

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Río Sahuaripa (2638),
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							
2638	RÍO SAHUARIPA	45.9	9.5	8.342224	2.0	28.057776	0.000000

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



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

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN
EL ACUÍFERO 2638 RÍO SAHUARIPA, ESTADO DE
SONORA***

México, D.F., Diciembre de 2008

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA	5
3.1. Provincia fisiográfica	5
3.2. Clima	5
3.3. Hidrografía	6
3.4. Geomorfología	6
4. GEOLOGÍA	7
4.1. Estratigrafía.....	7
4.2. Geología estructural	10
4.3. Geología del subsuelo	10
5. HIDROGEOLOGÍA	11
5.1. Tipo de acuífero	11
5.2. Parámetros hidráulicos	12
5.3. Piezometría.....	12
5.4. Comportamiento hidráulico	12
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	12
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	13
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	14
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	15
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
7.1. Entradas.....	17
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	18
7.1.2. Retornos de riego (Rr)	18
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	18
7.2. Salidas	20
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)	20
7.2.2. Bombeo (B).....	21
7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	21
7.2.4. Descarga por manantiales (Dm).....	22
7.3. Cambio de almacenamiento (ΔVS)	22
8. DISPONIBILIDAD	23
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	23
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	23
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	24
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).....	24
9. BIBLIOGRAFÍA.....	25

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 Sahuaripa, definido con la clave 2638 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza al este de la Ciudad de Hermosillo, a una distancia aproximada en línea recta de 170 km, entre las coordenadas 109° 09' y 109° 13' de longitud oeste, 28° 50' y 29° 27' de latitud norte. El acuífero se ubica dentro la Cuenca Río Yaqui, cubriendo una superficie 2958 km².

Colinda al norte con los acuíferos Nacori Chico y Río Moctezuma, al este con el acuífero Yécora, al sur con Río Chico, mientras que al oeste con el acuífero Bacanora, todos ellos del estado de Sonora (figura 1).

La mayor parte del acuífero se localiza dentro del municipio de Sahuaripa, una pequeña porción al poniente se encuentra dentro del municipio de Bacanora y otra pequeña porción del sur pertenece al municipio de Yécora.

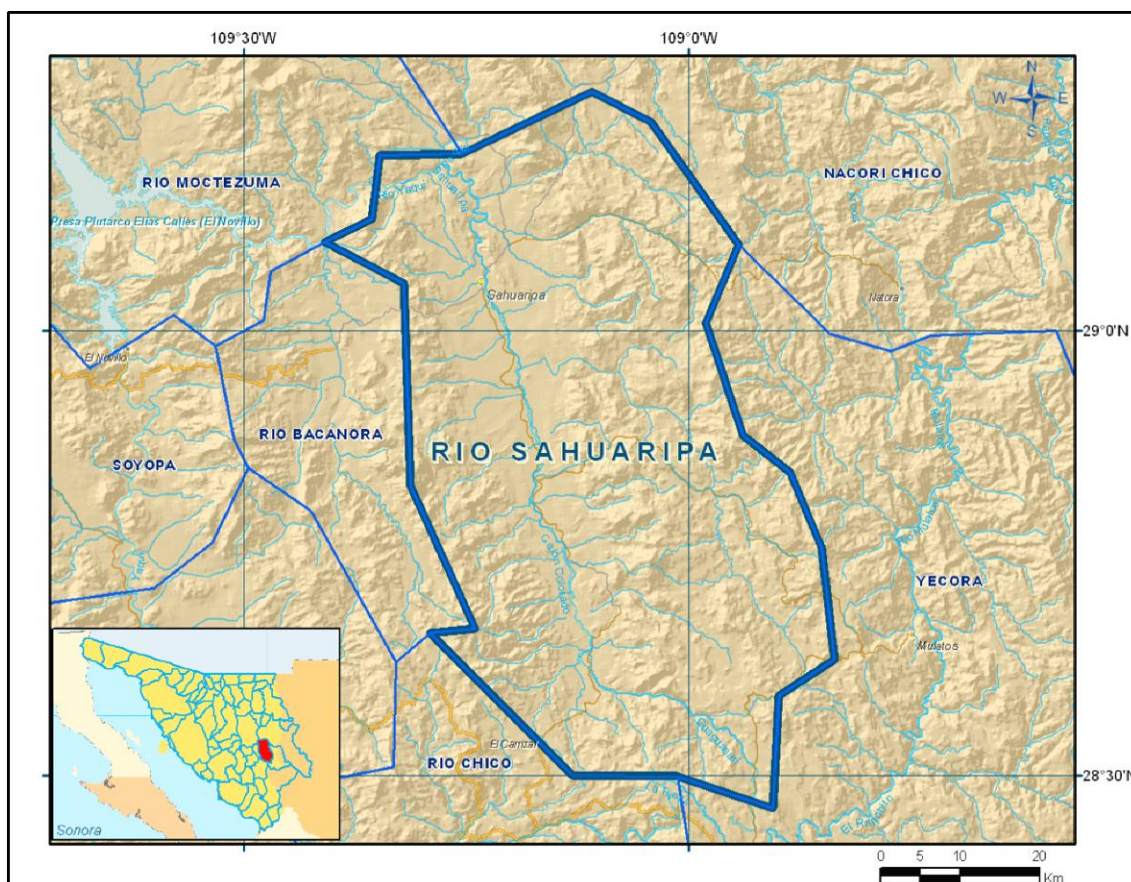


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2638 RIO SAHUARIPA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	2	32.7	29	14	4.0
2	108	56	37.9	29	5	49.6
3	108	58	52.5	29	0	32.3
4	108	56	22.0	28	52	56.9
5	108	53	8.6	28	50	26.9
6	108	51	0.6	28	45	22.0
7	108	50	9.7	28	37	50.2
8	108	53	56.7	28	35	25.8
9	108	54	18.8	28	27	48.3
10	109	0	45.9	28	29	57.4
11	109	7	50.6	28	30	1.0
12	109	17	25.9	28	39	39.3
13	109	14	24.6	28	39	56.6
14	109	18	46.9	28	49	32.3
15	109	19	12.1	29	3	13.5
16	109	24	33.9	29	5	59.4
17	109	21	22.9	29	7	31.0
18	109	20	52.7	29	11	48.6
19	109	15	18.4	29	11	55.5
20	109	6	33.4	29	16	7.8
1	109	2	32.7	29	14	4.0

