los cerros El Zubiato, La Mazoneña y El Melón. Se observa principalmente en los cauces de los arroyos, ya que en la mayor parte del área está cubierto por depósitos recientes.

Se trata de un conglomerado mal clasificado, color café claro, constituido principalmente por fragmentos ígneos, sedimentarios y metamórficos, intercalados con areniscas y basaltos, donde la abundancia de los constituyentes es de acuerdo a la cercanía de la fuente. Contiene una matriz de la misma composición cementada por caliche. En el área se le estima un espesor aflorante de 80 a 100 m, el cual disminuye en dirección este. Hidrogeológicamente forma una barrera entre la unidad sedimentaria con permeabilidad alta y las calizas paleozoicas.

Tobas riolíticas, dacita, andesita (Tm Tr, Da, A)

Rocas volcánicas de la Formación Lista Blanca, sobreyacen discordantemente a la Formación Baucarit. Afloran en gran parte del área (inmediaciones y norte de La Colorada, a lo largo de los cerros Gavilán, Grande, Colorado, La Pirinola), principalmente al flanco poniente paralelo a los rasgos topográficos más sobresalientes, constituyen mesetas alargadas con orientación preferente noroeste 10°-20° suroeste, en los valles es cubierta por depósitos cuaternarios.

Se trata de una serie de derrames de toba riolítica, ignimbrita, riolita y andesita. Las tobas riolíticas generalmente son de color gris claro y rosa, intemperizan a pardo, tienen textura fluidal, se observan algunos feldespatos y vidrio, su estructura es compacta a la base y amigdalar en la cima.

De color gris y rosa, textura microgranular, contiene feldespatos y cuarzo, su estructura es compacta. En el caso de las andesitas son compactas, de color gris oscuro con tonalidades crema, presenta algunas variaciones a café rojizo. Hidrogeológicamente son unidades fracturadas con permeabilidad media.

Conglomerado polimíctico (Qpt Cgp) - Aluvión (Qho al)

Dentro de esta unidad se agrupan una serie de depósitos constituidos por gravas de taludes y abanicos aluviales. Acumulación de abanicos aluviales producto de la erosión fluvial de rocas más antiguas, tienen alta permeabilidad en general, pero normalmente son de poco espesor.

4.2 Geología Estructural

Secuencias paleozoicas y mesozoicas se encuentran dispuestas en pliegues con orientación general: noroeste-sureste, afectadas por fallas normales que las colocan en algunos casos en contacto con unidades Paleógeno-Neógenas.

Es notoria la influencia del Batolito Laramide, el cual altera la disposición estructural de las secuencias litológicas más antiguas. Estas estructuras son el resultado de varios eventos orogénicos tanto de compresión (Orogenia Laramide) como distensión, relacionada a la apertura del Golfo de California durante el Mioceno, acompañado con vulcanismo bimodal y fallamiento normal, responsable de la configuración del relieve actual.

El sistema de fallas Basin and Range generó las actuales sierras y valles en Sonora, que presentan un rumbo noroeste 30° y buzamiento generalmente al suroeste. Estos fallamientos se encuentran asociados a un segundo sistema con orientación 70° noroeste.

En el área las características estructuralmente más sobresalientes consisten en una sucesión de sierras altas alargadas con un rumbo preferencial noroeste-sureste, separadas por pequeños valles rellenos de material clástico derivado de las sierras circundantes, esta morfología es producto de la última etapa tectónica distensiva.

4.3 Geología del subsuelo

El acuífero que se explota actualmente se ubica en un medio granular conformado por sedimentos que varían de gravas a arcillas.

Las áreas centro oeste y centro estese caracterizan por la presencia de fosas sepultadas de alrededor de 500 m de profundidad, los materiales de relleno son granulares.

A nivel superficial se tiene material reciente con permeabilidades altas, se trata de material que sustenta la mayor parte de los aprovechamientos de la zona, bajo este paquete están depositados sedimentos finos, así como el conglomerado cementado del Mioceno, ambos de permeabilidades bajas, que genera semiconfinamiento.

Las fosas también están rellenas de materiales granulares con alto potencial acuífero, en este horizonte están perforados pozos con gastos mayores a 60 lps en la zona conocida como Willard (al noroeste del acuífero).

Bajo los paquetes sedimentarios se encuentran el material riolítico y andesítico con permeabilidades medias, afectados por fallas normales. Los subyacen las calizas paleozoicas con permeabilidad de media a alta.

