

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Cumuripa (2656), Estado
de Sonora***

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

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE SONORA							
2656	CUMURIPA	15.6	3.7	0.442307	0.1	11.457693	0.000000

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



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

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA
EN EL ACUÍFERO 2656 CUMURIPA, ESTADO SONORA***

México, D.F. Marzo de 2009

CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	5
3. FISIOGRAFÍA	5
3.1. Provincia Fisiográfica.....	5
3.2. Clima	5
3.3. Hidrografía.....	6
3.4. Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA	7
4.1. Estratigrafía	8
4.2. Geología Estructural	11
4.3. Geología del Subsuelo.....	12
5. HIDROGEOLOGÍA.....	13
5.1. Tipo de Acuífero	13
5.2. Parámetros Hidráulicos.....	13
5.3. Piezometría	13
5.4. Comportamiento Hidráulico	14
5.4.1. Profundidad al Nivel Estático.....	14
5.4.2. Elevación del Nivel Estático	16
5.4.3. Evolución del Nivel Estático	16
5.5. Hidrogeoquímica y Calidad del Agua	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	18
7.1. Entradas	19
7.1.1. Recarga Vertical (Rv)	19
7.1.2. Recarga inducida (Ri).....	20
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal	20
7.2. Salidas.....	22
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)	22
7.2.2. Bombeo.....	23
7.2.3. Salidas Horizontales.....	24
7.2.4. Descargas Naturales (manantiales, caudal base de ríos).....	24
7.3. Cambio de almacenamiento	24
8. DISPONIBILIDAD.....	25
8.1. Recarga total media anual (Rt)	25
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	26
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS).....	26
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).....	26
9. BIBLIOGRAFÍA	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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

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

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 Cumuripa se localiza en la zona centro sur del Estado de Sonora (figura 1), aproximadamente a 40 km al norte de Ciudad Obregón, cabecera municipal de Cajeme; Ciudad Obregón es la segunda ciudad más importante de Sonora, gran parte de la actividad económica del estado se lleva a cabo en ella. El área del acuífero Cumuripa es de 2195.41 km², el 63.96 % del área pertenece al municipio de Cajeme, 31.24% al municipio de Rosario, 3.98 % al municipio de Quiriego y tan sólo un 0.82% al municipio de Suaqui Grande.

El acuífero Cumuripa colinda al este con el acuífero Río Chico, al norte con el acuífero Ónavas, al oeste con el acuífero Agua Caliente y Río Tecoripa, al sur con los acuíferos Valle del Yaqui y

Cocoraque. El acuífero Cumuripa pertenece a la Cuenca del Yaqui; es importante señalar que gran parte del embalse de la presa Álvaro Obregón se encuentra dentro del acuífero, esta presa tiene una capacidad de 3000 hm³ (SARH/CNA. Presas de México. Vol. I/VI. 1993) y se utiliza principalmente para la generación de energía y riego.

