



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO RÍO FRONTERA (2632), ESTADO DE
SONORA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1. Provincia fisiográfica.....	6
3.2. Clima.....	7
3.3. Hidrografía.....	7
3.4. Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía.....	10
4.2. Geología estructural.....	15
4.3. Geología del subsuelo.....	15
5. HIDROGEOLOGÍA	16
5.1. Tipo de acuífero.....	16
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.....	19
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	20
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	20
7.1. Entradas.....	20
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	21
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	21
7.2. Salidas.....	22
7.2.1. Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	22
7.2.2. Evapotranspiración (ETR).....	23
7.2.3. Bombeo (B).....	24
7.2.4. Descarga por flujo base (Dfb).....	24
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	24
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	26
9. BIBLIOGRAFÍA.....	28

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 Río Frontera, definido con la clave 2632 por la Comisión Nacional del Agua. Se localiza en la porción nororiental del Estado de Sonora, entre los paralelos 30° 26' y 31° 06' de latitud norte y los meridianos 109° 23' y 109° 59' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 2,318 km².

Limita al norte con el acuífero Río Agua Prieta, al sur con Cumpas, al este con el acuífero Batevito, al sureste con Villa Hidalgo y al oeste con el acuífero Río Bacoachi, todos ellos pertenecientes al Estado de Sonora (figura 1).

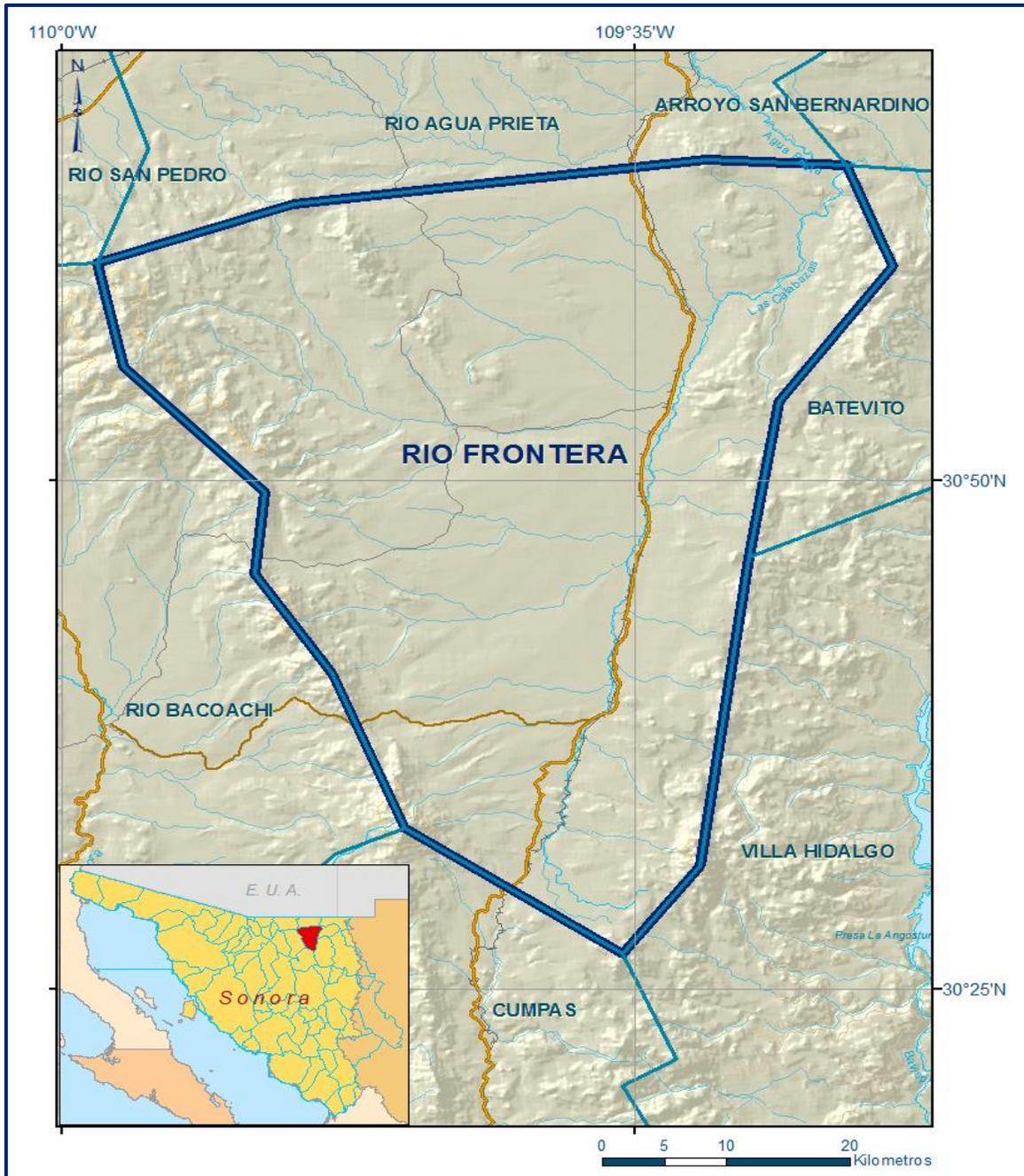


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el área del acuífero cubre casi la totalidad del municipio Fronteras y parcialmente los municipios Cananea, Naco, Agua Prieta, Nacoزاری de Garcia y Bacoachi, todos ellos pertenecientes al estado de Sonora.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2632 RIO FRONTERA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	58	27.6	31	0	39.8
2	109	49	53.5	31	3	34.9
3	109	31	52.6	31	5	46.8
4	109	25	43.9	31	5	30.1
5	109	23	43.3	31	0	29.2
6	109	28	42.4	30	53	52.4
7	109	30	1.8	30	46	13.6
8	109	32	7.8	30	31	2.9
9	109	35	32.2	30	26	42.0
10	109	45	2.7	30	32	52.1
11	109	48	12.2	30	40	29.4
12	109	51	32.7	30	45	24.2
13	109	51	8.7	30	49	26.1
14	109	57	19.6	30	55	37.4
1	109	58	27.6	31	0	39.8

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Río Frontera pertenece al Organismo de Cuenca II Noroeste. Casi la totalidad de su territorio se encuentra vedado y 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 Diario Oficial de la Federación (DOF) el 24 de septiembre de 1984. Esta veda es tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

En una pequeña porción del extremo noroccidental no rige ningún decreto de veda. La porción no vedada del acuífero Río Frontera, clave 2632, se encuentra sujeta a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican”*, publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales.