En la zona existe un atractivo potencial hidrogeológico en materiales fracturados, el cual no ha sido explorado. Como basamento hidrogeológico se tiene el intrusivo granítico granodiorítico de edad Cretácico.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

En el acuífero La Poza el agua subterránea circula por dos medios, uno integrado por unidades de tipo granular y otro por rocas fracturadas (figura 3); el medio granular tiene características heterogéneas y su granulometría varía desde gravas a arcillas, mientras que el medio fracturado está formado por rocas calcáreas y volcánicas de composición riolítica y andesítica.

El basamento hidrológico está constituido por un intrusivo de edad cretácica que aflora en gran parte de las sierras de la zona.

El acuífero que actualmente se explota funciona como **libre**, aunque la presencia de lentes arcillosos propicia que se comporte **localmente como semiconfinado**, además dichos lentes arcillosos forman barreras naturales del flujo vertical producto de la infiltración por precipitación y retorno de riego, lo que provoca la formación de una superficie piezométrica somera.

El fuerte grado de intemperismo en zonas expuestas del intrusivo genera pequeños acuíferos colgados con escaso potencial hidrogeológico.

La parte somera del acuífero alcanza de 5 a 30 m, por su espesor se considera de mediano a bajo potencial hidrogeológico; por debajo está la parte de mayor potencial del acuífero, de amplia extensión y composición variable, cuyo espesor supera los 400 m.

El funcionamiento hidráulico del sistema acuífero no ha variado significativamente y conserva sus condiciones iniciales, ya que los volúmenes de extracción no superan los de la recarga, por lo que las direcciones de flujo subterráneo siguen su tendencia original, paralela a la dirección preferente del Arroyo La Poza.

La fuente principal de recarga del acuífero es el agua de lluvia que se infiltra en las zonas topográficamente altas, una menor fuente de recarga está representada por infiltración vertical del agua de lluvia que precipita en el valle y por retornos de riego agrícola.

Existe una primera frontera de tipo vertical representada por lentes arcillosos que mantienen niveles someros, además del conglomerado del Mioceno correspondiente a la Formación Baucarit.

A profundidad la frontera vertical está definida por el basamento geohidrológico. Las fronteras horizontales del acuífero, en su mayoría, están definidas por el mismo intrusivo, éste aflora al oriente del acuífero y en las sierras intermedias del mismo, al sur no se observa en superficie, sin embargo a profundidad forma un parteaguas subterráneo que impide la entrada de agua al acuífero.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades de campo que contempló el estudio realizado en el 2006, se ejecutaron 2 pruebas de bombeo de larga duración tanto en su etapa de abatimiento como recuperación, además fueron reinterpretadas otras dos pruebas de bombeo. La interpretación se realizó por diferentes métodos: Neuman, Theis Recovery.

De acuerdo con los resultados de la interpretación de las pruebas de bombeo (Tabla 2), los valores de transmisividad obtenidos varían de 3.82 hasta 1166 m²/día (**4.4×10^{-5} a 13.5×10^{-3} m²/s**); en tanto que para la conductividad hidráulica se reportan valores que oscilan entre **0.010 y 4.68 m/día**. Como valores representativos del acuífero se considera una transmisividad media de 239 m²/día y una conductividad hidráulica de 0.98 m/día. (Figura 3)