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

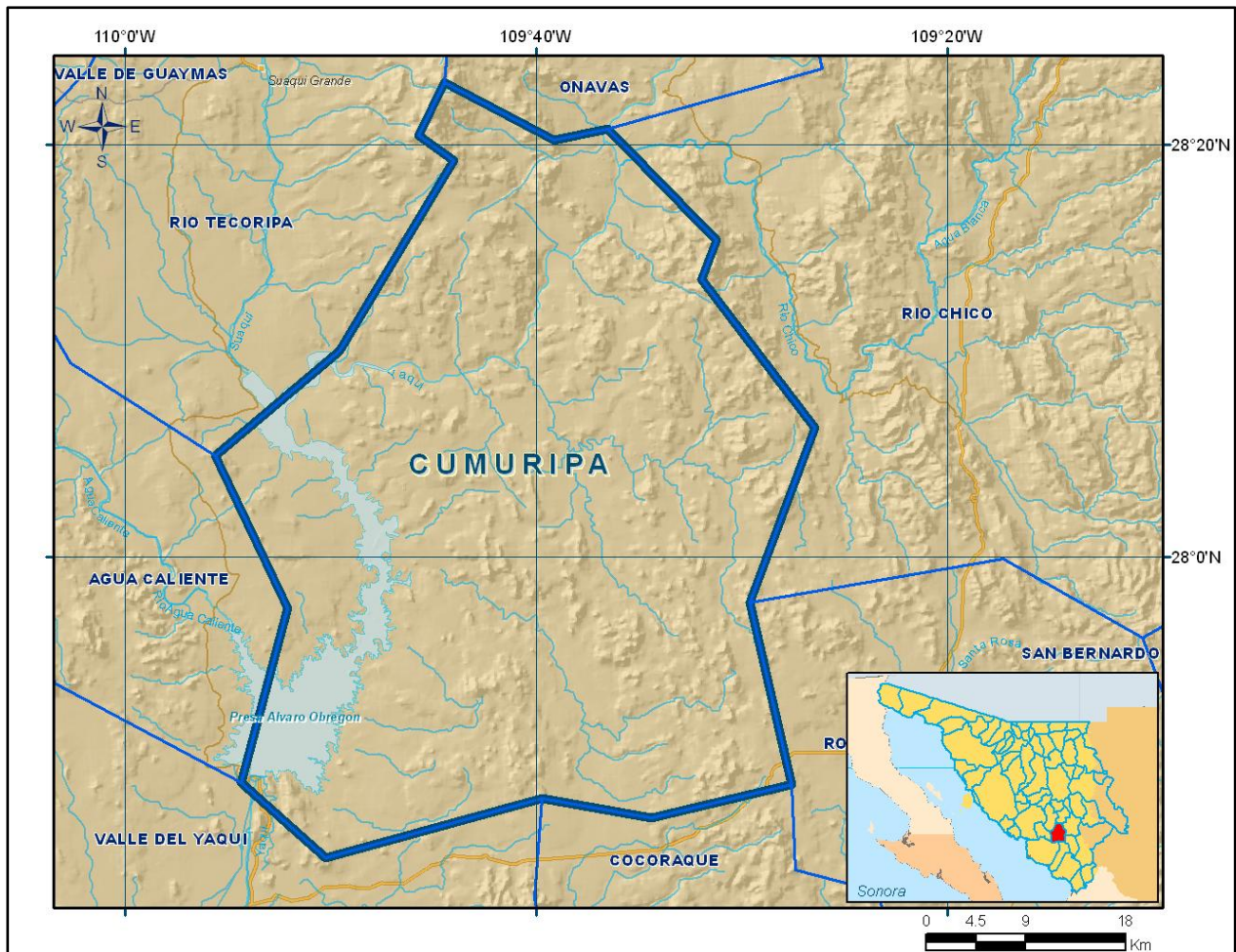


Figura 1. Localización del Acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 2656 CUMURIPA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	31	58	28	13	27.7
2	109	26	28.5	28	6	16.6
3	109	29	37	27	57	48
4	109	27	34.1	27	48	56.1
5	109	34	23.2	27	47	18.4
6	109	39	44.8	27	48	14.5
7	109	50	13.8	27	45	23.1
8	109	54	20.2	27	49	1.5
9	109	52	5.6	27	57	31.2
10	109	55	35.3	28	4	54.5
11	109	49	33.2	28	10	0.6
12	109	44	0.9	28	19	15.5
13	109	45	43	28	20	29.4
14	109	44	27.7	28	23	2.1
15	109	39	9.2	28	20	14.5
16	109	36	30.4	28	20	47.4
17	109	31	15.4	28	15	21.2
1	109	31	58	28	13	27.7

1.2. Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Cumuripa pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. Su territorio no se encuentra sujeto a alguna veda. Sólo una pequeña porción al sur de la presa Álvaro Obregón se encuentra sujeta a las disposiciones del “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en una zona que comprende el Distrito de Riego del Río Yaqui” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 14 de octubre de 1954. Esta veda está clasificada como del tipo III, en las que se permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2009), el municipio Cajeme se localiza en la zona de disponibilidad 6, el municipio Rosario pertenece a la zona 8 y el municipio Quiriego en la zona 7.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI, MÁTAPE, ESTADO DE SONORA. Servicio Geológico Mexicano, en convenio con Comisión Nacional del Agua, 2008.

En este estudio se actualiza el conocimiento hidrogeológico de acuíferos serranos, entre ellos Cumuripa, se lleva a cabo un censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría y pruebas de bombeo. Cabe mencionar que los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

El acuífero Cumuripa queda circunscrito dentro de dos provincias fisiográficas: Llanura Sonorense y Sierra Madre Occidental (Edwin Raisz, 1964). La porción suroeste del acuífero se ubica en la provincia Llanura Sonorense, en la Subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses, en las que destacan las siguientes características: sierra compleja con lomeríos y bajada con lomeríos en la parte occidental del acuífero.

La parte este del acuífero queda comprendida dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, en las subprovincias Pie La Sierra, Sierra Baja y Sierras y Valles del Norte, con las siguientes características: presencia abundante de sierras altas, valles intermontanos con lomeríos y una serie de valles abiertos de montaña.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen y modificada por García (1981), en la zona se presentan cuatro tipos de climas:

1) *Semiárido, semicálido (BS₁hw)*, con temperatura media anual mayor a 18° C, temperatura del mes más frío menor a 18° C, temperatura del mes más caliente mayor a 22° C, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

2) *Árido, cálido* $BSo(h')w$, con temperatura media anual mayor a 22°C , temperatura del mes más frío mayor a 18°C , lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

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

4) *Árido, cálido* $BS_1(h')(x')$, temperatura media anual mayor de 22°C , temperatura del mes más frío mayor de 18°C , Lluvias repartidas todo el año, y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

El análisis climatológico se efectuó con la información de tres estaciones meteorológicas que tienen influencia en la zona, mediante el método de polígonos de Thiessen. De estas estaciones sólo la que se localiza en la presa Álvaro Obregón, se encuentra dentro del acuífero Cumuripa; las otras estaciones climatológicas que se emplearon para el análisis son la Tesopaco localizada en Rosario Tesopaco y la estación Ónavas. La información climatológica fue proporcionada por la Comisión Nacional del Agua.

La temperatura media anual para el acuífero Cumuripa es de 24.4°C , la precipitación media anual para la zona es de 536 mm/año, el valor de evaporación potencial para la zona de acuerdo con datos obtenidos de las estaciones es de 2660.54 mm.

3.3. Hidrografía

El acuífero Cumuripa se encuentra en la Región Hidrológica 9 Sonora Sur (RH-9). Esta región se caracteriza por tener un relieve con fuertes contrastes altimétricos, la mayoría de sus corrientes nacen en la Sierra Madre Occidental.

El acuífero se encuentra dentro de la subregión hidrológica río Yaqui, en la cuenca del río Yaqui, subcuenca Cumuripa. La corriente principal que cruza por la zona es el río Yaqui, una de las principales corrientes a nivel estatal; se origina en la Sierra Madre Occidental en su parte correspondiente al Estado de Chihuahua, aproximadamente a 50 km al noroeste de Creel. El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática reporta que tiene un volumen de drenado de 2403.68 hm^3 anuales, este descarga sus aguas en la Presa Álvaro Obregón localizada en la zona, pero en su trayecto antes de llegar a la zona recibe gran número de afluentes entre ellos los ríos Bavispe, Bonito, Aros y Moctezuma.

Sobre el cauce de éste se localizan las presas Plutarco Elías Calles, La Angostura y Lázaro Cárdenas, el agua de la presa Álvaro Obregón se utiliza en los distritos de Riego No. 18 “Vicam” y No. 41 “Río Yaqui” ubicados hacia la costa.

La infraestructura hidráulica de este acuífero consiste principalmente de obras de captación de agua subterránea, preferentemente de norias, pozos someros en menor proporción y algunos manantiales. Las norias y pozos someros se utilizan principalmente en uso pecuario y doméstico. Aunque la Presa Álvaro Obregón se encuentra en este acuífero las aguas de esta son vertidas fuera de él, son aprovechadas por los distritos de riego mencionados anteriormente.

3.4. Geomorfología

La topografía de la zona está representada principalmente por sierras de forma alargada donde las planicies son casi inexistentes, las zonas bajas están formadas por lomeríos de pendientes suaves formando pequeños valles intermontanos, las elevaciones tienen una altura entre 250 y 400 msnm aproximadamente y las sierras de mayor elevación están por arriba de 900 msnm; estas sierras se localizan hacia el oriente del acuífero, formadas por andesitas de la Formación Tarahumara, caracterizada por pendientes poco pronunciadas que originan barrancos de poca profundidad que varía de 10 a 30 m.