No se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

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

El uso principal del agua es el agrícola.

En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos, algunos de cobertura regional.

El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO 2632, RÍO FRONTERA, ESTADO DE SONORA, MÉXICO, elaborado por Morales Montaña Mariano, para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en 2008. El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el análisis de la evolución de los niveles del agua. Obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona.

Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

Este estudio fue 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

De acuerdo a la clasificación fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la mayor parte del área que cubre el acuífero Río Frontera se encuentra ubicado en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, Subprovincia Sierras y Médanos del Norte. El contorno de la superficie del acuífero pertenece a la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierra y Valles del Norte. La Sierra Madre Occidental se prolonga hasta la Arizona Meridional, hacia el Sur de Sonora con una orientación NW-SE y la limita el flanco SE de la Meseta del Colorado. El tren estructural de esta subprovincia coincide con los fallamientos que afectan a la región, ocurridos posiblemente durante la Orogenia Laramide.

Ocupa parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Nayarit y Zacatecas. Se inicia en el área fronteriza con Arizona, EE.UU. y termina en el río Santiago en Nayarit, en donde se conecta con el Eje Volcánico Transversal. Constituye un importante sistema montañoso, de origen ígneo, volcánico en su mayor parte; la sierra se levanta hasta los 3,000 msnm con una región escarpada orientada al occidente; hacia el oriente la sierra desciende a una región con grandes mesetas.

Las condiciones geológicas y fisiográficas tan peculiares de esta sierra han propiciado la formación de cañones profundos sobre su vertiente occidental, entre los que destaca el cañón del Cobre, labrado por el río Urique y sus afluentes.

La Subprovincia Llanuras y Médanos del Norte está formada por extensos valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras; en el límite con Chihuahua se localiza un sistema de topofomas denominado Bajada. Predominan las rocas sedimentarias, principalmente conglomerados, aunque también se encuentran pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas ácidas. Atraviesan este territorio los ríos Punta de Agua y Cajón Bonito, afluentes del Agua Prieta. En esta subprovincia se encuentran las siguientes formas fisiográficas dentro del acuífero: Sierra Plegada y el Valle Aluvial Intermontano.

Subprovincia Sierras y Valles del Norte. Esta región está formada principalmente por sierras entre las cuales se localizan amplios valles paralelos con orientación norte-sur. En las sierras dominan las rocas volcánicas ácidas, en tanto que en los valles abundan los materiales sedimentarios continentales, conglomerados del Terciario. En esta subprovincia se encuentran las formas fisiográficas Sierra Alta y Sierra Baja.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana, el clima predominante en la zona del acuífero Río Frontera es seco-semiárido (BS₁).

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 6 estaciones climatológicas. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **436.6 mm** y **19.1 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,364.8 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos periodos de ocurrencia, uno de julio a diciembre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales, con precipitaciones menos significativas. La precipitación máxima ocurre en el mes de julio con valores de 150 mm en la estación de Arizpe y la precipitación mínima se registra en el mes de abril con valores menores a 10 mm.

3.3. Hidrografía

El área que cubre el acuífero se encuentra ubicado dentro de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur, dentro de la Cuenca del Río Yaqui. Esta región es la que abarca mayor superficie en Sonora, se extiende en la porción oriental desde Agua Prieta hasta Yávaros, prolongándose hasta el Estado de Chihuahua; ocupa 63.64% de la superficie estatal.

Tiene un relieve con fuertes contrastes altimétricos, la mayoría de sus corrientes nacen en la Sierra Madre Occidental.

La cuenca del Río Yaqui es la más relevante de la región hidrológica por la extensión que comprende su superficie de 57,739 km², que representan el 30 % del territorio estatal. Sobre el cauce del Río Yaqui se localizan las presas Plutarco Elías Calles, Álvaro Obregón y Lázaro Cárdenas, esta última en el Río Bavispe.

De menor capacidad son las presas: Jacinto López, en el arroyo Cuquiarachic, El Tapiro, en el arroyo Cerro Colorado; Divisadero en el arroyo homónimo, Adolfo de La Huerta sobre el Arroyo Nácori Chico; La Calabaza en el Río Bacanora; Cajón de Onapa en el Río Sahuaripa y Maximiliano R. López, en el Arroyo Bachoco. El agua de estas corrientes se utiliza en los Distritos de Riego No. 18, Vicam y No. 41, Río Yaqui, ubicados en la costa.

El colector principal está representado por el Río Frontera, de régimen intermitente, y un conjunto de arroyos tributarios, destacando por su importancia el arroyo El Coyote, El Potrerón, El Taraisal, Cuquiárachi y Los Gatos, que confluyen a él por la margen izquierda. El Río Fronteras escurre en dirección sur-norte, uniendo sus aguas a las del Río Bavispe al sureste de la localidad Cabullona, vertiendo finalmente sus aguas en la Presa La Angostura, como Río Bavispe.

3.4. Geomorfología

La morfología del área está representada de manera general por un conjunto de montañas complejas constituidas por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, orientadas de manera casi paralela en dirección NW–SE, separadas por valles intermontanos de origen tectónico, los cuales se encuentran en una etapa de rejuvenecimiento, evidenciada por cambios en el aporte de sedimentos, en la dirección de las corrientes, erosión de depósitos recientes y truncamiento de drenajes naturales. La configuración actual presentada por el relieve es consecuencia de un proceso de fallamiento normal durante el evento tectónico conocido como la etapa tardía del “*Basin and Range*” ocurrido durante el Mioceno Tardío, dando lugar a un conjunto de horsts y grabens.