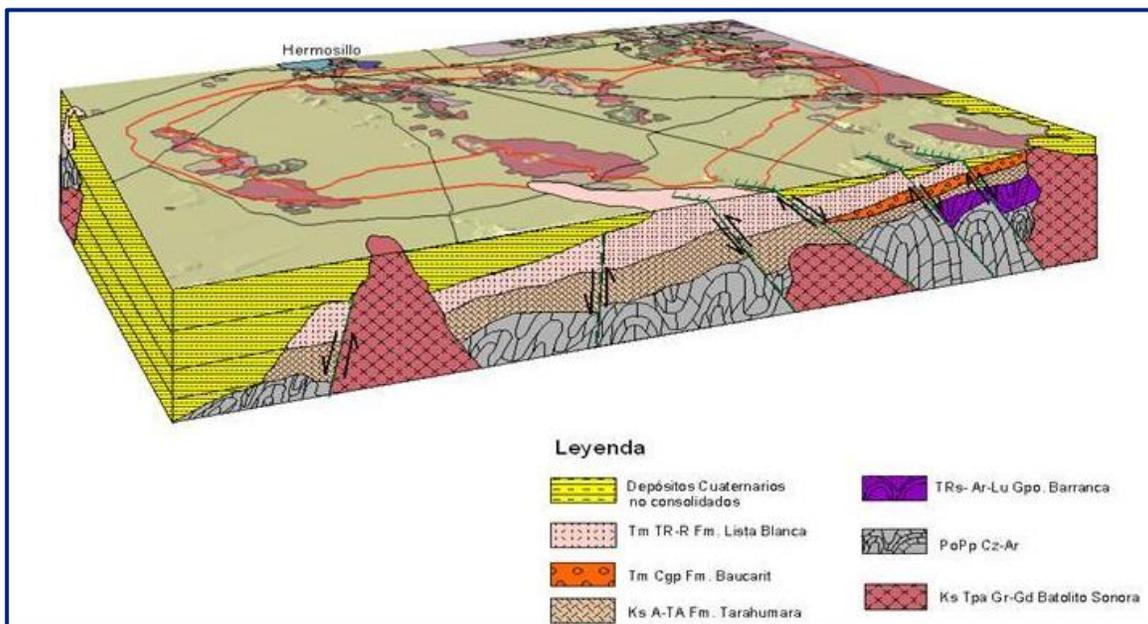


Figura 3. Modelo conceptual de funcionamiento acuífero

Los valores de transmisividad obtenidos a partir de la interpretación y reinterpretación de las pruebas fueron utilizadas en el cálculo de volúmenes de entrada en las zonas de recarga, así como en las zonas de salidas horizontales del acuífero. Para el caso de entradas se utilizó un valor de 270 m²/día, mientras que en la salida fue considerado un valor de 304 m²/día (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de pruebas de bombeo

ACUÍFERO LA POZA									
Clave de Aprovechamiento	Localidad	Coordenadas		Método usado	Gasto (m ³ /s)	Trasmisividad		Conductividad hidráulica	
		x	y			m ² /día	m ² /seg	m/día	m/seg
PLP-011	Rancho El Samotoso	519649	3175848	Neuman's	0.0008	3.82	4.4E-05	0.0100	1.16E-07
PLP-060	Rancho La Presa	536581	3200758	Theis recovery	0.00125	5.35	6.2E-05	0.0200	2.31E-07
PLP-118	Comisión Federal de Electricidad	507787	3211450	Neuman's	0.014	1,166.00	1.3E-02	4.6800	5.42E-05
PLP-07	Zona Willard	515398	3199605	Theis recovery	0.12	304.00	3.5E-03	1.2000	1.39E-05

5.3 Piezometría

Para el análisis y la configuración de niveles piezométricos, así como la determinación del funcionamiento acuífero, se utilizaron los datos piezométricos recabados por el SGM en 2006 durante el periodo comprendido entre mayo y junio.

Las lecturas piezométricas fueron procesadas para distinguir los diferentes niveles referidos; se separaron tanto norias o pozos con niveles someros de los pozos profundos que captan y reflejan el comportamiento del acuífero profundo.

5.4 Comportamiento hidráulico

En el acuífero La Poza existe una zona de recarga a través de flujo horizontal que se ubica al extremo oriente y recibe agua que se infiltra en zonas topográficamente altas que presentan permeabilidad media.

De manera difusa, se produce la infiltración de la lluvia sobre el valle y sobre el cauce del Arroyo La Poza. La descarga natural del acuífero se produce mediante flujo subterráneo hacia el acuífero vecino Costa de Hermosillo.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en el acuífero varía entre 5 y 130 m para el año 2006. El comportamiento del nivel estático muestra en general dos tendencias, una representada por la mayor parte de las norias localizadas en las márgenes del arroyo

La Poza y sus tributarios, donde los niveles piezométricos fluctúan entre 5 y 30 m, mientras que la segunda tendencia corresponde a niveles cuya profundidad varía entre 45 y 130 m.

De igual forma se presentan niveles entre 30 y 45 m, sin embargo, estos son locales y no se logra establecer una tendencia clara en su distribución y comportamiento.

La profundidad al nivel estático ésta directamente relacionada a las variaciones litológicas del subsuelo.

En el valle ubicado al extremo oriente del acuífero la profundidad al nivel estático varía entre 35 y 80m (figura 4); en la zona centro sur varía desde 40 hasta 120 m, por lo que no existe una tendencia clara en esta zona.