Se observan también sierras de forma alargada de composición ácida caracterizadas por pendientes más abruptas y barrancos de mayor profundidad que sobrepasan los 50 m. En la zona se observa drenaje dendrítico típico de conglomerados característicos de la Formación Baucarit, ya que ésta tiene una amplia distribución dentro y fuera de la zona.

4. GEOLOGÍA

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

Las rocas intrusivas cubren una gran parte de la zona central del acuífero, su composición varía de granito a granodiorita y corresponden al Cretácico. La Formación Baucarit también tiene una amplia distribución dentro de la zona, esta Formación agrupa varios tipos de litología entre ellos: conglomerado polimíctico constituido por rocas volcánicas e intrusivas, e intercalaciones de arenisca y basalto. Las rocas volcánicas fueron definidas por Dumble (1990) como la Formación Lista Blanca que está constituida por una secuencia intercalada de tobas riolíticas, ignimbritas, dacitas, riolitas y aglomerados de depósitos vulcanosedimentarios. A esta unidad se le ha asignado una edad del Mioceno Superior.

El conglomerado polimíctico del Pleistoceno está constituido por riolitas, andesitas e ignimbritas, está poco consolidado y es de matriz arenosa, forma valles así como el pie de monte. El aluvión del Holoceno está constituido por grava, arena, limo y arcilla sin consolidar, los espesores de éste son variables, alcanzan hasta 50 m; se encuentra en las zonas bajas y sobreyacen a las unidades más antiguas.

A continuación se hace una breve descripción de las unidades litológicas, en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente.

4.1. Estratigrafía

La descripción de las unidades litológicas que se encuentran expuestas en la zona fue realizada por El Consejo de Recursos Minerales en su carta Geológico Minera Tecoripa y la carta Geológico Minera Álvaro Obregón escala 1:250,000, mismas que se retomaron para hacer la descripción de las unidades litológicas que comprenden la zona.

Cretácico

Formación Tarahumara. Andesita-Toba Andesítica (Ks A-TA) Esta unidad fue descrita por Wilson y Rocha (1946), está constituida por rocas volcánicas de composición andesítica, dacítica y rocas volcanosedimentarias. Esta unidad aflora en la porción norte del acuífero, en las inmediaciones de Palo Quemado, Agua Caliente, y fuera del área también existen afloramientos cerca del poblado La Dura, donde el espesor es aproximadamente de 500 m, en Piedra Pesada y Mesa Galindo. El color de esta roca es gris y pardo, con tonalidades rojizas al intemperismo; su textura varía de afanítica a porfídica, cuando tiene esta última textura se pueden observar plagioclasas, hornblenda, piroxenos y biotita.

Batolito Laramide.

Intrusivos Porfídicos Secundarios (Kstpa GrGd, KsTeGd-D, ToPMz, ToPR, ToPA, TmPqMz). El Batolito Laramide de Sonora, definido por Damon (1983), tiene una amplia distribución en la zona, aflora en la zona centro sur del acuífero y se extiende en forma alargada a través del acuífero, en algunas partes se encuentra cubierto por rocas volcánicas y conglomerados más recientes. Este batolito incluye intrusiones de cuerpos que se observan fuera de la poligonal del acuífero, aunque su litología varía un poco, fueron englobadas por el Consejo de Recursos Minerales (COREMI 1998). De manera general este intrusivo es compacto con textura porfídica, es de color gris claro a crema y en superficie está muy intemperizado con coloración ocre. Esta unidad representa en el acuífero una barrera impermeable y es parte del basamento hidrogeológico.

Toba Riolítica – Riolita (ToTR-R). Esta unidad litológica consiste de rocas volcánicas de composición ácida representadas por tobas riolíticas, ignimbritas, riolitas y riodacitas. Morfológicamente forman a nivel regional mesetas largas con una orientación noroeste-sureste. Esta unidad forma parte del evento volcánico Oligo-Miocénico Superior que dio origen a la Sierra Madre Occidental; en la zona aflora en la parte este del acuífero en el límite con el acuífero Río Chico, también se localiza en la parte sur de la zona.

El color de esta unidad varía de blanco, rosa, pardo a rojizo, su estructura es compacta y tobácea; está formada por fragmentos de roca, cuarzo, ortoclasa y minerales arcillosos. Por su litología y lo compacto, a pesar del gran fracturamiento que presenta se considera de permeabilidad media; representa una zona de recarga para el acuífero.

Toba Riolítica - Dacita (To? R-Da) Roca Volcánica y piroclástica de composición ácida con dacitas en la cima. Esta unidad aflora en la parte suroeste de la zona, se observa a lo largo de algunos arroyos, tales como el Vertedor y el Colorado, al poniente de la presa Álvaro Obregón, fuera de la poligonal que circunscribe al acuífero, esta unidad incluye afloramientos de coladas y aglomerados volcánicos de composición andesítica–dacítica.

Toba Riolita - Basalto (Tom TR-B) Se le conoce así a una serie de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición basáltica y andesítica-basáltica que están intercaladas con tobas riolíticas e ignimbritas; afloran en la porción suroeste del acuífero, su textura es afanítica, los minerales que forman los basaltos son labradorita, olivino, vidrio, anfíboles y piroxenos; la andesita basáltica está intercalada con tobas riolíticas e ignimbritas, se encuentra sobreyaciendo a la unidad ToTR-R. De manera general a esta unidad se le asigna una permeabilidad media y conforma parte de la zona de recarga.

Formación Baucarit TmCgp Ar, TmCgp-B, TmB-A. Definida por King en 1939, como una secuencia de areniscas, arcillas y conglomerados bien estratificados, ligeramente consolidados y en cuya parte inferior existen coladas de basaltos intercalados con aglomerados basálticos.

El Consejo de Recursos Minerales agrupó dentro de esta formación a una secuencia de rocas volcánicas intermedias y básicas que están intercaladas con los conglomerados en su base y en la parte superior del conglomerado, también agrupa a un conglomerado polimíctico con clastos de basalto y andesitas basálticas. En la zona tiene una amplia distribución en la porción este del acuífero y hacia el oeste forma el embalse de la presa Álvaro Obregón (figura 6). Por su litología se le asigna una permeabilidad baja.

