



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA
ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO RÍO ALTAR (2608),
ESTADO DE SONORA**

CIUDAD DE MEXICO, 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	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4 GEOLOGÍA	8
4.1 Estratigrafía	8
4.2 Geología estructural.....	11
5 HIDROGEOLOGÍA	12
5.1 Tipo de acuífero.....	12
5.2 Piezometría.....	12
5.3 Comportamiento hidráulico	13
5.3.1 Profundidad al nivel estático.....	13
5.3.2 Elevación del nivel estático.....	14
5.3.3 Evolución del nivel estático	14
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	14
7 BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO	15
8 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
8.1 Entradas.....	17
8.1.1 Recarga vertical (Rv).....	17
8.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	17
8.1.3 Recarga inducida (Ri).....	18
8.2 Salidas	18
8.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	18
8.2.2 Bombeo (B)	18
8.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	19
9 DISPONIBILIDAD	19
9.1 Recarga total media anual (R)	20
9.2 Descarga natural comprometida (DNC)	20
9.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	20
9.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	21
10 BIBLIOGRAFÍA	22

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 Altar, definido con la clave 2608 por la Comisión Nacional del Agua, comprende una superficie aproximada de 2,801 km², localizada en la porción norte del estado de Sonora, limita al norte con los Estados Unidos de Norteamérica, en el área de la República Mexicana colinda al sur con el acuífero Caborca, al este con los acuíferos Río Alisos, Magdalena y Busani, al oeste colinda con el acuífero Arroyo Seco (figura 1).

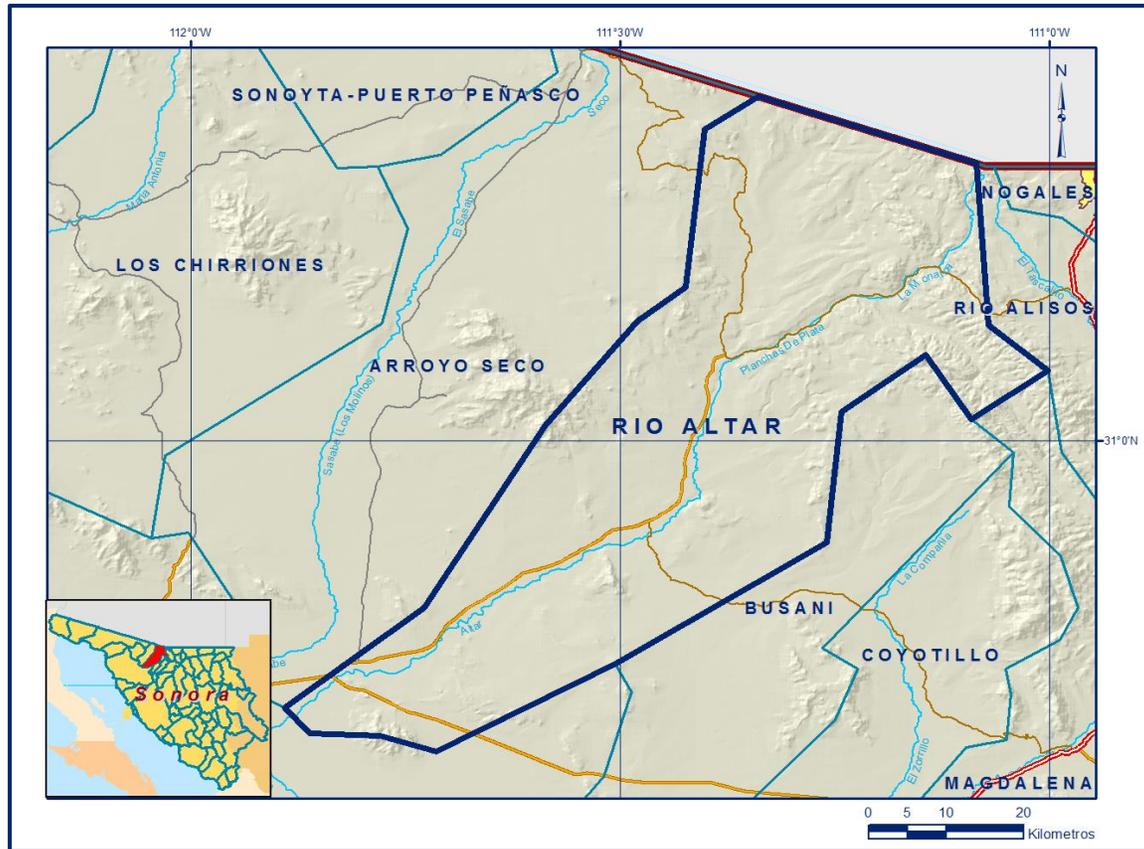


Figura 1. Localización del acuífero

Los municipios involucrados en el área del acuífero, y que prácticamente se encuentra en forma total son el municipio de Atil, mientras que en forma parcial aparecen los municipios de Altar, Oquitoa, Tubutama, Saric y Nogales.

