



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO BATEVITO (2651), ESTADO DE SONORA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. GENERALIDADES..... | 2 |
| Antecedentes | 2 |
| 1.1. Localización..... | 2 |
| 1.2. Situación administrativa del acuífero..... | 4 |
| 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD | 4 |
| 3. FISIOGRAFÍA..... | 6 |
| 3.1 Provincia fisiográfica | 6 |
| 3.2 Clima..... | 7 |
| 3.3 Hidrografía..... | 7 |
| 3.4 Geomorfología..... | 8 |
| 4. GEOLOGÍA..... | 8 |
| 4.1 Estratigrafía | 8 |
| 4.2 Geología estructural | 14 |
| 4.3 Geología del subsuelo..... | 15 |
| 5. HIDROGEOLOGÍA..... | 15 |
| 5.1 Tipo de acuífero..... | 15 |
| 5.2 Parámetros hidráulicos | 16 |
| 5.3 Piezometría..... | 17 |
| 5.4 Comportamiento hidráulico..... | 17 |
| 5.4.1 Profundidad al nivel estático..... | 17 |
| 5.4.2 Elevación del nivel estático..... | 18 |
| 5.4.3 Evolución del nivel estático | 20 |
| 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea | 20 |
| 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA | 21 |
| 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | 21 |
| 7.1 Entradas..... | 22 |
| 7.1.1 Recarga vertical (Rv)..... | 22 |
| 7.1.2 Recarga inducida (Ri) | 23 |
| 7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)..... | 23 |
| 7.2 Salidas | 25 |
| 7.2.1 Evapotranspiración Real (ETR) | 25 |
| 7.2.2 Extracción por bombeo (B)..... | 26 |
| 7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) | 27 |
| 7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS) | 27 |
| 8. DISPONIBILIDAD | 28 |
| 8.1 Recarga total media anual (R)..... | 28 |
| 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)..... | 28 |
| 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)..... | 29 |
| 8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)..... | 29 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA | 30 |

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

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

1.1. Localización

El acuífero Batevito, definido con la clave 2651 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noreste del Estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas 30° 56' 15" y 31° 09' 11" de latitud y 109° 0' 00" y 109° 29' 97" de longitud oeste de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1,140 km². Limita al norte con los acuíferos San Bernardino y Agua Prieta, al sur con el Acuífero Villa Hidalgo, al oriente con Río Bavispe y al poniente con el Acuífero Río Fronteras (figura 1).

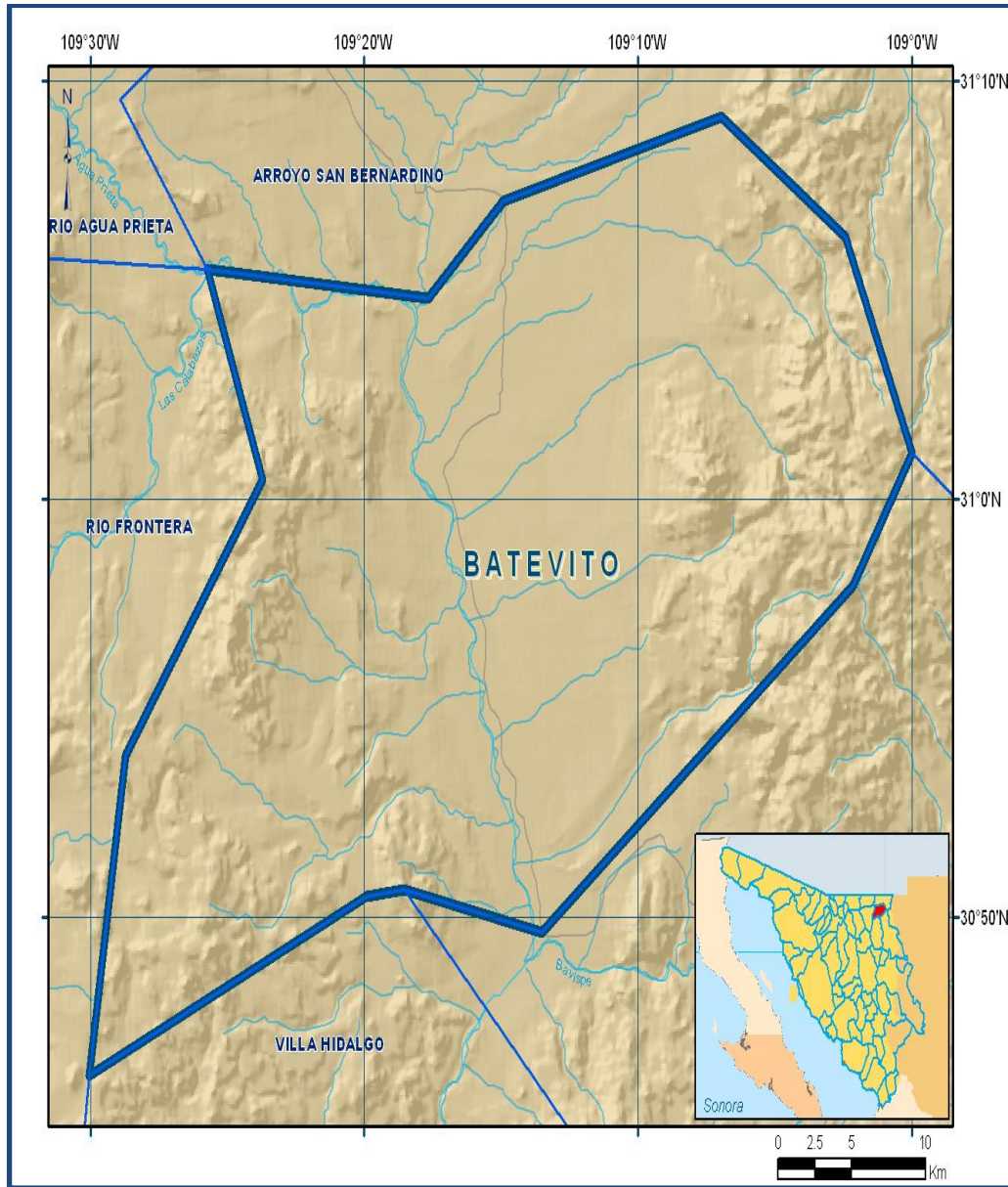


Figura 1. Localización del Acuífero Batevito

Geopolíticamente cubre parcialmente territorio de los municipios Agua Prieta y Fronteras.