En el extremo norte la profundidad al nivel estático tiende a ser homogénea y varía entre 40 y 60 m; la profundidad se incrementa en dirección al sur hasta alcanzar 75 m en la intersección de la carretera Hermosillo–La Colorada y la vía del ferrocarril, mientras que en la zona conocida como Willard la profundidad al nivel estático oscila entre 100 y 113 m.

La diferencia de niveles se debe al control estructural de la zona, ya que existe evidencia de un sistema de fallamiento regional con dirección noreste-suroeste.

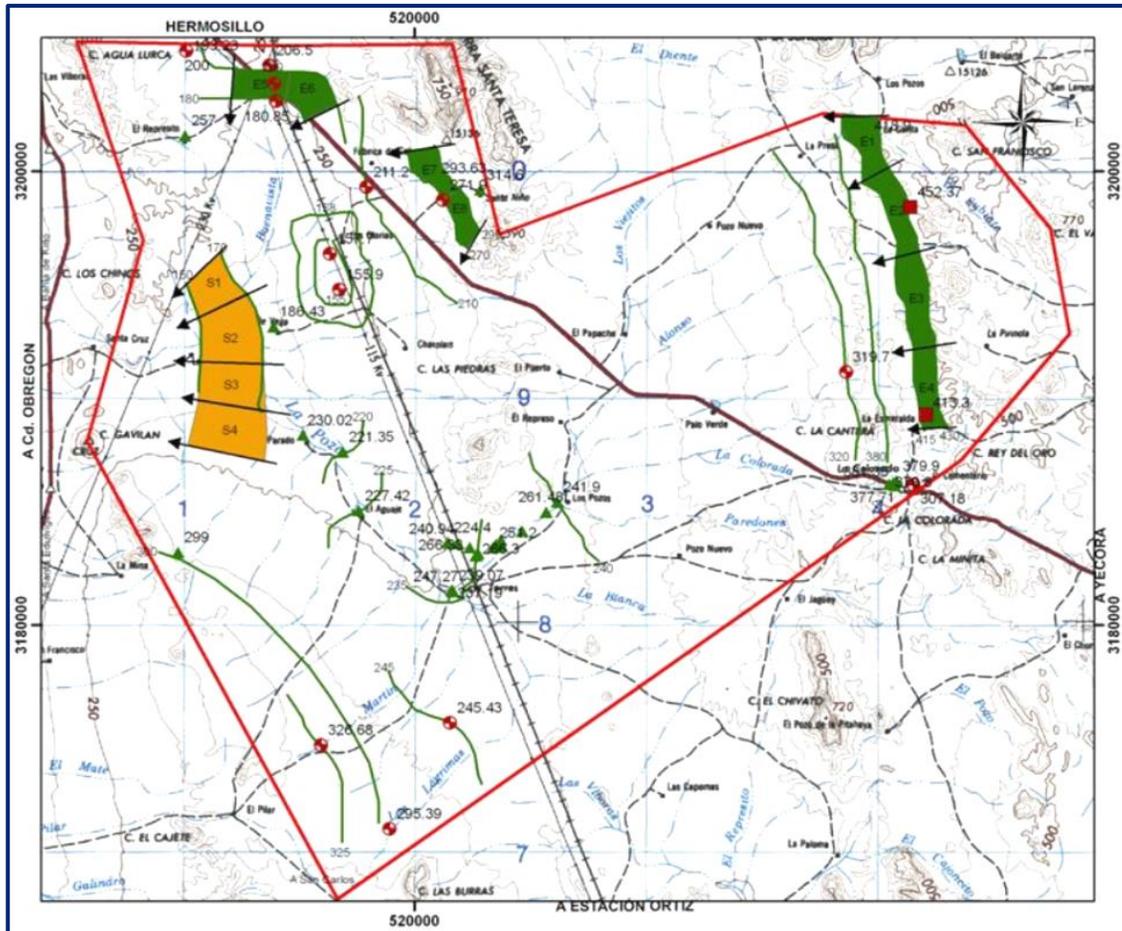


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2006)

Las condiciones hidrogeológicas de la zona permiten establecer que aún existen condiciones de equilibrio en prácticamente todo el acuífero, con excepción de Willard y sus alrededores. El flujo subterráneo se desplaza preferentemente de manera horizontal a través de los depósitos granulares y del medio fracturado hacia las zonas de descarga natural. El agua se mueve de las zonas con mayor carga hidráulica a las de menor carga, el desnivel medio del terreno es de 700 m, generado por elevaciones promedio de 900 msnm en el extremo oriente, mientras que valores de 200 msnm se observan en el extremo poniente, en la salida natural del acuífero.