Entre las principales poblaciones que se localizan en el área, correspondientes al municipio de Atil se encuentran: Atil, El Represo de Los González y Los Pilares, respecto al municipio de Oquitoa se localizan: Oquitoa y San Isidro, en el municipio de Tubutama se encuentran: Tubutama, La Reforma, y La Pasión, en cuanto al municipio de Altar sólo se localiza la cabecera municipal, la cual participa en aproximadamente un 50% de su población; en cuanto al municipio de Saric, donde se localizan Saric y El Nogalito, también se puede considerar que sólo participa cerca del 50 % dentro del área del acuífero.

En el municipio de Nogales se encuentran pocos poblados siendo en su cabecera municipal donde se tiene la mayor parte de su población, sin embargo ésta se localiza fuera del área. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 2608 RIO ALTAR							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	111	30	20.4	30	43	46.1	
2	111	42	51.7	30	37	23.2	
3	111	46	46.0	30	38	32.1	
4	111	51	40.6	30	38	41.8	
5	111	53	28.2	30	40	36.1	
6	111	43	40.9	30	47	51.4	
7	111	35	13.7	31	1	9.8	
8	111	28	49.3	31	8	42.7	
9	111	25	27.5	31	11	11.4	
10	111	24	6.8	31	22	37.1	
11	111	20	18.2	31	25	19	DEL 11AL 12 POR EL LIMITE INTERNACIONAL
12	111	5	9.3	31	20	9.6	
13	111	4	18.2	31	8	23.7	
14	111	0	8.2	31	5	5.3	
15	111	5	28.4	31	1	32.1	
16	111	8	42.4	31	6	14.2	
17	111	14	35.4	31	2	6.8	
18	111	15	35.9	30	52	35.4	
1	111	30	20.4	30	43	46.1	

1.2 Situación administrativa del acuífero

Dentro de los límites del acuífero se localizan dos zonas de veda, la primera publicada el 18 de octubre de 1962, mediante el decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de agua del subsuelo en la zona que comprende la región de Altar, Pitiquito y Caborca.

En su artículo segundo menciona que la veda a que se refiere dicho decreto, queda comprendida en la tercera clasificación del artículo 11 del reglamento de la ley de 29 de diciembre de 1958 en materia de aguas del subsuelo.

Excepto cuando se trate de alumbramiento de aguas para usos doméstico, desde la vigencia de este Decreto, nadie podrá extraer aguas del subsuelo dentro de la zona vedada ni modificar los aprovechamientos existentes sin previo permiso escrito de la autoridad del agua.

Esta dependencia podrá conceder el permiso únicamente en los casos en que de los estudios relativos se advierta que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

La segunda veda publicada el 19 de septiembre de 1978, en el Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha zona.

Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente Decreto nadie podrá efectuar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la autoridad del agua, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas, sin la concesión o asignación que expida también, según el caso, la propia autoridad.

El acuífero Río Altar, pertenece a la Región Administrativa II Noroeste, así como al Consejo de Cuenca 3 Alto Noroeste, no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas.

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

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ACTUALIZACIÓN DE LOS DATOS DE LA RED DE MEDICIÓN PIEZOMÉTRICA DE LOS ACUÍFEROS: RÍO ALTAR, ARROYO SECO, BUSANI, COYOTILLO, LA TINAJA, MAGDALENA Y RÍO ALISOS. UNIVERSIDAD DE SONORA, DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA (2004).

El objetivo principal es conocer de manera exacta la posición actual del nivel estático de los acuíferos que forman parte del área de estudio; así como el establecer una red de monitoreo simplificada y confiable para la obtención de información hidrogeológica y piezométrica de los acuíferos; así como el censo de aprovechamientos existentes, para disponer de una red de pozos de monitoreo de niveles para establecer un programa anual para futuros estudios piezométricos en la misma.

Se presenta el estudio piezométrico y una propuesta de Red de Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos: 2608 Río Altar, 2607 Arroyo Seco, 2609 Búsani, 2610 Coyotillo, 2611 La Tinaja, 2612 Magdalena y 2613 Río Alisos, ubicados en la parte media y alta de la Cuenca Río Concepción–Arroyo Cocóspera, en el extremo noroeste del estado de Sonora, México.

Incluye la piezometría de un total de 244 aprovechamientos, ubicados en los acuíferos mencionados, así como estadísticas del uso del agua, tipo de aprovechamiento, profundidad de los pozos y diámetro de descarga.

Con la información piezométrica se elaboraron los planos de configuración de profundidad y elevación del nivel estático.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El acuífero Río Altar se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Llanura Sonorense y en la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses. Fisiográficamente el área forma parte de la Provincia Basin and Range.

En la región se presenta una columna litológica muy completa con rocas metamórficas del Precámbrico en la base, seguidas de rocas sedimentarias del Paleozoico; volcánicas y sedimentarias del Mesozoico y volcánicas del Terciario Inferior. La parte alta de la columna la constituyen rocas sedimentarias clásticas del Terciario y Cuaternario, que a su vez alojan las zonas acuíferas del área.

3.2 Clima

El clima de la región donde se localiza el acuífero Río Altar es del tipo BSh seco semicálido, asimismo presenta hacia la zona suroeste un clima de tipo Bwh muy seco semicálido.

En la tabla 2 se incluyen la precipitación y temperatura medias anuales para cada estación, así como el número de años con información.