Las principales unidades orográficas están representadas por las sierras Los Ajos, Buenos Aires y La Púrica hacia el E–SE, con elevaciones superiores a los 2,300 msnm, presentando escarpes pronunciados hacia sus flancos.

Hacia el W-SW se observan la Sierra El Pinito y la Sierra Basomari, con elevaciones superiores a los 1,750 msnm. El valle se caracteriza por la presencia de lomeríos con elevaciones del orden de 1,200 msnm.

Con un predominio típico de drenaje dendrítico, característico de terrenos dominados por la presencia de rocas sedimentarias terrígenas. La presencia de terrazas fluviales antiguas indica una etapa de madurez avanzada del ciclo geomorfológico.

4. GEOLOGÍA

La geología superficial de la cuenca de Río Frontera se tiene un contexto geológico complejo en el que afloran unidades litológicas representadas por rocas ígneas (plutónicas, hipabisales y volcánicas), volcanosedimentarias, sedimentarias (terrígenas y carbonatadas) y metamórficas, las cuales presentan edades que varían desde el Precámbrico hasta el Reciente (figura 2).

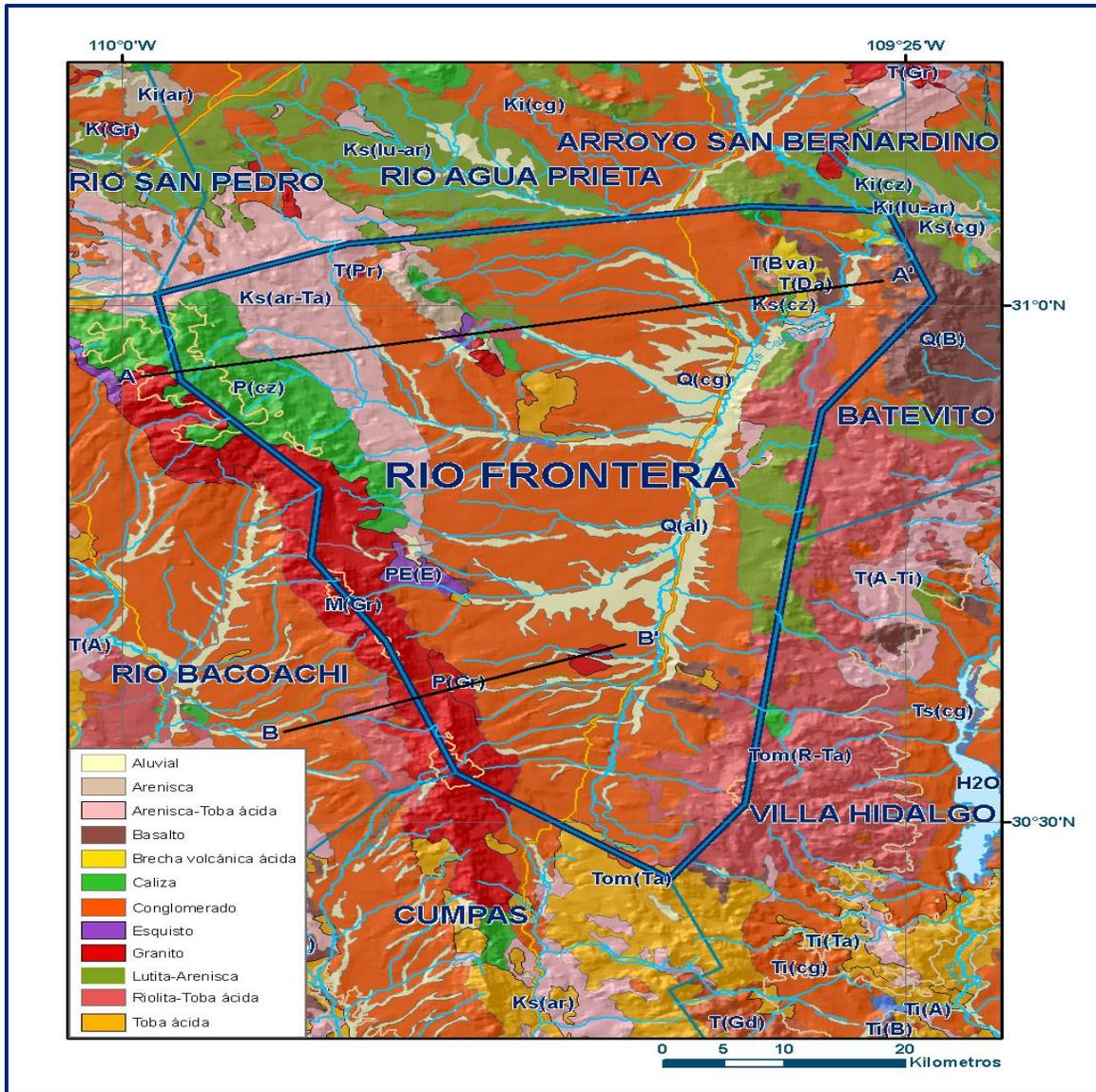


Figura 2. Geología general del acuífero

Las unidades más antiguas se localizan en las montañas Morita y en la Sierra Las Mesteñas, donde también se encuentran los afloramientos de las unidades paleozoicas, descansando discordantemente sobre las rocas precámbricas.

El Mesozoico sedimentario se encuentra aflorando en la Sierra Cabullona, localizada en la porción norte del acuífero. Las rocas intrusivas y volcánicas se encuentran ampliamente distribuidas hacia las porciones sur y poniente del área a lo largo de las sierras La Púrica y Basomari.

El Valle del Río Fronteras se encuentra cubierto principalmente por depósitos conglomeráticos y aluviones de edad terciaria.

Los depósitos cuaternarios están representados por algunos conglomerados que afloran hacia los márgenes del valle y por material aluvial depositado como producto de la acción erosiva de los arroyos y ríos y también por la denudación tectónica de las unidades preexistentes que son depositadas al pie de las sierras y en los cauces de los arroyos.