El análisis de las direcciones de flujo permite establecer la presencia de zonas que actúan como barreras naturales. La continuidad hidráulica con acuíferos vecinos sólo se evidencia en el extremo poniente, con el acuífero Costa de Hermosillo, con el resto de los acuíferos la comunicación es difusa, topográfica y piezométricamente se evidencia la presencia de parteaguas subterráneos que coinciden con gran parte de los límites superficiales del acuífero.

En la zona existen varios sistemas de flujo subterráneo, controlados por la disposición espacial de los depósitos sedimentarios, además por la alteración, fracturamiento y fallamiento de las unidades consolidadas. Local, es generado por agua de reciente infiltración que viaja en forma vertical y se ve reflejada en una recarga prácticamente instantánea de la parte somera del acuífero. Intermedio, relacionado a las partes topográficamente altas donde existen las condiciones apropiadas de permeabilidad para su infiltración, las curvas equipotenciales de la elevación del nivel estático pone en evidencia este sistema de flujo.

La infiltración que no es interrumpida por barreras naturales y que viaja hacia el acuífero profundo lo hace a través de un sistema de tipo intermedio.

Es importante mencionar que este tipo de flujo sustenta gran parte del volumen de agua que se extrae del acuífero.

Dadas las condiciones geológicas y estructurales de la zona, se propone la presencia de sistemas de flujo regional que circulan a través de las rocas fracturadas a profundidades mayores de 500 m, o asociados a estructuras geológicas regionales.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático en el acuífero, sólo se cuenta con información piezométrica previa que permita su configuración en el área de Willard, donde se observa un cono de abatimiento; para el resto del acuífero no se determinó una evolución.

Sin embargo la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos y/o del bombeo, que pongan en evidencia evoluciones piezométricas negativas.

La figura 6 muestra la zona de abatimiento referida en el párrafo anterior.

Para el periodo 2005-2006 se tiene un abatimiento máximo de 3 m, lo cual se ve reflejado en el cambio de almacenamiento estimado en el balance de aguas subterráneas.