Formación Lista Blanca (TmTR, TmTR-A). Definida por Dumble (1900) la Formación Lista Blanca consiste de una secuencia volcánica y conglomerática. Actualmente la edad asignada a esta unidad es del Terciario (Bertollini et al 1991), ya que sobreyacen de manera concordante a

el conglomerado de la Formación Baucarit. Aflora en la porción central del acuífero y hacia el sureste. Consiste principalmente de tobas riolíticas, aglomerados, andesitas, ignimbritas, basaltos y andesitas basálticas. La permeabilidad de esta unidad es baja, ya que aunque presenta fracturamiento este es sólo superficial.

Conglomerados Recientes Limos, Arenas y Gravas (QPT Cgp) Los conglomerados recientes están definidos por unidades conglomeráticas polimícticas mal consolidadas con escasos horizontes de limos y arenas, los clastos de los conglomerados están por lo general bien redondeados. Los conglomerados forman terrazas, depósitos de talud y pequeños abanicos aluviales.

En la zona estos conglomerados se encuentran escasamente distribuidos, se observan en las márgenes de los arroyos, pero es importante recalcar que la mayoría de los aprovechamientos de agua subterránea se encuentran perforados en esta unidad. Debido a su litología se considera que tiene una permeabilidad alta.

Aluvión Cuaternario (Qhoal) Los sedimentos del Holoceno son producidos por el intemperismo de las rocas preexistentes y son depositadas como abanicos aluviales y fluviales, se encuentran a lo largo de ríos, arroyos y planicies de inundación activas, están constituidas por gravas de diferentes litologías, arenas y limos y aunque tienen una permeabilidad alta, su espesor es reducido. En esta unidad se localiza la mayoría de las norias que existen en el acuífero.

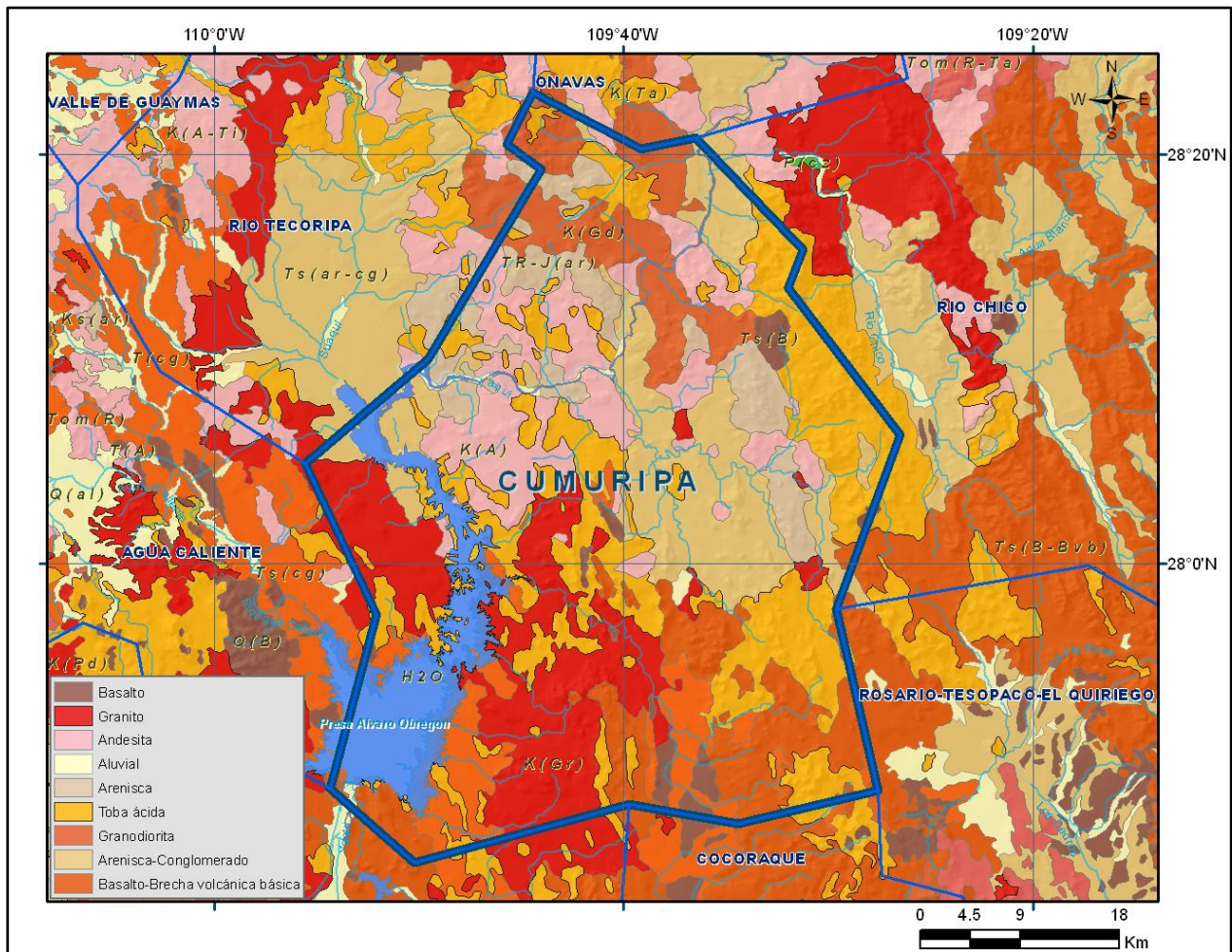


Figura 2. Mapa Geológico

4.2. Geología Estructural

El acuífero Cumuripa se caracteriza por una sucesión de sierras altas y de escarpes pronunciados principalmente hacia el este. Las sierras son de forma alargada con rumbo preferencial noroeste-sureste y se encuentran separadas por pequeños valles intermontanos, al estar afectadas por fallas con la misma orientación, originadas por esfuerzos compresivos debido a la Orogenia Laramide y distensivos de origen más reciente, que están relacionados con la apertura del Golfo de California.

El rasgo más importante que evidencia la orogenia Laramide, es la presencia del Batolito Laramide, con una amplia distribución en la zona.

En la zona es notable el fallamiento normal con orientación noroeste-sureste, este fallamiento se ve desplazado por fallas normales con orientación noreste-suroeste; este tipo de estructura

se observa en la porción este del acuífero, donde las fallas están cortadas y desplazadas por este sistema.

4.3. Geología del Subsuelo

El acuífero que se explota actualmente se ubica en un medio granular conformado por sedimentos recientes, poco consolidados como conglomerados, gravas, arenas y arcillas que sobreyacen a la Formación Baucarit en las orillas de los cauces de los arroyos, donde están perforados la mayoría de los aprovechamientos de agua subterránea. Debido a que esta unidad no tiene grandes espesores, los aprovechamientos que en su mayoría son norias, tienen una profundidad máxima de 10 m.