4.1. Estratigrafía

La secuencia estratigráfica que aflora en la región está constituida por rocas cuyas edades varían del Precámbrico al Reciente. A continuación, se describen en orden ascendente, de la más antigua a la más reciente:

PRECÁMBRICO INFERIOR

Esquistos Pinal

Ransome (1904), definió al Esquisto Pinal como *“una potente serie de rocas metamórficas, representadas por esquistos de color gris oscuro verdoso, presentando como principales constituyentes cuarzo, sericita y ocasionalmente turmalina y anfíboles”*.

Las principales localidades de afloramientos se encuentran en el sureste del estado de Arizona, en el flanco occidental de las montañas Pinal. Taliaferro (1933), reporta el Esquisto Pinal en el sureste de las montañas Morita, municipio de Agua Prieta, Sonora. Gómez Tagle (1967), reconoce esta unidad en la sierra Las Mesteñas, dentro del municipio de Fronteras.

PALEOZOICO

Cuarcita Bolsa (Cámbrico Medio)

Ransome (1904), define con este nombre a rocas del Cámbrico Medio, cuya localidad tipo se ubica en el Cañón Bolsa, localizado en el flanco SW de la Sierra Escabrosa, ubicada al W de la ciudad de Bisbee, Arizona. La parte inferior de la Cuarcita Bolsa es conglomerática con una matriz feldespática, tendiendo gradualmente a hacerse más arenosa hacia su cima, los clásticos están bien redondeados y algunos son subangulares.

Su ambiente de depósito es marino cerca del litoral (Ransome, 1904); esta teoría se basa en las características de las rocas, tales como el conglomerado basal y la estratificación cruzada de las capas inferiores, además el carácter arcoso de las areniscas supone que los clastos provienen de algunas vetillas de cuarzo y del cuarzo preferente de la Formación Esquistos Pinal.

Caliza Abrigo (Cámbrico Superior)

El nombre de caliza Abrigo lo aplica Ransome (1904) a las calizas que sobreyacen a la Cuarcita Bolsa, también Gilluly (1937) les determinó una edad del Cámbrico Superior por su contenido faunístico representado principalmente por *Crepicephalos*, *Aphelaspis*, *Elvinia* y *Conaspis*.

El contacto de la Caliza Abrigo con la Cuarcita Bolsa es concordante y se inicia con la alternancia de delgadas capas arenosas y arcillosas con la cuarcita que tiende a desaparecer sobre esta zona dominante de lutitas y areniscas, la parte principal de la unidad está representada por calizas de color gris azulado, localmente moteadas de amarillo, de estratificación delgada en capas con un espesor promedio de 10 cm.

Caliza Martín (Devónico Superior)

El término Caliza Martín fue propuesto por Ransome (1904) para una sección de calizas compactas de color gris oscuro, en la que se encuentran algunos fósiles, como braquiópodos entre ellos *Atrypa reticularis* y *Spirifer mungerfordi*, ocasionalmente se presentan algunas capas de lutitas calcáreas, la localidad tipo es el Monte Martín, en la Sierra Escabrosa, en el Estado de Arizona, su espesor del orden de 100 fue determinado en Bisbee, Arizona. Litológicamente esta unidad se divide en dos miembros (Viveros Martínez 1964), el miembro inferior constituido por calizas estratificadas en capas de 60 cm a 1 m, en las que están incluidos abundantes tallos de crinoides; el miembro superior está constituido por calizas de estratificación delgada con abundantes lentes de pedernal, el cual al intemperizar presenta un color gris oscuro.

La Formación Martín es litológicamente más variable entre las formaciones de edad Paleozoico en el área, ya que en su localidad tipo las rocas predominantes son calizas con intercalaciones de lutitas color rosado en su parte inferior.

El espesor total de esta formación en la Sierra Cabullona es de aproximadamente 259 m (Viveros Martínez 1964).

El contacto superior con la Caliza Escabrosa se diferencia porque existe un notable cambio entre las calizas de estratificación delgada con pedernal oscuro, y las calizas de estratificación gruesa sin pedernal de color gris claro de la Caliza Escabrosa; el contacto superior e inferior son discordantes. Los sedimentos de esta formación son típicamente marinos; por los fósiles encontrados en ellos, se puede inferir que corresponden a sedimentos depositados en aguas someras.

Caliza Escabrosa (Missisipico)

Ransome (1904), propuso el término Caliza Escabrosa para una sección de rocas calcáreas granulares de estratificación gruesa; que presentan un color de casi blanco a gris oscuro; su localidad tipo se encuentra en la Sierra Escabrosa en Arizona, EE.UU; se encuentran en esta formación fragmentos de crinoideos; Gilluly, Cooper y Steele (1954) reconocieron como fauna representativa en la Caliza Escabrosa, en el Sureste de Arizona los siguientes fósiles: *Fenestella*, *Spirifer*, *Schuchertella*, *Chonetes*, *Linoproductus*, *Rhipidomela* y *Punctospirefer*.

El espesor máximo conocido en esta formación es de 234 m, con una gran pureza, aunque en su parte media superior, incluye de manera aislada nódulos de pedernal. En la Sierra Cabullona afloran únicamente en su flanco SW, principalmente en su porción superior.

La relativa abundancia de organismos marinos y la pureza de la caliza indican que su depósito se efectuó en aguas de mediana profundidad, su concordancia con la Caliza Martín es que ésta presenta abundante pedernal, su contacto superior está marcado por una superficie de discordancia sobre la cual se depositaron sedimentos mesozoicos del Conglomerado Glance y La Formación Morita.

MESOZOICO (Cretácico Superior)

Grupo Cabullona

Taliaferro (1933), menciona que el Grupo Cabullona está formado por una serie de sedimentos detríticos continentales y marinos con menor proporción de material piroclástico hacia la cima. De este grupo se han colectado algunos fósiles, tanto de vertebrados continentales como de invertebrados marinos y restos de dinosaurios. Con base en sus características litológicas se ha dividido en cinco formaciones que de la base a la cima son las siguientes:

Formación Snake Ridge, constituida por conglomerados polimícticos compuestos por fragmentos de calizas, esquistos, areniscas y lutitas carbonosas.