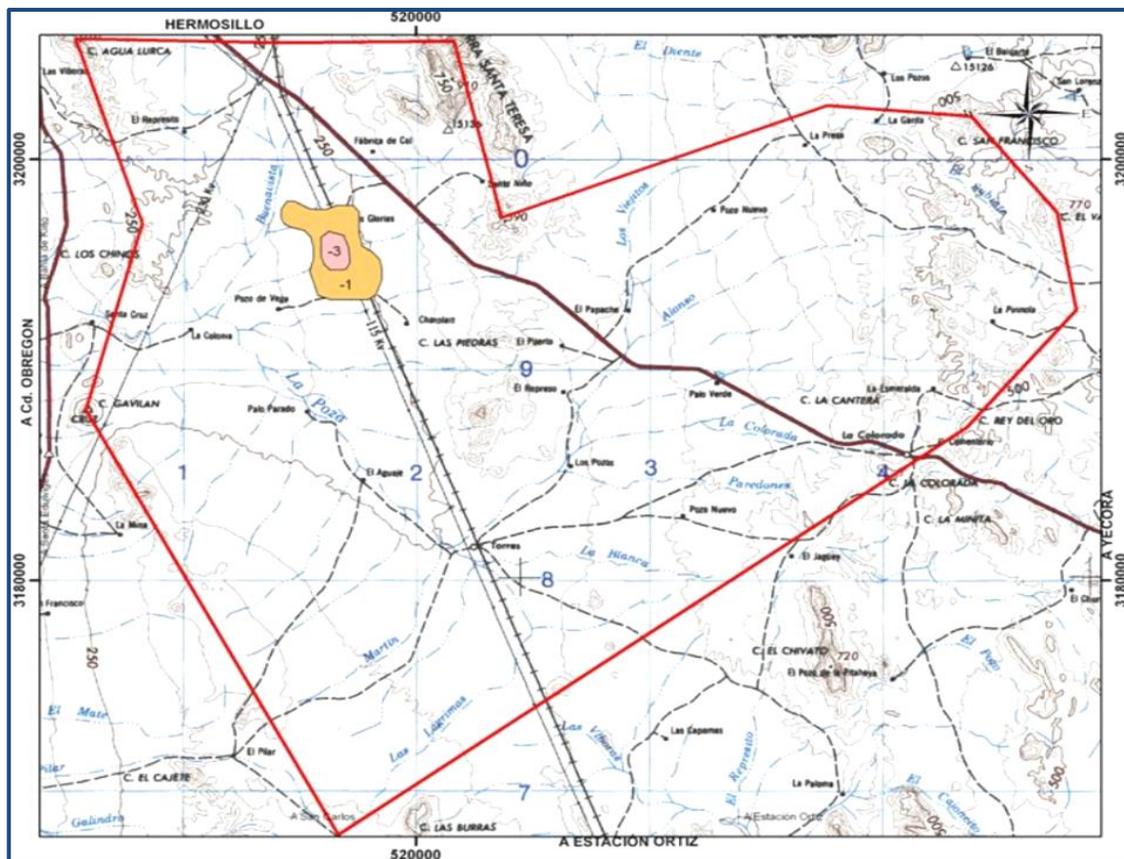


Figura 6. Evolución del nivel estático en m, 2005-2006

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En la mayor parte del acuífero el agua subterránea es de buena calidad para consumo humano, en su mayoría es de reciente infiltración, con pH cercanos al neutro, bajas concentraciones de sólidos totales disueltos, así como ausencia de metales pesados. Sin embargo en algunas zonas puntuales existe la presencia de metales pesados como arsénico, selenio, uranio, entre otros, que rebasan los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad oficial mexicana. Existen minas inundadas, cuya calidad del agua subterránea permite suponer que son alimentadas a través de flujos regionales.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo de aprovechamientos realizado durante el 2006, se registraron un total de 79 captaciones del agua subterránea, de las cuales 36 corresponden a norias y 43 a pozos. Del total de aprovechamientos, 3 (4%) se destinan al uso agrícola, 4 (5%) al uso agropecuario, 4 (5%) al abastecimiento para uso doméstico, 5 (6%) se destina a uso pecuario, 4 (5%) para público urbano, sin uso están 18 (23%) aprovechamientos y 41 (52%) se usan para abrevadero.

En conjunto, el volumen de extracción asciende a **8.1 hm³/año**, de los cuales 2.9 hm³/año (35.8%) es de uso agrícola, 3.6 hm³/año (45.4%) de uso abrevadero, mientras que los restantes 1.6 hm³/año (19.7 %) corresponde a los usos doméstico, agropecuario, pecuario y público urbano.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2005-2006, en una superficie de 627 km², que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. 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:

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

7.1 Entradas

Representa la sumatoria de entradas de agua al acuífero, ya sean naturales o inducidas. Para este caso las entradas están integradas por la recarga natural y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, ya que en el acuífero no existen centros de población importantes que estén ocasionando fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Rr).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña.

En la provincia fisiográfica de Sierras y Cuencas, la recarga de frente de montaña tiene dos componentes: el flujo subterráneo que proviene de las sierras que delimitan el valle, a través de fracturas y/o conductos de disolución, que se dirige hacia los sedimentos que rellenan la cuenca; y la infiltración en los cinturones de piedemonte. A su vez, en estos últimos la recarga se efectúa por medio de la infiltración que se produce a lo largo de los arroyos que drenan las sierras y también de manera difusa.

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

- Rv:** Recarga vertical
- Eh:** Entradas por flujo horizontal
- Ri:** Recarga inducida
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo horizontal
- ETR:** Evapotranspiración real
- Dn:** Descargas naturales por manantiales y ríos
- $\Delta V(S)$:** Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = Sh + B + ETR \pm \Delta V(S) - Eh - Rr \quad (2)$$

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

La recarga inducida o retorno de riego se determinó en función del volumen que se extrae del acuífero para uso agrícola, de manera general un 20% de este volumen retorna al sistema acuífero en forma de recarga inducida.

De acuerdo a la hidrometría estimada por SGM (2006), en el acuífero se utilizan 2.9 hm³/año para uso agrícola, por lo cual se consideró **0.6 hm³/año** como un volumen representativo de recarga inducida.

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

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

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de las configuraciones de elevación del nivel estático para los años 2006 (figura 5).

De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos:

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

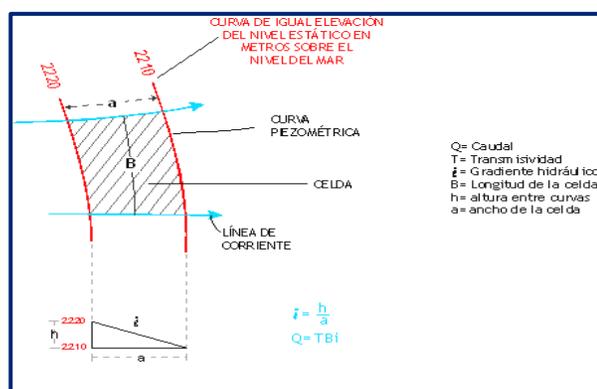
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



Las celdas de entrada subterránea se ubican en la porción oriente del acuífero.

Es importante mencionar que se utilizó un valor de transmisividad de $2.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (240 m²/día) con el fin de no sobreestimar las entradas por flujo subterráneo horizontal.

El cálculo de volúmenes de entrada se observa en la tabla 3. Como resultado del análisis de celdas de flujo se obtuvo un valor de **32.4 hm³/año** que representa las entradas horizontales dentro del área de balance definida en el valle.

Tabla 3. Cálculo de entradas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q	VOLUMEN
			(m)		(m ² /s)	(m ³ /s)	(hm ³ /año)
E1	2765	1149	15	0.0131	0.0028	0.1011	3.2
E2	3842	1062	15	0.0141	0.0028	0.1519	4.8
E3	4110	1297	15	0.0116	0.0028	0.1331	4.2
E4	3654	1010	15	0.0149	0.0028	0.1519	4.8
E5	2419	1179	20	0.0170	0.0028	0.1149	3.6
E6	1978	1662	20	0.0120	0.0028	0.0666	2.1
E7	2422	882	20	0.0227	0.0028	0.1538	4.8
E8	2322	843	20	0.0237	0.0028	0.1542	4.9
Total entradas							32.4

7.2 Salidas

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el acuífero. Para este caso en particular, las descargas están representadas por el bombeo (B), salidas horizontales (Sh) y por evapotranspiración (ETR).

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

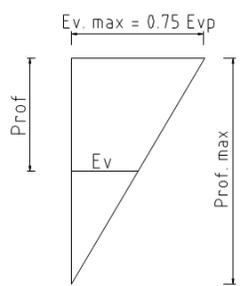
Dado que la lámina de precipitación pluvial media anual es del orden de los 327 mm y la temperatura promedio de 22.7° C, al aplicar el método empírico de Turc para estimar ETR, su valor resulta mayor que la precipitación media, invalidando el resultado. En general, para climas áridos los métodos empíricos para estimar ETR (Turc, Coutagne, por ejemplo) se invalidan para valores inferiores a los 350 mm anuales, dependiendo del valor de la temperatura media anual.

Para el caso particular de este acuífero, la evapotranspiración se presenta en la zona centro sur, específicamente en los alrededores de la comunidad Torres.

El estudio elaborado en 2006 establece que la evaporación promedio de la zona es de 2524 mm anuales.

Si tomamos en cuenta que su valor se determina en un almacenamiento pequeño, usaremos un factor de corrección de 0.75 (Saxton & McGuinness, 1982, p. 235).

Considerando que en una superficie 7.2 km² se presentan niveles freáticos someros, con un valor máximo de 4 m de profundidad de extinción, que corresponde en este caso a la profundidad de las raíces de la vegetación nativa y de la profundidad media al nivel estático en la zona de niveles freáticos someros, al considerar la variación que tiene la evaporación con respecto a la profundidad, la evapotranspiración es calculada de la siguiente manera:



$$\frac{Ev}{Ev. \max} = \frac{(Prof. \max - Prof)}{Prof. \max}$$

$$Ev = Ev. \max \left(1 - \frac{Prof}{Prof. \max}\right)$$

$$Vol \text{ Ev} = Ev \text{ (Area)}$$

$ETR = [0.75 \text{ (Evaporación Prom.) (Área)}] / Prof. \text{ máxima}$
 $ETR [(0.75) (2.5 \text{ m}) (7.2 \text{ km}^2)]/4 = 3.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$

El resultado de aplicar la fórmula anterior es de **ETR = 3.3 hm³/año.**

7.2.2 Descargas naturales por manantiales o ríos (Dn)

En la zona del acuífero no existen manantiales perennes, lagos, o ríos con caudal base constante, por lo que este valor se desprecia para el cálculo de balance de aguas subterráneas.

