

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Agua Caliente (2657),
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							
2657	AGUA CALIENTE	9.8	0.0	0.173270	0.4	9.626730	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 2657 AGUA CALIENTE, ESTADO
SONORA***

México, DF Junio de 2009

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación Administrativa del Acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	5
3.1. Provincia Fisiográfica	5
3.2. Clima	5
3.3. Hidrografía	6
3.4. Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA	7
4.1. Estratigrafía	8
4.2. Geología Estructural	12
4.3. Geología del Subsuelo	12
5. HIDROGEOLOGÍA	13
5.1. Tipo de Acuífero	13
5.2. Parámetros Hidráulicos	13
5.3. Piezometría	14
5.4. Comportamiento Hidráulico	14
5.4.1. Profundidad al Nivel Estático	15
5.4.2. Elevación del Nivel Estático	15
5.4.3. Evolución del Nivel Estático	15
5.5. Hidrogeoquímica y Calidad del Agua	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
7.2. Salidas	22
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)	22
7.2.2. Bombeo	24
7.2.3. Flujo subterráneo horizontal	24
7.3. Cambio de almacenamiento	24
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1. Recarga total media anual (Rt)	25
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	26
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	26
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	26
9. BIBLIOGRAFÍA	27

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”.

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 Agua Caliente, definido con la clave 2657 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza al sur del Estado de Sonora (Figura 1), aproximadamente a 50 km al norte de Ciudad Obregón. El área del acuífero abarca una superficie de 1785 km², entre las coordenadas 27° 49' a 28° 25' de latitud norte y 109° 52' a 110° 23' de longitud oeste. El 36% del área pertenece al municipio de Cajeme, 34% al municipio de Guaymas y finalmente 30% queda dentro del municipio de BÁCUM.

Colinda al norte y oeste con el Acuífero Valle de Guaymas, al noreste con Río Tecoripa, al sureste con Cumuripa y al sur con el Acuífero Valle del Yaqui, todos ellos del estado de Sonora. El Acuífero Agua Caliente pertenece a la Cuenca del Yaqui.

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

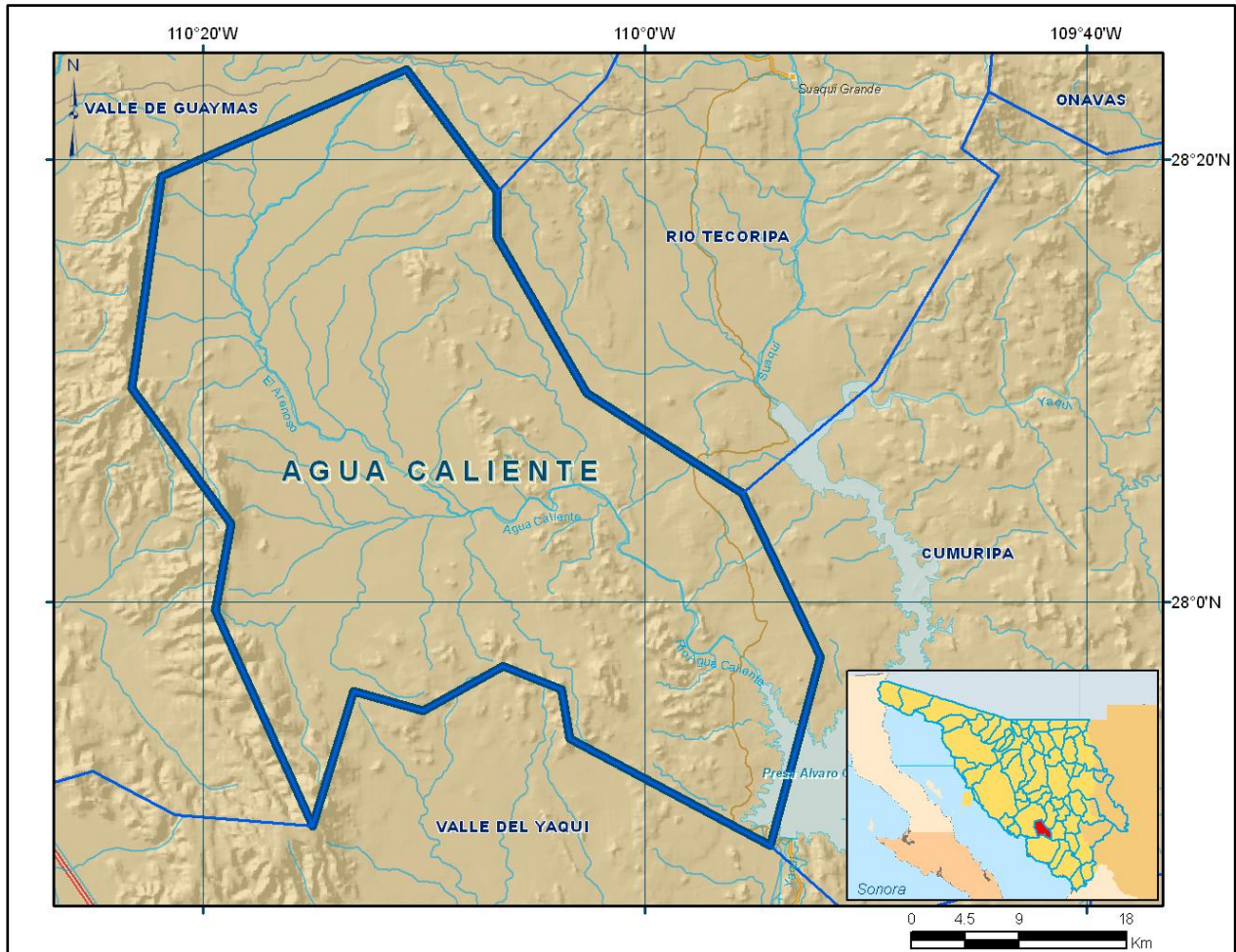


Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita al acuífero

ACUIFERO 2657 AGUA CALIENTE						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	110	6	41.8	28	18	30.3
2	110	6	41.2	28	16	26.3
3	110	2	39.2	28	9	25.8
4	109	55	35.3	28	4	54.5
5	109	52	5.6	27	57	31.2
6	109	54	20.2	27	49	1.5
7	110	3	23.6	27	53	50
8	110	3	47.6	27	56	4.7
9	110	6	26	27	57	6.3
10	110	10	2.7	27	55	7
11	110	13	10.2	27	55	59.9
12	110	15	2.4	27	49	54
13	110	19	26.4	27	59	38.8
14	110	18	42	28	3	31.2
15	110	23	13	28	9	38.6
16	110	21	52.7	28	19	14.3
17	110	10	47.3	28	24	2.6
1	110	6	41.8	28	18	30.3

1.2. Situación Administrativa del Acuífero

El Acuífero Agua Caliente pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. La mayor parte de su territorio, se encuentra regido por el *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del Estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo, en dicha zona”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de septiembre de 1978. Esta veda se clasifica como tipo III la cual indica que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2009), los municipios de Cajeme y Bacum se localizan en zona de disponibilidad 6 y el municipio de Guaymas en zona 4.

