

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Río Bacoachi (2627),
Estado de Sonora***

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

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE SONORA							
2627	RÍO BACOACHI	31.7	7.6	28.294134	13.9	0.000000	-4.194134

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



Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN
EL ACUÍFERO 2627 RIO BACOACHI, ESTADO DE
SONORA***

México, D.F. Enero de 2010

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	3
Antecedentes	3
1.1. Localización	3
1.2. Situación administrativa del acuífero	5
2. ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3. FISIOGRAFIA	7
3.1. Provincia fisiográfica	7
3.2. Clima	7
3.3. Hidrografía	8
3.4. Geomorfología	9
4. GEOLOGIA	9
4.1. Estratigrafía	11
4.2. Geología estructural	12
4.3. Geología del subsuelo	13
5. HIDROGEOLOGÍA	14
5.1. Tipo de acuífero	14
5.2. Parámetros hidráulicos	14
5.3. Piezometría	15
5.4. Comportamiento hidráulico	15
5.4.1. Profundidad al nivel estático	15
5.4.2. Elevación del nivel estático	15
5.4.3. Evolución del nivel estático	18
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	19
7.1. Entradas	19
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	20
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	20
7.1.3. Retornos de riego (Rr)	22
7.2. Salidas	22
7.2.1. Bombeo (B)	22
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	22
7.2.3. Evapotranspiración (ETR)	22
7.3. Cambio de almacenamiento (ΔV_S)	24
8. DISPONIBILIDAD	24
8.1. Recarga total media anual (Rt)	25
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	25
8.3. Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS)	25
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	25
9. BIBLIOGRAFÍA	26

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 Río Bacoachi, definido con la clave 2627 del Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se ubica en la porción norte del estado de Sonora, entre en las coordenadas 30° 18' y 31° 01' de latitud norte, y 109° 45' y 110° 21' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 2324 km².

Colinda al norte con el acuífero Río San Pedro, al sur con Cumpas y Río Sonora, al este con Río Frontera y al oeste con Río Bacanuchi, todos ellos pertenecientes al estado de Sonora.

Geopolíticamente se encuentra ubicado parcialmente en los municipios de Cananea, Bacoachi y Arizpe, así como una pequeña porción de Fronteras.

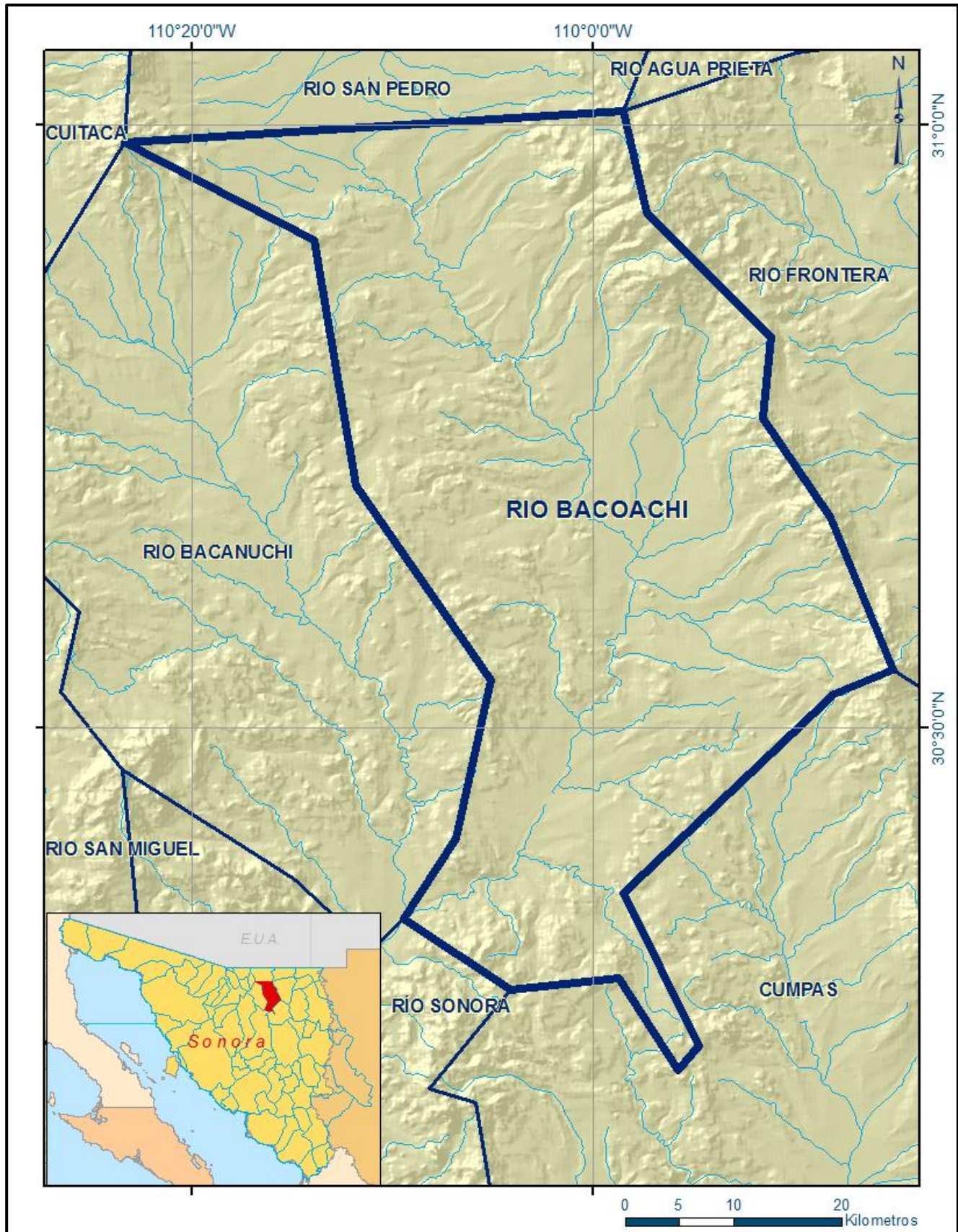


Figura No. 1. Localización del acuífero Río Bacoachi

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

Tabla 1 Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2627 RIO BACOACHI						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	55	45.7	30	12	56.2
2	109	58	44.9	30	17	32.8
3	110	4	5.6	30	16	55.8
4	110	9	25.0	30	20	27.8
5	110	6	50.7	30	24	27.2
6	110	5	5.9	30	32	20.4
7	110	11	49.0	30	42	2.4
8	110	13	55.0	30	54	16.8
9	110	23	21.1	30	59	6.8
10	109	58	27.6	31	0	39.8
11	109	57	19.6	30	55	37.4
12	109	51	8.7	30	49	26.1
13	109	51	32.7	30	45	24.2
14	109	48	12.2	30	40	29.4
15	109	45	2.7	30	32	52.1
16	109	48	1.0	30	31	39.8
17	109	58	30.3	30	21	45.1
18	109	54	43.3	30	14	9.4
1	109	55	45.7	30	12	56.2

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Río Bacoachi pertenece al Organismo de Cuenca “Noroeste”. La mayoría del territorio que cubre el acuífero está cubierto por dos decretos de veda. El primero rige en la porción oriental y es el *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en diversos municipios del estado de Sonora”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 24 de septiembre de 1984. El segundo rige en la porción occidental del acuífero y es el *“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 (DOF) el 2 de junio de 1967. Ambas vedas son tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos solo permite extracciones para uso doméstico.