Tabla 2. Valores medios de precipitación y temperatura registrados en estaciones climatológicas

Estación		Precipitación media anual mm/año		Temperatura media anual °C	
		Promedio	Años con datos	Promedio	Años con datos
26003	ALTAR, ALTAR	395.3	18	21.2	18
26038	ATIL, ATIL	379.1	27	19.4	27
26092	PRESA CUAUHTEMOC, ATIL	332.5	19	20.6	19
26250	SARIC, SARIC (DGE)	235.4	4	14.7	4
Promedio		368.9		20.4	

Con base en la información de la carta de temperaturas medias anuales de INEGI, se observa que el registro de temperatura varía de 18 a 20° C. De acuerdo con el análisis de las estaciones climatológicas, la temperatura media anual es de 20.4° C, al eliminar la estación Saric por su corto periodo de observación. De acuerdo con la información de Isoyetas medias anuales de la República Mexicana proporcionada por la CNA, los valores promedio anual de la lámina de lluvia oscilan entre 350 y 375 mm/año.

De acuerdo con el análisis de la información pluviométrica de las estaciones climatológicas, la precipitación media anual es de 369 mm. En resumen, un valor medio anual de la temperatura y la precipitación a largo plazo resultan de 20.4° C y 369 mm/año. De acuerdo con la información de datos registrados en la estación climatológica “Presa Cuauhtémoc”, la evaporación media anual en esa área es del orden de 2,721 mm.

3.3 Hidrografía

En el área existe una serie de corrientes intermitentes y un cuerpo principal de agua superficial que constituye la presa Cuauhtémoc. La principal corriente superficial la forma el río Altar, que tiene su origen en las cercanías de la frontera con Estados Unidos de Norteamérica, este cauce atraviesa la zona de norte a sur, donde en las proximidades de la presa Cuauhtémoc cambia de dirección noreste-suroeste, el río en su curso atraviesa la población de Altar, saliendo de la zona, prácticamente en las inmediaciones de esta población como se aprecia en la figura No. 1, para posteriormente integrarse al río Magdalena, punto a partir del cual el río Magdalena toma el nombre de río Asunción que a su vez es tributario del río Concepción. El régimen del río Altar es de tipo torrencial, su cuenca drena una porción del desierto del mismo nombre, con una topografía ligeramente accidentada al noroeste del estado de Sonora.

Entre los arroyos que son tributarios del río Altar en la zona, se pueden citar al arroyo El Encimadito, El Silencio, Planchas de Plata, Sotolito y Guadalupe, este último se integra al río Altar después de la presa Cuauhtémoc.

De acuerdo con los criterios de la hidrología superficial, el acuífero Río Altar pertenece a la Región Hidrológica No. 8 Sonora Norte. Pertenece a la Subregión 8 B, Río Concepción. Cuenca del Río Concepción.

En la zona se encuentra la presa Cuauhtémoc sobre el río Altar, se localiza a 8 km arriba de la población de Atil, su cortina es de materiales graduados, la elevación al NAME de este almacenamiento es 597.36 m, con una capacidad de 65 hm³, su objetivo es regular el régimen de la corriente para apoyo del riego y control de las avenidas. En el área que cubre el acuífero se asienta el Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca.

3.4 Geomorfología

El área que incluye el acuífero Río Altar presenta dos zonas muy marcadas por su morfología. La parte norte está dominada por elevaciones topográficas importantes, principalmente en su límite nororiental, en las zonas aledañas a las localidades de Los Adobes, La Bellotosa y el Quemado, donde nacen algunos arroyos que fluyen hacia el Río Altar.

Hacia la porción noroccidental, la zona también está relativamente dominada por elevaciones de menor importancia, desde La Tinaja hasta Cerro Prieto.

La parte sur del área del acuífero está dominada por una topografía menos abrupta y más plana, donde las elevaciones más importantes se tienen hasta el límite sur. Dentro de esta zona, las poblaciones más importantes son Tubutama, ejido La Reforma, Potrero y El Carmen.

4 GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

La litología presente en el área del acuífero es muy variada y está representada principalmente por afloramientos de origen ígneo y sedimentario, cuyas edades varían desde el Precámbrico al Cenozoico, siendo éstas últimas las unidades semiconsolidadas y no-consolidadas que conforman el acuífero.

PRECÁMBRICO

Las rocas de esta edad están limitadas a afloramientos restringidos de un gneiss bandeado que se tiene en la porción noroccidental de área, al noreste de la localidad de La Bellotosa.

MESOZOICO

Las rocas correspondientes a la Era Mesozoica dentro de la zona tienen afloramientos ampliamente distribuidos a lo largo de toda su área.

Las unidades más representativas corresponden a la asociación lutita-arenisca del Grupo Bisbee, presentes en la parte norte.

Así como a un afloramiento importante de rocas volcanoclásticas de riolitas y areniscas de cuarzo que representan a la Riolita El Pinito, del Jurásico. Además, se tienen afloramientos restringidos en la porción sur del área de rocas volcánicas ácidas e intermedias mesozoicas, así como de rocas metamórficas y metasedimentarias.

Las rocas ígneas intrusivas mesozoicas están representadas por un afloramiento continuo muy importante de un cuerpo granítico en el límite oeste de la cuenca, cuya erosión e intemperismo produce suelos arenosos en sus depósitos de talud.

CENOZOICO

Las rocas cenozoicas comprendidas dentro del acuífero Río Altar corresponden a afloramientos de una secuencia de rocas volcánicas ácidas terciarias que tiene afloramientos ampliamente distribuidos en las elevaciones topográficas del límite nororiental del área.

Sin embargo, las rocas más representativas de este período es la secuencia sedimentaria terciaria que aflora en las inmediaciones del poblado de Tubutama, representadas por areniscas, lutitas, calizas y conglomerados de origen lacustre, asociadas al relleno de una cuenca endorreica de origen tectónico, dentro de la cual fueron depositados boratos que actualmente son explotados en la zona y que probablemente tengan una influencia directa en la calidad química del agua subterránea.

También dentro del área se tienen afloramientos restringidos de rocas volcánicas intermedias y brechas piroclásticas de esta edad. Los sedimentos Plio-Cuaternarios representan gran parte de la superficie del área y de las zonas de mayor importancia en la conformación de este acuífero.

Estos están constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas, los cuales han sido incluidos en dos unidades.

Por un lado se tienen sedimentos gruesos (conglomerado cenozoico) asociados a los depósitos de bajada que reflejan la actividad erosiva en las principales elevaciones (tabla 3).

Tabla 3. Estratigrafía y unidades hidrogeológicas

EDAD	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
CUATERNARIO	Reciente	Depósitos aluviales y eólicos poco o nada consolidados (Qal) y (Qeo).
	Pleistoceno	Basaltos Cuaternarios (Qb).
TERCIARIO	Plioceno	Depósitos detríticos continentales con basaltos interestratificados (Tsv).
		Formación Baucarit (Tsc).
	Mioceno	Tobas riolíticas con interestratificación de basalto, tobas y piroclásticos (Tiv).
	Eoceno	Estratos vulcanoclásticos. FM. Elenita, FM. Henrieta y FM. La Mesa.
CRETÁCICO	Paleoceno	Intrusivos graníticos, granito Cananea y Fanglomerado La Caridad. (Tivc) y (Mi).
	Superior	Intrusivos graníticos y capas vulcanoclásticas areniscas, lutitas y calizas. Grupo Cabullona (Mi), (Ksv) y (Kss).
JURÁSICO	Inferior	Calizas, lutitas, areniscas y conglomerados. Grupo BISBEE, Grupo Ceja, Grupo Azulitos, FM. El Palmar y FM. Morita (Kis), FM. Tarahumara (Kiv).
	Superior	Calizas conglomerados areniscas y lutitas. Fm. El Batamote, FM. Sasabe y FM. Chanate (Jss).

Por otro lado, se tienen los depósitos fluviales (aluvión del Cuaternario) donde dominan las arenas y las gravas que han sido transportadas y depositadas por las diferentes corrientes superficiales del área, los cuales representan la porción efectiva de las zonas acuíferas dentro del área (figura 2).

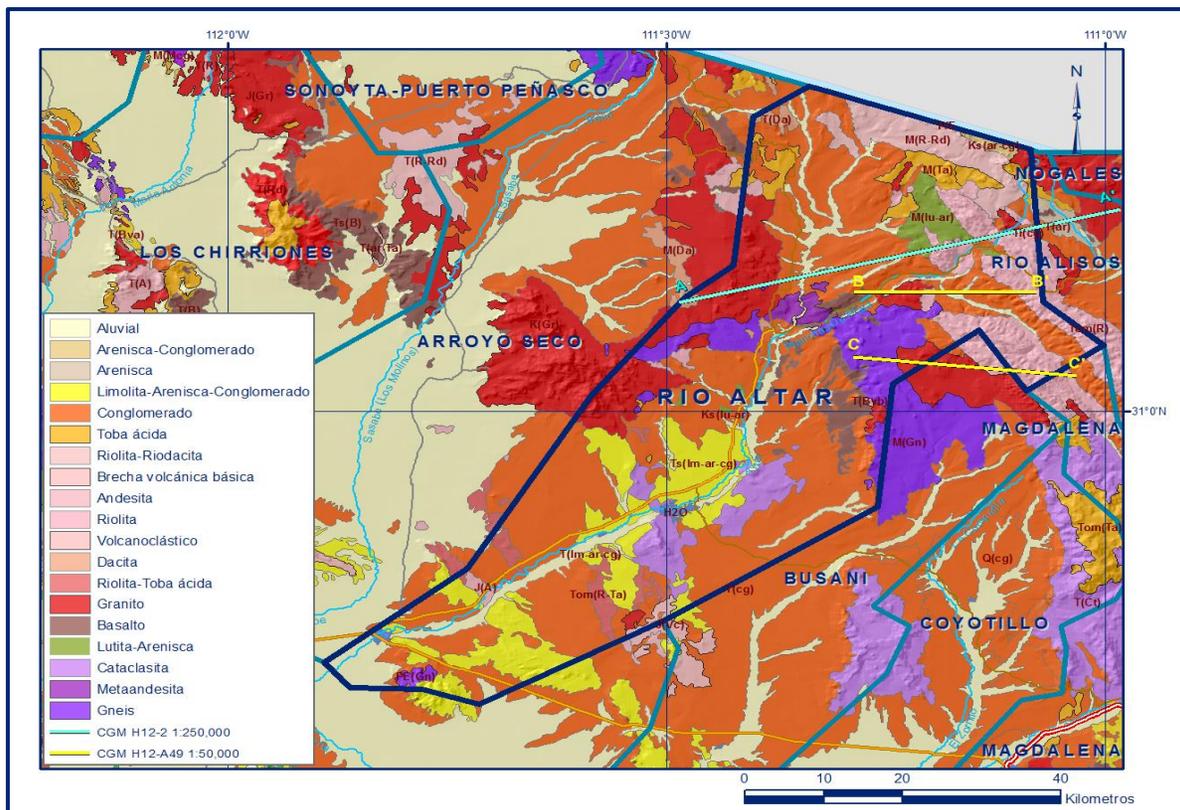


Figura 2. Geología general del acuífero

4.2 Geología estructural

Los principales eventos tectónicos que han afectado a través del tiempo geológico al estado de Sonora se pueden considerar en orden cronológico los siguientes:

La Orogenia Mazatzal, de edad Proterozoico Temprano, que se corresponde con un proceso de metamorfismo regional (Complejos metamórficos Bámori e indiferenciado). La depositación de la secuencia carbonatada-clástica del Proterozoico Tardío en zonas de plataforma de aguas someras y la prolongación hacia el sur del Geosinclinal Cordillerano. Posteriormente, ocurre una estabilidad tectónica durante el Paleozoico, depositándose secuencias sedimentarias de facies de plataforma en distintas partes del Estado.

Como fase subsecuente sobrevino una depositación de cuenca ligada a un arco magmático, originado como consecuencia de la subducción de litósfera oceánica en el margen occidental de Norteamérica, durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, produciendo un evento de metamorfismo regional que transforma la secuencia durante el Jurásico Medio-Tardío. Durante el Cretácico Inferior se inicia una transgresión marina, con una fase compresiva durante el Cretácico Medio, que provoca el plegamiento de la secuencia del Cretácico Inferior y terrenos de la franja volcánogena Jurásica.

En el intervalo del Cretácico Inferior al Terciario Inferior se presenta la Orogenia Laramide, con una etapa magmática asociada. Este evento origina el emplazamiento de un importante conjunto volcano-plutónico durante el Terciario Temprano-Cretácico Tardío. La tectónica distensiva que origina la apertura del Golfo de California y la formación de la Provincia de Sierras y Valles Paralelos se considera del Mioceno Temprano.

La denudación tectónica con eventos compresivos menores, erupciones por fisuras profundas y acción continúa de fuerzas exógenas, producen el desarrollo de depósitos no consolidados de aluviones y terrazas del Mioceno hasta el Reciente. Las estructuras más antiguas presentes en la región están caracterizadas por fallas de cabalgadura de edad mesozoica y probablemente de mayor edad, que sobreponen unidades más antiguas sobre otras más jóvenes. Estas cabalgaduras tienen vergencias predominantemente hacia el noreste y han sido identificadas principalmente en las sierras del sur del área donde afloran rocas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas.

El área se caracteriza por sierras y valles paralelos producidos por la distensión terciaria (Basin and Range). En este contexto, se generaron cuencas de graben y semi-graben que son limitadas por fallas normales de ángulo alto (65° - 85°) con una orientación predominante NNW-SSE. Otras estructuras importantes son las fallas normales de ángulo bajo (15°) o fallas de Detachment que se manifiestan principalmente en la sierra La Madera al oriente del poblado de Imuris, así como en las sierras al oeste de Magdalena. Estas estructuras son resultado del evento distensivo del "Metamorphic Core Complex".

Estos dos últimos eventos geológicos han producido un fracturamiento importante en las rocas pre-terciarias, lo cual debe ser considerado en la prospección de acuíferos alojados en rocas fracturadas. Si bien es cierto que no se tienen identificadas estructuras recientes que afecten los sedimentos cenozoicos del área, los cauces de los ríos pudieran corresponder al lineamiento de estructuras sepultadas.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

La interpretación y análisis de la información disponible determina que el acuífero se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados, comportándose como un acuífero libre. Subyaciendo a las capas granulares, se encuentran estratos de conglomerados no consolidados que representan la segunda unidad hidrogeológica de interés. Debido a la probable presencia de capas arcillosas entre estos dos materiales, el acuífero contenido en esta última unidad, muy probablemente funcione localmente como acuífero semiconfinado.

5.2 Piezometría

Con base en la información disponible en el área del acuífero primeramente se distinguió entre los diferentes comportamientos de niveles.

Una vez analizada la piezometría, fue posible separar aquellos pozos que muestran el comportamiento típico del acuífero superior, apoyado principalmente en norias y pozos someros, así como en la freaticimetría de la parte Alta y Media de la cuenca del Río Concepción. Igualmente se seleccionó una muestra representativa de pozos que bombean el acuífero regional y que muestran un comportamiento característico, a esta se le denominó Red de Monitoreo Piezométrico. Para obtener la red de monitoreo se discretizó el área con un mallado que se fue ajustando, de acuerdo con la cantidad y calidad de la información piezométrica.

5.3 Comportamiento hidráulico

El análisis del comportamiento hidráulico del almacenamiento subterráneo comprende las configuraciones del nivel estático.

5.3.1 Profundidad al nivel estático

Mediante el estudio realizado al acuífero Río Altar se observó que los valores más someros de la profundidad al nivel estático se registran en la parte media-baja del área, en la porción sur del acuífero con 3 m de profundidad; mientras que los más profundos se presenta en la parte media del acuífero entre las localidades de Cerro Prieto y el Sáric, con 39 m de profundidad, siendo ésta última la zona de mayor extracción de agua para uso agrícola, principalmente en las localidades El Potreo, El Carmen y Átil. En general, la profundidad al nivel del agua subterránea en la mayor parte del acuífero varía entre 10 y 30 m (figura 3).

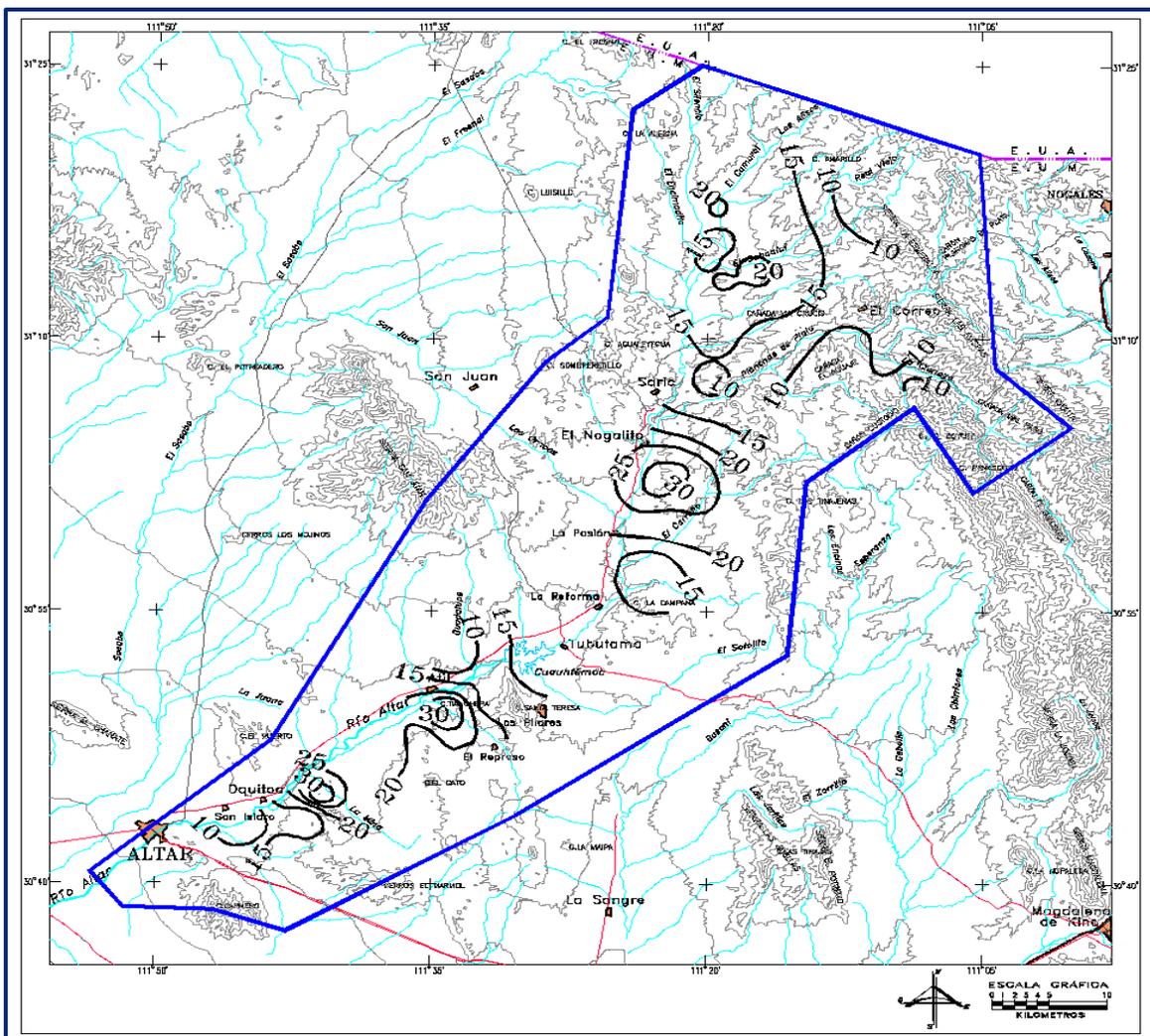


Figura 3. Curvas de igual profundidad al nivel estático en m(2004)

5.3.2 Elevación del nivel estático

La máxima elevación del nivel estático se tiene en la parte alta al noroeste del acuífero con 1231 msnm; mientras que la mínima se presenta en la parte baja al suroeste del mismo con 435 msnm.