El conglomerado de la Formación Baucarit actúa como una capa de baja permeabilidad debido al grado de cementación y a su litología (Figura 3). El espesor de esta unidad es variable y en algunas partes es bastante considerable; esta unidad sobreyace a andesitas y basaltos que aunque presentan una densidad de fracturamiento alta, su permeabilidad es baja, ya que las fracturas se encuentran rellenas.

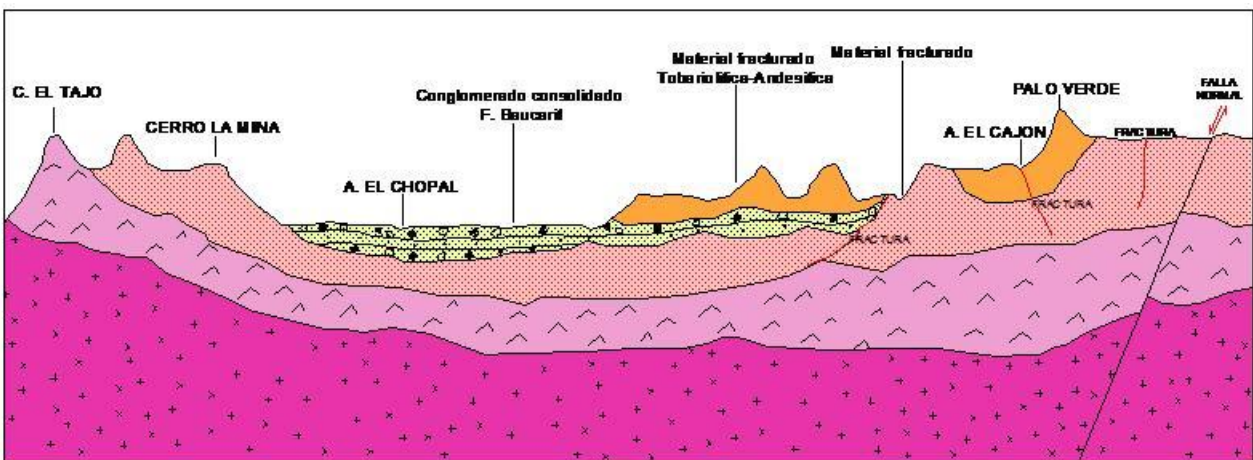


Figura 3. Sección Esquemática del acuífero Cumuripa

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de Acuífero

El acuífero que actualmente se explota es de **tipo libre**, formado por una secuencia de depósitos aluviales constituidos principalmente por conglomerados, gravas y arenas, de permeabilidad alta, que se restringe a los cauces de los arroyos con espesor reducido. Debajo de esta secuencia y fuera de los cauces de los ríos y arroyos, el acuífero está conformado por conglomerados, rocas volcánicas e intrusivas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las rocas volcánicas tales como riolitas, tobas riolíticas, basaltos y andesitas constituyen las unidades de recarga, a través del fracturamiento, aunque el relleno de las fracturas limita la recarga. Estas unidades constituyen un acuífero pobre, ya los aprovechamientos que se encuentran en estas unidades se abaten rápidamente cuando se ponen en operación.

5.2. Parámetros Hidráulicos

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

Mediante recorridos de campo y observaciones geológicas se estimaron valores promedio de los parámetros hidráulicos representativos del acuífero. Se asignó una transmisividad de 130 m²/día ($1.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), al considerar que la mayoría de los aprovechamientos están perforados sobre material granular poco consolidado y que por debajo de este material se encuentra el conglomerado de la Formación Baucarit, el cual no representa un buen acuífero, esto se ve reflejado en los bajos caudales de extracción que se obtienen de apenas 1 a 4 lps.

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 87 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 54 corresponden a norias, 31 a pozos y 2 manantiales.

En el acuífero Cumuripa el volumen de extracción de agua subterránea es bajo y los niveles piezométricos observados en los aprovechamientos son someros, debido a en su gran mayoría

fueron perforados al margen de arroyos y estos son usados sólo para uso pecuario; algunos sólo se usan esporádicamente.

5.4. Comportamiento Hidráulico

La dirección de flujo del agua subterránea sigue el patrón que tienen los arroyos, en dirección del río Yaqui. El flujo subterráneo de la porción central del acuífero, tiene una dirección oeste dirigiéndose de manera paralela a los arroyos que son tributarios de la Presa Álvaro Obregón.

5.4.1. Profundidad al Nivel Estático

La profundidad al nivel estático es somera en las márgenes de los arroyos, donde se localizan la mayoría de los aprovechamientos, ya que varía entre 0.3 y 9 m en el año 2008. En los aprovechamientos que se encuentran alejados de la influencia de los arroyos la profundidad al nivel estático es mayor, aunque no sobrepasa los 16 m. En el censo y piezometría del 2008 sólo se encontró un aprovechamiento con una profundidad total de 70 m, localizado al sur del acuífero en el Rancho Guadalupe, en el que la profundidad al nivel estático es de 63 m. En los aprovechamientos que se encuentran al margen de la Presa Álvaro Obregón, la profundidad al nivel estático varía entre 6 y 13 m. En general la profundidad al nivel estático en el acuífero es somera y aunada a la baja extracción, se puede decir que el acuífero aún está en condiciones de equilibrio. En la Figura 4 se observan las curvas de profundidad al nivel estático en la zona.