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 que delimita al acuífero

| ACUIFERO 2651 BATEVITO | | | | | | |
|------------------------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|
| VERTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | |
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS |
| 1 | 109 | 25 | 43.9 | 31 | 5 | 30.1 |
| 2 | 109 | 17 | 39.9 | 31 | 4 | 49.1 |
| 3 | 109 | 14 | 55.9 | 31 | 7 | 8.9 |
| 4 | 109 | 6 | 57.8 | 31 | 9 | 8.4 |
| 5 | 109 | 2 | 25.3 | 31 | 6 | 16.3 |
| 6 | 109 | 0 | 0.4 | 31 | 1 | 6.1 |
| 7 | 109 | 2 | 9.7 | 30 | 57 | 55.3 |
| 8 | 109 | 13 | 30.5 | 30 | 49 | 39.0 |
| 9 | 109 | 18 | 33.3 | 30 | 50 | 40.4 |
| 10 | 109 | 19 | 54.6 | 30 | 50 | 30.1 |
| 11 | 109 | 30 | 1.8 | 30 | 46 | 13.6 |
| 12 | 109 | 28 | 42.4 | 30 | 53 | 52.4 |
| 13 | 109 | 23 | 43.3 | 31 | 0 | 29.2 |
| 1 | 109 | 25 | 43.9 | 31 | 5 | 30.1 |

1.2. Situación administrativa del acuífero

El Acuífero Batevito pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste y se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento, extracción y aprovechamiento de las Aguas del Subsuelo en la parte que corresponde a diversos Municipios del Estado de Sonora”, publicado en el DOF el 24 de septiembre de 1984.

Clasificado como veda tipo II que indica que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

Los usuarios principales del agua son los sectores agrícola y pecuario. 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

En el área que cubre el acuífero Batevito no se han realizado estudios de carácter hidrogeológico; sin embargo, existen algunos estudios llevados a cabo en la región, entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

INFORME DE ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR EN EL ÁREA DE NOGALES-AGUA PRIETA, EN EL ESTADO DE SONORA, realizado para la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) a través de la empresa Geoexploraciones y Construcciones, S.A. en el año de 1980. En el estudio, se ejecutaron 30 Sondeos eléctricos de resistividad, de los cuales 26 se realizaron en el valle de Fronteras (perteneciente al acuífero Río Fronteras), y 4 en la zona del Río Santa Cruz. La profundidad de investigación fue de 300 a 500 m.

INFORME PRELIMINAR DE LOS SERVICIOS DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA EN LA ZONA DE SAN BERNARDINO EN EL ESTADO DE SONORA, realizado por la empresa: Geólogos Consultores, S.A., efectuado en 1983. En el estudio se realizaron 30 Sondeos Eléctricos Verticales de resistividad para investigar a una profundidad de 300 m. De estos sondeos, 5 se llevaron a cabo en la zona del Acuífero Río Fronteras; los 25 restantes se distribuyeron en las zonas de Agua Prieta, Cuquiárachic, ejido 18 de Agosto, y en la carretera a Agua Prieta – Janos.

ATLAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y RED DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DEL ESTADO DE SONORA, realizado por la Universidad de Sonora, para la Comisión Nacional del Agua, en el 2005. El estudio consistió en establecer una red de monitoreo piezométrico para cada acuífero que se encuentra bajo la administración del Organismo de Cuenca Noroeste, que incluye la totalidad del Estado de Sonora y parte del Estado de Chihuahua. Además de planos temáticos (clima, precipitación, temperatura, geomorfología, vegetación, etc.), se incluyen planos de profundidad y elevación del nivel estático (mostrando las direcciones de flujo subterráneo). Constituye una buena obra de consulta general de los acuíferos.

ESTUDIO REGIONAL DE EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO AGUA PRIETA, MUNICIPIO DE AGUA PRIETA, SONORA, realizado por la empresa Investigación y Desarrollo de Acuíferos y Ambiente, para la empresa RAMMADSA, de Agua Prieta, Sonora, en el año 2007.

Este estudio se realizó con el propósito de evaluar la recarga media anual que recibe el acuífero. Como parte de las actividades de campo para el planteamiento y estimación de las componentes del balance de aguas subterráneas, se llevaron a cabo el censo de aprovechamientos, piezometría, nivelación de brocales de pozos, ejecución de sondeos geofísicos y toma de muestras de agua subterránea para su análisis fisicoquímico correspondiente.

SÍNTESIS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE SONORA, ASÍ COMO EL ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL ESTADO DE SONORA, elaborado en el año 2007 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. En estos estudios se describe de manera general el contexto geohidrológico del estado, de igual forma se presentan estadísticas por municipio de población, actividades económicas principales, etc.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI, MÁTAPE, ESTADO DE SONORA realizado por el Servicio Geológico Mexicano en 2008, en convenio con Comisión Nacional del Agua, llevó a cabo el estudio, cuyo objetivo fue realizar una evaluación hidrogeológica preliminar de los acuíferos de estas cuencas, para determinar su recarga media anual y su disponibilidad. 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 territorio que comprende el acuífero Batevito se encuentra ubicado dentro de dos provincias fisiográficas; "Sierra Madre Occidental y Sierras y Llanuras del Norte (Raisz, 1964)".

Provincia Sierra Madre Occidental

La Sierra Madre Occidental tuvo su origen en el Terciario Inferior, producto de la extrusión a gran escala de los materiales volcánicos, predominantemente de tipo ácido; las topofomas son en general mesetas asociadas con cañones. En la franja oriental existen cadenas montañosas y valles de orientación noreste-suroeste, producto de los fallamientos que acompañaron a los procesos de levantamiento durante el Pleistoceno. En el área existen dos subprovincias; Sierras y Valles del Norte y Sierras y Cañadas del Norte.

Sierras y Valles del Norte

Se caracteriza por la presencia de dos fisiotipos: la *Sierra Baja* al noroeste de la comunidad Junta de los Ríos, y la *Sierra Alta* que abarca la porción oeste del acuífero al nor-noroeste de Cerro Prieto, en las sierras Basomari y Fronteras.

Provincia Sierras y Cañadas del Norte

Se ubica en la parte central del acuífero, extendiéndose en un amplio valle intermontano; el cual pertenece al fisiotipo *Valle Aluvial Intermontano*, abarca las localidades de Cuchuverachi, La Junta de Los Ríos, Los Jabalis, El Rusbayo, Los Álamos, Agua Blanca, La Tinaja, La Pitahaya y Colonia Morelos.

3.2 Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por E. García (1981), el clima que predomina en la porción central del acuífero, en una franja alineada prácticamente norte-sur, es Semiseco Semicálido ($BS_{ohw}(x')$), con temperaturas medias anuales de 12 a 18°C y precipitaciones de 400 a 600 mm por año.

En la zona de pie de monte, al poniente del acuífero, así como en el extremo noreste, predomina el clima Seco Templado con Lluvias en Verano $BS_{okw}(x')$, el cual se caracteriza por tener una precipitación anual promedio que varía entre 330 y 350 mm. El clima que predomina en los extremos oriente y poniente del acuífero en las zonas elevadas es Semiseco Templado con Lluvias en Verano $BS_{ikw}(x')$, con temperaturas medias anuales de 12 a 18° C y precipitaciones de 400 a 600 mm por año.

En el extremo oriente del acuífero, en la Sierra Pan Duro, que es el área con mayor elevación topográfica de la zona, el clima predominante es Subhúmedo Semifrío $C(E)(w_1)(x')$, cuya temperatura media anual varía de 8.0 a 12.0° C.

El análisis climatológico se realizó con base en los datos obtenidos de la única estación climatológica con influencia en el acuífero, ubicada al extremo sur del mismo, en la comunidad Colonia Morelos, cuyos datos principales se observan en la Tabla 2. La temperatura media anual registrada en la estación Colonia Morelos es de 27.9° C, la precipitación media anual de 337.5 mm/año y una evaporación potencial es de 2,248 mm/año.

3.3 Hidrografía

Las principales corrientes del acuífero son los ríos Agua Prieta y Batevito, ambos de tipo intermitente. Al norte de los límites del acuífero se observa el Río Agua Prieta, con una dirección preferente este-oeste, que posteriormente se convierte en el Río Fronteras. El Río Batevito se origina en la comunidad Junta de los Ríos, con dirección preferente norte-sur. A lo largo de su trayecto se le incorporan diversos afluentes: La Cueva, La Eme, La Cabellera, entre otros.

Posteriormente, en las inmediaciones de la comunidad Colonia Morelos, se une al Río Bavispe. El acuífero Batevito se ubica dentro de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur (RH-9). Esta región se caracteriza por el nacimiento de sus corrientes en la Sierra Madre Occidental. Se encuentra dentro de la Cuenca del Río Yaqui, en la Subcuenca Río Batevito.

No existe infraestructura hidráulica para el almacenamiento y aprovechamiento de las aguas superficiales.

Sólo existen obras de captación de agua subterránea, principalmente norias para el abastecimiento de las necesidades del uso doméstico y abrevadero, en menor cantidad pozos con caudales considerables (alrededor de 40 lps), además de dos zonas de manantiales: Los Aguajes y El Ojito.

3.4 Geomorfología

Orográficamente el área está representada por sierras alargadas que se ubican en los flancos oriental y occidental, orientadas en sentido general norte-sur y noroeste-sureste, respectivamente; mientras que en la porción central existe un amplio valle con una pendiente suave. Las elevaciones del relieve terrestre de la región oscilan entre 800 y 2300 msnm. El punto más alto se ubica en la Sierra La Escondida, específicamente en el Puerto El Zumbido, con 2300 msnm.

En la zona se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas: al este las sierras Las Minutas, Pan Duro, Pitaycachi, La Escondida y La Cabellera, mismas que en conjunto sirven de parteaguas superficial del acuífero. Al oeste se observan las sierras Basomari y Fronteras, esta última fuera del acuífero y con una dirección preferente noroeste-sureste, mientras que en la parte central del acuífero existe un valle de pendiente suave.

4. GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

El área se caracteriza por presentar un contexto geológico variado; las unidades litológicas que afloran en ella comprenden un registro estratigráfico del Jurásico Superior al Reciente. A continuación, se hace una breve descripción de ellas, en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente, cuya distribución se observa en la Figura 2.

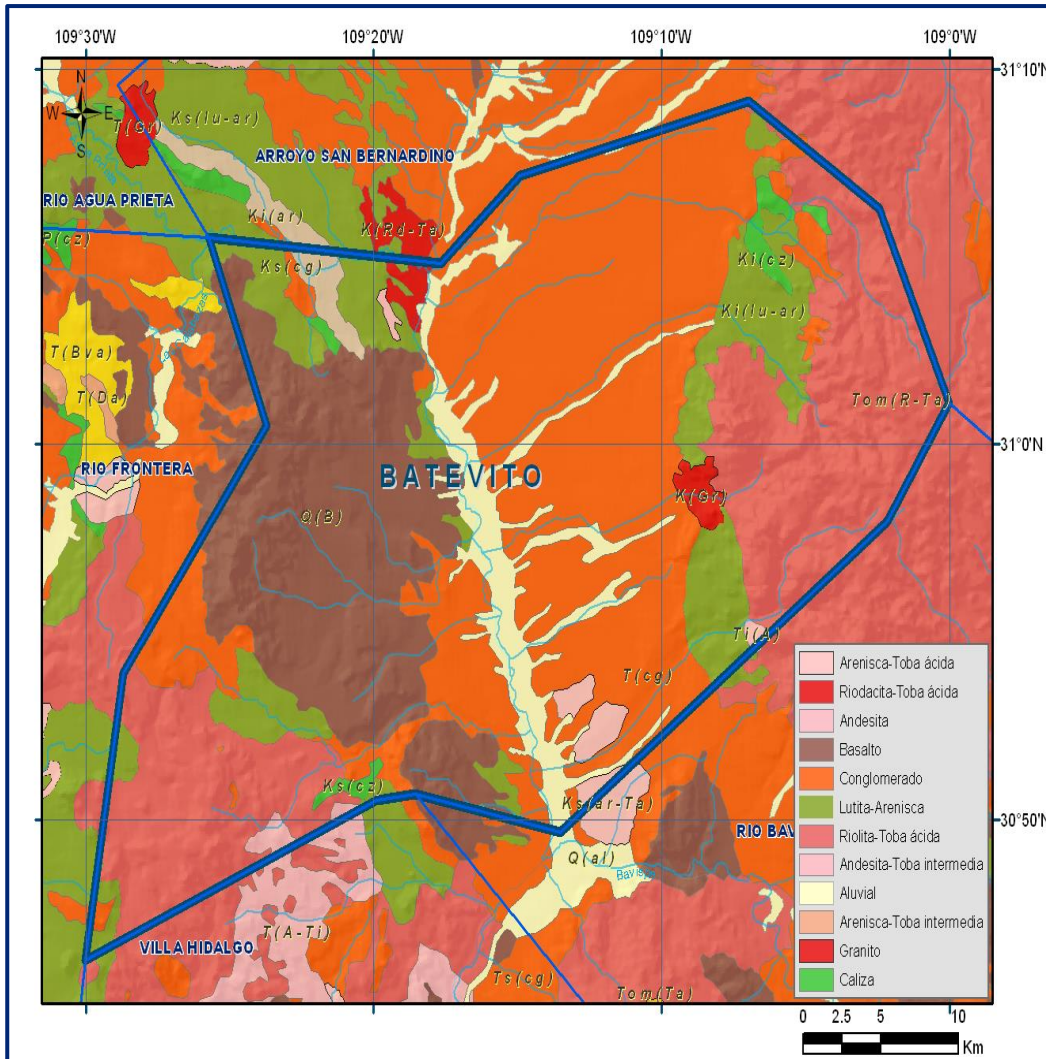


Figura 2. Geología general del acuífero

JURÁSICO SUPERIOR

Conglomerado Glance (JsKiCgp-Ar). Esta unidad forma parte del Grupo Bisbee, el cual engloba cuatro formaciones: Conglomerado Glance, Morita, Caliza Mural y Cintura. El Conglomerado Glance es una secuencia de rocas conglomeráticas que aflora en las faldas de la Sierra Basomari, en el extremo poniente del área. Está constituido por conglomerados polimícticos poco rodados con algunos horizontes de areniscas, presenta una coloración que varía de gris morado a café rosado-rojizo con cantos de intrusivos, esquistos precámbricos y en menor proporción, rocas volcánicas jurásicas, cuarcitas y calizas paleozoicas. Por su grado de compactación a la unidad se le asigna una permeabilidad predominantemente baja, aunque ocasionalmente puede incrementarse por fracturamiento.

CRETÁCICO INFERIOR

Formación Morita (Kap Ar-Lu). Se define como una serie alternada de capas de lutitas de color café rojizo y areniscas de coloración rojiza a gris; ocasionalmente presentan capas de areniscas conglomeráticas de grano anguloso y lentes de caliza impura. Aflora en la porción noroeste del acuífero. Sobreyace concordantemente al Conglomerado Glance y es sobreyacida en concordancia por la Caliza Mural. Se le asigna permeabilidad media baja.

Formación Caliza Mural (Kapa Cz). Aflora al noroeste del acuífero, con una orientación preferente noroeste-sureste, está constituida en su mayor parte por calizas con estratificación delgada en la base y gruesas en la cima, con abundante contenido fosilífero; ocasionalmente se presentan en la base algunas intercalaciones de areniscas de estratificación delgada y lodolitas de estratificación delgada. Sobreyace concordantemente a la Formación Morita y subyace de manera concordante y gradual a la Formación Cintura.

Por sus componentes de grano fino, esta unidad es de permeabilidad baja, aunque sus horizontes arenosos ocasionan un aumento de la permeabilidad, de baja a media.

Formación Cintura (Ka Ar-Lu). Al igual que las formaciones del Grupo Bisbee, aflora al noroeste del acuífero, con un espesor mayor a 500 m. Consiste principalmente de una intercalación en estratos delgados de areniscas y lutitas con ocasionales horizontes de carbón y lutitas carbonosas, conglomerados y calizas; las areniscas son de color café rojizo a blanco, mientras que las lutitas presentan coloraciones que varían de gris verdoso a rojizo y negro.

La estratificación cruzada y rizaduras de corriente que las areniscas contienen en su base, los horizontes de carbón y lutitas carbonosas en la parte media de la formación, así como la presencia hacia la cima de horizontes con troncos de árboles petrificados, la distinguen de la Formación Morita. Por su alto grado de compactación y material de grano fino, presenta permeabilidad baja.

Secuencia indiferenciada (Ki Cz-Ar). Es una serie de rocas sedimentarias, marinas, indiferenciadas; litológicamente la secuencia en su mayoría está constituida por areniscas de cuarzo, arcosas y feldespáticas, calizas, limolitas, lodolitas y escasos horizontes basales de conglomerados, es posible su correlación con el Grupo Bisbee.

Esta secuencia aflora en la porción noreste del acuífero, entre las sierras Minitas, Pan Duro y Pitaycachi; existe otros afloramientos al sur de la Sierra Basomari. Se considera que tiene una permeabilidad media baja.

CRETÁCICO SUPERIOR

Grupo Cabullona (Ks Ar-Lu y Ks Cgp-TR). Es una potente secuencia de rocas detríticas con cantidades pequeñas de ceniza volcánica que descansan discordantemente sobre rocas del Cretácico Inferior.

Consiste básicamente de areniscas, lutitas, limolitas y en menor escala horizontes y lentes conglomeráticos de color gris, verde, café y morado, ocasionalmente intercalados con tobas riolíticas de color gris-morado y más raramente niveles de flujos lávicos intermedios.

Las areniscas están dispuestas en estratos delgados a medios, muestran estratificación cruzada y alto contenido fosilífero (gasterópodos, pelecípodos, etc.); las limolitas y lutitas contienen flora de plantas carbonizadas. Es cabalgada por la Formación Conglomerado Glance y sobreyace en discordancia a la Formación Cintura; está cubierta discordantemente por conglomerados polimícticos y gravas y arenas del Pleistoceno; está afectada por un intrusivo granítico del Oligoceno. La cubren en discordancia conglomerados polimícticos, gravas y arenas del Pleistoceno.

Aflora al suroeste del área, en los límites del acuífero, de igual forma en la zona sur (fuera de los límites del acuífero), así como en las sierras El Tigre y Pitaycachi. Su permeabilidad varía de media a baja.

ROCAS INTRUSIVAS

Batolito Laramide (KsTpgPmz y ToGr). En general los intrusivos cretácicos de composición diorítica y granítico-granodiorítica afloran en la región centro occidente del acuífero, así como en la zona noroeste del área (fuera de los límites del acuífero), tienden a formar cerros y lomas de escasa altura.

La unidad formada por Diorita (KsTpgPmz), clasificada como monzonita, presenta una coloración gris clara, de textura fanerítica, presenta minerales de feldespato, ferromagnesianos y óxidos de hierro.

La unidad Granito (ToGr) clasificada como una metatonalita de biotita, microscópicamente presenta una coloración café claro a rojiza, de textura fanerítica con feldespatos, cuarzo y óxidos de fierro. Hacia el este de la Sierra Pitaycachi afloran dos plutones monzoníticos uno del Paleoceno y un pórfido monzonítico de finales del Cretácico Superior.

PALEÓGENO-NEÓGENO

Secuencia Volcánica Intermedia (TeoA-TA). Conformada por andesitas y en menor escala tobas andesíticas que afloran en el Cerro Puerto Blanco, así como en el límite suroeste del acuífero, en las faldas del Cerro La Grulla. Las andesitas presentan una coloración gris clara en roca fresca, intemperizan a un color café amarillento con texturas afaníticas y faneríticas, su mineralogía se compone de feldespatos, ferromagnesianos, minerales arcillosos y óxidos de fierro.

En los afloramientos se observa que infrayace discordante a la secuencia volcánica ácida oligocénica, su contacto inferior se desconoce. Por el intenso fracturamiento que presenta, a esta unidad se le asigna una permeabilidad que varía de media a alta.

Secuencia Volcánica Ácida (ToTR-R, ToTR). Rocas volcánicas representadas por tobas riolíticas, ignimbritas, riolitas, riodacitas, traquitas, aglomerados y domos riolíticos. Forma parte del gran evento volcánico oligomiocénico que dio lugar a la formación de la Sierra Madre Occidental; aflora principalmente en los flancos este y suroeste del acuífero, el espesor de esta secuencia se estima que es mayor de 1000 m.

La principal relación estratigráfica en la base de esta unidad es con la secuencia sedimentaria del Grupo Bisbee, con la que tiene contacto tectónico por falla normal y sobreyaciéndola discordantemente se encuentran las sierras Pitaycachi, y Los Embudos, donde también sobreyace a andesitas y areniscas correlacionables con la Formación Mesa del Cretácico Superior.

Hidrogeológicamente la unidad es de importancia ya que es una zona de recarga que aporta la mayor parte del agua que recarga al acuífero.

Formación Báucarit (TmCgp-B, Tm Cgp-Ar, TmCgp-TR). Secuencia de areniscas, conglomerados bien consolidados y arcillas bien estratificadas, cuya parte inferior contiene flujos de basaltos intercalados con aglomerados basálticos.

Se considera producto de una sedimentación continental principalmente de ambientes fluviales y lacustres interestratificadas con rocas volcánicas ácidas, básicas e intermedias, su origen está íntimamente ligado a la distensión terciaria.

Aflora en las sierras Pitaycachi, La Cabellera y El Tigre, su contacto está delimitado por la Falla Pitaycachi; en los márgenes de los ríos Agua Prieta, Cuchuverachi y Batevito, así como al sureste del Cerro La Cabullona, donde se encuentra rellenando depresiones causadas por la distensión terciaria limitada por la Falla La Cabullona. Por su alto grado de compactación y material fino, a esta unidad se le considera sello, generando condiciones de confinamiento y semiconfinamiento.

Secuencia Volcánica Básica (Tm B-A). Se trata de una serie de rocas representadas por basaltos, andesitas, andesitas basálticas, así como aglomerados basálticos con ocasionales intercalaciones de tobas ácidas de naturaleza riolítica y riodacítica, donde su principal relación estratigráfica es con la secuencia volcánica ácida del Oligoceno.

Dentro de la zona su afloramiento más importante se observa en la Sierra Basamori, cubriendo discordante a rocas correlacionables con el Grupo Bisbee y la Formación Báucarit; en la misma región, al sur del Cerro Cabullona, sobreyace discordante a la Formación Morita. Generalmente su espesor aflorante no sobrepasa los 50 metros, a excepción de la Sierra Basamori donde alcanza 300 m; su ambiente de depósito es volcánico continental, ligado íntimamente a la distensión miocénica que produjo fallamiento regional normal con fisuras profundas. Por su fracturamiento y espesor a esta unidad se le asigna una permeabilidad que varía de media a alta.

CUATERNARIO

Conglomerados Polimícticos del Pleistoceno (Qpt Cgp). Unidad conglomerática polimíctica mal consolidada con escasos horizontes de limos y arenas, los clastos están por lo general bien redondeados y son producto de la denudación detrítica de las rocas preexistentes, formando terrazas y depósitos de talud; se distribuyen principalmente en la porción central del acuífero en llanuras intermontanas, aflora en el Valle El Riyito; con espesores aproximados de 50 m.

Estos depósitos por lo general se encuentran cubriendo a la Formación Báucarit y unidades preterciarias y son cubiertos por depósitos aluviales de ríos, arroyos y planicies de inundación. Permeabilidad alta.

Gravas y Arenas (Qptgv-ar). Esta unidad se encuentra constituida por sedimentos de naturaleza litológica variable, que granulométricamente consiste de gravas, arenas, limos y arcillas, que en algunas ocasiones presentan estratificación débilmente marcada, aunque la mayor parte de las veces se presenta masiva. Estos depósitos se encuentran cubriendo discordantemente a las unidades preexistentes, rellenando depresiones y cuencas actuales y son considerados de edad Pleistoceno Superior. Su permeabilidad es alta.

Aluvión (Q al) Los depósitos superficiales cuaternarios se encuentran restringidos a los lechos de los ríos, planicies de inundación y arroyos; estos afloramientos consisten de gravas, arenas, limos y arcillas sin consolidar. El aluvión presenta permeabilidad alta.

4.2 Geología estructural

La zona se caracteriza por una sucesión de sierras altas alargadas de rumbo preferencial norte-sur y separadas por una fosa que corresponde al Valle El Riyito (San Bernardino-Batevito), limitado al oriente por las sierras Las Minitas, Panduro, Pitaycachi y La Cabellera y al occidente por las sierras El Caloso y Basomari. Dicha fosa se encuentra rellena de material clástico; esta morfología es producto de la última etapa tectónica distensiva iniciada a partir del Terciario.

Una de las principales estructuras de la zona caracterizada por tener un comportamiento regional, se localiza en el flanco occidental de la Sierra Las Minitas. Se trata de una estructura simétrica aparentemente buzante al sureste con una extensión mayor de 5 Km, su plano axial tiene una orientación noroeste cuarenta grados sureste; y el sinclinal Agua Zarca es el complemento sinforme del anticlinal Panduro con una orientación y longitud similar o igual a éste, esta estructura aparentemente termina al suroeste, donde se pierde casi en el contacto con la secuencia volcánica ácida terciaria de la Sierra Pan Duro, al noroeste es cortada normalmente por la falla Pitaycachi.

La deformación frágil está representada por fallas normales de orientación noroeste-sureste, norte-sur y noreste suroeste. Las primeras estructuras originaron fosas y pilares con la orientación referida, las cuales fueron rellenas por depósitos continentales conglomeráticos de la Formación Báucarit. De los principales rasgos estructurales de la zona resaltan las fallas Panduro, Las Minitas y Pitaycachi.

4.3 Geología del subsuelo

El acuífero que se explota actualmente se ubica en un medio granular no consolidado, constituido por gravas arenas y limos; por debajo de éste, en el valle existe un paquete consolidado del Conglomerado Glance. En los flancos noreste, sur y poniente del acuífero se encuentra un paquete de tobas riolíticas de gran espesor por el cual circula agua subterránea.

En las sierras aledañas al valle, principalmente al noreste y noroeste de la zona, afloran calizas, areniscas y lutitas de edad cretácica, correspondientes al Grupo Cabullona, a las formaciones Mural, Cintura, Morita y a la Secuencia Indiferenciada; a través de las cuales el flujo subterráneo se mueve en su dirección natural hacia el valle.

El basamento y las fronteras al flujo subterráneo del acuífero están constituidos por el Conglomerado Glance que subyace al conglomerado polimíctico del Cuaternario, las unidades de baja permeabilidad de la Formación Báucarit y los intrusivos Laramídicos de composición granítica.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas, es posible definir que el acuífero que actualmente se explota es de tipo libre, formado por una secuencia de depósitos aluviales constituidos principalmente por gravas, arenas y arcillas, de permeabilidad media, que se restringe a los cauces de los arroyos.

Debajo de esta secuencia y fuera de los cauces de los ríos y arroyos, el acuífero está conformado por conglomerados y una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. El conglomerado polimíctico del Cuaternario presenta buenas posibilidades de explotación debido a su bajo grado de consolidación y los escasos horizontes de limos y arenas que presenta. Ambas unidades descansan sobre el Conglomerado Glance, el cual presenta baja permeabilidad.

La principal fuente de recarga es el agua de lluvia que se infiltra en las zonas topográficamente altas, donde existan condiciones de permeabilidad adecuadas, predominantemente en materiales riolíticos y basálticos, que afloran en las sierras Las Minitas, Los Embudos, Pan Duro, Pitaycachi y Basamori, cuyo flujo superficial y subterráneo recargan al valle principal.

En menor proporción existe recarga por infiltración vertical del agua de lluvia que se precipita en el valle. La Figura 3 representa una sección esquemática orientada este-oeste, en la que se observa la distribución de unidades geológicas, evidenciando la zona acuífera granular y fracturada, así como las unidades que constituyen el basamento hidrogeológico.

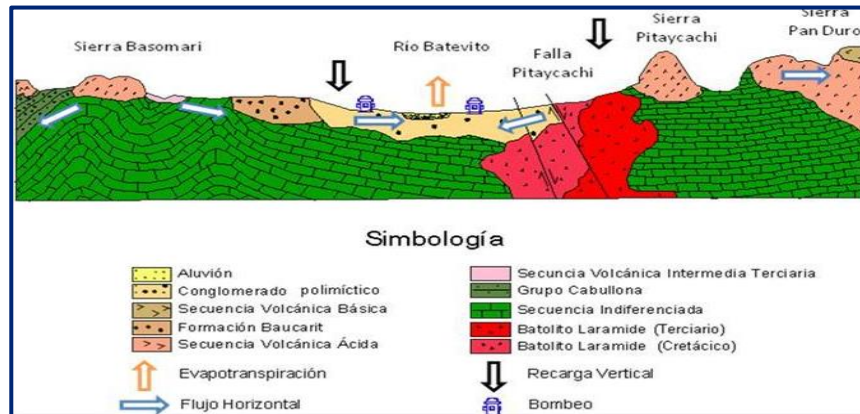


Figura 3. Modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico

5.2 Parámetros hidráulicos

Durante la campaña de censo de aprovechamientos desarrollada en el estudio de 2008 se observó que la mayoría de los aprovechamientos que cuentan con equipos eléctricos y condiciones adecuadas para desarrollar pruebas de bombeo, están fuera de operación o en su defecto no cuentan con orificio para el monitoreo de los niveles del agua.

Dado que los aprovechamientos donde se elaboraron las pruebas de bombeo se localizan en las inmediaciones de cauces de los arroyos y ríos, no son representativos de todo el acuífero. Para el caso de la transmisividad se considera un valor promedio de $1.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (100 m²/día) y conductividad hidráulica de $5.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, valores que son consistentes e hidrogeológicamente correlacionables de manera regional con los obtenidos en el estudio realizado en el 2007 para la empresa RAMMADSA, en el acuífero vecino Río Agua Prieta.

Los valores de transmisividad utilizados en las celdas de entradas y salidas horizontales del acuífero, fueron establecidos con base en las características litológicas, permeabilidad y espesor saturado.

En el caso de las entradas se utilizaron valores entre 1.6×10^{-3} y 1.8×10^{-3} m/s, mientras que en la zona de salidas fue estimado un valor de 2.2×10^{-3} m/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 34 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 21 corresponden a norias y 13 a pozos, diseminados en el acuífero.

5.4 Comportamiento hidráulico

En el acuífero Batevito se identificaron tres principales zonas de recarga, una proveniente del Acuífero San Bernardino; otra más al oriente del acuífero, en las sierras Las Minutas, Los Embudos Pan Duro, Pitaycachi y La Cabellera, y la tercera zona al occidente, en las sierras Basomari y Fronteras, donde las zonas elevadas se caracterizan por abundantes precipitaciones en época de lluvias, mismo que se infiltra al subsuelo para posteriormente viajar en dirección a la zona de valle. La velocidad y tiempo de tránsito del flujo subterráneo está íntimamente ligado a la litología y profundidad del nivel estático.

En la zona las condiciones de recarga natural no se han visto excedidas por el volumen extraído, por lo que el acuífero se encuentra en condiciones iniciales, es decir, no se han generado conos de abatimiento modifiquen las direcciones naturales del flujo subterráneo. Las mediciones y posteriores configuraciones piezométricas confirman lo expresado anteriormente, es decir, el flujo subterráneo mantiene la misma dirección que el superficial.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de la profundidad al nivel estático (Figura 4) muestra la presencia de una zona somera en el cauce de los arroyos (subálveo), con niveles entre 0.4 y 9.4 m, localizados en su gran mayoría sobre las márgenes del Río Batevito. Es evidente la influencia de la topografía sobre la profundidad al nivel estático. Las menores profundidades se localizan en los subálveos de los arroyos y los mayores conforme se incrementa la elevación del terreno.

Los valores máximos fueron registrados en pozos al noreste del valle, específicamente en el Rancho Los Alisos y sus alrededores, con variaciones entre 18.5 y 44.1 m. Tales aprovechamientos están perforados sobre material conglomerático del Cuaternario.

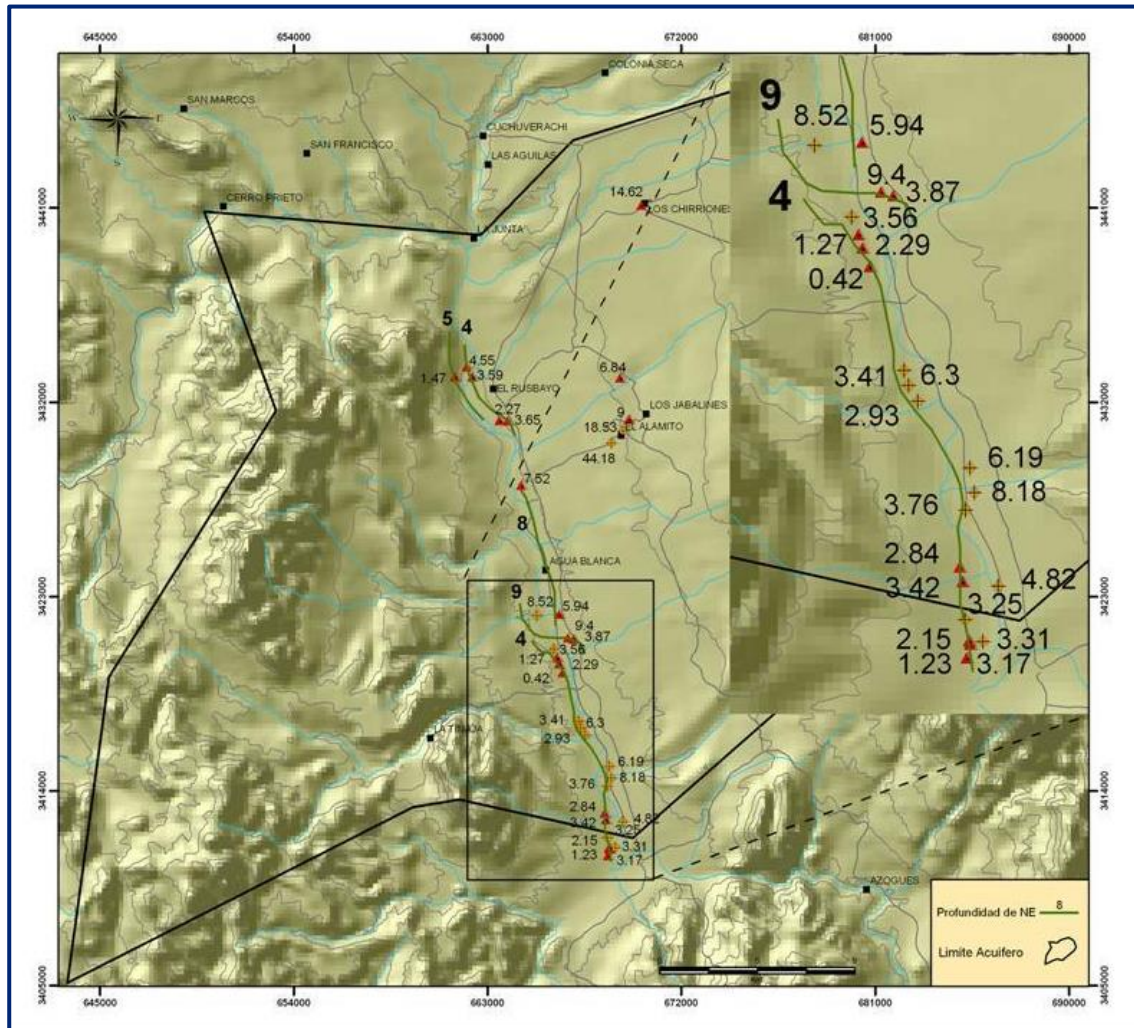


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2008)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2008 (Figura 5) presenta elevaciones que varían entre 835 hasta 990 msnm, los valores más altos se presentan en la porción noreste del acuífero en las inmediaciones del Rancho Los Alisos, mientras que elevaciones menores se ubican sobre el cauce del Río Batevito.

El comportamiento general de los valores de elevación de nivel estático es el siguiente: valores máximos entre 915 y 990 msnm se localizan en los alrededores del Ejido El Rusbayo, mientras que valores medios entre 860 y 880 msnm se ubican en los alrededores de la comunidad Agua Blanca.

Por último, valores mínimos entre 835 y 845 msnm se localizan en las inmediaciones de la comunidad Colonia Morelos, en el límite sur del acuífero.

La dirección preferencial del flujo subterráneo es de norte a sur, de manera paralela al cauce del Río Batevito, con una alimentación importante proveniente desde las estribaciones de las sierras ubicadas al oriente y poniente del acuífero. Las principales zonas de recarga al acuífero se originan en las sierras Los Embudos y las Minitas; en tanto que las salidas horizontales, se presentan al sur del acuífero, en la confluencia de los ríos Batevito y Bavispe, hacia el Acuífero Río Bavispe.

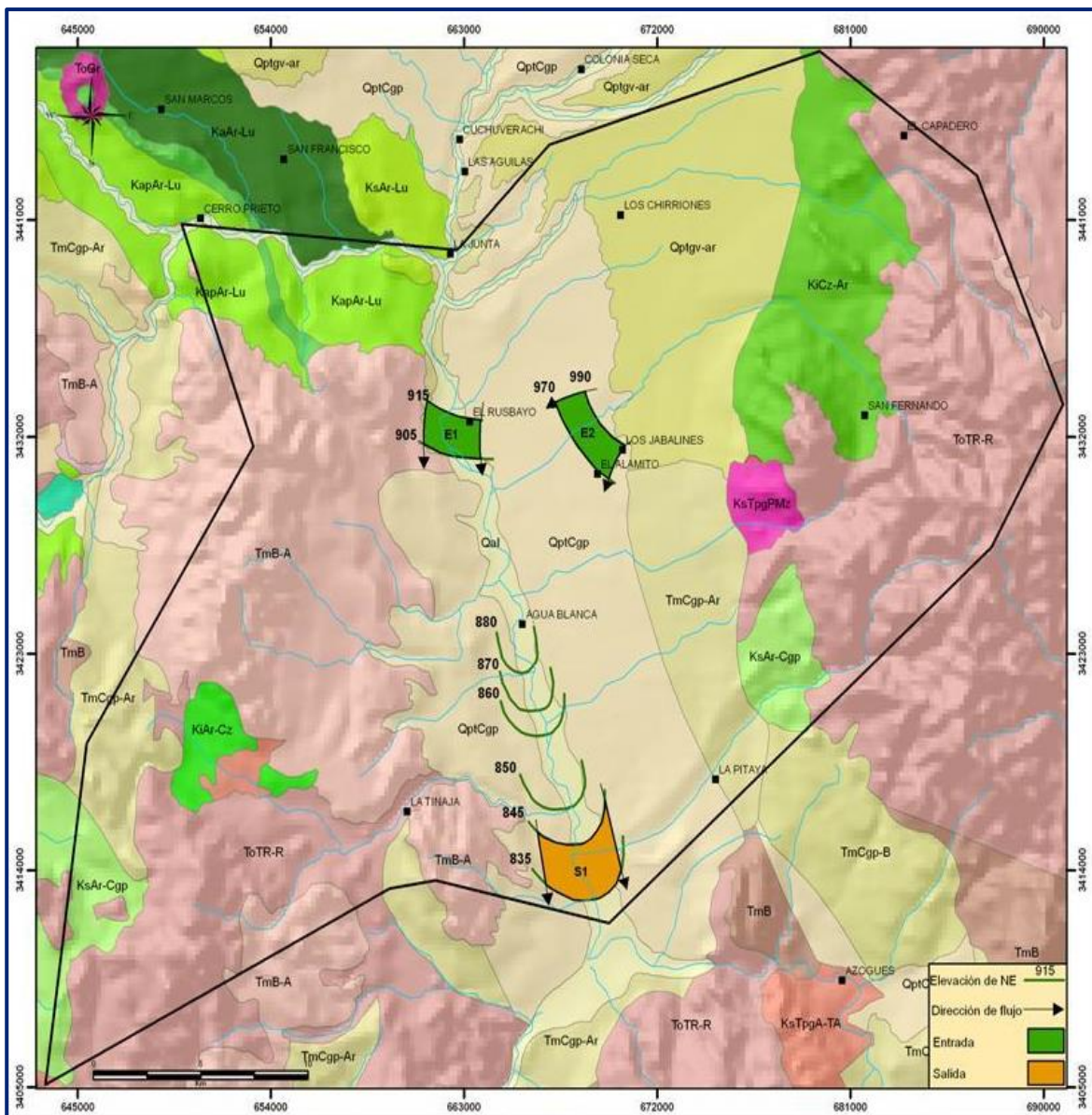


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita su configuración.

Las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra 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.

El volumen de extracción se ha estimado en 7.0 hm³ anuales, valor que es muy inferior a la recarga más conservadora que pudiera estimarse.

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

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En 2008 de manera paralela al censo de aprovechamientos se llevó a cabo la toma de parámetros físicos y químicos del agua: potencial de hidrógeno (pH), potencial de óxido reducción (Eh), conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), salinidad y temperatura del agua.

La mayor parte del área registró valores de pH neutros o cercanos a la neutralidad, si bien existen aprovechamientos con pH menores de cinco y mayores de ocho, éstos tienen un comportamiento particular y no necesariamente reflejan una tendencia del comportamiento general del acuífero.

De acuerdo con los valores de concentración de Sólidos Totales Disueltos, los valores obtenidos oscilan entre 300 y 1200 mg/l, lo cual refleja, aunado a valores neutros de pH, que la mayor parte del agua extraída es de reciente infiltración. No se descarta la presencia de metales pesados en concentraciones superiores a la normatividad vigente, sin embargo, su presencia estará relacionada al comportamiento geológico y diversos procesos de mineralización.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo de aprovechamientos realizado en el 2008, se registró la existencia de 59 aprovechamientos; de los cuales 35 son norias, 22 pozos y 2 manantiales. Del total de obras, 11 permanecen inactivas, ya sea fuera de uso temporalmente, abandonados, azolvados, con el generador quemado, en mantenimiento o han sido reemplazados por otros.

Del total de aprovechamientos, 48 (81%) son de uso agrícola, 5 (9%) de uso público (se incluye un manantial); 3 (5%) de uso pecuario, 2 (3%) de uso doméstico y 1 (2%) se encuentra fuera de uso.

Se estima que el valor de la extracción asciende a **7.0 hm³ anuales**, de los cuales 6'973,848 m³ se utilizan para la agricultura; 31,536 m³ para el abastecimiento de agua potable, y un volumen de 2,448 m³ para uso doméstico.

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 en una superficie de **469 km²**, que corresponde a la zona donde se localizan la mayor 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 de un acuífero:

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

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

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

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Entradas por flujo horizontal

Ri: Recarga inducida

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración real

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

7.1 Entradas

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

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

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

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que el cambio de almacenamiento (ΔV) tiende a ser nulo y a que se tiene información para calcular las entradas y salidas por flujo subterráneo con base en la Ley de Darcy, el valor de la recarga vertical fue despejado de la ecuación de balance definida por la siguiente expresión.

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Recarga inducida (R_i)

La recarga inducida o retorno de riego agrícola se determinó en función del volumen que se extrae del acuífero para uso agrícola. De manera general, se considera que un 20% de este volumen retorna al sistema acuífero en forma de recarga inducida. De acuerdo a la hidrometría estimada, anualmente se extraen 7.0 hm³ de agua subterránea; de los cuales 6.9 hm³ son de uso agrícola, por lo cual el valor de la recarga inducida es de **1.4 hm³/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 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).

$$T = K b$$

Se identificaron 2 celdas de entrada enumeradas E1 y E2, como se puede observar en la Figura 5, donde el valor de transmisividad fue asignado con base en la litología y el espesor saturado. Como resultado del cálculo de entradas horizontales se estima un valor de **0.8 hm³/año** (Tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de entradas horizontales subterráneas

| CANAL | LONGITUD B (m) | ANCHO a (m) | h_2-h_1 | Gradiente i | T | CAUDAL Q (m ³ /s) | VOLUMEN (hm ³ /año) |
|-----------------------|-------------------|----------------|-----------|-------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | | | (m) | | (m ² /s) | | |
| E1 | 1697 | 2665 | 10 | 0.0038 | 0.0018 | 0.0115 | 0.4 |
| E2 | 1380 | 3554 | 20 | 0.0056 | 0.0016 | 0.0124 | 0.4 |
| Total entradas | | | | | | | 0.8 |

7.2 Salidas

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el sistema acuífero. Para el acuífero Batevito las descargas están representadas por salidas horizontales (Sh), bombeo (B) y descarga por evapotranspiración (ETR). En la zona no existen ríos perennes con estaciones hidrométricas para establecer un caudal base.

7.2.1 Evapotranspiración Real (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).

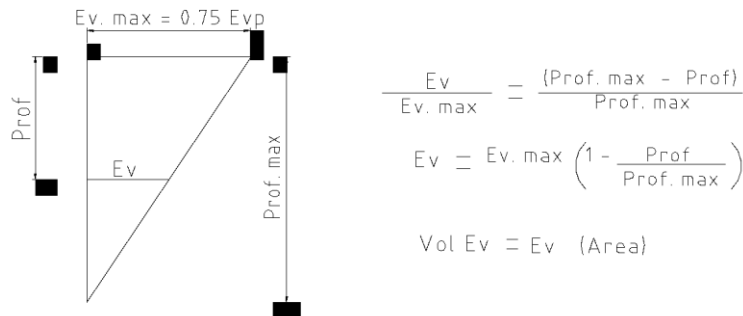
Dado que la lámina de precipitación pluvial media anual es del orden de los 337 mm y la temperatura promedio de 27 °C, al aplicar el método empírico de Turc para estimar ETR, su valor resulta mayor que la precipitación media, invalidando el resultado.

En general, para climas áridos los métodos empíricos para estimar ETR (Turc, Coutagne, por ejemplo) se invalidan para valores inferiores a los 350 mm anuales, dependiendo del valor de la temperatura media anual.

Para el caso particular de este acuífero, la evapotranspiración se presenta en los subálveos del Río Batevito, donde existen niveles freáticos someros y vegetación nativa. Del análisis climatológico se establece que la evaporación potencial promedio de la zona es de 2248 mm anuales, valor similar al reportado en la zona de Río San Pedro y Río Santa Cruz (2120 mm anuales).

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

Considerando que en una superficie de 14.5 km² se presentan niveles freáticos someros, con un valor máximo de 4 m de profundidad de extinción, que corresponde en este caso a la profundidad de las raíces de la vegetación nativa y de la profundidad media al nivel estático en la zona de niveles freáticos someros, al considerar la variación que tiene la evaporación con respecto a la profundidad, la evapotranspiración es calculada de la siguiente manera:



$$ETR = [0.75 \text{ (Evaporación Promedio) (Área)}] / \text{Prof. máxima}$$

$$ETR = [(0.75) (2.2 \text{ m}) (14.5 \text{ km}^2)]/4 = 6.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

El resultado de aplicar la fórmula anterior, nos da como resultado un valor de evapotranspiración de **6.0 hm³/año.**

7.2.2 Extracción por bombeo (B)

De acuerdo con los resultados de la hidrometría, el volumen total anual de extracción de agua subterránea asciende **7.0 hm³/año.**

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del nivel estático para 2008 (Figura 5). El valor estimado es **Sh= 0.4 hm³/año**, calculado en una sección próxima al extremo sur del área de balance, a la altura de la comunidad Colonia Morelos, rumbo al Acuífero Río Bavispe, cerca de la confluencia de los ríos Batevito y Bavispe (Tabla 3).

Tabla 3. Cálculo de salidas horizontales

| CANAL | LONGITUD B (m) | ANCHO a (m) | h_2-h_1 | Gradiente i | T | CAUDAL Q (m ³ /s) | VOLUMEN (hm ³ /año) |
|----------------------|-------------------|----------------|-----------|-------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | | | (m) | | (m ² /s) | | |
| S1 | 2351 | 4317 | 10 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0120 | 0.4 |
| Total salidas | | | | | | | 0.4 |

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 registros existentes de estudios previos se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

Por lo anterior se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

Por lo tanto **$\Delta V(S) = 0$**

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración por lluvia (Rv), por lo que despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 0.4 + 7.0 + 6.0 - 0.0 - 0.8 - 1.4$$

$$R_v = 11.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = 11.2 + 0.8 + 1.4$$

$$R = 13.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **13.4 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para este caso, **DNC = 0.0 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **6,837,086 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 13.4 - 0.0 - 6.837086 \\ \text{DMA} &= 6.562914 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **6,562,914 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1980. *“Informe del Estudio Geohidrológico Preliminar en el área de Nogales-Agua Prieta, en el Estado de Sonora (1980)”*, realizado por la empresa Geoexploraciones y Construcciones, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1983. *“Informe Preliminar de los Servicios de Prospección Geohidrológica en la zona de San Bernardino en el Estado de Sonora (1983)”*, realizado por la empresa: Geólogos Consultores, S.A.