A partir de la configuración de la elevación del nivel estático en el acuífero, se establece que las direcciones del flujo subterráneo presentan dos direcciones importantes; la primera es norte a sur en la porción alta del acuífero, y la segunda del noreste hacia el suroeste, en su porción baja, a la altura del poblado Tubutama (figura 4.

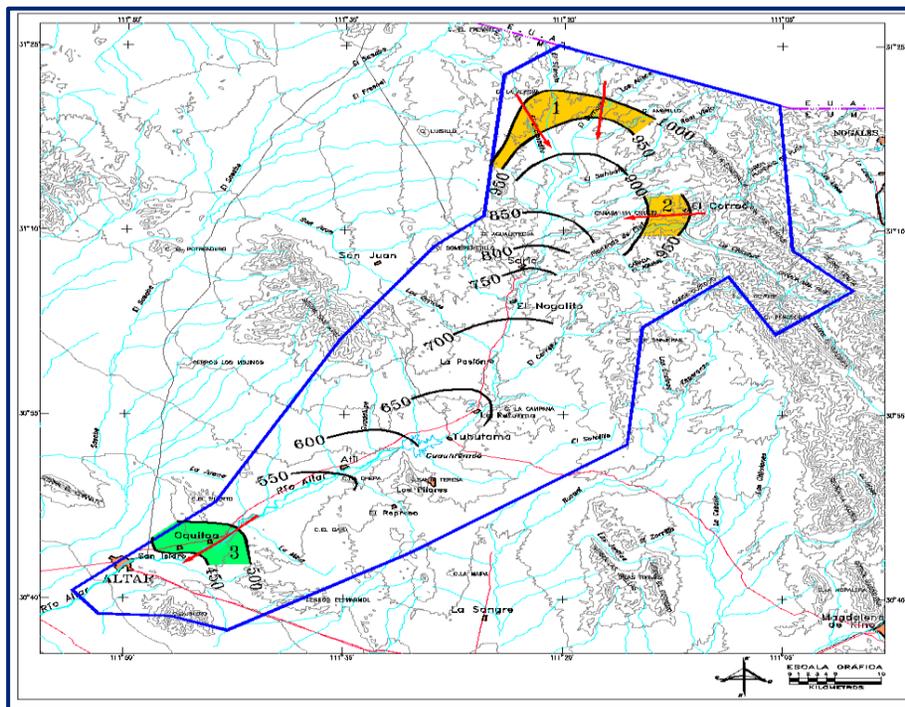


Figura 4. Curvas de igual elevación del nivel estático en msnm (2004)

5.3.3 Evolución del nivel estático

No se dispone de una historia piezométrica; sin embargo, de la configuración de elevación del nivel estático, se deduce que no se registran conos de abatimiento ocasionado por la concentración del bombeo.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

No se cuenta con información real de censos de pozos, únicamente se dispone de la información del REPDA que consigna la existencia de alrededor de 500 aprovechamientos, que en total extraen un volumen del orden de **18.5 hm³/año**, para usos agrícola y público-urbano.

7 BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO

El orden de magnitud del coeficiente de infiltración por lluvia se obtuvo través de un balance de agua superficial, para el cual se aplicó la siguiente expresión:

$$\text{Infiltración} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{escurrimiento}$$

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la fórmula de Coutagne que indica:

$$\text{ETR} = P - XP^2$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración m/año

P = precipitación en m/año

$X = 1 / 0.8 + 0.14 t$

t = temperatura en °C

En nuestro caso la precipitación promedio anual, de toda el área, es de 369 mm/año la temperatura promedio anual es de 20.4° C, valores que una vez sustituidos en la ecuación anterior, dan un valor de 0.33176 m, que multiplicado por el área de 2,801 km² da un volumen total evapotranspirado de 929.3 hm³/año.

El volumen de escurrimiento anual en esta región es muy escaso, el cual es del orden de 84.3 hm³/año. Como no se dispone de información hidrométrica este valor se calculó con ayuda del coeficiente de escurrimiento que se obtiene a través de la expresión que se enuncia enseguida.

$$\text{Ce} = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$

Donde:

Ce = Coeficiente de escurrimiento

K es un parámetro en función del tipo de suelo.

En nuestro caso el valor de K es del orden de 0.25, que corresponde a un suelo intermedio entre tipo A permeable así como tipo B medianamente permeable con cubierta de vegetación menos del 25%.

Este procedimiento es recomendado por la CNA en la NOM-011-CNA-2000, para estimar volúmenes de escurrimiento cuando no se dispone de datos hidrométricos.

Sustituyendo valores, el coeficiente de escurrimiento resulta ser del orden de 0.0815, el cual multiplicado por el volumen precipitado arroja un valor de 84.3 hm³/año.

El valor de la precipitación total en el área es de 1033.6 hm³/año obtenida de multiplicar el área total de 2,801 km² por una lámina promedio de 369 mm/año.

Sustituyendo valores en la ecuación que se planteó anteriormente para obtener el volumen infiltrado se tiene:

$$\text{Infiltración} = 1033.6 - 929.3 - 84.3 = 20.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que en nuestro caso es de 1033.6 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta de 0.0193.