Los extremos noreste y sureste de la superficie del acuífero no están regidos por ningún decreto de veda.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2010), el municipio de Cananea se encuentra en la zona de disponibilidad 4, el municipio de Arizpe en la zona 6 y los municipios Bacoachi y Fronteras en zona 7. El usuario principal del agua subterránea es el industrial (Compañía Minera Mexicana de Cananea, S.A. de C.V). En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna; ni tampoco se ha constituido, hasta la fecha, Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado varios estudios hidrogeológicos, algunos de cobertura regional. Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DE LOS VALLES DE LOS RÍOS SAN MIGUEL, SONORA, ZANJÓN, BACOACHI Y MÁTAPE, SONORA, elaborado por la empresa Ariel Construcciones, S.A., para la Dirección de Aguas Subterráneas de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), en 1970. Entre sus conclusiones más importantes destaca que las corrientes de los ríos Sonora, San Miguel y Bacoachi presentan escurrimiento durante todo el año, aunque en algunos tramos se pierde por infiltración; el conglomerado Báucarit es el principal acuífero de la región, funciona de manera general como acuífero libre y sólo cuando presenta interdigitaciones de lentes de arcillas adquiere un carácter semiconfinado. Los volúmenes medidos fueron del orden de los 221.1 millones de m³, de los cuales 168.5 correspondieron a las avenidas que se presentaron durante la temporada de lluvias. Recomendó aumentar el número de estaciones hidrométricas, la precisión y continuidad de la toma de datos, así como la construcción de secciones geofísicas perpendiculares a los cauces de los ríos Sonora, Zanjón y San Miguel.

ESTUDIOS GEOELÉCTRICOS EN DIVERSAS ZONAS DEL ESTADO DE SONORA, elaborado por la empresa Ingeniería y Desarrollo, S.A., para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), en 1974. Aporta información de perfiles geoeléctricos, la mayoría de ellos perpendiculares al Río Sonora, localizados desde Mazocahui hasta Cananea.

ATLAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y RED DE MONITOREO DEL ESTADO DE SONORA. UNIVERSIDAD DE SONORA, elaborado para la Comisión Nacional del Agua, en 2005. El estudio consistió en establecer una red de monitoreo piezométrico para cada acuífero que se encuentra bajo la administración de la Gerencia Regional Noroeste, que incluye la totalidad del estado de Sonora y parte del Estado de Chihuahua. A parte de planos temáticos (clima, precipitación, temperatura, geomorfología, vegetación, etc.), se incluyen planos de configuración del nivel estático. Constituye una buena obra de consulta general de los acuíferos.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LAS SUBCUENCAS DE LOS RÍOS SONORA, ZANJÓN, SAN MIGUEL, MESA DEL SERI-LA VICTORIA Y CUENCA BACOACHITO, elaborado por la

Universidad de Sonora, para la Comisión Estatal del Agua (CEA) de Sonora, en 2005. Mediante actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, ejecución de sondeos geofísicos y estimación de parámetros hidráulicos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual que reciben los acuíferos. Adicionalmente, se recabaron muestras de agua subterránea para su análisis fisicoquímico correspondiente. Recomienda realizar al prospección geofísica y directa para conocer el potencial de las rocas fracturadas y en la zona cercana a Hermosillo intensificar el monitoreo hidrodinámico e hidrogeoquímico.

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

3. FISIOGRAFIA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de INEGI (1989), el área cubierta por el acuífero se ubicada fisiográficamente en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, Subprovincia de Sierras y Valles del Norte. Esta región está formada principalmente por sierras entre las cuales se localizan amplios valles paralelos con orientación norte-sur. La altitud de los sistemas montañosos decrece hacia el sur, de tal forma que en la sierra Los Ajos, ubicada al Este de Cananea, se localiza la mayor altitud, con 2 620 msnm; al norte de Mazocahui gran parte de las elevaciones exceden los 1,000 msnm, mientras que al Sur de esta población la mayoría de las cimas presentan una altitud menor.

En las sierras dominan las rocas volcánicas ácidas; sin embargo, un cuerpo ígneo intrusivo aflora desde la sierra Los Locos hasta Mazatán y Nácori Grande, pasando por Mazocahui. En los valles abundan los materiales sedimentarios continentales (conglomerados del Terciario). Al Oeste fluyen los ríos San Miguel de Horcasitas y Sonora y al Este los ríos Moctezuma y Bavispe, ambos afluentes del Río Yaqui.

Los rasgos del drenaje de la cuenca del Río Sonora son principalmente de tipo subsecuente y consecuente, el primero predomina en las cuencas alta y media con un sistema de drenaje rectangular y enrejado en la cuenca media.

3.2. Clima

De acuerdo a la clasificación utilizada por Köeppen, modificado por E. García (1964), en la región domina el tipo de clima BS1 Kw(x'), semiseco, templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18 °C, la del mes más frío entre 3 y 1 °C, con régimen de lluvia de verano con porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2 con respecto al anual.

En la región Sur del acuífero domina el clima BSohw(x'), seco, semicálido con invierno fresco, temperatura media anual mayor de 18 °C, la del mes más frío menor de 18 °C, con régimen de lluvias en verano con porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2 con respecto al anual.

Para el análisis climatológico, se consideró la información de dos estaciones climatológicas: Cananea y Arizpe, que se localizan en las inmediaciones del acuífero. El periodo de tiempo utilizado para este análisis comprende de 1964 a 2004.

De acuerdo con los registros de las estaciones climatológicas mencionadas, la temperatura media anual es de 18.2 °C, con valor mínimo de 15.5 y máximo de 20.9 °C. Los meses en que se presentan los valores más altos de temperatura son junio, julio y agosto; en tanto que de diciembre a enero se registran las temperaturas más bajas.