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Río Sahuaripa pertenece al Organismo de Cuenca II Noroeste. Dentro de los límites del acuífero no existen disposiciones de decretos de veda.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008, el municipio de Sahuaripa se localiza en zona de disponibilidad 7. En el acuífero no se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero se encuentra dentro de los límites del Consejo de Cuenca (4) Ríos Yaqui y Mátape, instalado el 30 de agosto de 2000.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la región que comprende el territorio que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOFÍSICO GEOHIDROLÓGICO DE LAS UNIDADES DE RIEGO EL RANCHITO, LA MESITA DE CUAJARI, SANTO TOMÁS, SEHUADEHUACHI, LAS CAMPEÑAS Y PRESIDENCIA MUNICIPAL, MUNICIPIO DE SAHUARIPA, SONORA, elaborado por Morales M.M., en 2003. El estudio destaca que la recarga al acuífero en la zona proviene básicamente de los escurrimientos del Río Sahuaripa. Se menciona la presencia de sedimentos lacustres de espesores potentes y una calidad química del agua subterránea que se ha visto deteriorada por las descargas de sistemas de drenajes al río. El basamento geohidrológico corresponde a rocas sedimentarias del Mesozoico, mientras que los materiales favorables para almacenamiento de agua corresponden a depósitos de acarreo y relleno fluvial (gravas, arenas y limos) depositados sobre la subcuenca del Río Sahuaripa.

ATLAS ESTATAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ESTADO DE SONORA, elaborado por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), en 2006. En este documento se elaboran, apoyados en mediciones piezométricas de 16 aprovechamientos, configuraciones generalizadas de profundidad y elevación de niveles estáticos, mismas que evidencian un sistema acuífero prácticamente en condiciones iniciales.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO RÍO SAHUARIPA, ESTADO DE SONORA, elaborado bajo convenio de colaboración entre CONAGUA y el Servicio Geológico Mexicano (SGM), en 2007. Su objetivo principal fue elaborar un balance de aguas subterráneas y determinar la disponibilidad media anual de aguas subterráneas. Lo anterior partiendo de la ejecución de un censo total de aprovechamientos hidráulicos, mediciones piezométricas, ejecución de pruebas de bombeo y muestreo de aguas subterráneas y superficiales.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

El área se encuentra ubicada fisiográficamente en la Subprovincia Sierras y Valles Paralelos, dentro de la Provincia Sierra Madre Occidental, según la clasificación de Raisz (1964).

Se observan sierras alargadas conformando grandes bloques fallados con una orientación preferente noroeste-sureste, separadas unas de otras por valles intermontanos. Estas sierras están constituidas por rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas cuyas edades varían del Paleozoico al Reciente.

3.2. Clima

En la zona del acuífero, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García, para las condiciones de nuestro País, de manera general, predomina el clima tipo Subhúmedo Templado, con temperaturas medias anuales de 23.6° C y precipitación promedio anual de 500 a 700 mm. De manera particular existen tres subtipos de climas:

Clima Semicálido. Domina en aproximadamente el 27% de la superficie del acuífero. Su Temperatura media anual varía desde 18 a 22° C.

Clima Semiseco. Abarca un 8 % del área, tiene un régimen de lluvias en verano, su temperatura media anual es mayor de 18° C. La temperatura media del mes más frío varía entre -3 y 18° C, y la precipitación total del mes más seco es menor de 40 mm. El clima semiseco se caracteriza por tener una humedad menor al resto de los climas.

Semicálido Subhúmedo. Se presenta en el 65 % del área del acuífero, con lluvias en verano y de menor humedad. Tiene características similares al clima semiseco, con la diferencia de que en este clima la precipitación media anual varía de 600 a 800 mm.

Los datos de los promedios mensuales y anuales de temperatura y precipitación para el periodo 1942-2007, provienen de 5 estaciones climatológicas ubicadas en la zona. De éstas sólo tres se localizan en el área del acuífero: (Sahuaripa, Arivechi y Guisamopa), mientras que Mulatos y Yécora, se localizan al oriente y sur, respectivamente, pero tienen influencia sobre la superficie que cubre el acuífero.

La temperatura media anual en la zona del acuífero es de 18.7° C y la precipitación media anual de 525 mm.

3.3. Hidrografía

El Acuífero Río Sahuaripa queda comprendido dentro la Región Hidrológica 9 Sonora Sur. Esta región se caracteriza por tener un relieve con fuertes contrastes altimétricos, la mayoría de sus corrientes nacen en la Sierra Madre Occidental. Se encuentra dentro de la Subregión Hidrológica Río Yaqui, enmarcado en la Cuenca del Río Yaqui, Subcuenca Sahuaripa.

La infraestructura hidráulica que se tiene en este acuífero consiste, en su gran mayoría, de obras de captación de agua subterránea, preferentemente de tipo norias, en menor cantidad pozos someros, algunos manantiales y obras de toma directa del Río Sahuaripa. Las norias y pozos someros se utilizan para fines agrícolas, domésticos y pecuarios. Hacia la parte sur del acuífero se localiza la presa “El Cajón de Onapa,” cuyo principal uso es el riego y piscícola.

El Acuífero Río Sahuaripa forma parte de una serie de acuíferos intermontanos ubicados al pie de la Sierra Madre Occidental. Su corriente principal es el Río Sahuaripa, de tipo intermitente y que cruza el área del acuífero prácticamente de sur a norte. Es alimentado por varios arroyos también intermitentes que en su gran mayoría desembocan al río en dirección perpendicular. Al norte se localizan los arroyos Taraises, Chipajora y Otates, en la parte central confluyen los arroyos San Marcos, Los Alisos y Agua Caliente, mientras que al sur se ubican los arroyos El Muerto y Los Pilares.

De manera regional el aprovechamiento más importante cercano a la zona es el Río Mulatos, éste inicia su afluencia desde las inmediaciones del Rancho Las Mesas Coloradas, al sur del poblado Mulatos, aguas abajo se le une el Río Aros, proveniente del vecino Estado de Chihuahua. Es un aprovechamiento de tipo perenne que se junta con el Río Sahuaripa a unos 20 km al noroeste de la ciudad que lleva el mismo nombre, para después verter sus aguas en la Presa Plutarco Elías Calles (El Novillo).

3.4. Geomorfología

En el área la característica geomorfológica más sobresaliente es una sucesión de sierras altas, alargadas de rumbo preferencial noroeste-sureste, separadas por valles rellenos por material clástico derivado de las montañas circundantes. Esta morfología es producto de la última etapa tectónica distensiva iniciada a partir del Paleógeno-Neógeno.