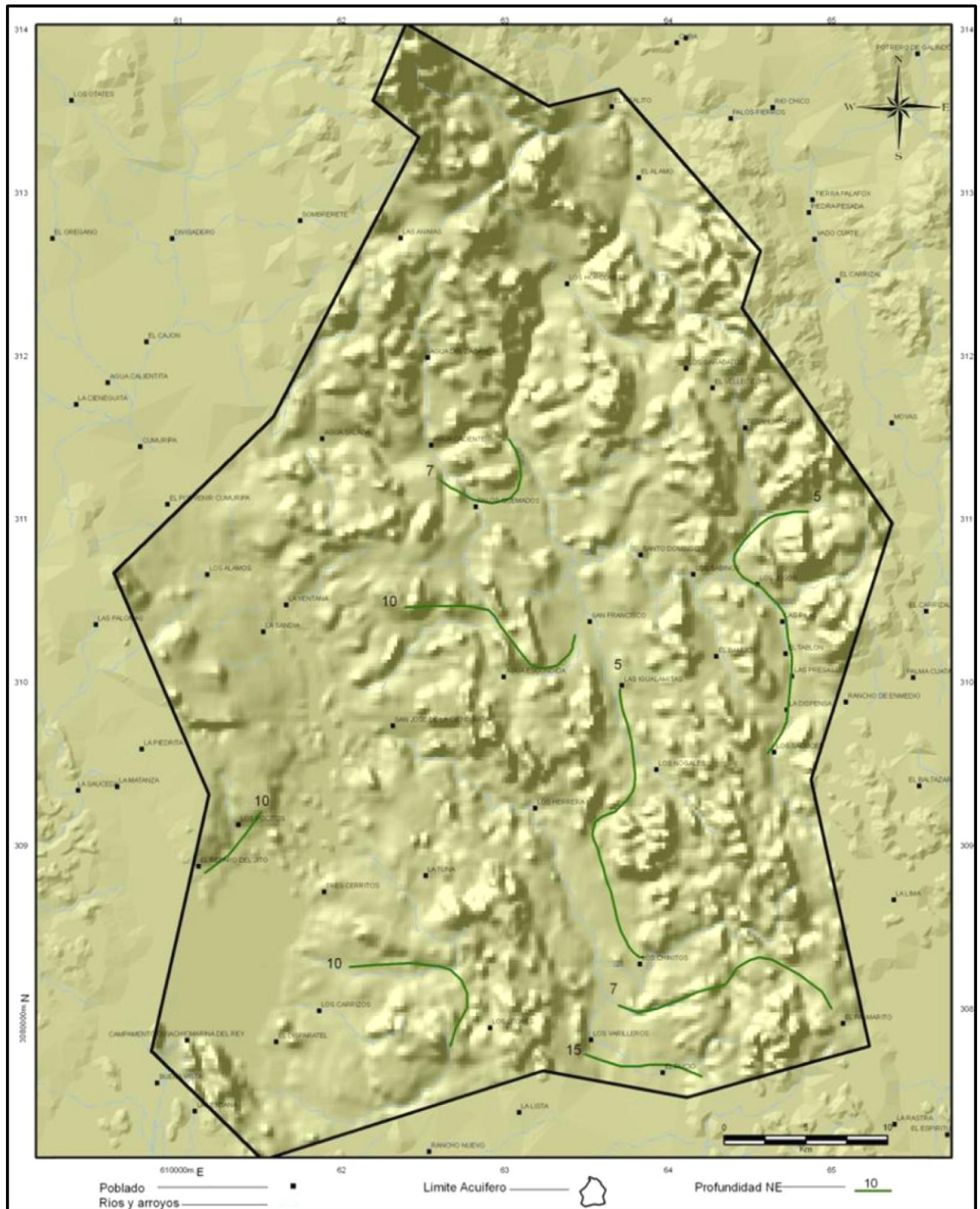


Figura 4. Profundidad al Nivel Estático en m (2008)

5.4.2. Elevación del Nivel Estático

La configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (Figura 5) presenta elevaciones que varían desde 85 hasta 541 msnm, los valores más altos se presentan en la parte sureste del acuífero, donde las sierras tienen las elevaciones topográficas más altas del orden de los 800 msnm, como es el caso del Cerro los Amoles y el Cerro La Pirinola; en estas zonas los valores de elevación más altos del nivel estático son de 541 msnm, la elevación disminuye hacia el centro del acuífero. Al este del acuífero la elevación del nivel estático es de 400 msnm. Los menores valores de elevación del nivel estático ocurren en las márgenes de la Presa Álvaro Obregón con 85 msnm.

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, debido a la falta de estudios hidrogeológicos previos, por lo que no fue posible establecer una evolución de niveles piezométricos. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos y/o del bombeo, ya que el volumen de extracción es muy bajo.

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

5.5. Hidrogeoquímica y Calidad del Agua

Durante la etapa de censo y piezometría efectuados en el 2008, se midieron en campo diversos parámetros fisicoquímicos como: temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, salinidad, oxígeno disuelto, pH y Eh.

Con respecto a la concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD), los valores varían de 100 a 300 ppm, registrando los valores mínimos en la ranchería San Francisco y los máximos en la ranchería Tres Cerritos, por lo que el agua que el agua subterránea es de buena calidad para el consumo humano y para uso agrícola. La mayoría de los valores de pH están cercanos a la neutralidad.

Dados los bajos valores de Sólidos Totales Disueltos, Conductividad Eléctrica, así como valores de pH cercanos a la neutralidad y altos porcentajes de oxígeno disuelto en el agua, se presume que la mayor parte del agua subterránea extraída del acuífero está asociada a recientes infiltraciones, sin embargo, no se descarta la presencia de iones mayores y/o metales pesados en concentraciones elevadas, en su caso esto sería en zonas puntuales donde la geología y sus procesos mineralógicos cambien la calidad del agua, la cual estaría asociada a un tiempo mayor de residencia y tránsito en el acuífero.