Formación Areniscas Camas, constituida por areniscas de estratificación cruzada, ocasionalmente carbonosas y frecuentemente tobáceas, con intercalaciones menores de lutitas.

Formación Lutitas Packard, consistente de lutitas color gris oscuro a negro, con estratos delgados de areniscas y capas delgadas de bentonita.

Formación Capas Rojas Superiores, constituida por lutitas rojas y areniscas de color blanco y rojo.

Formación Tobas Riolíticas, constituida por cenizas volcánicas con tonalidades de color blanco a gris. En el área, las unidades correspondientes al Grupo Cabullona afloran al oriente entre los poblados Esqueda y Ejido Ruiz Cortínez y al norte- noroeste del poblado Coaquiarachi.

Rocas Ígneas Intrusivas

Las rocas intrusivas que afloran dentro de la cuenca presentan variaciones en composición desde granítica hasta granodiorítica. Se caracterizan por su textura fanerítica equigranular y mineralogía relativamente sencilla integrada por plagioclasas, feldespatos potásicos, cuarzo y algunos ferromagnesianos como biotita y hornblenda. Los principales afloramientos se localizan hacia el extremo S-SW de la cuenca, en las sierras La Púrica y Buenos Aires, a lo largo del parteaguas.

CENOZOICO (Terciario)

Riolitas – Tobas ácidas

Las secuencias conformadas por estas litologías son relativamente abundantes en la zona, se manifiestan fisiográficamente como lomeríos y mesetas de color gris claro. Su constitución es una alternancia irregular de riolitas y tobas riolíticas. Las riolitas son de color rosa, de textura afanítica y porfídica con fenocristales de cuarzo que presentan estructura esferulítica, fluidal y brechoide.

Las tobas por lo general presentan pseudoestratificación, textura afanítica, con colores que varían de gris a blanquecino y rojo. La presencia de numerosos fragmentos le da un carácter lítico.

Formación Báucarit

Dumble (1900) la definió como división Báucarit y posteriormente King (1939), denominó Formación Báucarit a una secuencia poco consolidada de areniscas y conglomerados bien estratificados, con algunos horizontes arcillosos en la parte inferior, donde la unidad tiene su desarrollo completo; existen además algunos flujos de basaltos y otras rocas volcánicas interestratificadas con los sedimentos.

Se encuentra ampliamente distribuida en todo el estado, pero sus mayores manifestaciones se presentan en territorio de los EUA, aflorando en depresiones intermontanas como grandes mesetas casi horizontales y afectadas en algunos lugares por fallas y fracturas recientes que han provocado el basculamiento de grandes bloques. Está constituida principalmente por conglomerados de color pardo claro, que cambia por meteorización a pardo oscuro; generalmente está bien estratificado; la composición de los clastos es heterogénea, indicando la variación en la fuente de aporte. La composición de los clastos es de ignimbritas, riolitas, andesitas, granitos, arcosas, cuarcitas y en menor proporción rocas metamórficas.

Dentro del conglomerado se observan variaciones a arenisca conglomerática y arenisca; el segundo constituyente más importante lo forman los basaltos interestratificados con los conglomerados, aunque en algunas localidades se observan intercalados con tobas y conglomerados tobáceos, en menor contenido y principalmente hacia su base, en algunas localidades presenta estratos delgados de lutitas y calizas.

En cuanto a los espesores, debido a la gran erosión y fallamiento, no se identifica su base en la mayor parte de sus afloramientos y por lo tanto al no contar con una columna completa, se desconoce su espesor; sin embargo, seguramente es del orden de algunos cientos de metros.

La Formación Báucarit prácticamente se encuentra cubriendo a todas las unidades de la columna pre-terciaria, pero en la mayor parte de los afloramientos sus contactos son por fallamiento; se encuentra cubierta indistintamente por derrames volcánicos, principalmente basaltos del Cuaternario, depósitos de talud y terrazas aluviales recientes. Han sido fechados en los alrededores de Magdalena basaltos interestratificados con conglomerados en la base de esta formación, arrojando una edad del Mioceno, que pueden correlacionarla con el Conglomerado Gila del sur de Arizona.

CUATERNARIO

Basaltos

Unidad constituida por basaltos alcalinos de olivino, de textura afanítica, vesiculares en la parte superior de los derrames; presenta amígdalas rellenas de calcita y/o zeolitas y fuerte brechamiento en los frentes de los derrames, su fracturamiento da origen a lajas y bloques. Sobreyacen en discordancia a rocas volcánicas terciarias y sedimentos clásticos del mismo período.

Por sus relaciones de campo y expresión morfológica se les asigna una edad del Cuaternario.

Aluvión

Unidad constituida por depósitos aluviales y fluviales no consolidados, constituidos por arenas, gravas y arcillas derivadas de la erosión de las unidades preexistentes. Esta unidad representa el evento de sedimentación más reciente en las cuencas continentales originadas por la distensión terciaria. Sus afloramientos se restringen a los cauces de ríos y arroyos.

4.2. Geología estructural

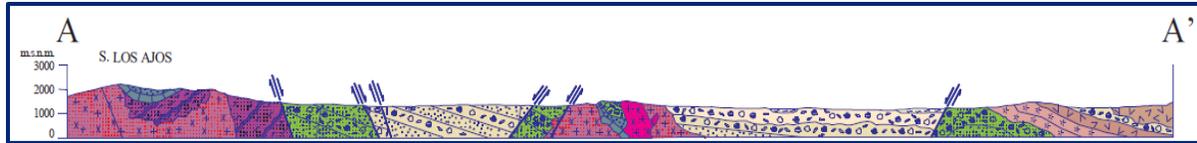
El principal evento tectónico que afectó al área, está representado por la Orogenia Laramide del Cretácico Superior–Terciario Inferior, produciendo movimientos compresivos que afectan a las secuencias de rocas pre-cretácicas. Este evento y el intenso magmatismo contemporáneo que produce el emplazamiento de cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas, originó que durante el Oligoceno-Mioceno se desarrollara un proceso distensivo que dio lugar a la formación de sierras y valles paralelos que caracterizan la morfología del lugar.