La precipitación media anual en las estaciones antes citadas es 607.4 y 432.1, respectivamente. Su valor promedio anual para todo el acuífero es de 550 mm. Los promedios mensuales de precipitación muestran que de acuerdo al inicio del año hidrológico, que principia en el mes de julio, al igual que la temporada de lluvias, los meses más lluviosos son julio, agosto y septiembre, con valor máximo de 284.1 registrados en la estación Cananea. La lluvia que se presenta en la zona está bien distribuida geográficamente y las cantidades precipitadas representan una recarga significativa para la alimentación de los acuíferos.

Con respecto a la evaporación potencial media, su valor es de 2180 mm (considerando el promedio aritmético de las estaciones antes mencionadas). La evaporación potencial ésta determinada básicamente por los parámetros de temperatura y precipitación: la evaporación aumenta conforme aumenta la temperatura, y conforme se incrementa la altura del terreno disminuye la evaporación y aumenta la precipitación.

Del análisis efectuado se desprende que la evaporación potencial es mayor que la precipitación y por lo tanto no existe una recarga efectiva hacia el acuífero. Esto ocasiona que no existan excedentes de agua en la zona; por el contrario, es importante el déficit que se registra.

3.3. Hidrografía

El acuífero Río Bacoachi se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 9 "Sonora Sur", dentro de la cuenca del Río Sonora, subcuenca del Río Bacoachi. Su corriente principal es el río Sonora, que tiene un área de captación de 1828 km² hasta el límite Sur del acuífero, en la población de Arizpe. Nace a la altura de Cananea y presenta escurrimientos la mayor parte del año en algunos lugares, como en la zona norte de la región de Bacoachi, para desaparecer en otros.

En los lugares en que el gasto del río se mantiene casi todo el año se tiene la presencia de manantiales de bajo caudal. Hacia la parte de final de la cuenca, en la población de Buena Vista, el río mantiene un régimen intermitente, que escurre sólo en época de lluvias, mantiene un rumbo NW-SE, paralelo al río Bacanuchi, hasta llegar a la población de Bacoachi, ubicada en la parte central de la subcuenca, donde cambia el rumbo a NE-SW hasta la población de Buena Vista. A 2 km al Norte de la población de Arizpe, se une con el río Bacanuchi, en el límite con el acuífero Río Sonora.

El drenaje es de tipo detrítico y los almacenamientos de agua superficial principales son las presas de jales ubicadas al SE de la ciudad de Cananea, el resto de los almacenamientos superficiales son represas.

Por correlación con los gastos medios diarios registrados en la estación hidrométrica El Orégano, en el municipio de Hermosillo, se concluye que durante los meses de julio, agosto y septiembre se presentan los máximos gastos en el Río Sonora, en tanto que el periodo de estiaje se presenta en los meses de abril, mayo y junio principalmente.

3.4. Geomorfología

Según la carta de Unidades Geomorfológicas de México (Lugo Hubp *et al.*, 1990) el acuífero se ubica dentro de las Provincias Sierras Sepultadas de Sonora, Sierras y Valles y Sierra Madre Occidental; dentro de esta última, en las Subprovincias de Planicies y Montañas Residuales y Sierras Volcánicas Paralelas.

La región se encuentra ubicada en la vertiente del pacífico y está drenada por corrientes intermitentes dispuestas en patrones de drenaje integrado. Los valles presentan una etapa de rejuvenecimiento, evidenciado por la erosión de los depósitos del Paleógeno-Neógeno y la presencia de terrazas aluviales recientes.

4. GEOLOGIA

En el área del acuífero afloran rocas cuyo registro estratigráfico abarca desde el Precámbrico hasta el Reciente (figura 2). El Precámbrico está representado por rocas metamórficas constituidas por esquistos y gneis. El Paleozoico es representado por secuencias de calizas y areniscas depositadas del Pérmico al Devónico.

Afloran también rocas mesozoicas constituidas por secuencias de calizas, areniscas y lutitas, rocas intrusivas granodioríticas y graníticas, así como rocas volcánicas riolíticas, andesíticas y tobas ácidas. El Terciario está representado por rocas intrusivas graníticas y granodioríticas, rocas volcánicas andesíticas e ignimbríticas así como rocas sedimentarias conglomeráticas de la Formación Báucarit.

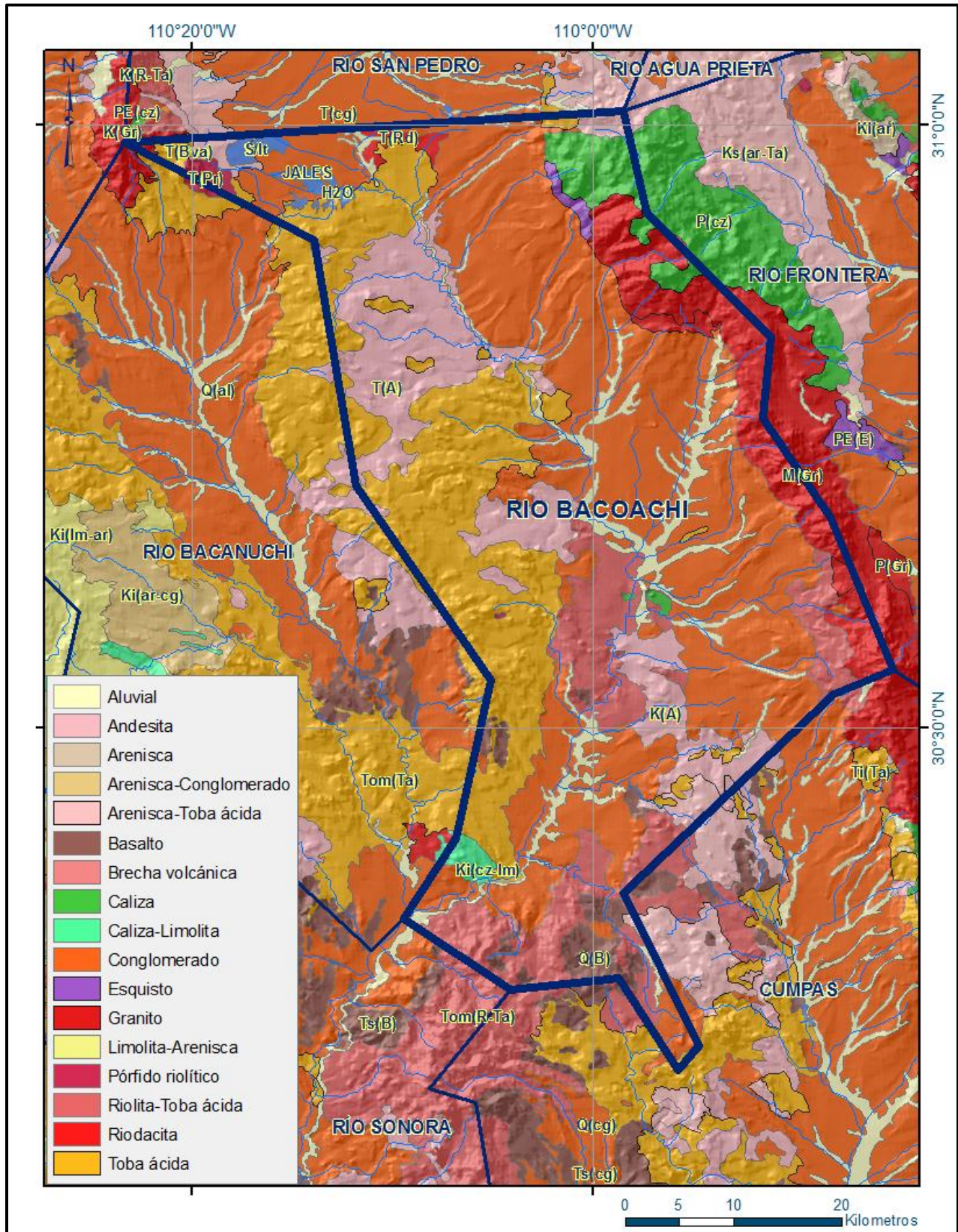


Figura 2. Plano Geológico del acuífero Río Bacoachi

4.1. Estratigrafía

La secuencia de rocas expuestas en la región se menciona a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente:

Precámbrico

Dentro del área de estudio afloran rocas precámbricas metamórficas constituidas principalmente por esquistos micáceos, filitas, anfibolitas, cuarcitas, mármol y gneis. En el flanco suroeste de las sierras Los Ajos, estas rocas presentan una textura esquistosa lepidoblástica con muscovita, cuarzo, sillimanita, clorita, epidota, zircón, pirita y hematita, representando un metamorfismo regional de facies de esquistos verdes.

El Precámbrico Medio está representado por un complejo ígneo metamórfico (granito porfídico, gneis milonítico, augengneis milonítico) correlacionable con el Precámbrico del complejo Bámori. Este complejo aflora en el flanco suroeste de Sierra Los Ajos, al NE del Poblado de Bacoachi.

Paleozoico

El Paleozoico en el área se encuentra representado por una secuencia detrítico-carbonatada que fue depositada en un ambiente de plataforma somera, cuyas edades varían del Devónico al Pérmico. Esta secuencia de calizas y areniscas aflora principalmente en el flanco noroeste de la sierra Los Ajos, al este de Cananea y en menor proporción al sur del poblado de Bacoachi.

Mesozoico

El Mesozoico de Sonora se representa por una secuencia marina, con depósitos zoneados calcáreos, arcillo-calcáreos y arcillo-arenosos y otra continental areno-conglomerática. Afloran también rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida a intermedia.

Jurásico

Está representado por escasos afloramientos de andesitas y areniscas que afloran en el flanco oeste de la sierra Los Ajos, en el cerro La nevada y al sur del poblado de Bacoachi.

Cretácico

El Cretácico Inferior está representado por una secuencia de calizas y lutitas que afloran en el extremo noreste del acuífero en la sierra los Ajos, al este de la población de Cananea y hacia el suroeste de la población de Chinapa. También aflora una secuencia de areniscas y calizas al sur de Bacoachi.

El Cretácico Superior aflora ampliamente en el área del acuífero y está representado por secuencias de andesitas y tobas ácidas en el flanco suroeste de la sierra Los Ajos, al sureste de la población de Bacoachi. Una secuencia volcánica de riolitas y tobas riolíticas afloran en el flanco oeste de la sierra

Los Ajos, así como una secuencia vulcanosedimentaria de andesitas y areniscas que afloran ampliamente al sur y al este de la población de Bacoachi.

Del Cretácico Superior al Paleógeno la región de la cuenca del río Sonora fue el escenario de una profunda actividad magmática, actualmente representada por una serie de rocas ígneas de composición granítica. En el área de estudio se separaron dos grandes cuerpos: uno compuesto por granito con textura hipidiomórfica, holocristalina con cuarzo, microclina y ortoclasa (PeGr) de edad Eoceno (Carta Geológica del Consejo de Recursos Minerales, 2002), que aflora al W de Aconchi; el otro cuerpo de composición granítica (granitos, granodioritas y dioritas) afloran en la sierra Buenos Aires, al este de la población de Bacoachi.

Paleógeno

El Paleógeno inicia con una serie de eventos vulcano-plutónicos según Rangin (1978), en la región centro-noreste de Sonora, cuya alineación es NNO–SSE, abarcando desde Cananea a Nacozari. Estos afloramientos de rocas del paleógeno abarcan más de dos terceras partes del área de estudio y están constituidos principalmente por rocas volcánicas como riolitas, ignimbritas, andesitas y rocas plutónicas, que corresponden a monzogranitos o pórfidos monzoníticos, que representan una menor proporción con respecto al resto de las rocas cenozoicas. Dumble (1900) y King (1939) reportan rocas sedimentarias clásticas que afloran a lo largo de toda la cuenca del río Sonora y corresponde a conglomerados polimícticos, en algunos lugares afloran areniscas del mismo evento que pertenecen a la parte distal del abanico aluvial.

Cuaternario

Estas secuencias corresponden a depósitos aluviales de granulometría y composición sumamente diversas. Su granulometría varía de acuerdo a la cercanía o lejanía de la roca madre. Son importantes las franjas de piamonte, constituidas de gravas, arenas y limos, que bordean las montañas altas y medias. Las amplias planicies aluviales de las porciones central y occidental están constituidas por este tipo de depósitos; en ellas se han desarrollado terrazas aluviales ocasionadas por eventuales rejuvenecimientos. Estas secuencias de sedimentos afloran en las partes bajas de los valles, descansando discordantemente sobre rocas más antiguas, pero en mayor proporción sobre rocas terciarias.

4.2. Geología estructural

Gran parte de la morfología de la región presenta patrones geológico estructurales resultantes de la tectónica compresiva y distensiva que han sufrido las rocas a lo largo de su historia geológica, de aquí que la mayoría de los cambios bruscos en la dirección de los principales ríos de la cuenca se deben a grandes fallas y fracturas que siguen los ríos como zonas de debilidad. Una enorme falla normal se presenta desde Ignacio Zaragoza, al suroeste de Agua Prieta, bordeando los costados occidentales de las sierras Los Ajos, Buenos Aires y La Madera, hasta el extremo sur de esta última,

donde termina. Otra de menor longitud se localiza en el Valle de Moctezuma. La zona se caracteriza por un amplio valle intermontano formado entre sierras semiparalelas con alineación NW-SE.

Las estructuras geológicas más sobresalientes se encuentran en las rocas paleozoicas y mesozoicas, corresponden en primer lugar a un gran alto estructural que de manera regional sobresale en todo el noroeste del estado de Sonora que está asociado a la gran intrusión batolítica cretácica que elevó toda la región situada al poniente de la provincia geológica Sierra Madre Occidental. A toda esta región donde afloran estos granitos cretácicos, asociados con rocas calizas paleozoicas, algunos autores se refieren como la “Cuenca Paleozoica de Sonora” (López Ramos, 1979).

El segundo grupo de estructuras más importantes lo conforman los bloques afallados que alineados en cordones montañosos en dirección NW-SE, caen de manera escalonada del continente hacia el Golfo de California como consecuencia del agotamiento de la energía que deformó y levantó estos terrenos y que por el fallamiento de tipo normal esculpió este panorama estructural al acomodarse estos gigantescos bloques por efectos de la gravedad.

El tercer grupo de estructuras, cuya importancia es relativamente menor porque no existe continuidad entre los afloramientos, lo conforman los pliegues de las rocas paleozoicas que son el resultado de los eventos tanto compresivos como distensivos a los que estuvieron sometidas estas rocas antiguas posteriormente a su depósito.

4.3. Geología del subsuelo

Con base en los resultados del análisis de la geología del subsuelo: descripción de cortes litológicos; interpretación de sondeos geofísicos de estudios previos, análisis hidrogeomorfológico, hidrología superficial y la interpretación de pruebas de bombeo, entre otros, es posible establecer la presencia de un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes arcillosos, conformado por un medio granular, hacia la parte superior, y otro fracturado subyacente.

El medio granular está constituido por depósitos aluviales y conglomerados de permeabilidad media que conforman el acuífero regional que actualmente se explota, cuyo espesor alcanza los 100 m. El medio fracturado está formado por rocas sedimentarias y volcánicas cretácicas (calizas, tobas y riolitas) así como rocas volcánicas terciarias (riolitas y andesitas), que afloran al este, oeste y sur del acuífero, conformando las sierras que lo delimitan.

La permeabilidad que presentan estas rocas es media a baja. Las fronteras inferiores y laterales están constituidas por las rocas graníticas y riolíticas, así como las rocas volcánicas cuando su permeabilidad por fracturamiento desaparece.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas, es posible definir la presencia de un acuífero heterogéneo y anisotrópico, de **tipo libre** que presenta condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes de sedimentos arcillosos. Está conformado, en porción superior, por depósitos aluviales y conglomerados; y en su porción inferior por rocas sedimentarias y volcánicas fracturadas, que en conjunto presenta un espesor promedio de 130 m. Considerando las posibilidades de las rocas de contener agua, se determinaron dos grupos: consolidados y no consolidados.

Material consolidado con posibilidades bajas: Se constituye por rocas ígneas, sedimentarias, vulcanosedimentarias y metamórficas, que conforman la zona montañosa. Presentan características no favorables para conformar acuíferos, debido a que la gran mayoría de los cuerpos rocosos son impermeables o de muy baja permeabilidad.

Material no consolidado con posibilidades bajas: Está constituido por un conglomerado polimíctico, con fragmentos redondeados, incluidos en una matriz arcillo-arenosa ligeramente cementada; los clastos son derivados de rocas volcánicas ácidas y básicas y algunas sedimentarias. Sobreyacen en forma discordante a rocas riolíticas y tobas ácidas impermeables así como también a rocas intrusivas y sedimentarias. Presentan baja permeabilidad y la ausencia de obras de captación confirma la inexistencia de acumulación del agua subterránea económicamente explotable.

Material no consolidado con posibilidades medias: Constituido por conglomerados del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario, ocasionalmente intercalados con basaltos. Los fragmentos varían en tamaño desde cantos rodados hasta limos y arcillas que rellenan las depresiones de estos lugares, los materiales son de composición variable, en ocasiones cementados. Presenta permeabilidad media a alta y constituyen acuíferos de tipo libre. En esta unidad se localizan norias en las que la profundidad al nivel estático varía de 3 a 8 m.

Material no consolidado con posibilidades altas: Está constituido por conglomerados semiconsolidados del Paleógeno-Neógeno y Pliocuaternalio, así como aluviones, depósitos eólicos y de piedemonte que se encuentran en cuencas vecinas y en los depósitos próximos al río Bacoachi. Presenta permeabilidad media a alta.

5.2. Parámetros hidráulicos

De acuerdo con los resultados de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas como parte del estudio llevado a cabo en el año 1970, los valores de transmisividad varían de **10.0 a 50.0 x 10⁻³**

m²/s. Ninguna de ellas contaron con pozos de observación, por lo que no fue posible estimar el coeficiente de almacenamiento ni el rendimiento específico.

Adicionalmente, por correlación hidrogeológica con los acuíferos vecinos Bacanuchi, Río San Pedro, Río Frontera, Cumpas y Cocóspera, que presentan la misma litología y evolución geológica, es posible adoptar valores de transmisividad que varían de **0.2 a 5.1 x 10⁻³ m²/s**, para el medio granular, y de **6.6 a 11.6 10⁻³ m²/s** para el medio fracturado. Los valores de conductividad hidráulica varían de **0.02 a 6.1 m/d** (2.3 X10⁻⁷ a 7.1 X10⁻⁵ m/s).

5.3. Piezometría

Únicamente se cuenta con información piezométrica para el periodo 2004-2005, con la que se elaboraron las configuraciones correspondientes. Debido a que los niveles del agua no muestran variaciones significativas para estos años, sólo se describe la configuración de profundidad y elevación correspondientes al 2005.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático presenta valores que varían de 1.5 a 26 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía desde el subálveo del río Bacoachi y otros arroyos hacia las laderas de las sierras que delimitan el acuífero (figura 3). Los valores más someros, de 1.5 a 11 m, se presentan en la porción sur del acuífero y los más altos en las inmediaciones de la localidad llamada Setadehuachi.

5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 4, es posible afirmar que los valores de elevación varían gradualmente, al igual de la profundidad, por efecto de la topografía a lo largo del cauce del río Bacoachi (Río Sonora) y arroyos tributarios, conforme se asciende topográficamente desde el cauce hacia las estribaciones de las sierras que conforman el límite del acuífero; desde los 1360 msnm que se registran en la porción norte del acuífero, hasta 900 msnm en el extremo sur.

La dirección preferencial del flujo subterráneo muestra una trayectoria de norte a sur, con alimentaciones laterales que provienen de las sierras circundantes.

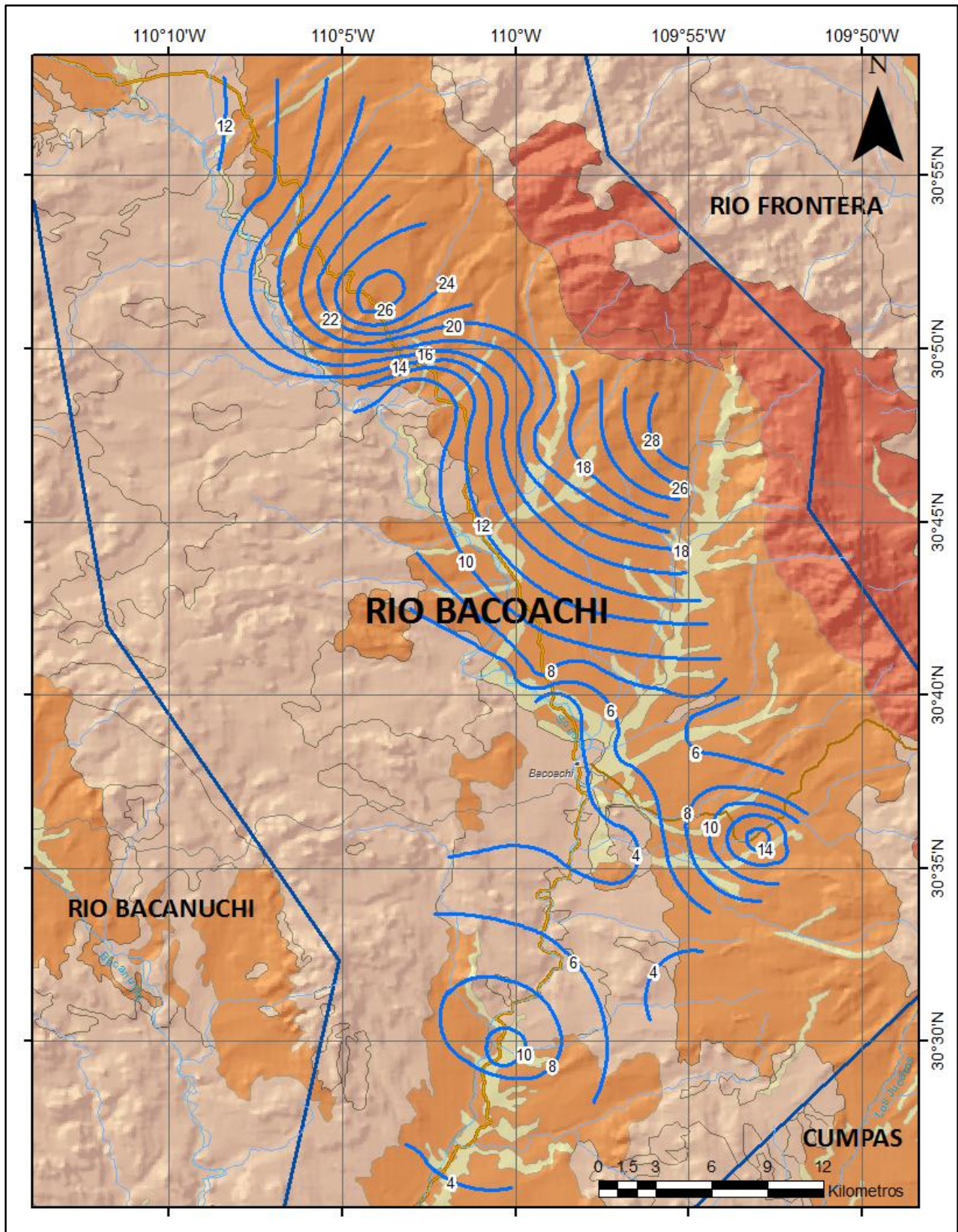


Figura 3. Profundidad al nivel estático en metros (2005)