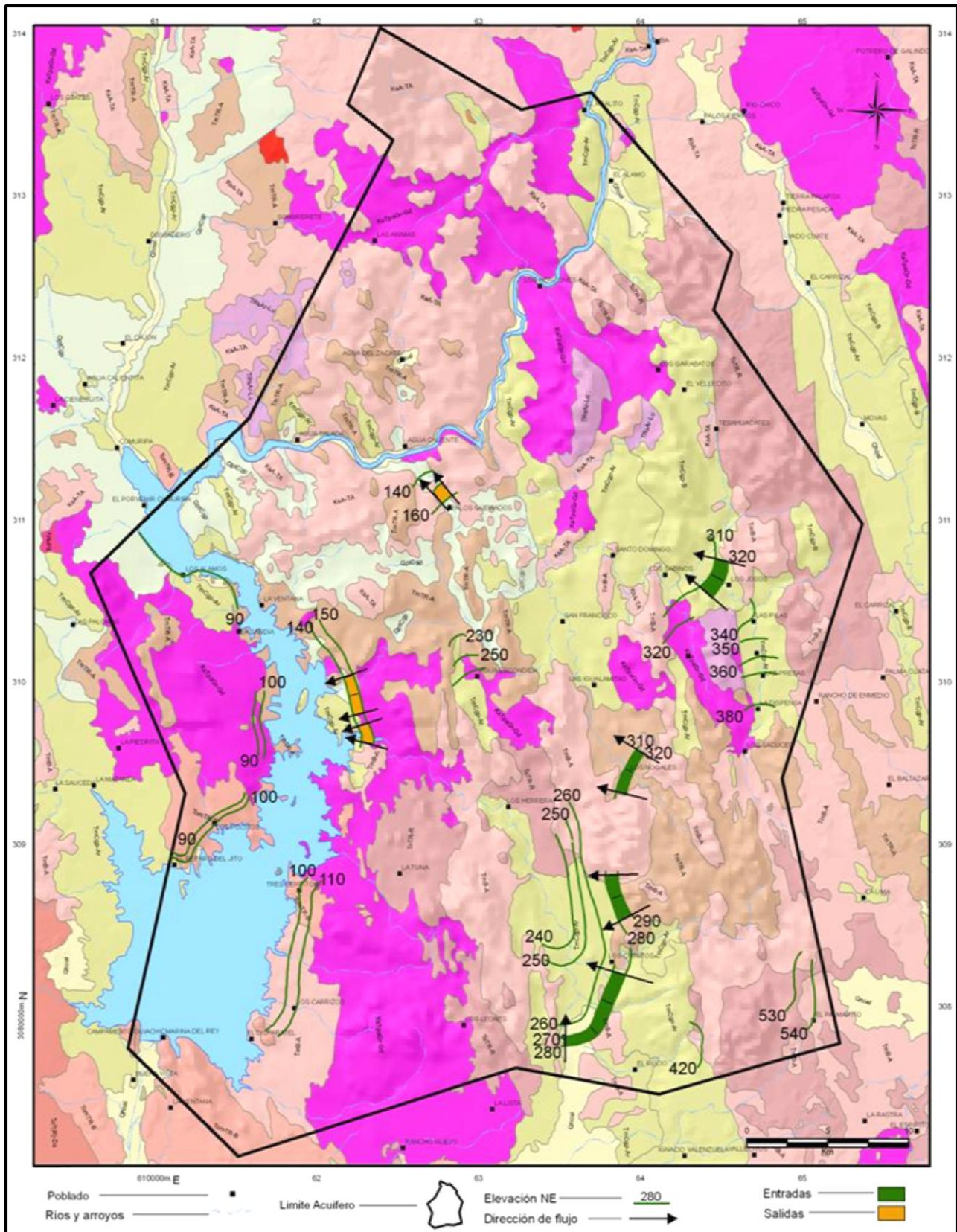


Figura 5. Elevación del Nivel Estático en msnm (2008) y celdas de flujo subterráneo

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al censo realizado en el 2008, se considera que existen 87 aprovechamientos de agua subterránea en el acuífero; de los cuales 54 son norias, 31 pozos y 2 manantiales. De las norias 9 están inactivas y 5 pozos están fuera de servicio.

La campaña de hidrometría efectuada en 2008 estima que el valor de la extracción asciende a 0.1426 hm³ anuales, de los cuales; 0.0988 (69.3%) son para uso doméstico y pecuario, 0.04 hm³ (28 %) son para uso pecuario y 0.0038 (2.7%) 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 para una superficie de 462 km², que corresponde a la zona donde se localizan gran parte de los aprovechamientos de agua subterránea.

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

Eh: Recarga por flujo horizontal
Rv: Recarga vertical
Ri: Recarga inducida
B: Bombeo
Sh: Salidas por flujo horizontal
Dn: Descarga natural
ETR: Evapotranspiración real
 $\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

7.1. Entradas

Representa la sumatoria de entradas de agua al acuífero, ya sean naturales o inducidas. Para este caso las entradas están integradas únicamente por la recarga natural ya que el área agrícola es de temporal y 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 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 la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

7.1.1. Recarga Vertical (Rv)

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

$$Eh + Rv - B - Sh - Dn - ETR = \pm \Delta V(S) \quad \text{----- (1)}$$

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = Sh + B + Dn + ETR \pm \Delta V(S) - Eh \quad \text{----- (2)}$$

7.1.2. Recarga inducida (Ri)

La recarga inducida se constituye principalmente por el retorno de los excedentes del riego, la infiltración que se produce en las obras hidroagrícolas, así como la infiltración debido a las fugas en las redes de agua potable.

En el área de balance, carece de agricultura y los pocos terrenos para cultivo son de temporal, la mayoría de los aprovechamientos tienen uso pecuario. Por otra parte, no existen centros de población importantes por lo que la infiltración debido a las fugas en las redes de distribución de agua potable es insignificante. Por esta razón $R_i = 0$

7.1.3. Entradas por flujo horizontal (Eh)

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

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

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy (tabla 2), partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (figura 5). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos:

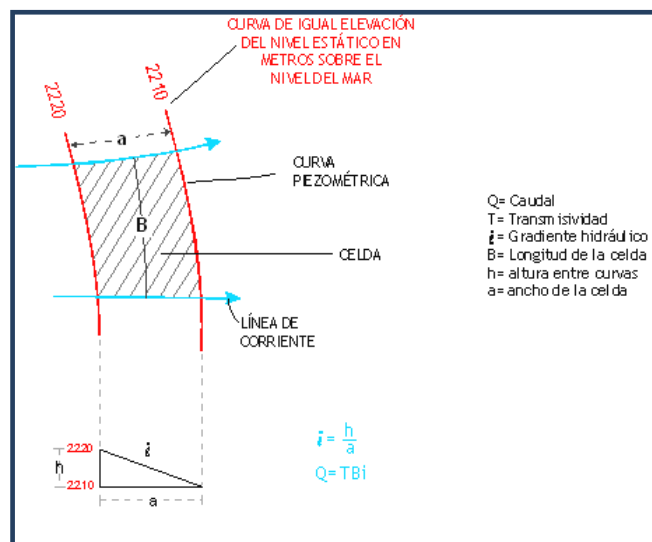
$$Q = V \cdot A$$

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

$$A = B \cdot a$$

Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$



Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

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

Sustituyendo en la ecuación de continuidad:

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

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

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

Donde:

T = Transmisividad en m^2 / s .

B= Longitud de la celda en m

i = Gradiente Hidráulico, en m

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

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

$$T = K b$$

En el extremo sureste y este de la zona de balance fueron generadas nueve celdas, enumeradas del uno al nueve de norte a sur, mismas que se observan en la figura 5, donde se utilizó un valor de transmisividad de $130 m^2/día$, mismo que fue estimado de acuerdo a las características hidrogeológicas de las rocas.

Tabla 2. Cálculo de entradas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q	VOLUMEN
			(m)		(m^2/s)	(m^3/s)	($hm^3/año$)
E1	1183	929	10	0.0108	0.0015	0.0191	0.6
E2	1122	873	10	0.0115	0.0015	0.0193	0.6
E3	1383	773	10	0.0129	0.0015	0.0268	0.8
E4	1398	773	10	0.0129	0.0015	0.0271	0.9
E5	1479	599	10	0.0167	0.0015	0.0370	1.2
E6	1357	550	10	0.0182	0.0015	0.0370	1.2
E7	1971	600	10	0.0167	0.0015	0.0493	1.6
E8	1965	787	10	0.0127	0.0015	0.0375	1.2
E9	1985	800	10	0.0125	0.0015	0.0372	1.2
Total entradas							9.2

Como resultado del análisis de celdas de flujo se obtuvo un valor de $9.2 \text{ hm}^3/\text{año}$, tal como se muestra en la tabla 4, este valor representa las entradas horizontales a la zona de influencia del balance de aguas subterráneas. A este valor se le agregaron $1.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ que entran por el extremo norte, sobre las márgenes del Río Yaqui, producto de salidas horizontales del acuífero Ónavas, obtenido del documento de disponibilidad media anual de agua subterránea elaborado en marzo de 2009.

Por lo anterior las entradas horizontales totales son **$10.9 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

7.2. Salidas

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el acuífero. Para el acuífero Cumuripa las descargas están representadas por salidas horizontales (Sh), bombeo (B), descarga por evapotranspiración (Ev) y descarga como caudal base hacia el río Yaqui (Dn).

7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

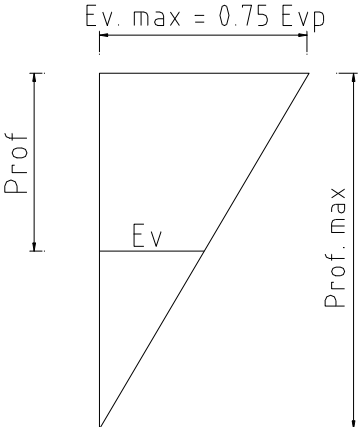
Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera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

Para el caso del Acuífero Cumuripa, dada la falta de vegetación en zonas de niveles estáticos someros, se consideró que sólo ocurre el fenómeno de evaporación, que se presenta en las

proximidades del Río Yaqui, donde existen niveles freáticos someros con profundidades entre 1 y 5 m.

De los datos reportados por evaporímetros de las estaciones Álvaro Obregón y Tesopaco, se determina que la evaporación potencial promedio de la zona es de 2660 mm anuales. Se utilizó un valor de corrección de 0.75, al considerar que se determina en una almacenamiento pequeño (CNA, 2002).

La superficie en la que se consideró que ocurre la evapotranspiración es de 29.5 km², que presenta profundidades al nivel estático con un valor máximo de 5 m, intervalo considerado para calcular la evaporación de acuerdo a la siguiente expresión:



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

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

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

$$ETR = \frac{0.75 (Evap. \text{ Prom.}) (\text{Área})}{5}$$

$$ETR = \frac{0.75 (2660 \text{ mm}) (29.5 \text{ km}^2)}{5}$$

Si se toma en cuenta que esta variable no presenta variaciones significativas ya que el flujo se mantiene de forma constante, se obtiene que la evapotranspiración potencial para la zona como valor promedio es de **11.8 hm³/año**. Este método se empleó ya que no fue posible determinar un área de evapotranspiración por que no existen aprovechamientos a lo largo del cauce del río, sólo algunos de manera puntual

7.2.2. Bombeo

El volumen total anual de extracción de agua subterránea para el Acuífero Cumuripa asciende a **0.1424 hm³**

7.2.3. Salidas Horizontales

En la zona no existen salidas naturales hacia otros acuíferos, ya que el flujo subterráneo es retenido por la presencia del embalse de la Presa Álvaro Obregón. Sin embargo se calculó (tabla 3) un flujo subterráneo horizontal (figura 5) proveniente de la zona acuífera hacia la presa, éste relacionado a depósitos sedimentarios recientes de escaso espesor, de tal forma que el valor de **Sh = 3.7 hm³/año**.

Tabla 3. Cálculo de salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q	VOLUMEN
			(m)		(m ² /s)	(m ³ /s)	(hm ³ /año)
S1	920	818	10	0.0122	0.0017	0.0191	0.6
S2	2404	603	10	0.0166	0.0017	0.0678	2.1
S3	1218	695	10	0.0144	0.0017	0.0298	0.9
Total salidas							3.7

7.2.4. Descargas naturales por manantiales, caudal base de ríos (Dn)

En la zona del acuífero las descargas naturales están representadas por dos manantiales perennes y el caudal base del río Yaqui. La descarga a manantiales se estima en 0.031 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 histórica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. 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 **$\Delta V(S) = 0$** .

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:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 3.7 + 0.1424 + 11.8 + 0.0310 - 0.0 - 10.9 - 0.0$$

$$R_v \approx 4.7 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R_t = 4.7 + 10.9 + 0.0$$

$$R_t = 15.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

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

8.1. Recarga total media anual (R_t)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **15.6 hm³/año**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes. Para el caso del Acuífero Cumuripa se considera la descarga natural comprometida corresponde al volumen descargado como manantiales, aunque se considera despreciable, valor que corresponde a **0.031 hm³/año**, más **3.7 hm³/año** de salidas horizontales de la zona de balance a la presa.

Por lo que la Descarga Natural Comprometida para el acuífero Cumuripa es de **3.7 hm³/año**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 31 de marzo de 2009, es de **82,307 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA, que de acuerdo con la expresión (3) resultó ser de **11,817,693 m³ /año**.

De acuerdo a la expresión (3), se tiene que:

$$DAS = 15.6 - 3.7 - 0.082307$$

$$DAS = 11.817693 \text{ hm}^3/\text{año}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **11'817,693 m³/año** para otorgar nuevas concesiones.

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

9. BIBLIOGRAFÍA

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

Comisión Nacional del Agua, 2009. Determinación de la Disponibilidad de Agua Subterránea en el Acuífero Ónavas, Estado de Sonora.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002, Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del Recurso Agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

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

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

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

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