Los rasgos estructurales de mayor importancia desde el punto de vista geohidrológico consisten en una alternancia de horsts and grabens orientados NW–SE. Los grabens han sido rellenados por potentes secuencias de sedimentos derivados de la denudación tectónica de las unidades orográficas expuestas a lo largo de los cabalgamientos. A nivel regional se identifican dos sistemas principales de fallamiento y/o fracturamiento que controlan preferencialmente la distribución del patrón de drenaje observado: NNW–SSE y NNE–SSW.

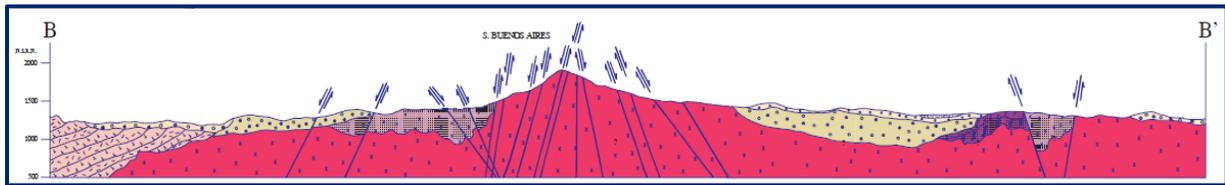
4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada, que constituyen el lecho y llanura de inundación del Río Fronteras (Las Calabazas) y otros arroyos tributarios, así como en las areniscas y en los conglomerados polimícticos de la Formación Báucarit. Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas ígneas extrusivas (principalmente riolitas y tobas) e intrusivas (principalmente granito), que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento, que aún no han sido exploradas.

Las fronteras, barreras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas ígneas al desaparecer el fracturamiento (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera H12-6 "Nacozari" Esc. 1:250.000 (SGM, 1998)



Fuente: Carta Geológica-Minera H12-B64 "Bacoachi" Esc. 1:50.000 (SGM, 1999)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada, areniscas y conglomerados, depositados tanto en el subálveo de las corrientes fluviales como en los valles, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan los valles. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas ígneas entre las que destacan riolitas, tobas y granitos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2007, se realizaron 11 pruebas de bombeo en etapa de abatimiento y recuperación. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos de Theis y Jacob-Cooper. De los resultados de su interpretación por lo métodos analíticos mencionados, se establece que los valores de transmisividad varían de **6.25×10^{-4} a $1.35 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ (54.0 a $1.35 \text{ 11664 m}^2/\text{d}$)**, con un promedio de **$33.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ($2851 \text{ m}^2/\text{d}$)**, correspondiente al material aluvial de granulometría media a gruesa, mientras que para la conductividad hidráulica varían de **1.0×10^{-5} a $1.20 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ (0.9 a 1037 m/d)**, con un promedio de **$2.17 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (187.5 m/d)**. Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se obtuvieron valores del coeficiente de almacenamiento.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada de las actividades del estudio realizado en 2008.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el 2008, se observa que los valores varían de 5.5 m (en el pozo El Vigía) a 34 m (en el pozo Calabazas 2), ubicado en la cabecera de la cuenca, que se incrementan conforme se asciende topográficamente a lo largo del cauce del Río Fronteras. De manera general, los niveles someros se presentan en las zonas cercanas al cauce del río, desde donde se incrementan hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero (figura 4).