Aunque el volumen de extracción es incipiente, el uso principal del agua es el agrícola. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

No existen estudios de evaluación geohidrológica realizados en la superficie que cubre el acuífero, ni en la región, ya que se trata de acuíferos intermontanos en los que la extracción del agua subterránea es incipiente y donde no existe competencia por su uso. Los únicos realizados son con fines de exploración minera.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI, MÁTAPE, ESTADO DE SONORA, realizado por el Servicio Geológico Mexicano, en convenio con Comisión Nacional del Agua, 2008. Este estudio realiza una evaluación preliminar de algunos acuíferos serranos del estado de Sonora, entre ellos Villa Hidalgo, incluyendo actividades de campo para el planteamiento del balance de aguas subterráneas: censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría y pruebas de bombeo.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

El acuífero Agua Caliente queda circunscrito fisiográficamente dentro de dos provincias; en la Provincia Llanura Sonorense y Sierra Madre Occidental (Edwin Raisz, 1964), en la primera destacan dos subprovincias: Sierra Compleja con Lomeríos, ubicada al sur, sureste y extremo noreste del acuífero, y Bajada con Lomeríos, cubriendo toda la zona de planicie, en la cual se ubican los aprovechamientos que actualmente extraen agua del acuífero.

Dentro de la Provincia Sierra Madre Occidental se ubica la subprovincia Sierras y Valles del Norte, misma que tiene las siguientes características: Bajada con Lomeríos en la zona centro oriental del acuífero y Valle Abierto de Montaña, ubicada al oriente del acuífero.

3.2. Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García (1981), para las condiciones de la República Mexicana, en la zona se presentan cinco tipos de climas:

1) *Árido, Cálido (BSO(h')(x'))*, con temperatura media anual mayor a 22° C, temperatura del mes más frío mayor a 18° C, lluvias repartidas todo el año con porcentaje de lluvia invernal mayor a 18%. Se ubica en prácticamente toda la zona acuífera, con excepción de los extremos sur y sureste.

2) *Árido, Semicálido (BSO(h')w)*, con temperatura media anual mayor de 20° C, temperatura del mes más frío mayor de 18° C, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

3) *Muy árido, cálido (BW(h')w)*, con temperatura media anual mayor de 22° C, temperatura del mes más frío mayor a 18° C, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Se localiza en los extremos sur y sureste del acuífero.

4) *Semiárido, Semicálido (BS1h(x'))*, con temperatura media anual superior a los 25° C, temperatura del mes más frío es mayor 21° C. Con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal mayor a 20%. Su ubicación es al norte de la zona, fuera de los límites del acuífero.

5) *Árido, Cálido (Bso (H'))*, con temperatura media anual superior a los 25° C, temperatura del mes más frío es mayor 22° C. Con lluvias en verano, con porcentaje de lluvia invernal mayor a 10%. Se ubica en el extremo sur del acuífero.

El análisis climatológico del acuífero se efectuó con la información de tres estaciones que tienen influencia en la zona del acuífero, mediante el método de polígonos de Thiessen. Se trata de las estaciones Álvaro Obregón, localizada cerca de la cortina de la presa del mismo nombre, la estación Suaqui Grande, localizada al norte del acuífero y por último la estación La Misa, ubicada al oeste.

La temperatura media anual para el acuífero es de 24.8° C, la precipitación media anual para la zona es de 442 mm/año y el valor de evaporación potencial para la zona de acuerdo con datos obtenidos de las estaciones es de 2573 mm.

3.3. Hidrografía

El acuífero se encuentra en la Región Hidrológica 9 Sonora Sur (RH-9). 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, en la Cuenca del Río Yaqui, Subcuenca Agua Caliente. La corriente principal que cruza por la zona es el Río Agua Caliente, que es una corriente intermitente que descarga sus aguas en la Presa Álvaro Obregón, localizada al sureste de la zona.

La infraestructura hidráulica de este acuífero consiste principalmente de obras de captación de agua subterránea, preferentemente pozos y en menor proporción norias, así como un manantial. Las norias y pozos se utilizan principalmente en uso pecuario y doméstico.

Aunque parte de la Presa Álvaro Obregón se encuentra en el extremo sureste del acuífero, sus aguas son vertidas fuera de él, para ser aprovechadas por los distritos de riego No. 18 “Vicam” y No. 41 “Río Yaqui”, ubicados hacia la costa del Estado de Sonora.

3.4. Geomorfología

La topografía de la zona está representada principalmente por sierras en forma de mesetas, como es el caso de la Sierra Bacatete, que forma el límite superficial del acuífero en la parte oeste de la zona. Hacia el este se caracteriza por tener una serie de cerros aislados, mientras que hacia el centro del acuífero se localiza el valle Agua Caliente, de forma alargada con dirección preferente noreste - sureste.

Las mayores elevaciones se localizan en la Sierra Bacatete con valores entre 600 a 800 msnm. Esta sierra se caracteriza por formar una serie de mesetas de composición basáltica. Hacia el oriente del acuífero los cerros tienen menor elevación, alcanzando un máximo de 600 msnm. Se observan una serie de sierras localizadas al oriente del acuífero, formadas por andesitas de la Formación Tarahumara, caracterizada por pendientes poco pronunciadas que originan barrancos cuya profundidad varía de 10 a 30 m. Otras sierras de composición ácida tienen forma alargada, caracterizadas por pendientes más abruptas y barrancos de mayor profundidad que sobrepasan los 50 m. En la zona se observa drenaje dendrítico típico de conglomerados característicos de la Formación Báucarit, ya que ésta tiene una amplia distribución dentro y fuera de la zona.

4. GEOLOGÍA

En el Acuífero Agua Caliente afloran unidades litoestratigráficas que varían en edad del Triásico al Reciente y están representadas por rocas ígneas intrusivas, volcánicas y rocas sedimentarias cuya distribución se observa en la Figura 2.

Las rocas intrusivas cubren gran parte de la zona central del acuífero, su composición varía de granito a granodiorita con una edad del Triásico al Paleoceno. La Formación Báucarit tiene una amplia distribución en el sureste, esta formación agrupa varios tipos de litología: conglomerado polimíctico constituido por rocas volcánicas e intrusivas con intercalaciones de arenisca y basalto.

Las rocas volcánicas (Formación Lista Blanca) están constituidas por una secuencia intercalada de tobas riolíticas, ignimbritas, dacitas, riolitas y aglomerados de depósito vulcanosedimentario, a éstas se les asignó una edad del Mioceno Superior. Las rocas del Pleistoceno están representadas por un conglomerado polimíctico que se encuentra formando valles así como piedemonte. Este conglomerado está constituido por riolita, andesita e ignimbritas, es poco consolidado y de matriz arenosa.