Los valores obtenidos del balance hidrométrico se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Balance hidrometeorológico

	hm ³ /año	
Volumen llovido	1033.6	
Volumen evapotranspirado	929.3	89.91%
Escurrimiento superficial	84.3	8.15%
Infiltración	20.0	1.93%

8 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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:

Recarga total – Descarga total = Cambio de almacenamiento

8.1 Entradas

Las entradas al acuífero Río Altar, están integradas básicamente por las recargas naturales y las recargas inducidas.

8.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga natural está integrada por la debida a la lluvia en el área de valle (1528 km²), por la lluvia (369 mm/año) y el coeficiente de infiltración, obtenido del balance hidrometeorológico (0.0193), lo que da una recarga por este concepto de **10.9 hm³/año**.

8.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

El cálculo se basa en los planos de configuraciones piezométricas donde se trazan las líneas de flujo, identificando las zonas por donde se presentan las entradas de agua subterránea.

Con base en la configuración se seleccionaron los canales y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

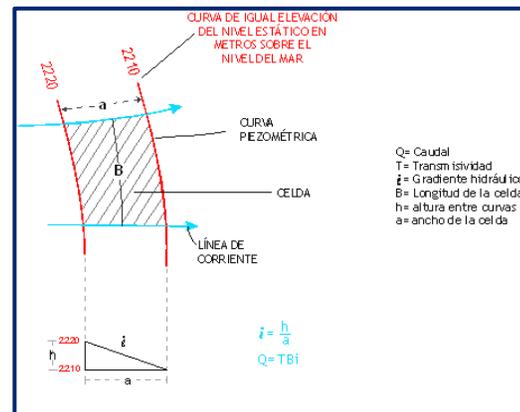
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



Las entradas por flujo subterráneo resultan de **7.3 hm³/año**, según la tabla 5.

Tabla 5. Entradas por flujo subterráneo

Entradas							
Celda	Ancho	Largo	$h_1.h_2$	Gradiente hidráulico	Transmisividad (t)	caudal	volumen
	m	m	m		m^2/s	m^3/s	$hm^3/año$
1	18000	5000	50	0.01000	0.0010	0.180	5.68
2	5000	5000	50	0.01000	0.0010	0.050	1.58
						Total	7.25

8.1.3 Recarga inducida (Ri)

La recarga inducida está constituida principalmente por la infiltración vertical debida a los volúmenes de agua utilizados en el riego, así como los de fugas de los sistemas de agua potable, los cuales en total son del orden de $18.5 \text{ hm}^3/año$, valor que multiplicado por un coeficiente de 0.15, se tiene una recarga inducida del orden de **$2.8 \text{ hm}^3/año$** .

De acuerdo con lo anterior, la recarga total resulta de $21.0 \text{ hm}^3/año$ (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2 Salidas

8.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas por flujo subterráneo se calcularon de la misma manera que las entradas subterráneas.

Hacia el sur de la zona del acuífero se nota una salida por flujo subterráneo que es del orden de **$2.5 \text{ hm}^3/año$** , según la tabla 6.

Tabla 6. Salidas por flujo subterráneo

Entradas							
Celda	Ancho	Largo	$h_1.h_2$	Gradiente hidráulico	Transmisividad (t)	caudal	volumen
	m	m	m		m^2/s	m^3/s	$hm^3/año$
	8600	5500	50	0.00909	0.0010	0.078	2.47
						Total	2.47

8.2.2 Bombeo (B)

La extracción bruta de aguas subterráneas es del orden de **$18.5 \text{ hm}^3/año$** , valor obtenido del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

8.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

De acuerdo con la observación de las configuraciones de los niveles del agua subterránea, que no se registran variaciones importantes en la posición de los niveles del agua subterránea en los escasos sitios que tiene lecturas anteriores y aunque no se tienen piezometría histórica, se deduce que no existe cambio de almacenamiento en el acuífero. para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir, $\Delta V(S) = 0$.

Los valores que resultaron del balance de agua subterráneas, se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Balance de aguas subterráneas

Concepto	hm ³ /año
Recarga por lluvia	10.9
Flujo horizontal	7.3
Recarga natural	18.2
Recarga inducida	2.8
Recarga total	21.0
Extracción	18.5
Descarga horizontal	2.5
Descarga total	21.0
Minado	0.00

9 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:

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

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

9.1 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 **21.0 hm³/año**, integrada por la suma de la recarga natural y la recarga inducida.

9.2 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 se considera nula, por lo que su valor es de **0.0 hm³ anuales**, **DNC = 0.0 hm³ anuales**.

9.3 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 **18,053,332 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**

9.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 21.0 - 0.0 - 18.053332 \\ \text{DMA} &= 2.946668 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **2,946,668 m³ anuales**.

10 BIBLIOGRAFÍA

DOF. 5 de diciembre de 2001. Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

Comisión Nacional del Agua, período 1931-1990. Integración de la lluvia normal anual de la República Mexicana.

Comisión Nacional del Agua, Sistema de Información Geográfica del Agua Subterránea (SIGMAS).

Diario Oficial de La Federación del 17 de abril de 2002, México.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subdirección de Hidrología, 1969. Boletín Hidrológico No. 39, Región Hidrológica No. 8.