7.2.3 Extracción por bombeo (B)

De acuerdo con los resultados de la hidrometría realizada como parte del censo realizado en el estudio del 2006, se cuantificó el volumen de extracción de agua subterránea de manera directa cuando el equipo de extracción contaba con medidor de flujo, o a través de la información recabada en campo durante el censo, como tiempo de operación, superficie regada, láminas de cultivo y estimaciones de acuerdo a las características de las obras. Se calculó un volumen de extracción de **8.1 hm³/año.**

7.2.4 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

El volumen de las salidas subterráneas se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, tomando en cuenta la elevación del nivel estático mostrada en la Figura 5 y a través de la Ley de Darcy. En la Tabla 4 se muestra que el valor de las salidas subterráneas es de **22.7 hm³ anuales**, que salen hacia el acuífero vecino Costa de Hermosillo.

Cabe mencionar que para determinar el valor de salidas horizontales fue utilizada una transmisividad de $5.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ($510 \text{ m}^2/\text{día}$).

Este valor es mayor a los utilizados para el cálculo de entradas horizontales ya que la celda de salida está ubicada en una zona de sedimentos de granulometría gruesa, además de un mayor espesor.

Tabla 4. Cálculo de salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
			(m)		(m ² /s)		
S1	3854	2109	20	0.0095	0.0059	0.2156	6.8
S2	3462	2312	20	0.0087	0.0059	0.1767	5.6
S3	3680	2453	20	0.0082	0.0059	0.1770	5.6
S4	2956	2341	20	0.0085	0.0059	0.1490	4.7
Total salidas							22.7

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

El cambio de almacenamiento representa el volumen ganado o drenado por el acuífero y se calcula a partir de la evolución piezométrica observada en el área de balance y del coeficiente de almacenamiento, mediante la siguiente expresión matemática:

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

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 (km²)

h: Valor de la variación piezométrica en el período (m)

Para el acuífero el cambio de almacenamiento se determinó con base a la configuración de evolución de niveles piezométricos obtenidos al sobreponer curvas de isovalores para el periodo 2005-2006.

Una vez estimada la evolución de niveles se determinaron zonas adecuadas para el cálculo de volúmenes que han cambiado su almacenamiento con respecto al tiempo, el cálculo se realizó en la porción noroeste del acuífero, específicamente en la zona Willard.

De esta manera y de acuerdo con la Tabla 5, se estimó un volumen de acuífero de 8,885,000 m³ para el periodo de 2 años, lo que representa 4.44 hm³/año. Al afectar este volumen por el coeficiente de almacenamiento 0.07, se obtiene un cambio de almacenamiento negativo de 0.31 hm³/año.

Este valor confirma la suposición hecha *a priori* de que el valor de esta componente tiende a cero. Por lo tanto $\Delta V(S) = -0.3 \text{ hm}^3/\text{a}$.

Tabla 5. Datos utilizados para el cálculo del cambio de almacenamiento

CAMBIO DE ALMACENAMIENTO (2005 - 2007)						
AREA	SUPERFICIE km ²	SUPERFICIE m ²	h1(m)	h2(m)	(h2+h1)/2	VOLUMEN m ³
A	10.37	10,370,000.00	1	0	0.5	5,185,000.00
B	1.85	1,850,000.00	3	1	2	3,700,000.00
						8,885,000

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:

$$Rv = B + Sh + ETR - \Delta V(S) - Eh - Ri \quad (2)$$

$$Rv = 8.1 + 22.7 + 3.3 - 0.3 - 32.4 - 0.6$$

$$Rv = 0.8 \text{ hm}^3/\text{año}$$

De esta manera, la recarga total media anual está definida por la suma de las entradas:

$$R = Rv + Eh + Ri$$

$$R = 0.8 + 32.4 + 0.6$$

$$R = 33.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso, su valor es de **33.8 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **DNC = 10.0 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 **21,577,830.m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 33.8 - 10.0 - 21.577830 \\ \text{DMA} &= 2.222170 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **2,222,170 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1979, Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en las Zonas de Mazatán y La Colorada, Estado de Sonora.