El aluvión del Holoceno está constituido por grava, arena, limo y arcilla sin consolidar, los espesores de éste son variables, pudiendo llegar hasta los 50 m, se encuentra en las zonas topográficamente bajas y cubriendo a las unidades más antiguas.

4.1. Estratigrafía

La descripción de las unidades litológicas que se encuentran expuestas en la zona fue realizada por el extinto Consejo de Recursos Minerales (ahora Servicio Geológico Mexicano) en su cartas Geológico Minera Tecoripa y Ciudad Obregón, escala 1:250,000, mismas que se retomaron para hacer la descripción de las unidades litológicas que comprenden la zona del acuífero y que se encuentran representadas en la columna estratigráfica de la zona.

MESOZOICO

Triásico

Areniscas-Lutitas (T_{RS} Ar-Lu). Esta unidad se conoce como Grupo Barranca, está formada por tres unidades distribuidas de la siguiente manera: en la base se encuentra la Formación Arrallanes, en la parte media la Formación Santa Clara y en la cima la Formación Coyotes. Litológicamente están compuestas por areniscas de cuarzo, limolitas y conglomerado con clastos de cuarcita y pedernal. La unidad tiende a presentarse en estratos delgados, cabe mencionar que no aflora dentro de los límites del acuífero, sin embargo se encuentra expuesta al norte y este de la poligonal.

Cretácico

Formación Tarahumara. Andesita-Toba Andesítica (Ks A-TA). Esta unidad fue descrita por Wilson y Rocha (1946), está constituida por rocas volcánicas de composición andesítica, dacítica y rocas vulcanosedimentarias. Aflora en la porción norte del acuífero, en las

inmediaciones de la comunidad Agua Caliente y Rancho El Realito, así como en el Cerro Picacho y al oeste del Rancho Peñasco Blanco. Fuera del área también existen afloramientos cerca del Rancho Torimacuca en la Sierra Chichiquelite, que se localiza al noreste del acuífero. El color de esta roca es gris y pardo, con tonalidades rojizas al intemperismo; su textura varía de afanítica a porfídica, cuando tiene esta última textura se pueden observar plagioclasas, hornblenda, piroxenos y biotita. Hidrogeológicamente se le considera con permeabilidad baja.

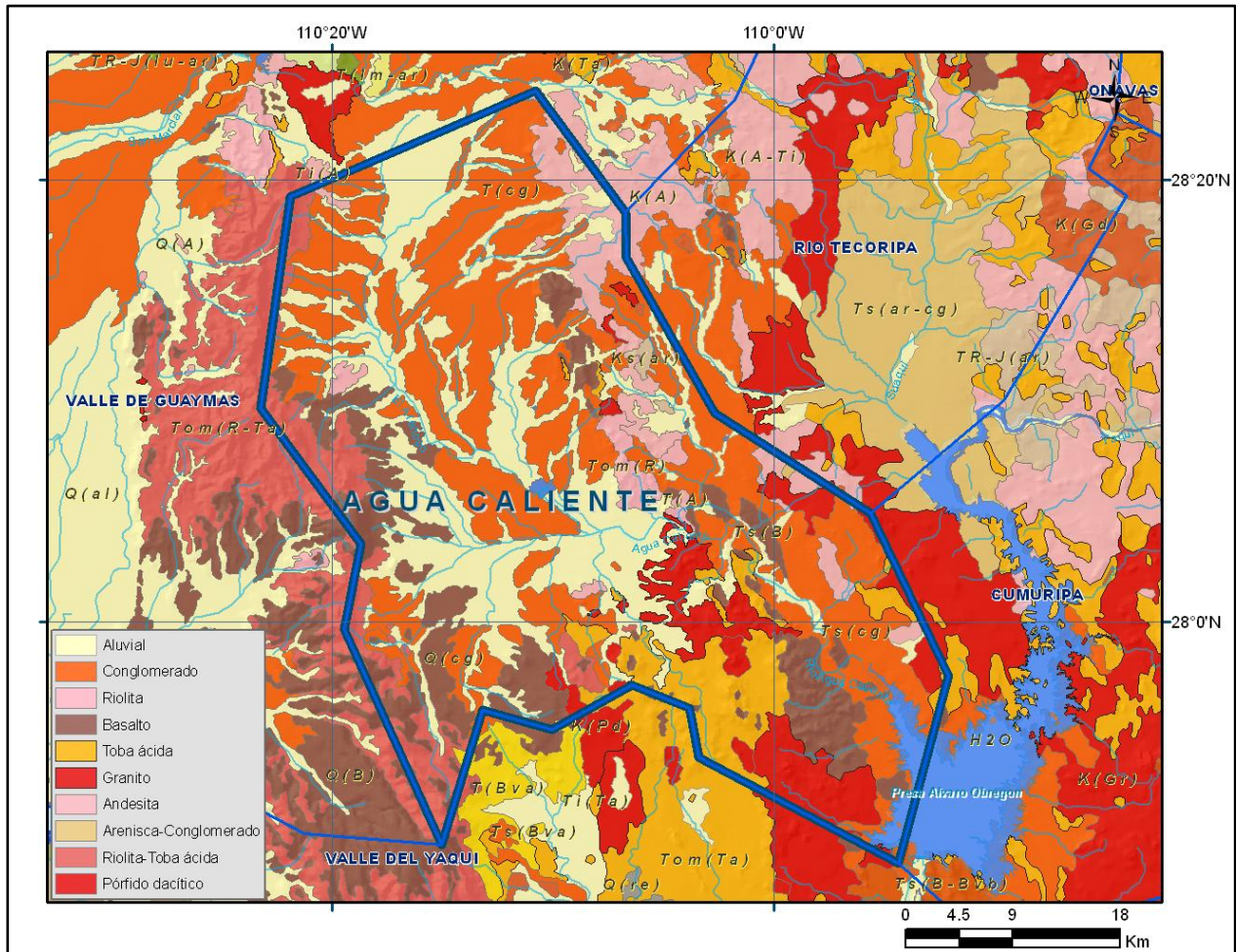


Figura 2. Mapa Geológico

Batolito Laramide

Intrusivos Porfídicos Secundarios (Kstpa GrGd, ToPMz, ToPR, ToPA, To PRd). El Batolito Laramide de Sonora, definido por Damon (1983), tiene una amplia distribución en la zona, aflora al sur del acuífero extendiéndose de forma alargada con una orientación preferente noroeste – sureste, de igual forma en la Sierra La Finalesa, localizada al este del acuífero, constituyendo uno de sus principales límites en superficie y a profundidad. De igual manera se observa en las inmediaciones de los ranchos El Realito y Bonancita, donde se observa cubierto por rocas volcánicas y conglomerados más recientes.

Este batolito incluye intrusiones de cuerpos que se observan fuera de la poligonal del acuífero, aunque su litología varía un poco, fueron englobadas por el Consejo de Recursos Minerales (COREMI 1998). De manera general este intrusivo es compacto con textura porfídica, es de color gris claro a crema y en superficie está muy intemperizado con coloración ocre. Esta unidad representa en el acuífero una barrera impermeable y es parte del basamento hidrogeológico.

Toba Riolítica – Dacita (To R-Da). Roca volcánica y piroclástica de composición ácida con dacitas en la cima. Esta unidad aflora en la parte sureste de la zona, se observa al poniente de la Presa Álvaro Obregón, sus afloramientos se extienden fuera de la poligonal que circunscribe al acuífero, incluye afloramientos de derrames y aglomerados volcánicos de composición andesítica–dacítica.

Andesita-Dacita (Tm A-Da, TmTR-B, TmB-A). Unidad volcánica del Oligoceno de composición intermedia-ácida, constituida por andesitas y dacitas de textura porfídica, rocas piroclásticas de una coloración que varía de gris claro a rojizo. La distribución en la zona es principalmente hacia el sur, en la Sierra La Ventana y al sur del Rancho La Escondida, localizado fuera del acuífero. Hidrogeológicamente esta unidad se considera con una permeabilidad media a baja debido al fracturamiento que presenta.

Formación Báucarit TmCgp-Ar, TmCgp-B, TmB-A. Definida por King en 1939, como una secuencia de areniscas, arcillas y conglomerados bien estratificados, ligeramente consolidados y en cuya parte inferior existen derrames de basalto intercalado con aglomerados basálticos. El Consejo de Recursos Minerales agrupó dentro de esta formación a una secuencia de rocas volcánicas intermedias y básicas que están intercaladas con los conglomerados en su base y en la parte superior del conglomerado, también agrupa a un conglomerado polimíctico con clastos de basalto y andesitas basálticas. Aflora al sureste del acuífero, forma el pie de monte de las sierras La Finales y La Ventana, de igual forma constituye el embalse de la Presa Álvaro Obregón. Fuera del acuífero se localiza al este, formando parte de la Sierra Agua Zarca, así como en las cercanías del Rancho Divisadero y el poblado Cumuripa.

Dado su alto grado de compactación, a la unidad se le considera como basamento hidrogeológico de la parte granular del acuífero, frecuentemente crea condiciones de semiconfinamiento.

Formación Lista Blanca (TmTR-R). Definida por Dumble (1900), consiste de una secuencia volcánica y conglomerática. Actualmente la edad asignada a esta unidad es del Terciario (Bertollini et al 1991), ya que sobreyacen de manera concordante al conglomerado de la Formación Báucarit. Aflora en la parte central del acuífero formando la Sierra La Ventana y el

Cerro Agua Caliente, de igual forma se observa al sur del acuífero formando la Sierra El Bacatete, misma que forma parte del límite oeste del acuífero. Debido a su fracturamiento se le asigna permeabilidad que varía de media a baja.

Toba Riolítica- Basalto (TmB, Tm TR-B). Se le conoce así a una serie de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición basáltica y andesítica-basáltica que están intercaladas con tobas riolíticas e ignimbritas; afloran en la porción suroeste del acuífero, su textura es afanítica, los minerales que forman los basaltos son labradorita, olivino, vidrio, anfíboles y piroxenos; la andesita basáltica está intercalada con tobas riolíticas e ignimbritas, se encuentra sobreyaciendo a la unidad ToTR-R.

Aflora al suroeste del acuífero, en la Sierra Bacatete y en el Cerro Mesa del Estapiate. Su textura es afanítica los minerales que forman los basaltos son labradorita, olivino, vidrio, anfíboles, piroxenos, la andesita basáltica está intercalada con tobas riolíticas e ignimbritas y se encuentra sobreyaciendo a la Formación Lista Blanca. Se considera de permeabilidad media y conforma parte de la zona de recarga.

Conglomerados Recientes Limos, Arenas y Gravas (Qpt-Cgp). Los conglomerados recientes están definidos por unidades conglomeráticas polimícticas mal consolidadas con escasos horizontes de limos y arenas, los clastos de los conglomerados están por lo general bien redondeados. Los conglomerados forman terrazas, depósitos de talud y pequeños abanicos aluviales. En la zona estos conglomerados se encuentran ampliamente distribuidos, formando terrazas, depósitos de talud y pequeños abanicos aluviales, forma parte del Valle de Agua Caliente, siendo parte del acuífero en explotación, ya que algunos de los aprovechamientos se encuentran perforados en esta unidad. Debido a su litología se considera que tienen una permeabilidad alta, constituyendo zonas importantes de recarga al acuífero.

Limos arenas (Qho Im-ar). Unidad constituida por limos y arenas, su distribución en la zona es en el centro del Valle Agua Caliente, gran parte de los aprovechamientos se localizan en esta unidad.

Aluvi3n Cuaternario (Qhoal). Los sedimentos del Holoceno producidos por el intemperismo de las rocas preexistentes son depositados como abanicos aluviales y fluviales: se encuentran a lo largo de r3os, arroyos y planicies de inundaci3n activas y est3n constituidas por gravas de diferentes litolog3as, arenas y limos. Aunque tienen una permeabilidad alta, su espesor es reducido. En esta unidad se localizan parte de los aprovechamientos hidr3ulicos que existen en el acuífero.

4.2. Geología Estructural

La zona se caracteriza por presentar una sucesión de sierras altas y de escarpes pronunciados hacia el este principalmente. Estas sierras tienen un rumbo preferencial noroeste-sureste y se encuentran separadas por el Valle de Agua Caliente. Las sierras se ven afectadas por fallas con la misma orientación, originadas por los esfuerzos compresivos debido a la Orogenia Laramide y distensivos de origen más reciente que están relacionados con la apertura del Golfo de California.

La región presenta fallamiento normal con orientación noroeste-sureste, truncado por fracturas con orientación noreste-suroeste; este tipo de estructuras se puede observar en la parte este del acuífero. El rasgo más importante del que se tiene evidencia de la Orogenia Laramide es la presencia del batolito granítico que tiene una amplia distribución en la zona este del acuífero.

4.3. Geología del Subsuelo

El acuífero que se explota actualmente se ubica en un medio granular conformado por sedimentos recientes, poco consolidados constituidos por conglomerados, gravas, arenas y arcillas que en gran parte del área sobreyacen a la Formación Báucarit. El Valle Agua Caliente está enmarcado al oeste por La Sierra Bacatete, al este por una serie de montañas y sierras: La Ventana, La Finalesa y Agua Zarca.

Los basaltos que se localizan al oeste del acuífero actúan como zona de la recarga, de igual forma la unidad compuesta por tobas y riolitas que se encuentran subyacidos por los basaltos. El conglomerado de la Formación Báucarit actúa como una capa confinante debido al grado de cementación y a su litología (Figura 3). El espesor de esta unidad es variable y en algunas partes es bastante considerable; esta unidad sobreyace a andesitas y basaltos que aunque presentan una densidad de fracturamiento alta, su permeabilidad es baja, ya que las fracturas se encuentran rellenas. El basamento geohidrológico es el Batolito Laramide. Existen condiciones de confinamiento en la parte profunda del acuífero, o debido a que material de la Formación Baucarit confina material volcánico ácido (Formación Lista Blanca), que en la zona tiene potencial hidrogeológico medio que no ha sido explorado.

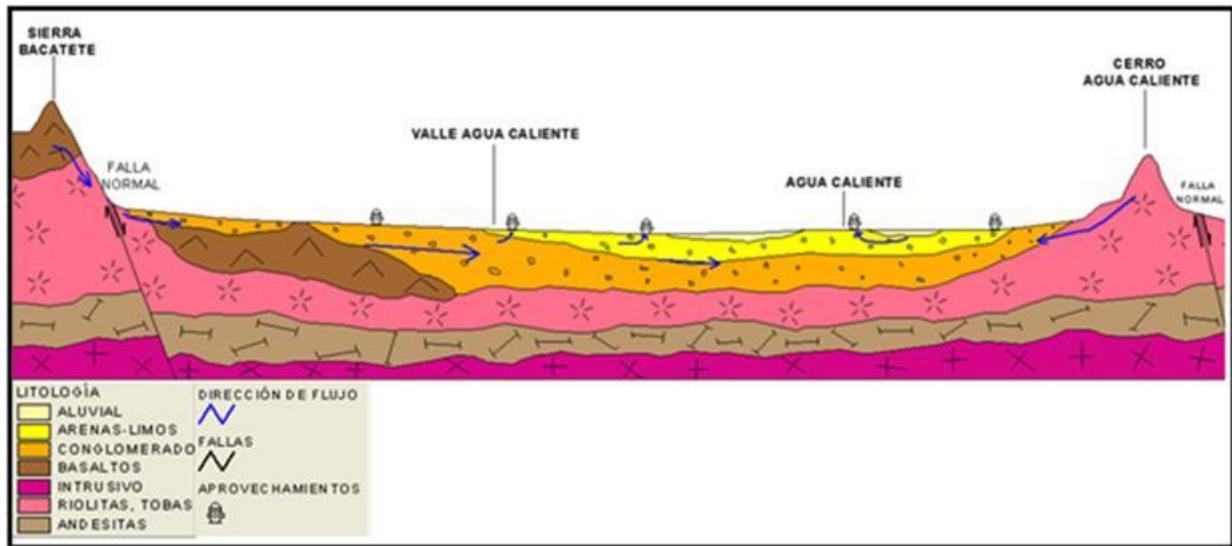


Figura 3. Sección Esquemática del Acuífero

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de Acuífero

El acuífero que actualmente se explota es de **tipo libre**, formado por una secuencia de depósitos aluviales constituidos principalmente por conglomerados, gravas y arenas, de permeabilidad alta, que se restringe a la zona del Valle Agua Caliente. Debajo de esta secuencia se localiza el conglomerado de la Formación Báucarit, el cual genera la presencia de un acuífero confinado formado por rocas volcánicas de permeabilidad secundaria por fracturamiento. Como basamento geohidrológico a profundidad y aflorando en algunas zonas del acuífero, se localizan rocas intrusivas.

Las rocas volcánicas tales como riolitas, tobas riolíticas, basaltos y andesitas constituyen las unidades de recarga, a través del fracturamiento, aunque el relleno de las fracturas limita la recarga. Estas unidades constituyen un acuífero de potencial medio a bajo, ya que los aprovechamientos que se encuentran en estas unidades extraen gastos entre 15 y 30 lps.

5.2. Parámetros Hidráulicos

Durante la campaña de censo de aprovechamientos desarrollada en el estudio de 2008 se observó que no existe una infraestructura adecuada en los aprovechamientos para llevar a cabo una prueba de bombeo. Esta razón impidió la ejecución de pruebas de bombeo.

Mediante recorridos de campo y observaciones geológicas se estimaron valores promedio de los parámetros hidráulicos representativos del acuífero. Se asignó una transmisividad de 200

m²/día (**2.3 x10⁻³m²/s**), al considerar que la mayoría de los aprovechamientos están perforados sobre material granular poco consolidado y que por debajo de este material se encuentra el conglomerado de la Formación Baucarit, mientras que en la zona serrana se estimó un valor de 130 m²/día (**1.5 x10⁻³m²/s**).

5.3. Piezometría

Para el análisis y la configuración de niveles piezométricos, así como la determinación del funcionamiento acuífero, se utilizaron los datos piezométricos recabados por SGM (2008) en 27 aprovechamientos de agua subterránea.

El volumen de extracción de agua subterránea es incipiente, los niveles de profundidad al nivel estático observados en la zona son del orden de 30 a 50 m. De manera general, los niveles en la porción este del valle son más profundos que los ubicados en la zona oeste.

La parte topográficamente más baja del acuífero se encuentra en las cercanías del poblado Agua Caliente, donde se tienen los niveles piezométricos más someros (menores a 10 m). En esta zona se localiza un manantial perenne aprovechado por la comunidad Yaqui.

5.4. Comportamiento Hidráulico

Las zonas de recarga se localizan en las sierras que delimitan al valle, como el caso de la Sierra El Bacatete, ubicada en el límite oeste del acuífero, la Sierra Agua Zarca, ubicada al noroeste, la Sierra La Finalesa que se localiza en el límite este del acuífero y la Sierra La Ventana. El flujo de agua infiltrada en estas sierras circula por el medio fracturado hasta llegar a las partes bajas donde se encuentra el Valle Agua Caliente, que está formado por conglomerados y material aluvial recientes, donde se concentran la mayoría de los aprovechamientos censados.

La dirección del agua subterránea sigue el patrón que tienen los arroyos, este flujo subterráneo es paralelo a la dirección del Río Agua Caliente y demás corrientes superficiales tributarias a la Presa Álvaro Obregón.

El modelo conceptual del funcionamiento del acuífero muestra que el agua se infiltra en las partes altas, y circula a través del medio fracturado de las rocas volcánicas de composición ácida como las riolitas e ignimbritas, así como desde las sierras que están compuestas por material volcánico de composición básica como andesitas y material basáltico, posteriormente el agua llega al valle donde circula a través del material aluvial.

El material aluvial consiste de conglomerados recientes poco consolidado, gravas y arenas localizados al pie de monte y en la zona del Valle Agua Caliente, constituye el acuífero que actualmente se encuentra en explotación y esta subyacente por conglomerado de la Formación Báucarit que opera como capa confinante entre la capa granular y la zona fracturada.

5.4.1. Profundidad al Nivel Estático

De acuerdo a la campaña de censo de aprovechamientos y medición de niveles estáticos hechos en 2008, los niveles de profundidad al nivel estático del acuífero son variados. Existen niveles someros que oscilan entre 0.3 a 5 m característicos de aprovechamientos que se localizan en las márgenes de los arroyos, como los que se observan en el poblado Agua Caliente y en el Rancho Los Sahuaritos.

Los aprovechamientos que se encuentran alejados de la influencia de los arroyos registran valores de profundidad hasta de 20 m. Los niveles de mayor profundidad, hasta 57 m, se localizan en el límite norte del acuífero. En la Figura 4 muestra la configuración de la profundidad al nivel estático.

5.4.2. Elevación del Nivel Estático

La configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (Figura 5) tiene valores máximos entre 360 y 380 msnm en la región noreste del acuífero, cerca de los ranchos El Realito y La Bonancita. En los alrededores de los ranchos Laguna Larga, Los Mautos y Rancho Nuevo, los valores de elevación del nivel estático son del orden de 240 msnm.

Conforme se avanza hacia el sur los valores de elevación del nivel estático disminuyen; en el Rancho Santa Margarita la elevación es de 225 msnm, mientras que en el Rancho El Martiniano el valor es de 220 msnm, por otro lado en los alrededores de la comunidad Agua Caliente la elevación varía entre 180 y 190 msnm. La dirección preferencial del flujo subterráneo es noroeste-sureste.

5.4.3. Evolución del Nivel Estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, debido a la falta de estudios hidrogeológicos previos, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita su configuración, por lo que no fue posible establecer una evolución de niveles piezométricos. Aunado a esto, 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 pozos y/o del bombeo, ya que el volumen de extracción es muy bajo.

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.

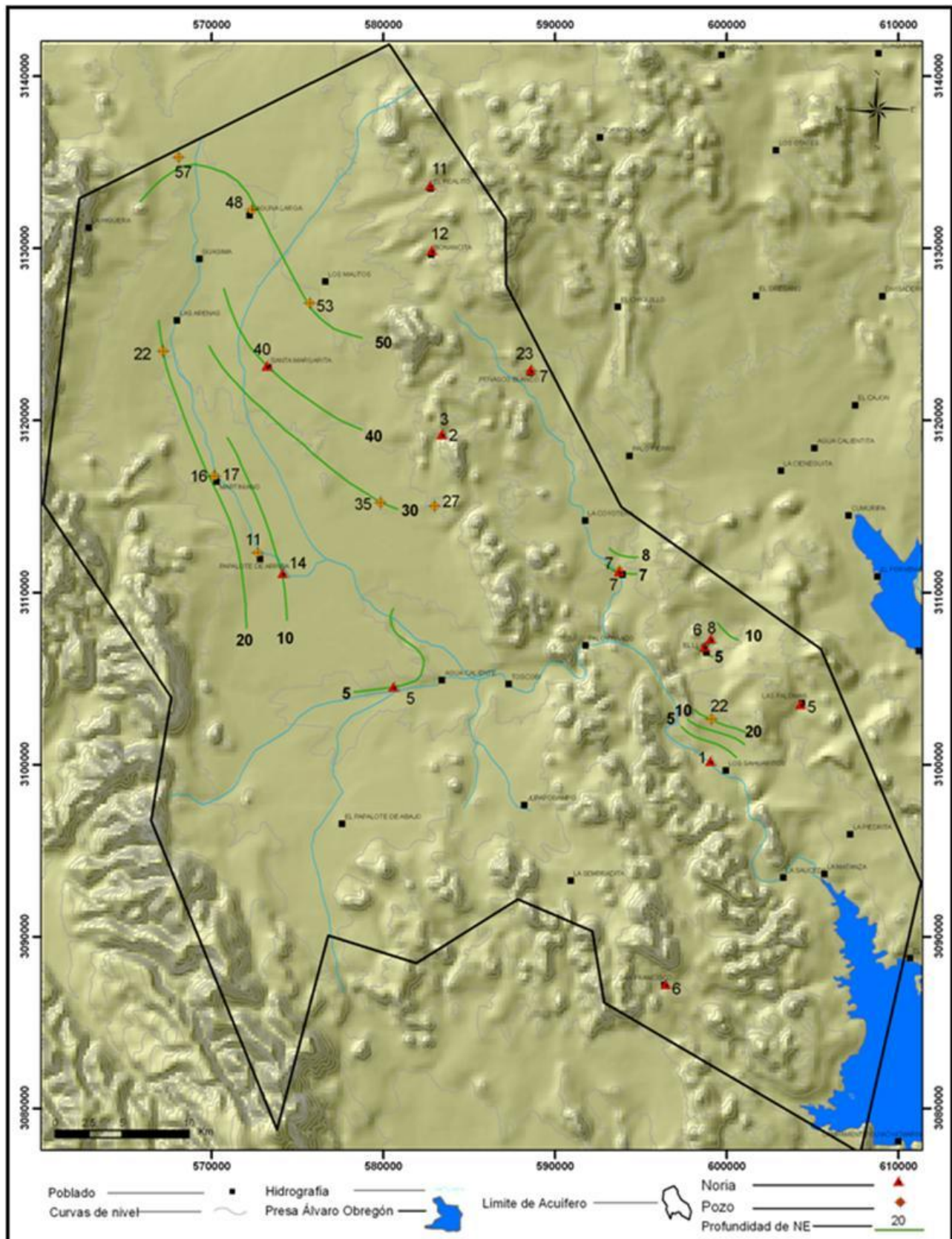


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2008

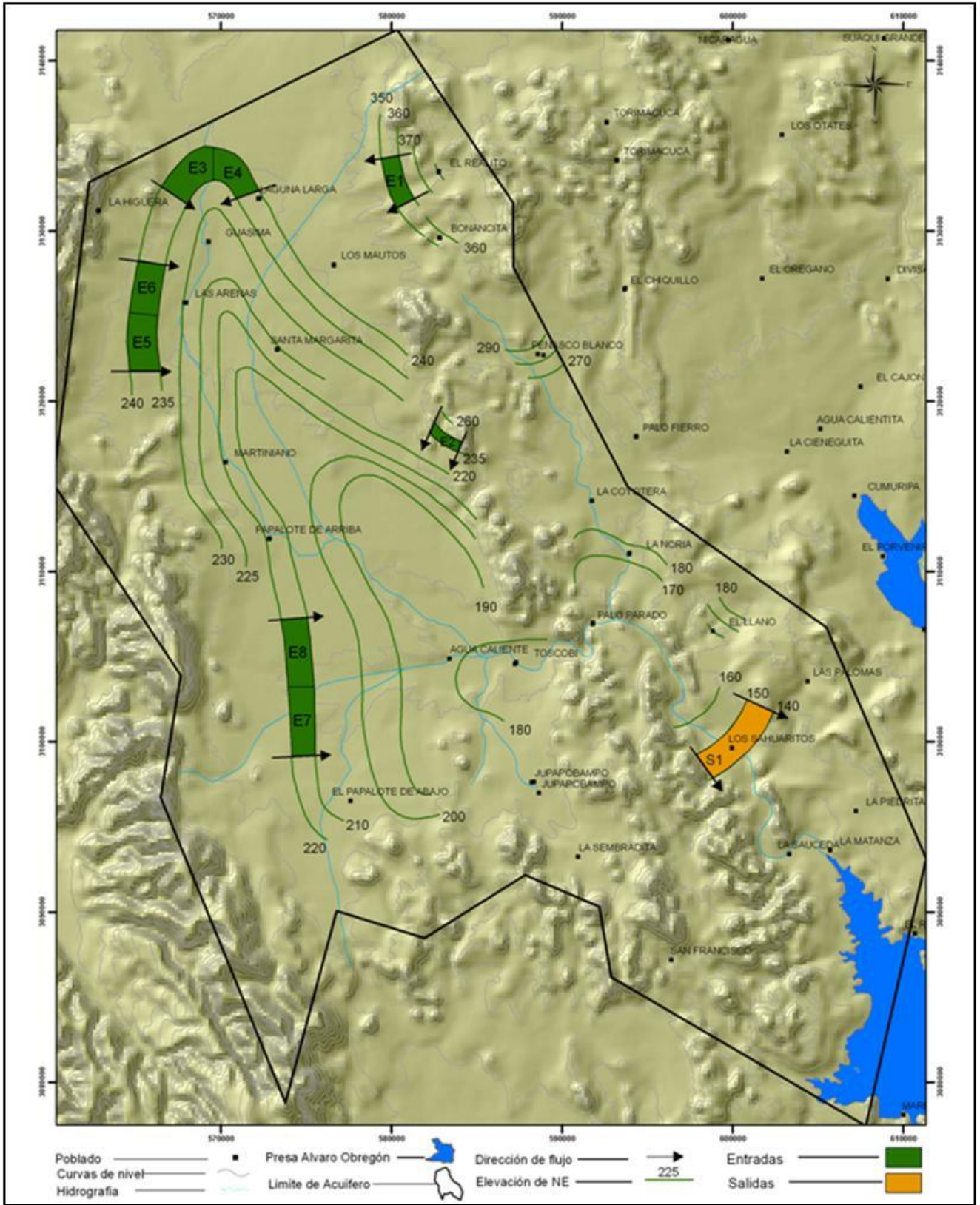


Figura 5. Elevación del nivel estático (msnm), 2008

5.5. Hidrogeoquímica y Calidad del Agua

Como parte de los trabajos de campo hechos en 2008, se tomaron las lecturas in situ de parámetros físicos y químico con el pH, Sólidos Totales Disueltos (STD), temperatura y Conductividad Eléctrica. Como resultado de esta actividad se establece que la mayor parte del agua subterránea tiene valores pH cercanos a la neutralidad, los valores de STD varían entre 300 y 500 mg/l, con excepción del aprovechamiento ubicado en el Rancho El Chupadero, con 2,170 mg/l.

La baja concentración de STD sugiere que la mayor parte del agua subterránea es de reciente infiltración, por ende su calidad tiende a ser aceptable. No se descarta la presencia de metales pesados, en su caso su distribución sería puntual y su concentración estaría relacionada al marco geológico y sus procesos de mineralización.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2008, se registró la existencia de un total de 39 aprovechamientos, de los cuales 17 corresponden a norias, 21 son pozos y 1 manantial. En estado inactivo se encuentran 5 pozos y 4 norias, que corresponden al 14% de los aprovechamientos censados.

La zona carece de infraestructura agrícola, existen únicamente cuatro pozos que se utilizan para esta actividad y con escasa área de riego, la mayoría de los aprovechamientos tienen uso pecuario (46.1 %), mientras que el 43.6% de los aprovechamientos corresponde a uso mixto (pecuario y doméstico) y el 10.25% corresponde a uso agrícola pecuario.

El volumen de extracción conjunto se estimó en 0.406 hm³ anuales, de los cuales 0.298 hm³ (73.5%) tienen uso agrícola, 0.0965 hm³ (23.7%) para uso doméstico, mientras que 0.0113 hm³ (2.8%) son 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. El balance de aguas subterráneas se definió para una superficie de **958 km²**, que corresponde a la zona donde se localizan gran parte de los aprovechamientos de agua subterránea.

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

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

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

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

Para este caso particular, dadas las pocas variaciones en niveles estáticos con respecto al tiempo, fue considerado un cambio de almacenamiento nulo, por lo cual se optó por calcular la recarga natural considerándola como incógnita de la ecuación de balance.

De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente

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

Donde:

E_h: Entradas por flujo horizontal

R_v: Recarga vertical

B: Bombeo

S_h: Salidas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración real

ΔV(S): Cambio en el volumen almacenado

7.1. Entradas

Representa la sumatoria de entradas de agua al sistema acuífero, ya sean naturales o inducidas. De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R_t) está integrada por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (R_v), y la que

proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Ri). Debido a que el volumen del agua destinada al uso agrícola es muy bajo y que no existen poblaciones urbanas de importancia en las que se generen infiltraciones de las fugas en las redes de distribución de agua potable y del alcantarillado, se considera que la recarga inducida es despreciable.

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 definida por la expresión:

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

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Recarga por flujo horizontal

Ri: Recarga inducida

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración real en niveles someros

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h + ETR \pm \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

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.

La cuantificación del caudal de agua subterránea que participa como flujo de entrada subterránea horizontal al acuífero, para un período considerado, se realiza aplicando la Ley de Darcy a la red de flujo a través de una sección limitada por dos isolíneas equipotenciales y dos líneas de corriente, definidas en la configuración de elevación del nivel estático para el período analizado. La ley de Darcy, se expresa de la siguiente manera:

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 2008 (figura 5). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos:

$$Q = V \cdot A$$

Considerando una sección, con una longitud (B) y ancho (a), con una diferencia de alturas de (Δh). El área de la sección quedará definida por:

$$A = B \cdot a$$

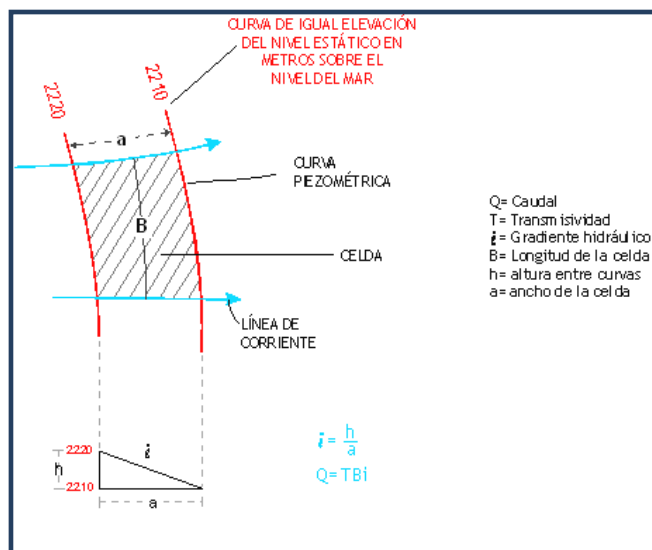
Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

i = Gradiente hidráulico ($\Delta h / \Delta L$) Δh y ΔL son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.



Sustituyendo en la ecuación de continuidad:

$$Q = B \cdot a \cdot K \cdot i$$

Ya que la transmisividad $T = K \cdot a$, la ecuación queda reducida a:

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

Donde:

T = Transmisividad en m^2/s .

B= Longitud de la celda en m

i = Gradiente Hidráulico, en m

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.

El coeficiente K, se obtiene a partir de las pruebas de bombeo de las cuales se obtiene el valor de transmisividad (T), que es el producto de la conductividad hidráulica (K) por el espesor saturado:

$$T = K b$$

En el extremo sureste y este de la zona de balance fueron generadas nueve celdas, enumeradas del uno al nueve de norte a sur, mismas que se observan en la Figura 6, en las que se utilizaron valores de transmisividad entre 130 y 200 m²/día, mismos que fueron estimados de acuerdo a las características hidrogeológicas de las rocas.

Como resultado del análisis de celdas de flujo se obtuvo un valor de **9.5 hm³/año** que representa las entradas horizontales a la zona de influencia del balance de aguas subterráneas (tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de entradas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	2909	1085	10	0.0092	0.00151	0.0405	1.3
E2	1960	609	10	0.0164	0.00151	0.0486	1.5
E3	2889	1867	5	0.0027	0.00232	0.0179	0.6
E4	2783	1676	5	0.003	0.00232	0.0193	0.6
E5	3364	1751	5	0.0029	0.00232	0.0223	0.7
E6	3057	1610	5	0.0031	0.00232	0.022	0.7
E7	4044	1434	10	0.007	0.00232	0.0654	2.1
E8	4047	1450	10	0.0069	0.00232	0.0648	2
Total de entradas							9.5

7.2. Salidas

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el sistema acuífero. Para el Acuífero Agua Caliente las descargas están representadas por Salidas Horizontales (Sh), bombeo (B) y descarga por evapotranspiración (ETR).

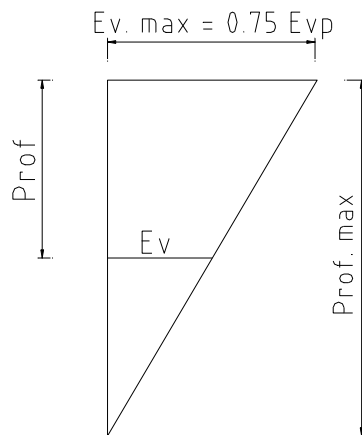
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

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

Dado que la lámina de precipitación pluvial media anual es del orden de los 442 mm y la temperatura promedio de 24.8 °C, al aplicar el método empírico de Turc para estimar ETR, su valor resulta mayor que la precipitación media, invalidando el resultado. En general, para climas áridos los métodos empíricos para estimar ETR (Turc, Coutagne, por ejemplo) se invalidan para valores inferiores a los 350 mm anuales, dependiendo del valor de la temperatura media anual.

Para el caso del Acuífero Agua Caliente, dada la falta de vegetación en zonas de niveles estáticos someros, se consideró que sólo ocurre el fenómeno de evaporación, que se presenta en las proximidades de las principales corrientes superficiales, donde existen niveles freáticos someros con profundidades entre 1 y 4 m.

De los datos reportados por evaporímetros de las estaciones analizadas se determina que la evaporación potencial promedio de la zona es de 2573 mm anuales. Se utilizó un valor de corrección de 0.75, al considerar que se determina en un almacenamiento pequeño (CNA, 2002). La superficie en la que se consideró que ocurre la evapotranspiración es de 14.2 km², que presenta profundidades al nivel estático con un valor máximo de 4 m, intervalo considerado para calcular la evaporación de acuerdo a la siguiente expresión:



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

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

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

$$ETR = \frac{0.75 (Evap. \text{ Prom.}) (\text{Área})}{4}$$

$$ETR = \frac{0.75 (2.6 \text{ m}) (14.2 \text{ km}^2)}{4}$$

$$ETR = 6.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Si se toma en cuenta que esta variable no presenta variaciones significativas ya que el flujo se mantiene de forma constante, se obtiene que la evapotranspiración potencial para la zona del acuífero como valor promedio es de **6.9 hm³/año**.

7.2.2. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el volumen total anual de extracción de agua subterránea asciende a **0.4 hm³ anuales**.

7.2.3. Salidas por flujo horizontal (Sh)

El volumen de las salidas subterráneas se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, tomando en cuenta la elevación del nivel estático mostrada en la Figura 5 y a través de la Ley de Darcy. En la Tabla 3 se muestra que el valor de las salidas subterráneas es de **2.5 hm³ anuales**, que tienden a descarga hacia la Presa Álvaro Obregón.

Tabla 3. Cálculo de salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	4679	1725	10	0.0058	0.0029	0.0787	2.5
Total salidas							2.5

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. Por otra parte, la configuración de elevación del nivel estático no muestra aún la presencia de conos de abatimiento o deformaciones de la dirección natural del flujo subterráneo, que sean ocasionados por la concentración del bombeo o de aprovechamientos. Adicionalmente, debido a que el volumen de extracción es muy inferior a la estimación más conservadora de la recarga que recibe el acuífero, todavía 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 tiende a ser nulo.

Bajo estas consideraciones, la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo **$\Delta V(S) = 0$** .

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 (R_v), por lo que despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 2.5 + 0.4 + 6.9 - 0.0 - 9.5$$

$$R_v = 0.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto la recarga total es igual a $R_t = R_v + E_h$

$$R_t = 0.3 + 9.5$$

$$R_t = 9.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la 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 = 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 **9.8 hm³/año**.

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 Agua Caliente, aunque las salidas subterráneas tienden a descargar hacia la presa Álvaro Obregón, su valor de 2.5 hm³ anuales no se considera una descarga natural comprometida.

Por lo tanto **DNCOM = 0**

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 (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo del 2009**, es de **390,000 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 Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, 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, que de acuerdo con la expresión (3) resultó ser de **9,410,000 m³ /año**.

$$\text{DAS} = 9.8 - 0.0 - 0.390000$$

$$\text{DAS} = 9.41000 \text{ hm}^3/\text{año}$$

La cifra indica que existe un volumen de **9´410,000 m³anuales** 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, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1994. Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, México, Distrito Federal.

Comisión Nacional del Agua, 1993. Presas de México. Vol. I/VI.

Servicio Geológico Mexicano, 2007. Estudio Geohidrológico del Acuífero Río Sahuaripa. Convenio de Colaboración con Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca del Noroeste.

Servicio Geológico Mexicano, 2008. Actualización Geohidrológica de los Acuíferos del Río Yaqui, Mátape, Estado de Sonora. Convenio de Colaboración con Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca del Noroeste.

SRH. Región Hidrológica No.9, Cuenca de los Ríos Sonora Yaqui-Mayo. Boletín Hidrológico No. 40, Tomo I, México, D.F., Subsecretaría de Planeación, 1970.

Villanueva Martínez, M., Iglesias López, A., 1985. Pozos y Acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Ed. ITME, Madrid.