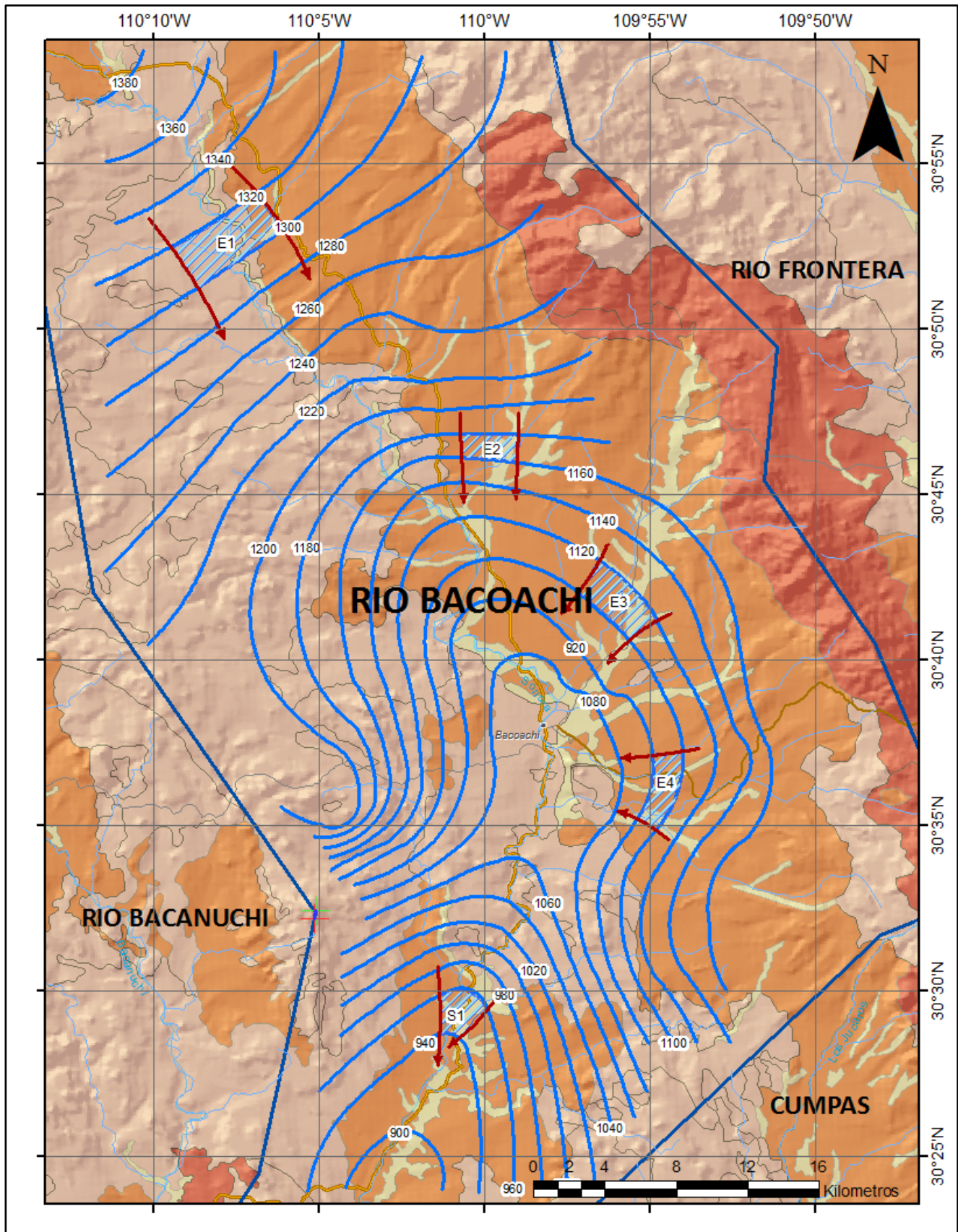


Figura 4. Elevación de nivel estático en msnm (2005)

5.4.3. Evolución del nivel estático

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica suficiente para elaborar una configuración de evolución. Las escasas mediciones piezométricas recabadas para el periodo 2004-2005 reflejan variaciones puntuales tanto positivas como negativas y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático muestra condiciones naturales en el comportamiento del flujo subterráneo que no han sido alteradas por la concentración de pozos y/o del bombeo.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte del estudio realizado en el 2005, se tomaron muestras de agua en 8 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total, elementos traza y sólidos totales disueltos.

Tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 470 a 700 mg/l. En cuanto a la conductividad eléctrica, el agua es dulce, de acuerdo al criterio establecido por la American Potability and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 404 a 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Con respecto a la temperatura del agua muestreada, se registraron valores de 21.5 a 36.2, los más altos posiblemente están asociados a fuentes termales.

Todos los valores de pH en el área de estudio se encuentran entre los Límites Máximos Permisibles, de 6.5 – 8.5, que marca la Norma Oficial Mexicana para el agua destinada al consumo humano, ya que se registran valores de 6.8 a 7.7, que representa agua ligeramente alcalina en la que existe predominio en el contenido de carbonatos, con respecto a los sulfatos. De acuerdo con la clasificación de Piper, la familia de agua predominante es la bicarbonatada sódica, que representa agua de reciente infiltración que ha circulado a través de rocas volcánicas principalmente.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

No existe información reciente procedente del censo e hidrometría de las extracciones, Por esta razón se optó por considerar que la información del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA, 2010), es la más confiable. De acuerdo con ella, existen en el acuífero un total de 353 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 135 son pozos y las 218 restantes norias.

En conjunto el volumen de extracción asciende a **13.9 hm³ anuales**, de los cuales 6.2 hm³ (44.6%) se destinan al uso agrícola, 7.2 más (51.8%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero y los 0.5 hm³ restantes (3.6 %) para dotación de agua potable a las comunidades de la región.

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:

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

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

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

El balance de aguas subterráneas se definió para el periodo 2004-2005, en una superficie de 584 km² que corresponde a la zona donde se localizan los aprovechamientos de agua subterránea. De esta manera la ecuación de balance propuesta para éste acuífero es la siguiente:

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

Donde:

R_v= Recarga vertical;

E_h= Entradas por flujo horizontal;

R_r= Retornos de riego;

B= Bombeo;

S_h= Salidas por flujo horizontal;

ETR= Evapotranspiración real en niveles someros;

ΔV(S)= Cambio en el volumen almacenado;

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R_t) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de

lluvia en el valle, por infiltración a lo largo de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en la redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (Ri). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, sólo se considera la recarga por retornos agrícolas (Rr).

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

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 (1).

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

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

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

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

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2005 (figura 4), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

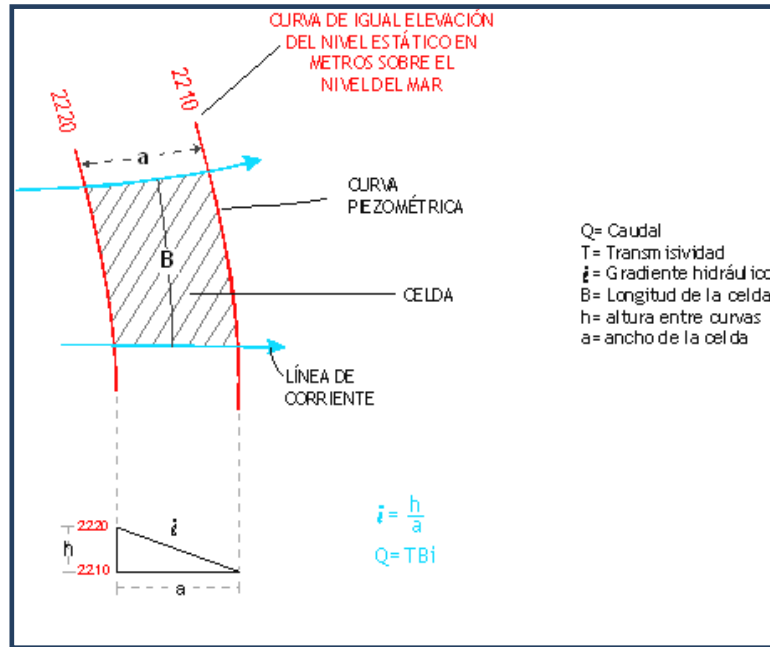
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



Para el cálculo es necesario conocer el espesor saturado del acuífero (b) y su coeficiente de permeabilidad (K), o bien, el valor de transmisividad (T). Los demás datos se obtienen de la piezometría. Las celdas se trazan a partir de la configuración de elevación del nivel estático y la geología, y se calcula el flujo a través de cada una de ellas.

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas fueron tomados de los resultados promedio de las pruebas de bombeo realizadas para la SRH en 1970 (Ariel Construcciones, S.A), así como los provenientes de estudios realizados en los acuíferos vecinos Río San Pedro, Río Frontera y Cumpas; adaptados al espesor saturado del acuífero en las celdas de flujo definidas.

De acuerdo con la configuración de la elevación nivel estático para el año 2005, mostrada en la figura 4, las entradas se localizan sobre el cauce del Río Sonoras y los principales arroyos tributarios. El cálculo del flujo en las celdas de entradas se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	5,900	2,500	20	0.0080	0.003	0.1416	4.5
E2	3,200	1,360	20	0.0147	0.003	0.1412	4.4
E3	4,100	2,050	20	0.0098	0.003	0.1200	3.8
E4	3,640	1,820	20	0.0110	0.003	0.1200	3.8
Total entradas							16.5

El volumen total de entradas por flujo subterráneo se estima en **16.5 hm³ anuales**.

7.1.3. Retornos de riego (Rr)

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

Para este caso, se consideró que un 30 % de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, tomando una profundidad media al nivel del agua subterránea de 10 m en la zona agrícola. De esta manera, si el volumen de extracción para uso agrícola es de 6.2 hm^3 anuales, la recarga inducida por retornos de riego es **$R_r = 1.9 \text{ hm}^3$ anuales.**

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) y evapotranspiración (ETR) en zonas con niveles someros. No existen manantiales ni descarga por flujo base.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **$13.9 \text{ hm}^3/\text{año}$.**

7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático mostrada en la figura 4, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas subterráneas

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	$T (\text{m}^2/\text{s})$	CAUDAL (m^3/s)	VOLUMEN ($\text{hm}^3/\text{año}$)
S1	2,500	1,820	20	0.0110	0.003	0.08	2.6

El volumen total de salidas por flujo subterráneo asciende a **2.6 hm^3 anuales.**

7.2.3. Evapotranspiración (ETR)

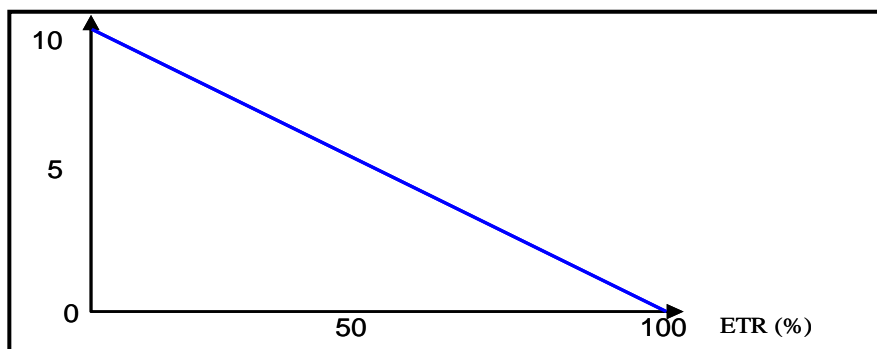
Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del

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) es un parámetro utilizado para la recarga potencial de infiltración. Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación, considerando los valores medios anuales de temperatura = 18.2 °C y precipitación= 550 mm. La lámina de ETR que se obtiene es de 508.2 mm.

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	18.2		
P(mm) =	550	P ² =	302500
L =	1056.4284	L ² =	1116040.96
ETR (mm)	508.2		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Si consideramos que en una superficie de 75 km² a lo largo del Río Sonora (entre Unamichi, Bacoachi y Buenavista) se registran niveles freáticos someros, con cobertura vegetal cuyas raíces son suficientemente largas y susceptibles de evapotranspirar, en la que la profundidad promedio al nivel

del agua subterránea es de 6 m y una lámina de evapotranspiración real obtenida es de 508.2 mm, de acuerdo con la gráfica anterior: $ETR = 75 \text{ km}^2 (0.5082 \text{ m}) (0.4) = 15.2$. Por lo que **ETR = 15.2 hm³ anuales**.

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica suficiente para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Las escasas mediciones piezométricas recabadas para el periodo 2004-2005 registran valores puntuales tanto positivos como negativos en una pequeña superficie del acuífero y no muestra alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento, que pudieran ser causadas por la concentración del bombeo y/o de aprovechamientos.

Por ello se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por lo tanto **$\Delta V(S) = 0$** .

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 vertical (R_v), por lo que mediante la ecuación (2), se tiene:

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

$$R_v = 13.9 + 2.6 + 15.2 \pm 0.0 - 16.5 - 1.9$$

$$R_v = 13.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R_t = R_v + Eh + R_r$$

$$R_t = 13.3 + 16.5 + 1.9$$

$$R_t = 31.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la siguiente expresión:

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

Donde:

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

Rt= Recarga total media anual;

DNCOM= Descarga natural comprometida;

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

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **31.7 hm³/año**, de los cuales 29.8 corresponden a la recarga natural y los 1.9 hm³ restantes a la inducida.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos 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 particular, se considera un volumen de descarga natural comprometida de **7.6 hm³ anuales**, que corresponden al 50 % de la evapotranspiración que deben preservarse para proteger el ecosistema ribereño del cauce del río Sonora. No se considera comprometida la salida subterránea porque la zona en donde fue posible evaluarlas se localiza a 20 km del límite con el acuífero Río Sonora y existe infraestructura hidráulica para su aprovechamiento, con derechos vigentes, en el acuífero Río Bacoachi.

8.3. Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010 es de 13'861,615 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios,

adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

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

$$\text{DAS} = 31.7 - 7.6 - 13.861615$$

$$\text{DAS} = 10.238385 \text{ hm}^3/\text{año}$$

La cifra indica que existe actualmente un volumen disponible de **10'238,385 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

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

Comisión Estatal del Agua (CEA) en Sonora, 2005. Estudio Geohidrológico de las Subcuencas de los Ríos Sonora, Zanjón, San Miguel, Mesa del Seri-La Victoria y Cuenca Bacoachito. Realizado por la Universidad de Sonora.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), Dirección de Aguas Subterráneas, 1970. Estudio de hidrología Superficial de los Valles de los Río San Miguel, Sonora, Zanjón, Bacoachi y Mátape, Sonora. Realizado por la empresa Ariel Construcciones, S.A.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), Dirección de Aguas Subterráneas, 1974. Estudios Geoelectrónicos en Diversas Zonas del Estado de Sonora. Realizado por la empresa Ingeniería y Desarrollo, S.A.