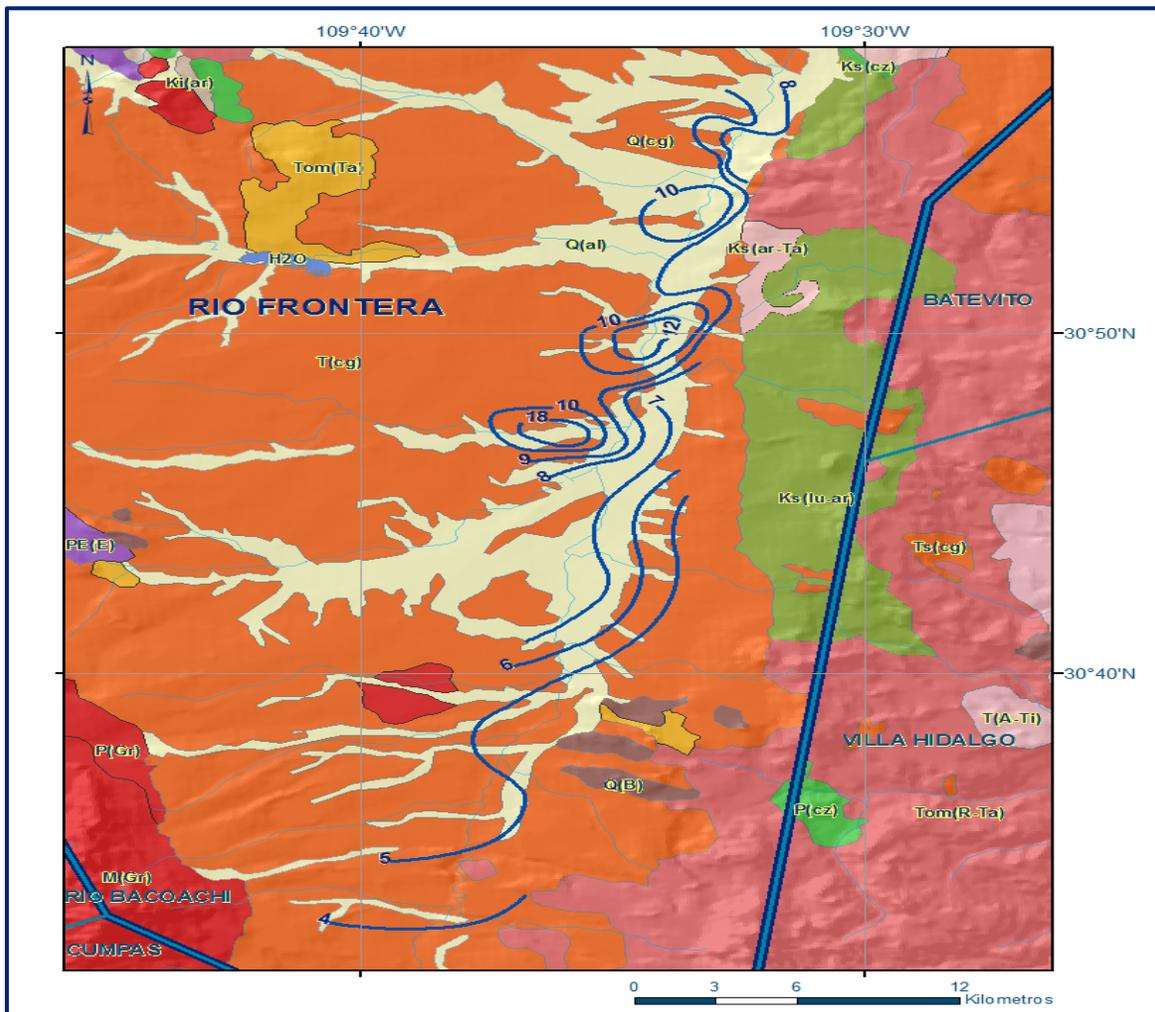


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2008)

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de elevación del nivel estático para el 2008, presenta valores que varían de 1080 msnm, en las zonas topográficamente más bajas, ascendiendo gradualmente hasta 1300 msnm, hacia la zona de Calabazas, mostrando de esta forma, al igual que la configuración de profundidad, el efecto de la topografía.

De esta manera, se puede identificar que la dirección de flujo subterráneo muestra una trayectoria preferencial suroeste-noreste (hasta la confluencia con el Río Agua Prieta), paralela a la dirección de escurrimiento del Río Fronteras (Las Calabazas), con alimentaciones laterales que provienen de las sierras circundantes (figura 5).

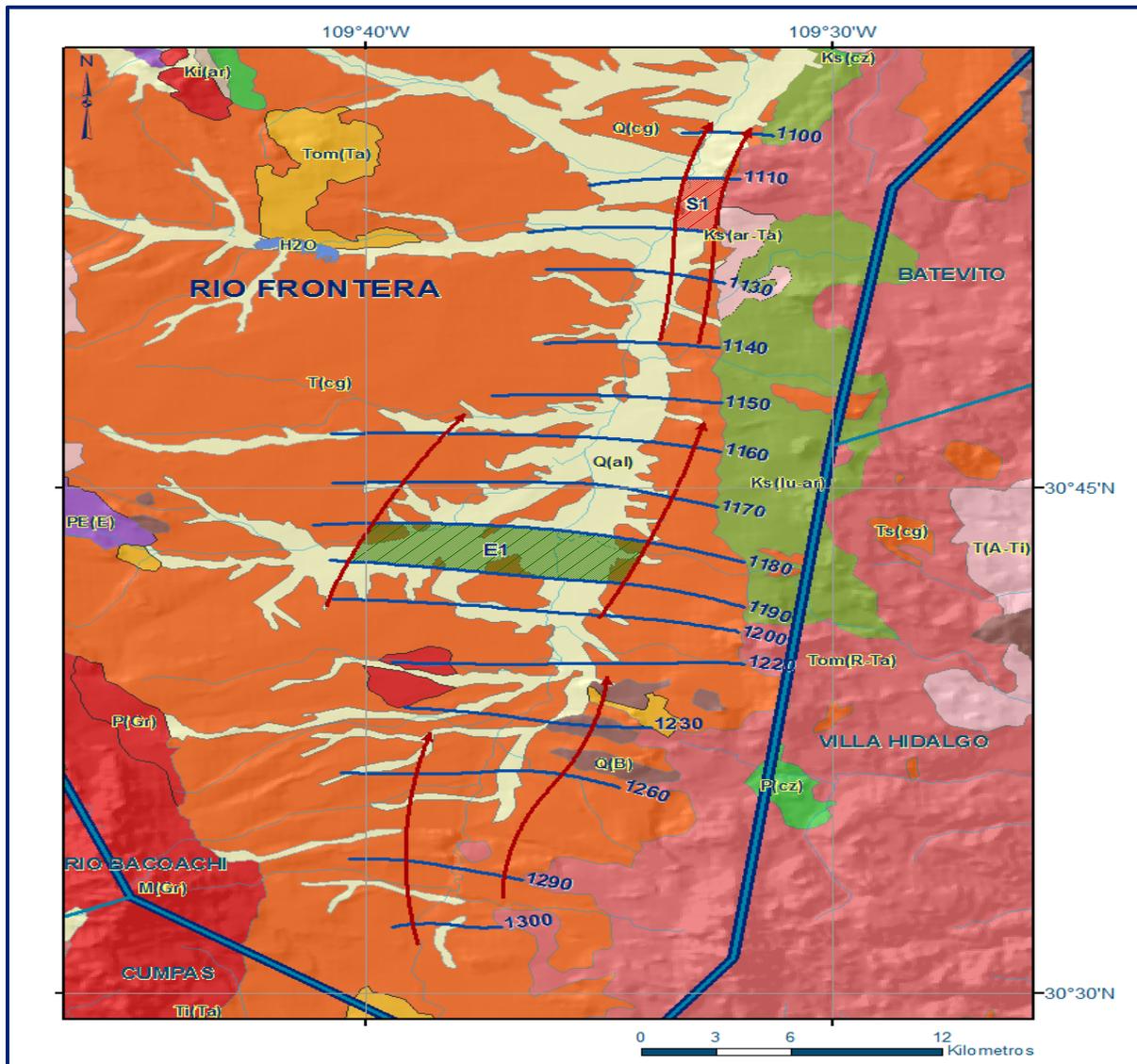


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Además, 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. 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.

Las mediciones realizadas en el año 2008 serán el punto de partida para el establecimiento del monitoreo sistemático de los niveles del agua subterránea.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2008, se tomaron muestras de agua subterránea, para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Las determinaciones incluyeron: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), iones principales, sólidos totales disueltos. Con respecto a la salinidad del agua, se observa que los valores de sólidos totales disueltos (STD) varían entre 259 y 577 mg/lit, los valores más elevados se presentan en la población de Cuquiárachi.