La topografía en los valles es suave, mientras que elevaciones al poniente del área oscilan entre 400 y los 2, 200 msnm. Al sur y oriente del área oscilan rasgos topográficos entre 500 y 1350 msnm; en las sierras la topografía es semiabrupta y abrupta, sobresaliendo en la porción central los cerros Batazote y El Bavisito, con una elevación de 600 y 500 msnm respectivamente. Las llanuras representan aproximadamente el 65% de la superficie total del área, constituidas litológicamente por sedimentos areno arcillosos y conglomeráticos, variando de no consolidados a semiconsolidados.

4. GEOLOGÍA

El área donde se enmarca el Acuífero Sahuaripa presenta un contexto geológico variado, afloran rocas cuyas edades varían desde el Precámbrico hasta el Reciente (figura 2).

4.1. Estratigrafía

A continuación se hace una breve descripción de las unidades geológicas en la zona del acuífero.

Rocas Precámbricas

Afloran en la porción oriental del área, se trata de limolitas, dolomías, arenisca de cuarzo, caliza y en menor proporción conglomerado y lutita. Esta secuencia se encuentra en contacto tectónico, cabalgando a las secuencias volcanosedimentarias cretácica y jurásica (formaciones Karachi y Tarahumara), además de rocas sedimentarias marinas del Grupo Bisbee. Está cubierta por tobas riolíticas y riolitas del Oligoceno y se encuentra afectada por el intrusivo regional laramídico de composición granítica-granodiorita. Le fue asignada una edad Precámbrico Superior con base en las estructuras de algas oncolíticas en la unidad calcárea.

Rocas Paleozoicas

En el área estas secuencias han sido reconocidas al oriente y poniente del Valle de Tacupeto, asimismo se consideran como continuación de sedimentación de la secuencia precámbrica, sufriendo durante el Paleozoico un hundimiento lento e ininterrumpido hasta el Pennsylvánico. Estas rocas consisten de una potente secuencia de calizas, lutitas y areniscas, con algunos afloramientos de cuarcita, esquistos, pizarras, metacalizas y metareniscas. Se presentan en la base de la secuencia paleozoica y se les ha considerado de edad Cámbrico, aunque podría ser más antigua y se incluyen dentro del paquete del Paleozoico Inferior.

Una secuencia paleozoica inferior aflora al poniente de Arivechi y se trata de lutitas negras y calizas, afectadas por grandes cuerpos intrusivos de composición granítica-granodiorítica. Asimismo se encuentra en contacto tectónico por cabalgadura con las rocas volcanosedimentarias del Cretácico Superior. Otra secuencia carbonatada aflora al poniente de Arivechi, se trata de calizas de plataforma, fosilíferas con corales, crinoides y fusilínidos, textura de mudstone y packstone con intercalaciones de arenisca, lutita y calcoarenita; intemperiza en color amarillo ocre y rojizo. El espesor varía desde centímetros hacia la base hasta la decena de metros hacia la cima.

Rocas Mesozoicas (Triásico)

Consisten de un conjunto de rocas sedimentarias representadas por lutitas, areniscas y conglomerados, denominado Grupo Barranca, que afloran en la región de “El Encinal”, al suroeste del área. Son correlacionables a escala regional con el miembro superior que aflora en la Sierra La Flojera, al noroeste de Hermosillo, y con las rocas del Triásico Superior de la región de San Marcial, al sureste de San José de Moradillas.

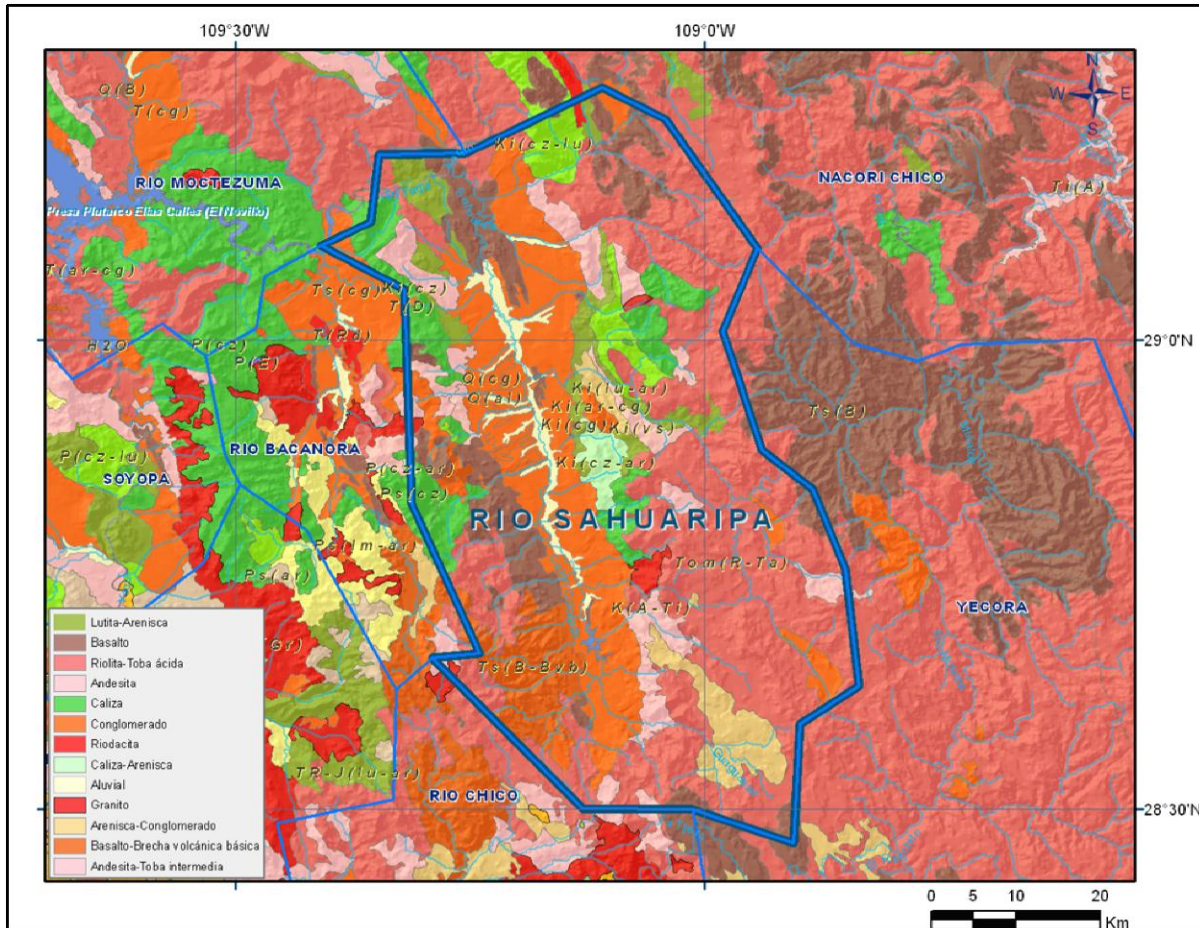


Figura 2. Mapa Geológico

Jurásico

Tres unidades del Jurásico superior se encuentran expuestas en la porción centro del área, una representada por rocas volcanosedimentarias deformadas, la segunda es una secuencia de lutitas y areniscas, y la tercera es un conglomerado polimítico.

Cretácico

Está representado por el grupo Bisbee (Ki Lu-Ar, Kapa Lu-Ar)., Sus afloramientos dentro del área se localizan en la porción centro- norte, al oriente de Arivechi, forman parte de los cerros Las Conchas, el Bavisito, el Mezquite, El Lecho, El Colorado y El Volantín. La secuencia está siendo cabalgada por rocas sedimentarias paleozoicas y precámbricas, se encuentra sobreyaciendo al Conglomerado Glance y a la secuencia volcanosedimentaria del Jurásico Superior, la sobreyacen conglomerados y basaltos Paleógeno-Neógenos, localmente se encuentra afectada por cuerpos ígneos intrusivos.

Complejo Volcánico Superior

Representado en la zona por la Formación Tarahumara, consiste de rocas volcánicas de composición andesítica, dacítica y volcanosedimentaria, que se distribuyen ampliamente. Dentro de ella se incluyen a secuencias volcánicas y vulcanoclásticas de la misma edad y aún más jóvenes del

Eoceno-Oligoceno. Su espesor supera los 1000 m, sobreyacen discordantemente y por contacto tectónico a rocas paleozoicas. En la región de Arivechi son cabalgadas por sedimentos precámbricos y en contacto por falla normal con la secuencia vulcanosedimentaria jurásica.

Rocas Cretácico Superior a Paleógeno

Se trata del Batolito Laramide de Sonora, es un granito de color blanco grisáceo, de textura fanerítica, generalmente de grano medio y constituido esencialmente por cristales de plagioclasa sódica, feldespatos potásicos, cuarzo, biotita, y presencia de cloritización y seritización. La forma y distribución de estos afloramientos está controlada por la erosión y por los eventos tectónicos posteriores a su emplazamiento, principalmente la tectónica de extensión del Paleógeno-Neógeno.

Rocas Cenozoicas

Se engloban secuencias volcánicas ácidas y básicas, además de material sedimentario. De manera particular, están representadas por tobas riolíticas, ignimbritas, riolitas, riodacitas y ocasionalmente pequeños domos riolíticos. Generalmente forman largas mesetas con orientación noroeste-sureste y pseudoestratificación que buza hacia el noreste y suroeste. Son parte del evento volcánico Oligoceno-Mioceno que dio lugar a la formación de la Sierra Madre Occidental. Estas rocas presentan color blanco, rosa y pardo a rojizo, con estructura compacta y tobácea. Sobreyace discordantemente a rocas volcánicas del complejo volcánico inferior, subyace a conglomerados y areniscas continentales del Mioceno.

Al sur del acuífero aflora una secuencia bimodal de composición basáltico-andesítica intercaladas con tobas riolíticas e ignimbritas. Estas rocas conforman extensas y elevadas sierras que en algunos lugares sobrepasan los 1000 m, como en la región de la Sierra Obscura y Ciénega del Oso, están constituidos por basalto de color gris y negro de textura afanítica, se observan minerales como labradorita, bitownita, olivino y vidrio, también derrames intercalados de toba riolítica e ignimbritas. Sobreyace discordante a la unidad oligocénica ácida y en contacto tectónico con el Conglomerado Báucarit, es cubierta por basalto y andesita del Mioceno.

Las Rocas de la Formación Báucarit están formadas por un conglomerado polimíctico y areniscas bien consolidadas con flujos de basaltos y andesitas, interdigitados en diversos niveles estratigráficos. Se localizan en una zona amplia a lo largo de las márgenes del Río Sahuaripa donde se encuentra expuesta en estratos delgados a masivos con sus planos de estratificación. Es de color café claro con tonalidades amarillentas y rojizas, los fragmentos de la roca presentan forma angulosa a subangulosa y su tamaño varía de 0.5 a 80 cm, predominando las gravas. Los clastos provienen de rocas volcánicas básicas e intermedias, pedernal, arenisca, cuarcita y granito, envueltos en una matriz areno arcillosa de textura gruesa compuesta de cuarzo, feldespatos, micas y fragmentos de roca. La edad de esta unidad es Mioceno inferior, el espesor se estima en 500 m.

Riolitas de la Formación Lista Blanca, afloran en la porción noreste del área, su litología consiste en tobas riolíticas, aglomerados, andesitas, ignimbritas y basaltos. En la porción suroeste la secuencia

sobreyace aparentemente en concordancia al Conglomerado Báucarit y discordantemente a rocas volcánicas intermedias cretácicas y sedimentarias triásicas, también se encuentran cubiertas por aluvión y conglomerado recientes. La edad de estas rocas es Mioceno Superior.

Aluvión

En la zona afloran conglomerados recientes, limos, arenas y gravas. Se trata de conglomerados recientes a unidades conglomeráticas polimícticas mal consolidadas con escasos horizontes de limos y arenas. Los clastos de los conglomerados están por lo general bien redondeados y son producto de la denudación detrítica de las rocas preexistentes, tienden a formar terrazas y depósitos de talud, se distribuyen principalmente en llanuras intermontanas formando lomeríos de pequeñas dimensiones. Sus afloramientos más importantes se localizan a lo largo del Río Sahuaripa. De acuerdo a trabajos de campo, el espesor máximo de esta unidad varía entre 50 y 100 m. Se encuentran cubriendo a la Formación Báucarit y son cubiertos por depósitos aluviales de ríos, arroyos y planicies de inundación.

4.2. Geología estructural

En el área se reconocieron dos tipos de deformación, dúctil-frágil y frágil, que son el resultado de los eventos tectónicos que afectaron la zona, tales eventos originaron estructuras importantes como fallas de tipo normal con orientación noroeste-sureste y noreste-suroeste, que dieron origen a la formación de fosas tectónicas. Otros rasgos importantes son cabalgaduras de rumbo noroeste-sureste, fallas normales e inversas de rumbo noreste-suroeste, así como una serie de pliegues que han dado lugar a la formación de anticlinales y sinclinales.

Existe una gran cantidad de fallas normales y fuerte fracturamiento con orientación preferente al noroeste, características típicas de la provincia fisiográfica Sierras y Valles Paralelos, la cual generó la formación de grandes fosas tectónicas. En este caso se trata de la Fosa Sahuaripa localizada al noroeste del acuífero, rellena principalmente por material sedimentario de granulometría variada cuyo espesor máximo alcanza los 200 m.

4.3. Geología del subsuelo

Sobre los límites laterales de la planicie de inundación del Río Sahuaripa se observan afloramientos locales formados por limos (lodolitas) lacustres con tonalidades rojizas. Tienden a estar erosionados y formar mesetas alargadas y escalonadas con un espesor promedio de 15 m y máximo de 50 m. En la zona del cauce y planicie del río están cubiertas por sedimentos fluviales, que constituyen un acuífero somero (zona de subálveo) cuya explotación se realiza a través de norias cuyas profundidades máximas varían entre 10 y 13 m.

Con base en los reconocimientos de campo se elaboró la sección geológica esquemática del acuífero mostrada en la figura 3, en la que se puede observar condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes de limos y una capa de permeabilidad baja de los

conglomerados de la Formación Báucarit, los cuales presentan fallamiento normal escalonado (Fosa Sahuaripa). Sobre esta unidad y siguiendo su topografía se encuentran discordantemente depósitos conglomeráticos no consolidados (conglomerado, gravas, arenas y arcillas), a los que se les estima un espesor promedio de 60 m; hacia el poblado de Sahuaripa este espesor puede llegar a más de 100 m. Actuando como basamento hidrogeológico se encuentran unidades del Cretácico superior (andesitas y tobas andesíticas) con permeabilidad baja debido al relleno de sus fracturas.

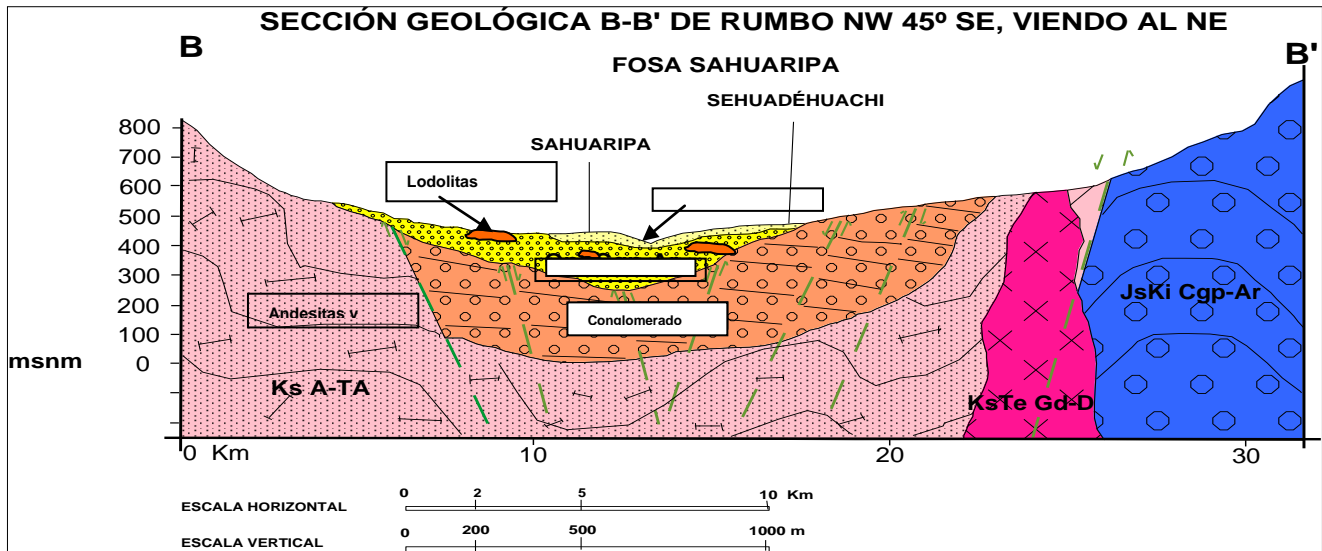


Figura 3. Sección Esquemática del acuífero

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Se trata de un sistema acuífero heterogéneo de **tipo libre**, donde el agua tiene movimiento a través de materiales granular y fracturado. El medio granular está constituido por depósitos no consolidados y semiconsolidados de granulometría variada (gravas, arenas, limos y arcillas) que representan la planicie de inundación y el cauce del Río Sahuaripa. Ocasionalmente puede presentar condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes de limos y arcillas. El espesor de estos depósitos alcanza entre 80 y 100 m.

Como resultado de lo anterior, las transmisividades y conductividades hidráulicas son variables cuyos valores más altos se registran hacia en los sedimentos aluviales que constituyen el cauce del Río Sahuaripa. El medio fracturado está relacionado a rocas volcánicas: riolitas y tobas riolíticas, basaltos, andesitas y tobas andesíticas. Tales unidades representan, en su mayoría, regulares materiales de recarga y de igual manera llegan a formar acuíferos de transmisividades bajas que arrojan gastos pequeños.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2007, se ejecutaron 7 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. De los resultados se desprende que la conductividad hidráulica varía de 1.20×10^{-3} a 5.61×10^{-7} m/s y la transmisividad de 5.54×10^{-2} a 1.51×10^{-5} m²/s.

Se determinó una transmisividad media de 329 m²/día para el sistema acuífero, tomando en cuenta los datos arrojados por la interpretación de 4 pruebas de bombeo, en los aprovechamientos con clave de censo SHP 31, 35, 58 y 123. Sin embargo, para fines de cálculo de volúmenes en la principal zona de recarga natural fue utilizada una transmisividad de 260 m²/día, valor que es representativo, de las condiciones hidrogeológicas del medio por el que transita el agua subterránea en la zona de recarga.

En relación a la conductividad hidráulica, el valor promedio para el acuífero es de 3.25 m/día, representativo de las capas granulares con mayor contenido de gravas y arenas. Debido a las altas conductividades hidráulicas y a un fuerte gradiente hidráulico, el acuífero pierde capacidad de almacenar agua y fluye de forma natural.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró la información disponible para 2007.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en la zona muestra niveles freáticos someros asociados al subálveo del Río Sahuaripa, cuyos valores varían de 1 a 8 m (figura 4), que se presentan desde la comunidad Guisamopa, localizada al sur del acuífero, hasta el norte de “El Ranchito” ubicado en el extremo norte. Fuera de esta zona, los niveles al agua subterránea registran valores de profundidad que varían de 12 a 22 m; que se definen a medida que se pierde la influencia directa del río, preferentemente en la zona de pie de monte. Se presentan desde la comunidad Arivechi hasta el extremo norte del valle de Sahuaripa.

Existen pocos aprovechamientos que explotan las rocas fracturadas. En las inmediaciones del poblado Tacupeto y al nortes de Sahuaripa (Rancho El Rodeo) se han perforado pozos en rocas andesíticas.

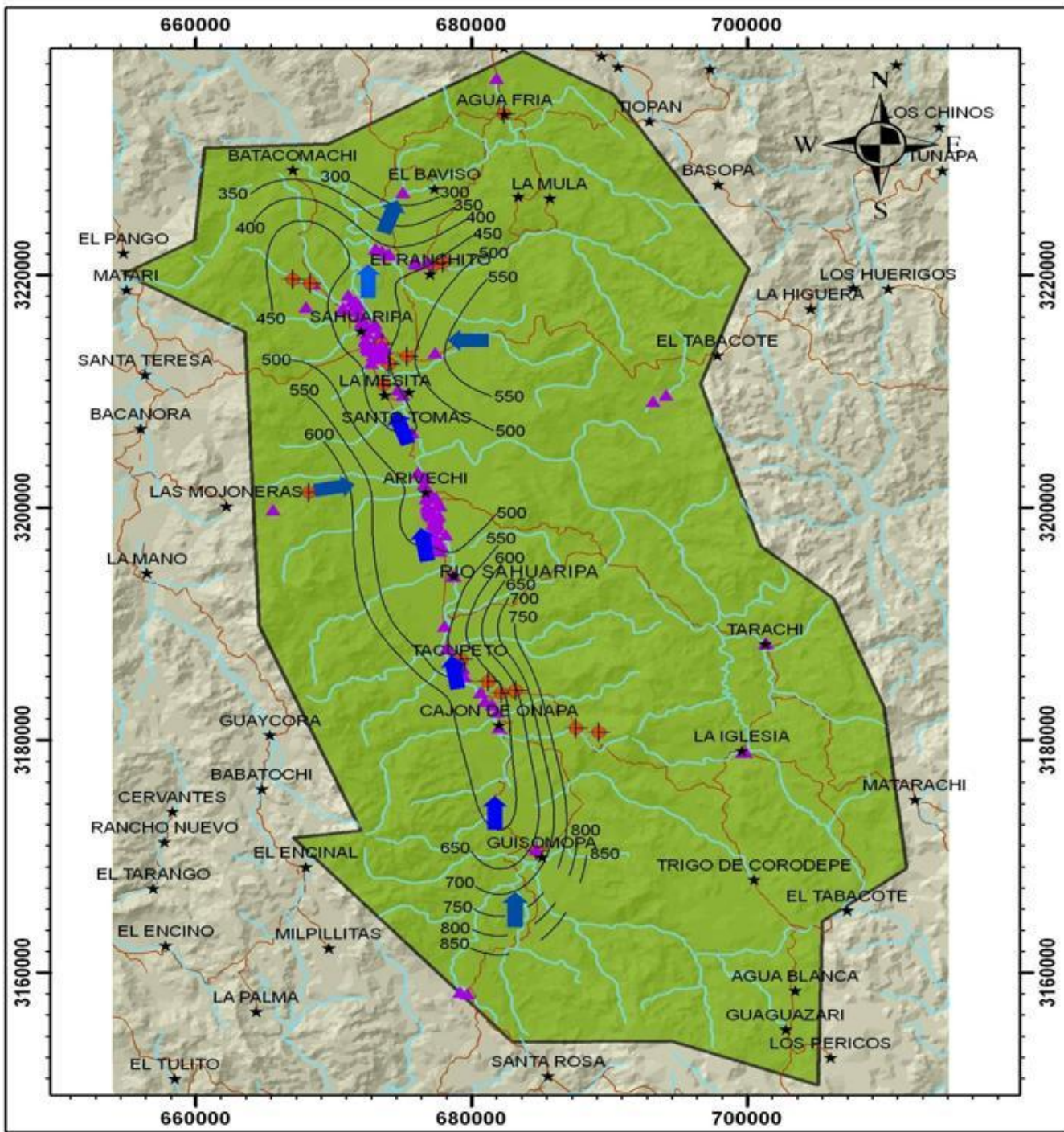


Figura 5. Elevación del nivel estático (msnm), 2007

5.4.3. Evolución del nivel estático

Debido a la falta de estudios hidrogeológicos previos que comprendan toda la superficie del acuífero, no es posible elaborar una evolución confiable de los niveles piezométricos. La evolución 2006-2007 sólo se basa en 14 aprovechamientos.

Las escasas mediciones piezométricas recabadas se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, la configuración de 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 la extracción.

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

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2007, se muestrearon 30 aprovechamientos, de éstos 14 corresponden a norias, 9 pozos, 4 manantiales, 2 represas y 1 presa.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 200 a 500 mg/lit, por lo que se consideran aptas para el consumo humano, ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 establece un máximo permisible de 1000 mg/lit para el agua destinada a este uso.

Con respecto a las familias del agua, predomina el tipo bicarbonatada-cálcica que representa agua de reciente infiltración que circula a través de rocas volcánicas. En menor proporción se presentan las familias sulfatada-cálcica y bicarbonatada-sódica-potásica.

De manera puntual se presenta altas concentraciones de sulfatos y cloruros en zona aledañas a las poblaciones o rancherías, por lo cual se pueden asociar a la contaminación con aguas residuales, cuya infiltración es favorecida en la zona cercana al cauce del río debido a la granulometría gruesa de los depósitos que los constituyen. Durante el estiaje, gran parte de la descarga de aguas residuales se infiltran y cambian las condiciones hidrogeoquímicas de los niveles piezométricos someros del acuífero.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo realizado en el año 2007, se registraron un total de 182 obras en el acuífero que aprovechan el agua subterránea, de las cuales 30 son pozos, 140 noria, 11 manantiales y un tiro de mina y 3 norias. Del total de obras, 145 están activas y las 37 restantes inactivas, ya sea por abandono o por azolvamiento causado por la última avenida extraordinaria del río Sahuaripa.

El volumen total de extracción es de **2.0 hm³ anuales**, de los cuales 1.3 hm³ (65%) se destinan al uso agrícola, 0.5 (25%) para uso público urbano y los 0.2 hm³ restantes (10%) para uso pecuario.

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 de un acuífero:

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

El balance de aguas subterráneas se definió en una superficie de 783 km², que corresponde a la zona donde se localizan gran parte de los aprovechamientos de agua subterránea (figura 6).

De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

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

Donde:

R_v = Recarga vertical

E_h = Recarga por flujo subterráneo horizontal

R_r = Retornos de riego

B = Bombeo

S_h = Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR = Evapotranspiración

D_m = Descarga por manantiales

ΔV(S) = Cambio de almacenamiento

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, sólo se tomarán en cuenta las infiltraciones de los excedentes del riego agrícola como entradas por retornos de riego (R_r).

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Para este caso particular, dado que la variación de la posición de los niveles del agua subterránea no ha sufrido variaciones importantes en el transcurso del tiempo, se considera un cambio de almacenamiento nulo. Por esta razón se optó por calcular la recarga vertical (R_v) considerándola como incógnita de la ecuación de balance (1) mencionada anteriormente.

De esta manera, despejando la recarga vertical (R_v) se obtiene la siguiente expresión:

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

7.1.2. Retornos de riego (R_r)

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, anualmente se extraen 2.0 hm^3 de agua subterránea, de este volumen 1.3 es destinado al uso agrícola, por lo tanto se consideró $0.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ como un valor representativo de recarga inducida por retorno de riego.

Adicionalmente, en mayor proporción se utiliza para el riego agua superficial proveniente de la Presa El Cajón de Onapa, a través de una serie de canales, la mayoría revestidos. Debido a que prácticamente todo el riego en la zona es por gravedad se utilizan láminas de riego muy grandes. Del volumen total de agua regado se consideró que un 20% retorna al sistema acuífero, de tal forma que de los $27.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ utilizados, $5.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ representan el valor de retornos de riego de agua superficial. Por lo tanto, la recarga por retornos de riego al acuífero Río Sahuaripa es la suma de lo que se infiltra por riego agrícola, tanto de agua subterránea como agua superficial, de tal manera que en total se tiene una recarga por retornos de riego, en total de **$5.7 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área 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 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 2007 (figura 5) y de los valores de transmisividad, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

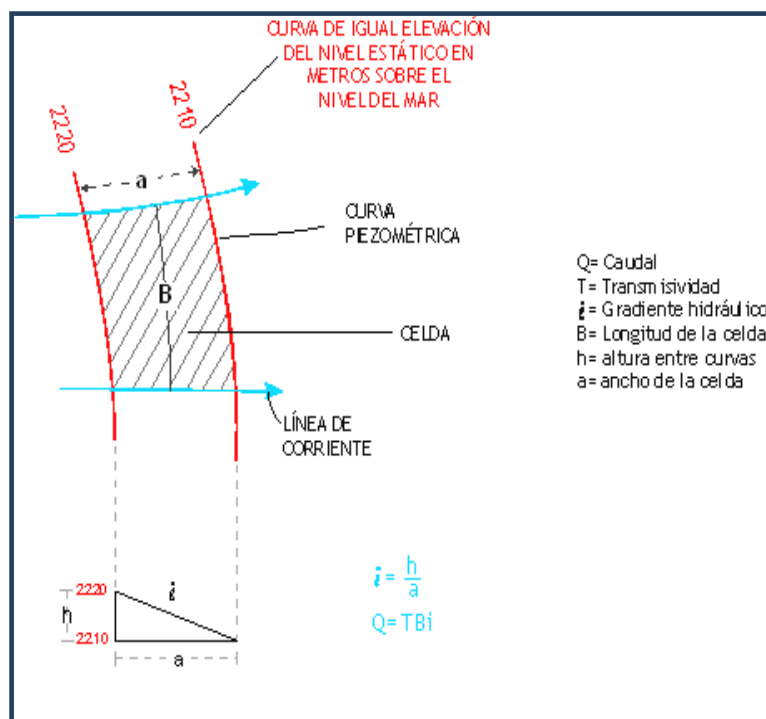
Dónde:

Q = Gasto;

T = Transmisividad;

B = Longitud de la celda;

i = Gradiente hidráulico;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. Las celdas utilizadas se muestran en la figura 6, mientras que el cálculo de volúmenes de entrada se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Cálculo de entradas horizontales

Entradas Subterráneas							
No. Celda	Longitud L (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Ancho B (m)	i	T(m ² /s)	Q (m ³ /s)	Q (hm ³ /año)
1	2409	50	1661	0.02075	0.003	0.103424	3.3
2	2106	50	2333	0.02374	0.003	0.166161	5.2
3	1787	50	2237	0.02797	0.003	0.187773	5.9
4	1256	50	2241	0.03981	0.003	0.267635	8.4
5	1189	50	1580	0.04205	0.003	0.199327	6.3
						TOTAL	29.1

Como resultado del análisis de celdas de flujo se obtuvo un valor de entradas horizontales de **29.1 hm³/año**.

7.2. Salidas

Para el Acuífero Río Sahuaripa las descargas están representadas por las salidas horizontales (Sh), bombeo (B), descarga por evapotranspiración (ETR) y por manantiales (Dm). En la zona no existen ríos perennes con estaciones hidrométricas para establecer un caudal base.

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).

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m y con cobertura vegetal nativa, 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. (figura 8).

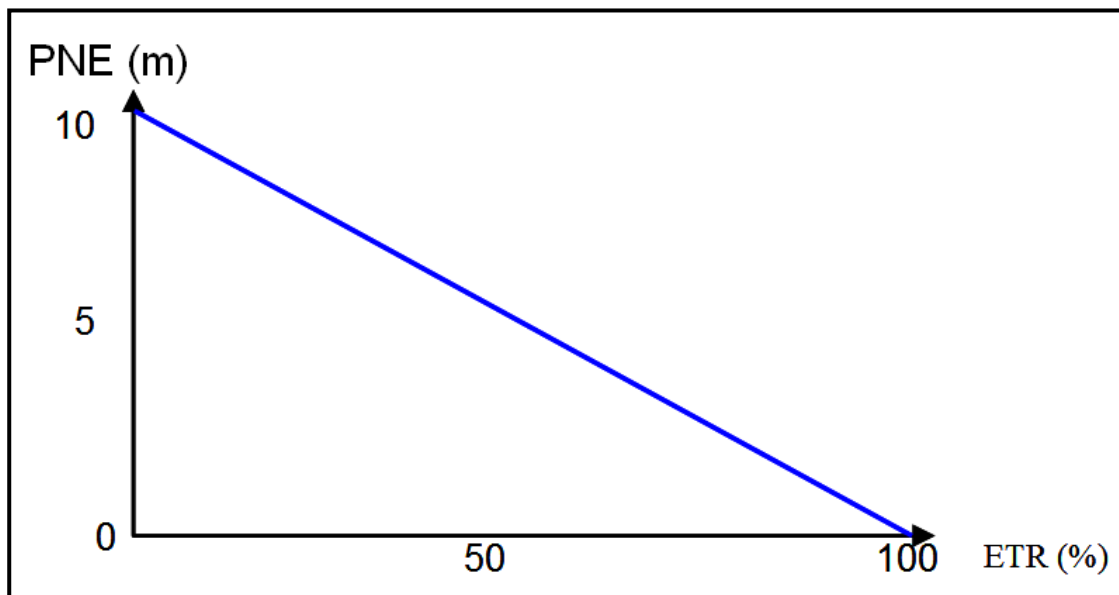


Figura 8. Comportamiento de la evapotranspiración real contra la profundidad

Existe en el acuífero una zona paralela al cauce del río Sahuaripa, cubierta de vegetación nativa, donde la profundidad al NE es menor a los 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de las plantas.

Aplicando la fórmula de Turc se determinó que la lámina de Evapotranspiración real es de 494 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 18.7° C y precipitación de 525 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) =	18.7		
P(mm) =	525	P ² =	275625
L =	1094.46015	L ² =	1197843.02
ETR (mm)	493.9		

El resultado de este proceso se presenta en la tabla 3, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de **13.0 hm³ anuales**.

Tabla 3. Cálculo de evapotranspiración

Intervalo curvas (m)	Profundidad Considerada (m)	Area (km ²)	%	ETR (m)	Vol ETR (Hm ³ /año)
0 a 1	0.5	2.1	0.95	0.494	1.0
1 a 2	1.5	2.9	0.85	0.494	1.2
2 a 3	2.5	3.6	0.75	0.494	1.3
3 a 4	3.5	22.3	0.65	0.494	7.2
4 a 5	5	9.2	0.5	0.494	2.3
	Area Balance	40.1		ETR =	13.0

7.2.2. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de hidrometría, el valor de la extracción de agua subterránea asciende a los asciende a **2.0 hm³ anuales**.

7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del nivel estático para 2007 (Figura 8). El Valor estimado es de **30.5 hm³/año**, calculado en una sección próxima al extremo norte del área de balance.

Las celdas de flujo utilizadas para estimar la salida horizontal se observan en la Figura 8, mientras que el cálculo del caudal se anota en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas horizontales

Salidas							
No. Celda	Longitud L (m)	h_2-h_1 (m)	Ancho B (m)	i	T(m ² /s)	Q (m ³ /s)	Q (hm ³ /año)
1	50	1545	1333	0.032362	0.0030	0.129417	4.1
2	50	1586	1285	0.031526	0.0030	0.121532	3.8
3	50	1622	1416	0.030826	0.0030	0.130949	4.1
4	50	1755	1571	0.028490	0.0030	0.134273	4.2
5	50	1825	1553	0.027397	0.0030	0.127644	4.0
6	50	1634	1720	0.030599	0.0030	0.156059	5.0
7	50	1374	1538	0.036390	0.0030	0.167904	5.3
TOTAL							30.5

7.2.4. Descarga por manantiales (Dm)

Para el caso del Acuífero Río Sahuaripa el volumen que descargan 11 pequeños manantiales es de **0.4 hm³/año**.

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 para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los escasos registros existentes se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento.

Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento se considera nulo; es decir, $\Delta V(S) = 0$.

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 por lluvia (Rv), por lo que despejando este término de la ecuación (2), se tiene:

$$\begin{aligned}
 Rv &= B + Sh + ETR + Dm \pm \Delta V(S) - Eh - Rr \quad (2) \\
 Rv &= 2.0 + 30.5 + 13.0 + 0.4 - 0.0 - 29.1 - 5.7 \\
 Rv &= 11.1 \text{ hm}^3/\text{año}
 \end{aligned}$$

De esta manera la recarga total media anual (R_t) es igual a la suma de las entradas:

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + E_h + R_r \\ R_t &= 11.1 + 29.1 + 5.7 \\ R_t &= 45.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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 expresión siguiente:

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

Donde:

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

R_t = Recarga total media anual.

DNCOM = Descarga natural comprometida.

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

8.1. Recarga total media anual (R_t)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **45.9 hm³/año**, de los cuales 40.2 son recarga natural y los 5.7 hm³ restantes corresponden a la recarga inducida por retornos de riego.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes. Para el caso del Acuífero Río Sahuaripa, aunque existen salidas subterráneas hacia los acuíferos Río Moctezuma y Nacori Chico, en ellos no existe aún infraestructura para su aprovechamiento.

Como descarga natural comprometida se considera la descarga por manantiales (0.4 hm³) y el 70% de la evapotranspiración para proteger la vegetación nativa de la porción ribereña del cauce del río Sahuaripa (9.1 hm³). De esta manera en valor de la DNCOM asciende a los **9.5 hm³/año**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (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 **30 de septiembre de 2008**, es de **9'092,850 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.

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

$$DAS = 45.9 - 9.5 - 9.092850$$

$$DAS = 27.307150 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **27'307,150 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 el 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 en pozos cercanos a los piedemonte, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional de Agua, 2006. Atlas Estatal de Aguas Subterráneas del Estado de Sonora. Organismo de Cuenca Noroeste, Hermosillo, Sonora.

Morales M. M., 2003. Estudio Geofísico-Geohidrológico Unidades de Riego: El Ranchito, La Mesita de Cuajari, Santo Tomás, Sehudéhuachi, Las Campeñas, Presidencia Municipal, Municipio de Sahuaripa, Sonora.

Comisión Nacional del Agua, 2007. Estudio Geohidrológico del Acuífero Río Sahuaripa. Convenio de. Servicio Geológico Mexicano.