Los valores de conductividad eléctrica varían de 371 a 939 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que la clasifican como agua dulce de acuerdo al criterio establecido por la American Potability and Health Association (APHA, 1995). Los valores más altos se ubican en la porción poniente de la cuenca.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la modificación a la NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022., De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad baja (C_1) con contenido bajo de sodio intercambiable (S_1), lo que indica que es apropiada para el riego agrícola.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante la sódico-cálcica-bicarbonatada, que corresponde a agua de reciente infiltración, que ha circulado a través de rocas sedimentarias.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2008, se registraron un total de 205 aprovechamientos, de los cuales, 111 se encuentran activos y 94.

De las obras activas, 88 son pozos y 23 norias. El volumen de extracción conjunta se estimó en **26.8 hm³/año**, de los cuales 24.7 hm³ (92.2 %) se destinan al uso agrícola, 0.2 hm³ (0.7 %) para uso pecuario, 0.6 hm³ (2.2 %) se destinan al uso público urbano y 1.3 hm³ (4.9 %) para usos múltiples.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el 2008, en una superficie de **450 km²** en la que se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, la recarga total (Rt) que recibe el acuífero ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv) y por flujo subterráneo horizontal (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (R_i).

Para este caso, debido a que los volúmenes utilizados en riego son muy bajos y no existen poblaciones urbanas importantes, se considera que no existe recarga inducida, por lo tanto, $R_i = 0$.

Su valor está implícito en la recarga vertical calculada.

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

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:

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

Donde:

- R_v = Recarga vertical;
- E_h = Entradas por flujo horizontal;
- B = Bombeo;
- S_h = Salidas por flujo horizontal;
- D_{fb} = Descarga por flujo base
- ETR = Evapotranspiración;
- $\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento

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

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

7.1.2. 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 tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales. Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

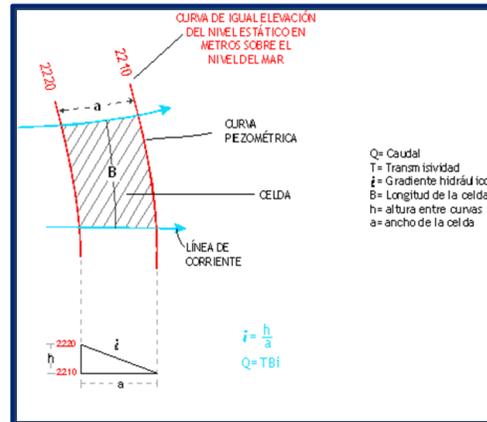
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

T = Transmisividad (m²/s)



Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado de cada zona. La recarga total del flujo subterráneo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos, en la tabla 2 se puede observar el valor obtenido.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo horizontal (2008)

CANAL	h1-h2	Ancho a (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	Longitud B (m)	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen (hm ³ /año)
E1	10	2534.62	0.003945	0.0330	9430.04	1.2278	38.7
Total Entradas							38.7

El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **38.7 hm³/año**

7.2. Salidas

Las descargas del acuífero ocurren principalmente por bombeo (B), salidas subterráneas horizontales (Sh), descarga por flujo base de los ríos (Dfb) y evaporación directa (Ev).

7.2.1. Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh)

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

El volumen total de salidas por flujo horizontal subterráneo asciende a **3.8 hm³/año**.

Tabla 3. Cálculo de salidas horizontales (2008)

CANAL	h1-h2	Ancho a (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	Longitud B (m)	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen (hm ³ /año)
S1	10	2891	0.003459	0.033	1046	0.1194	3.8
Total Entradas							3.8

7.2.2. Evapotranspiración (ETR)

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

Para la obtención de este parámetro se aplicó el método de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración real que es de 426 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 19.1 °C y precipitación de 436.6 mm.

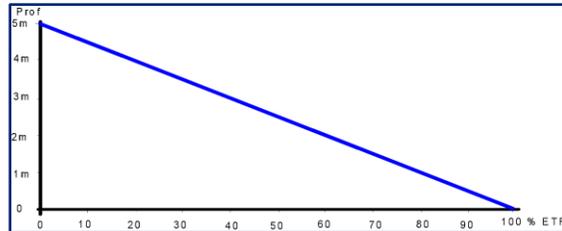
$$ETR (mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	19.1		
P(mm) =	436.6	P ² =	190619.56
L =	1125.89355	L ² =	1267636.29
ETR (mm)	426.0		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR.

Suponiendo una profundidad límite de extinción de 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



Considerando una superficie de 74.0 km² a lo largo del cauce del Río Fronteras, en la que la profundidad al nivel del agua subterránea es de 3.0 m, de acuerdo con la gráfica anterior le corresponde el 40 % de la lámina de ETR. De esta manera $ETR = (74.0 \text{ km}^2) (0.426 \text{ m}) (0.4) = 12.6 \text{ hm}^3$. Por lo tanto, **ETR = 12.6 hm³ anuales**.

7.2.3. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **26.8 hm³ anuales**.

7.2.4. Descarga por flujo base (Dfb)

De acuerdo con aforos y estimaciones hechas a la descarga del flujo base en la porción norte del acuífero, se calculó un caudal de descarga para el estiaje de 102 lps, que equivalen a un volumen anual de **3.2 hm³/año**.

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes recabados en recorridos de campo 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. 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. Por esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir, **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión 2, que fue establecida con anterioridad:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh + Dfb + ETR \pm \Delta V(S) - Eh \\ R_v &= 26.8 + 3.8 + 3.2 + 12.6 + 0.0 - 38.7 \\ R_v &= 7.7 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + Eh \\ R_t &= 7.7 + 38.7 \\ R_t &= 46.4 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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 **46.4 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, su valor es de **3.2 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 **37,469,733 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 46.4 - 3.2 - 37.469733 \\ \text{DMA} &= 5.730267 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **5,730,267 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA