



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO XICHÚ-ATARJEA (1101), ESTADO DE
GUANAJUATO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación Administrativa del Acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA	4
3.1 Provincia fisiográfica	4
3.2 Clima	5
3.3. Hidrografía.....	5
3.4 Geomorfología.....	6
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía	8
4.2 Geología estructural	13
4.3 Geología del subsuelo.....	14
5. HIDROGEOLOGÍA	17
5.1 Tipo del acuífero	17
5.2 Piezometría.....	18
5.3 Comportamiento hidráulico	19
5.3.1 Profundidad al nivel estático	19
5.3.2 Elevación del nivel estático	20
5.3.3 Evolución del nivel estático.....	20
5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	22
8. DISPONIBILIDAD.....	24
8.1 Recarga total media anual (R).....	24
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	24
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	25

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 de Xichú-Atarjea, definido con la clave 1101 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo nororiental del estado, limitado al sureste con el estado de Querétaro, al noreste con el estado de San Luis Potosí y al oeste con el acuífero de Laguna Seca. Su extensión superficial es de 3,815 km² y comprende a los municipios de Xichú, Atarjea, Santa Catarina, Tierra Blanca, Victoria y parte de San Luis de la Paz. La posición geográfica de la zona, caracterizada por una topografía muy accidentada, ha determinado en gran medida un aislamiento social y económico con respecto al resto del estado. El número de habitantes de acuerdo al Censo 1995 de INEGI para la zona es de 77,984 (Figura 1).

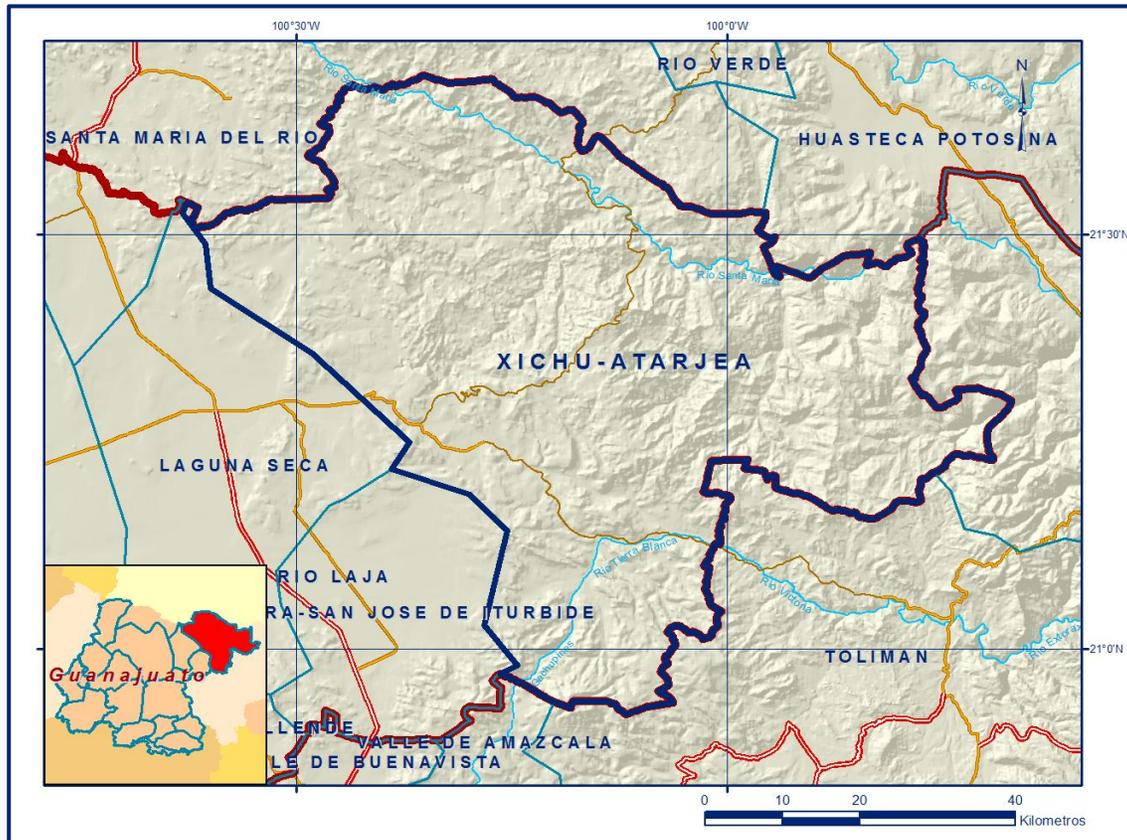


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 1101 XICHU-ATARJEA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	15	48.1	20	58	13.3	
2	100	14	35.6	20	58	50.4	
3	100	16	54.0	21	1	45.5	
4	100	15	19.4	21	8	34.0	
5	100	17	54.9	21	11	11.7	
6	100	23	22.2	21	13	1.9	
7	100	22	7.5	21	14	58.4	
8	100	28	54.2	21	21	23.5	
9	100	35	55.7	21	26	5.3	
10	100	36	18.6	21	29	16.0	
11	100	37	52.7	21	31	29.2	
12	100	37	35.4	21	32	18.3	DEL 12 AL 13 POR EL LIMITE ESTATAL
13	99	57	31.7	21	31	34.2	DEL 13 AL 14 POR EL LIMITE ESTATAL
14	99	46	36.5	21	29	41.1	DEL 14 AL 15 POR EL LIMITE ESTATAL
15	99	45	40.1	21	12	47.2	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	100	12	3.0	20	56	11.9	DEL 16 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	100	15	48.1	20	58	13.3	

1.2 Situación Administrativa del Acuífero

El decreto de veda para este acuífero es: Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en diversos municipios del estado de Guanajuato (Resto del Estado), publicado en el Diario Oficial el 14 de noviembre de 1983.

Actualmente en este acuífero no existe algún decreto de reserva o reglamento. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El 21° de octubre de 1999 se instaló la Gerencia Técnica de Aguas de la Sierra Gorda, por parte de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato.

Las aguas superficiales de la zona son poco explotadas, debido a que por lo abrupto del terreno existen pocas tierras planas aptas para la agricultura, siendo el uso público-urbano el principal consumidor del agua subterránea.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Debido a la poca actividad humana y agrícola y lo abrupto del terreno, este acuífero no ha sido estudiado con la profundidad adecuada, actualmente se cuenta únicamente con el **Estudio de Prospección Hidrogeológica del Acuífero de Xichú, elaborado para la CEASG de octubre de 1999** y que es el que sirvió de apoyo para la elaboración de este Documento Técnico de Soporte.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

La región se encuentra dentro de dos grandes Provincias Fisiográficas, la Mesa del Centro y la Sierra Madre Oriental.

Mesa del Centro

La Mesa del Centro se ubica principalmente en la porción oeste de la zona, dentro de esta provincia se encuentra la subprovincia denominada como Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato, la cual se caracteriza por presentar diferentes topofomas que van desde Sierras altas con mesetas, sierras pequeñas escarpadas, sierras bajas, mesetas lávicas, llanuras aluviales y valles, esta subprovincia comprende de los municipios de San Luis de la Paz, Doctor Mora, Tierra Blanca, San José Iturbide, Victoria y Santa Catarina.

En esta subprovincia se presentan elevaciones en las sierras altas que oscilan entre 1,600 a 2,600 msnm, en la porción sur van de 2,000 a 3,000 msnm, en lo que se refiere a las sierras pequeñas escarpadas, van de 2,200 a 2,400 msnm; en las sierras bajas son de 1,600 a 1,800 msnm; las mesetas lávicas presentan elevaciones de 2,000 a 2,400 msnm y en la zona sur existen mesetas con 1,800 a 2,600 msnm; las llanuras aluviales van de 2,100 y 2,200 msnm; los pocos valles presentes tienen una elevación por lo general de 1,900 msnm.

Sierra Madre Oriental

La Sierra Madre Oriental se ubica en la porción oeste de la zona, esta provincia se divide en la subprovincia de la Sierra Gorda, la cual se caracteriza por presentar topofomas de sierras altas y valles ramificados, esta subprovincia comprende principalmente a los municipios de Atarjea, Xichú, la porción norte de Victoria y una pequeña porción del noreste de San Luis de la Paz.

En esta subprovincia predominan las sierras altas donde las elevaciones varían de 1,200 a 1,800 msnm; en la porción sur varía de 2,200 a 2,400 msnm y en la población de Xichú están de 1,400 a 1,800 msnm, en lo que se refiere a los valles ramificados se tienen las elevaciones que van de los 1,800, hasta los 2,600 msnm.

3.2 Clima

De acuerdo a la clasificación de climas de Köppen (modificado por M. En C. Enriqueta García Miranda) el área presenta dos tipos de climas: uno que corresponde al Semicálido – Semiseco y el otro al Templado – Semiseco con bajo porcentaje de lluvias. La temperatura media anual de la zona es de 17.97° C, la cual fue obtenida de las estaciones climatológicas Charcas, Las Mesas, Atarjea, Xichú, San José Iturbide, San Antón de los Martínez, Pozos, Minas del Maguey y Victoria, para el periodo 1962-1997. La época de lluvias se presenta generalmente en verano, con un promedio de precipitación anual de 557 mm, la cual fue obtenida de las siguientes estaciones climatológicas, para el mismo periodo de observación. La evaporación media anual para la zona de Xichú-Atarjea es de 1,645 mm, la cual fue obtenida para el periodo 1962-1995.

3.3. Hidrografía

En el área se presentan un sin número de arroyos intermitentes que han desarrollado formas de tipo meándrico con alineaciones semirectilíneas que de acuerdo a la clasificación del ciclo erosivo de W. M. Davis se le considera en etapa de juventud tardía a madurez.

Esta zona como ya se dijo pertenece a la cuenca Río Pánuco y los afluentes secundarios de éste son: Río Santa María. Se ubica en la porción norte del área, en los límites con el estado de San Luis Potosí, el cual tiene una dirección preferencial noroeste-sureste, entra al estado por la población de Las Adjuntas pasando por la Angostura, Mineral del Realito, y al llegar a Las Dalias se une con el Río Manzanares, pasando entre los cerros El Huisachal y El Huaricho forma un meandro muy fuerte donde el río cambia su comportamiento de dirección en sentido oeste-este saliendo del estado a la altura del poblado El Platanal. Dentro de esta subcuenca se encuentra el Río Xichú, el cual es del tipo perenne y localmente es el más importante ya que sirve como fuente de abastecimiento al poblado del mismo nombre y localidades aledañas, no es de gran extensión y nace al suroeste de esta población en la zona de contacto entre las rocas ígneas y sedimentarias, corre en dirección suroeste-noreste, cambiando de dirección a la altura del poblado Las Adjuntas, uniéndose en este punto con el arroyo Mezquital y muere cerca del poblado Noria del Maltrato.

Río Victoria. Este río nace en las partes altas que se localizan al noroeste de la cabecera municipal del mismo nombre, corre paralelo a la carretera que conduce a la localidad de Santa Catarina. Fluye en dirección noroeste-sureste, sale del estado a la altura del poblado de Ortega, internándose en el estado de Querétaro donde cambia de nombre denominándose Río Extoráz. Existen otros arroyos de menor importancia, debido a que se trata de arroyos intermitentes. La infraestructura hidráulica principal de la zona, consiste en 7 bordos de almacenamiento y 2 presas “Misión de Arnedo” y “El Nogalito” con una capacidad cercana a los 5 millones de m³ cada una.

3.4 Geomorfología

La formación del relieve es modelada principalmente por los diferentes ciclos evolutivos, destacando en ellos el volcanismo, el cual es de cierta intensidad y la erosión, tanto eólica como hidráulica.

El paisaje modelado del área está conformado principalmente por estructuras volcánicas ácidas y básicas donde se tiene una disección moderada a fuerte, y en segundo lugar se encuentran las estructuras sedimentarias las cuales presentan un plegamiento intenso y esto origina una disección fuerte, también se reconocen algunas mesetas conformadas por elementos de origen básico y por último se tienen valles y superficies fluviales.

Relieve Volcánico Acumulativo

Esta clase se enfoca a la descripción del relieve formado por un vulcanismo básico donde por su juventud se encuentra muy poco alterado por los procesos exógenos, en la zona existen el siguiente tipo:

Coladas y mesas de lava. Su predominio en el área es muy restringido ya que solo se localizan en la porción noroeste alineadas en dirección norte-sur, algunos ejemplos son: Mesa de Jesús, Mesa de Escalante, Mesa del Picacho y Mesa de San Juan Malinto.

Relieve Volcánico-Denudario

Superficie volcánica con fuerte disección. Corresponde principalmente a las expresiones del vulcanismo ácido e intermedio, el cual abarca la mayor parte de la zona donde predominan las estructuras tubulares, aparecen basculadas y fracturadas por la tectónica plio-cuaternaria y muy erosionadas por su antigüedad relativa, a pesar de la resistencia del material, especialmente el riolítico. Se presenta asociada a valles erosivos profundos, rectilíneos debido al control estructural, así mismo se le vinculan varios aparatos volcánicos poligenéticos.

Laderas volcánicas con fuerte disección. Se refiere a expresiones de vulcanismo ácido para este caso no se encuentran relieves mesetiformes, debido a que los intensos procesos erosivos remontantes sobre los bordes de antiguas mesas han alterado su anterior fisonomía y les han conferido una topografía más escarpada.

Relieve Estructural

Laderas de montañas plegadas con fuerte disección.

Comprende a la zona oriental del acuífero, donde afloran las rocas de origen marino, comprende calizas con lutitas de la Formación Trancas, calizas de la Formación El Doctor y calizas con lutitas de la Formación Soyatal. Las topofomas de estas rocas son la expresión montañosa de la Sierra Madre Oriental. La fuerte disección se debe principalmente a la antigüedad del material, su relativo grado de fracturamiento además de sus características litológicas.

Relieve Denudatorio

Valles erosivos profundos. Corresponde a una zona con altos valores de profundidad de disección, los valores controladores son: el grado de fracturamiento de la roca, la litología y el tiempo de exposición a los agentes exógenos.

Se encuentran sobre las estructuras más antiguas, en los depósitos sedimentarios cretácicos, Barrancos con zonas de pendientes de medias a fuertes, presentes en la zona de Xichú, Noria del Maltrato, La Pila, Las Dalías y Espíritu Santo.

Relieve Acumulativo

Areniscas con conglomerados, la zona de aluvión se puede observar en las cercanías de la cabecera municipal de San Luis de la Paz, y con un aspecto más de relleno fluvial en Santa Catarina, Victoria y Tierra Blanca.

4. GEOLOGÍA

4.1. Estratigrafía

La zona está representada por rocas sedimentarias del Mesozoico y rocas volcánicas del Cenozoico, a continuación, se describen brevemente cada una de las unidades de roca que afloran, mencionando las características más relevantes de cada una de ellas, su relación estratigráfica, localización y edad (Figura 2).

Mesozoico

Cretácico Inferior

Calizas (Kid)

Descripción. Potente secuencia de calizas, de estratificación paralela, de textura mudstone-wackstone, con bandas y nódulos de pedernal, con intercalaciones delgadas de lutitas y bentonita. Su localidad tipo se ubica en el municipio de Cadereyta, Qro. Esta secuencia carbonatada, se ha dividido en cuatro facies, las cuales son correlacionables con igual número de formaciones características del Noroeste de México.

Localización. Esta unidad aflora en varias localidades del oriente y norte de la zona, entre las poblaciones más importantes del área se encuentran: Atarjea, La Noria, La Gachupina, El Durazno, Cerro Prieto, El Carricillo, y La Joya en el municipio de Atarjea; El Pinalillo, Cerro de Oro, Las Minitas, El Rucio, El Saucillo, El Higuierón, La Pila, Guadalupe, en el municipio de Xichú; y por último El Sabino, Las Dalías, El Varal, La Cardona, El Duraznillo, El Tequesquite y Paso de Macuala en el municipio de Victoria.

Localización. Afloran en varias localidades del extremo oriental y poniente de la zona, como son: Palo Verde, La Luz, Alamos, Puerto el Tular, San Antón en el municipio de Atarjea; Xichú, Misión Santa Rosa, Rosa de Castilla, Mineral La Aurora, Adjuntas, El Membrillo, San Isidro en el municipio de Xichú; La Calera en el municipio de Doctor Mora y por último en La Ceja y San Carlos en el municipio de San Luis de la Paz.

Relación estratigráfica. Sobreyace discordantemente por erosión a la Formación El Doctor y subyace discordantemente a las unidades volcánicas del Cenozoico, cortada además por rocas ígneas intrusivas.

Edad. Se le asigna una edad del Turoniano-Maestrichtiano.

Cenozoico

Rocas Ígneas Intrusivas (Tigia)

Descripción. Las rocas intrusivas se presentan aisladamente en estructuras tipo sills, diques y stocks de composición media a intermedia. Se clasifican principalmente en:

Intrusivos cuarzomonzoníticos: roca de coloración gris claro, de textura porfídica, contiene principalmente cuarzo, plagioclasas y ferromagnesianos muy alterados. Se presenta en una estructura de forma sill.

Intrusivos andesíticos: Roca de color gris, de textura afanítica, contiene principalmente plagioclasas, ferromagnesianos muy alterados con zonas de oxidación. Se infiere que corresponde a un tronco.

Estos cuerpos intrusivos se emplazaron por un sistema de fallas normales que actuaron como zonas de debilidad.

Localización. Estas estructuras se localizan principalmente en la porción norte y oriental de la zona.

En las cercanías de la mina La Aurora, en el flanco sur del Anticlinal del Cerro de La Tijera, afloran además otros cuerpos de dimensiones más pequeñas, asociados con la mineralización de la zona con un rumbo general NW-SE.

Relación estratigráfica. Cortan las unidades sedimentarias.

Edad. Por su posición relativa se les asigna una edad del Paleoceno al Eoceno Medio.

Ignimbritas (Tiea)

Descripción. Esta roca presenta una coloración rosa al fresco que intemperiza a un amarillo pardo o en ocasiones rojo ocre, de textura porfídica, compuesta principalmente por vidrio, cuarzo, feldespato, ceniza y fragmentos de roca.

Su aspecto es masivo y compacto, también es factible verla asociada a vitrófidos riolíticos, los cuales se presentan por lo regular en forma de lentes, con una textura totalmente vítrea, compacta, con algunas presencias de cuarzos y líticos.

Presenta un fracturamiento oblicuo cerrado, que en otras ocasiones está abierto y relleno por material arcilloso-arenoso, también es observable que algunas fallas que afectan a estas rocas van asociadas a la tendencia preferencial de las fracturas. Esta unidad de ignimbritas se divide en tres miembros, los cuales fue posible definirlos con base a una sección tipo que se localiza en las proximidades de Tierra Blanca. Estos miembros se correlacionaron con otros afloramientos con base en sus características litológicas y estructurales, de tal forma que se identifican como el miembro sano, vítreo, y alterado.

Localización. Esta unidad representa la de mayor exposición en la zona. Se identifica en las comunidades del norte de San Luis de la Paz, en los alrededores de El Realito, en la carretera a Xichú en las cercanías de los poblados de Santa Catarina, Victoria y la porción sur de Tierra Blanca. Asociado con los vitrófidos, se le puede observar en el Puerto del Aire, en las cercanías de la carretera Dr. Mora-Cieneguilla, además en las cercanías del poblado Corralillos.

Relación estratigráfica. Cubren en discordancia angular, y además en paraconformidad a las rocas sedimentarias mesozoicas y subyacen a los basaltos, algunas referencias manejan un espesor de esta unidad superior a los 1000 metros.

Edad. Su posición estratigráfica estaría ubicada en el Oligoceno-Plioceno.

Depósitos Vulcanosedimentarios Continentales (Tvsc)

Descripción. Los depósitos vulcanosedimentarios continentales presentan una laminación paralela, con mucha presencia de sílice y en partículas como cementante, además de otros horizontes menos consolidados en una matriz arcillosa, las partículas identificables macroscópicamente son precisamente el material de menos consolidación, compuestos principalmente por una matriz arcillosa, fragmentos de roca, vidrio, cuarzo, la granulometría consiste principalmente de arena fina a media.

También hay otros horizontes que por su coloración rojiza se le supone más presencia de hidróxidos de fierro, aquí el material es más fino y de un aspecto de escoria con poca ceniza.

En el siguiente horizonte se aprecia un material consolidado por sílice con gradación normal, con presencia de vidrio, fragmentos de roca, feldespatos y sílice.

Otro material consolidado con coloraciones rojas más fuertes esto es con más presencia de hidróxido de fierro, con fragmentos de roca, vidrio.

Localización. Se ubica al norte de la población de La Gotera.

Relación estratigráfica. Sobreyacen a la unidad de Ignimbritas.

Edad. Por su posición relativa se les asigna una edad del Cenozoico Superior, probablemente en entre el Mioceno Superior y/o Plioceno.

Basaltos (QB)

Descripción. Roca de color negro a verde oscuro que intemperiza a un gris claro o incluso rojizo, presenta una textura afanítica y ocasionalmente vesicular, la mineralogía comprende plagioclasas y olivino en etapa de oxidación, su aspecto es masivo y compacto. Algunas zonas están alteradas, principalmente donde se presenta la oxidación lo que le imprime un grado más fuerte de erosión provocando la formación de algunos planos de fracturamiento cerrados (lajeamiento).

Localización. Se sitúa en la porción oeste del área, al NE de San Luis de la Paz en los alrededores de los poblados de Mesa de Jesús, Puerto Zacate, también en Mesa de Escalante, Mesa del Pueblo, al norte de Dr. Mora en las poblaciones de Hacienda de Ortega, La Semita, al oeste del poblado de Victoria en la Mesa de Ortíz, Mesa de Cieneguilla y Corralillos; también en el municipio de Tierra Blanca en los poblados de Carbajal, Cerro Colorado y El Tapanco.

Relación estratigráfica. Sobreyace a las rocas ignimbríticas, en algunos cortes se encuentran intercalados como pequeñas coladas en las mismas rocas.

Conglomerados-Areniscas (Qcg-ar)

Descripción. Unidad de conglomerados empacados en una matriz arcillo-arenosa, los fragmentos de roca tienen una forma subredondeada a redondeada, su esfericidad es de 0.9 elongada siendo estas las más predominantes, su tamaño varía desde cantos a bloques de 3 a 60 cm de diámetro, están semiconsolidados en una matriz arenosa de color pardo, presentan una mala clasificación y selección, los fragmentos corresponden principalmente a riolitas y basaltos.

En otros sitios esta unidad presenta algunos cambios en su contenido de fragmentos de roca y la granulometría de su matriz, lo anterior indica cambios en el régimen de transporte y depósito de materiales.

Esta unidad subyace a las rocas ignimbríticas en contacto discordante, localizándose en las partes topográficamente más bajas, como materiales de relleno que dan lugar a la formación de pequeñas planicies de pendientes suaves.

Localización. Esta unidad se ubica principalmente en la porción sur del área, sobre el cauce del río Victoria, en las poblaciones de Carrillo, Santa Rosa, Santa Catarina, La Rusia, El Chapín, Juan Diegos, Limitas y Ortega en el municipio de Santa Catarina; Peña Blanca, Fracción de Guadalupe, Tierra Blanca, Arroyo Seco, Cieneguilla, Juanica, Las Moras, El Salto, El Sauz, El Cano y Rincón del Cano en el municipio de Tierra Blanca, Carbajal en el municipio de Dr. Mora y por último en Las Negritas y El Refugio en el municipio de Victoria.

Relación estratigráfica. Cubre en discordancia erosional a la unidad de ignimbritas.
Edad. Su posición estratigráfica se ubica en el Pleistoceno-Reciente.

Aluvión (Qal)

Su litología está constituida principalmente por gravas y boleos en matriz arcillosa, limosa y arenosa, su espesor varía de 20 cm hasta 3 m. Se sitúa en los arroyos y en los pequeños valles de la porción sur de la zona, como es la población de Victoria y El Carmen. Cubren en discordancia erosional a todas las unidades anteriores. Su posición estratigráfica se ubica en el Reciente.

4.2 Geología estructural

La zona sufre de dos principales disturbios tectónicos que se presentaron desde mediados del Cretácico hasta el reciente.

El primer evento tectónico es el denominado Revolución Laramide, el cual fue de carácter continental y se desarrolló al finalizar el Cretácico cuando las rocas carbonatadas fueron plegadas y afalladas con movimientos compresivos.

El resultado fue una serie de estructuras de tipo anticlinal, sinclinal y de cabalgadura dirigidas al NNW que han sido erosionadas dejando al descubierto algunos remanentes erosivos. Asociadas a estas deformaciones se incluye la presencia de rocas intrusivas que surgieron a principios del Cenozoico entre las fisuras y planos afallados de las formaciones sedimentarias.

Estas estructuras afloran en la porción norte, central y oriental de la zona. Antes de registrarse el segundo evento tectónico en la zona, ocurrió un periodo sin depósito (Hiatus) que tuvo una duración de por lo menos todo el Eoceno y quizá parte del Mioceno. Posteriormente al Mioceno se presentó un evento volcánico andesítico e ignimbrítico silícico que cubrió grandes extensiones rellenando valles, así como zonas antiguas topográficamente altas.

Un lineamiento importante en la zona y que presenta un rumbo NW, corresponde al río Santa María; ya que su cauce en varios puntos refleja la presencia de una falla, se puede suponer que originalmente fue parte de una estructura regional la cual resultó afectada por fallamientos posteriores.

Una de las estructuras más importantes en el área en la región norte es el sinclinorio localizado en el río Santa María su dimensión es de magnitudes regionales, se encuentra formada por pliegues asimétricos, recumbentes y de forma de abanico, estos pliegues se pueden ver con cierto grado de fracturamiento los cuales fueron los planos de debilidad por donde se emplazaron los cuerpos intrusivos de la zona.

En la zona oriental resaltan las estructuras geológicas tipo anticlinal (Cerro del Oro y Cerro de la Yesca) y sinclinal del Cerro del Fandango, Cerro Grande y los Cocos las cuales guardan una dirección preferencial NE-SW. Estas estructuras conforman un sistema de topoformas de tipo sierras altas con cumbres de laderas con elevaciones promedio de 1,500 msnm.

4.3 Geología del subsuelo

Entre la comunidad de Fracción de Cano y San Juan Diego, se presentan cuatro altos y dos bajos estructurales, los cuales controlan el espesor de las rocas ignimbríticas, el espesor máximo de esta unidad es de alrededor de 1,000 m.

Subyaciendo a esta unidad se presenta la Formación Soyatal la cual también es afectada por el sistema de fallas normales, su espesor no logra definirse, pero aproximadamente del km 38 al 44 de la sección se estima un espesor del orden de los 900 m.

En la localidad de Las Adjuntas se identifica un contacto entre las Formaciones Soyatal y El Doctor, se identificó una profundidad de 100 m esta unidad, la cual aflora conformando en Anticlinal del Cerro de Oro.

Esta unidad a lo largo de este punto y hasta la comunidad de los Cocos conforma una serie de estructuras mayores de tipo anticlinal sinclinal.

Se identifican dos cuerpos intrusivos cuarzomonzoníticos en la localidad de la Aurora (km 44) y los Cocos (km 67), estructuras en forma de troncos los cuales se emplazaron a través de los planos de falla de tipo normal, alineados en superficie con una dirección preferencial noroeste-sureste. Estas rocas son responsables de la mineralización que ocurre en el área, principalmente por metasomatismo.

En la porción central del área se puede observar una serie de altos y bajos estructurales definidos por un sistema de fallas normales. En la comunidad de Calera se identifica una ventana estructural de la formación Soyatal con un espesor de 120 m, identificado por debajo de esta a la formación El Doctor la cual detecta con un espesor máximo de 1,200 m. Es en este punto donde se presenta más somero el basamento impermeable.

En la localidad de Palmillas se ubica la unidad de ignimbritas hasta una profundidad de 260 m, con un espesor máximo de 700 m, por debajo de este punto se identifica el basamento impermeable de la formación Soyatal.

Entre Arroyo Hondo y El Puerto de Palmas, el espesor de las ignimbritas es más uniforme, del orden de los 600 m. Por debajo de esta profundidad le subyace la formación Soyatal la cual constituye el basamento impermeable.

Entre la estructura Mesa del Pueblo y la localidad de Peña Colorada, se identifica el máximo espesor de las ignimbritas, del orden de los 1,100 m, el cual está afectado por un sistema de fallas normales que definen tres altos y un bajo estructural. Por debajo de esta profundidad se define al basamento impermeable de la formación Soyatal, la cual no se define totalmente su espesor.

Entre la comunidad de San Agustín y Las Adjuntas se presenta el cambio litológico entre el medio ígneo y sedimentario, muy cerca de Las Adjuntas se presenta el intrusivo cuarzomonzonítico que genera la mineralización de esta área.

El Cerro del Aguacate constituye parte de un anticlinal con rumbo preferencial NE-SE conformado por la formación El Doctor, limitado en ambos extremos por dos fallas normales.

Enseguida de esta estructura se identifica un bajo estructural que comprende a la unidad de ignimbritas que subyace a la formación Soyatal, el contacto lateral es por falla con la formación El Doctor.

Entre el Cerro La Lagunita y el Cerro Chilugue se presentan dos estructuras mayores que definen un anticlinal y sinclinal, se identifica principalmente a las formaciones El Doctor y Soyatal, esta última aflora entre las comunidades en San Antón y El Mezquital.

A partir de la Mesa de Jesús hasta la Mesa de Moreno, se identifican las unidades volcánicas correspondientes a los basaltos y las ignimbritas. Los basaltos conforman amplias mesetas con un espesor máximo de 90m, subyacen a las ignimbritas las cuales muestran un espesor entre 420 m y un máximo de 1,000 m. Por debajo de esta profundidad subyace el basamento impermeable de la formación Soyatal.

Entre la Mesa de Moreno y la localidad de la Esperanza se identifica una falla normal, la cual modifica estructuralmente el espesor de la ignimbrita a partir de este punto y hasta la comunidad de Carrillo la ignimbrita tiene un espesor entre 500 y 800 m, por debajo de esta se identifica el basamento impermeable de la formación Soyatal.

En la región de Las Adjuntas aflora la formación Soyatal la cual está en contacto lateral por falla con las ignimbritas. Esta última unidad presenta un espesor máximo de 500 m, hasta la localidad de Las Negritas.

La Mesa Alta constituye un alto estructural, en su cima está constituido por una colada de basaltos, que sobreyace a las formaciones Soyatal y El Doctor. A partir de la comunidad Ojo de Agua y hasta El Chapín, la ignimbrita exhibe un espesor máximo de 700 m y sobreyace a la formación Soyatal.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo del acuífero

El tipo de acuífero corresponde a un acuífero **semiconfinado a libre** de continuidad hidráulica regional en un medio fracturado constituido principalmente por rocas ignimbríticas y basálticas.

Esta dinámica del agua subterránea se modifica en la porción norte y oriente del área, donde predominan los materiales sedimentarios, especialmente calizas y calizas-lutitas, los cuales funcionan como unidades de baja permeabilidad que inciden en el flujo de agua subterránea, al retardar la recarga vertical que proviene del medio fracturado que la subyace.

El sistema de aguas subterráneas se desarrolla en una estructura tectónica integrada por un sistema de escalonamientos, producidos por fallas normales (horst y graben), los cuales afectan tanto al paquete de rocas ignimbríticas y basálticas como al basamento que le subyace compuesto de rocas sedimentarias.

Estas geoformas definen una serie de altos y bajos estructurales los cuales se localizan en la porción sur del área y que se han denominado como Tierra Blanca-Victoria-Santa Catarina.

En estas zonas donde el medio fracturado constituye la principal fuente de abastecimiento de agua subterránea, los pozos más profundos han cortado esta unidad hasta los 450 m. La exploración geofísica determinó un espesor máximo de hasta 1,000 m. Sin embargo, dadas las condiciones y características de la roca ignimbrítica, a profundidad, es difícil que ocurra agua a menos que la roca esté fracturada.

Dadas las condiciones topográficas, geológicas e hidrogeológicas de la zona, se definen cuatro sistemas hidráulicos subterráneos que funcionan como acuíferos independientes, ya que no presentan una continuidad hidráulica subterránea, ya que están limitados por un sistema de fallas normales que controlan el flujo del agua.

El acuífero de Tierra Blanca, se localiza en la porción sur del área, corresponde a un bajo estructural, limitado en ambos extremos por dos fallas normales que afectan a las rocas volcánicas de composición ignimbrítica. Las barreras estructurales inciden directamente en el flujo del agua subterránea, los efectos de artesianismo observados en varios pozos de la zona, son una clara muestra de este control.

Esto se confirma además con un pozo negativo que se ubica en la localidad de El Tepetate, al sur de la cabecera municipal. La superficie que cubre esta zona considerada con potencial acuífero de bajo a medio se calcula unos 75 km².

El acuífero de Cañada de Moreno-Victoria-Santa Catarina, constituye otro sistema controlado por el esquema estructural mencionado anteriormente, en esta zona es posible identificar un flujo subterráneo con dirección Noroeste-Sureste, con una salida principal hacia el estado de Querétaro.

El área con potencial acuífero tiene un ancho de 3 a 5 km por un largo de 30 a 35 km.

Otro sistema considerado como un acuífero más regional San Luis de la Paz se ubica al poniente de esta población, tiene conexión hidráulica subterránea con el acuífero de Laguna Seca. La potencialidad de esta zona es de baja a media, ya que su funcionamiento hidráulico subterráneo se da en un paquete de sedimentos vulcanolacustres, con alternancia de rocas basálticas e ignimbríticas.

El medio sedimentario que abarca en su mayoría a los municipios de Xichú y Atarjea constituyen un acuitardo el cual está supeditado a las zonas de fracturamiento y karsticidad de las rocas, los cuales reciben una recarga de baja cuantía que proviene del medio fracturado que le subyace, por lo tanto su potencial hidráulico se considera de nulo a bajo, aunque se presentan excepciones en algunos casos donde existe un control estructural por falla, que origina algunos caudales instantáneos mayores, como es el caso del manantial Ojo de Agua localizado en las proximidades de la comunidad La Laja.

El flujo del agua subterránea tiende a moverse de las partes topográficamente más altas a las bajas, con una dirección preferencial NW-SE, el cual coincide con la traza de sistema de fallas. Se infiere que las salidas subterráneas del sistema en su porción sur se llevan a cabo en dirección del estado de Querétaro, la posible comunicación que existe con el Valle de Laguna Seca al poniente del área, probablemente se realice con un flujo regional o local profundo, que alimenta a esta parte del Valle.

5.2 Piezometría

El más reciente y único monitoreo de los niveles estáticos para este acuífero, corresponden a los realizados en el Estudio de Prospección Hidrogeológica del Acuífero de Xichú, elaborado para la CEASG.

Los niveles del agua subterránea obtenidos están referidos únicamente a la profundidad del nivel, ya que, en este estudio, no se contempló la nivelación topográfica de brocales.

5.3 Comportamiento hidráulico

5.3.1 Profundidad al nivel estático

Dadas las características topográficas y a la distribución de las captaciones, en el estudio de referencia, no fue posible establecer una configuración de la profundidad y de la elevación del agua subterránea en la zona, de esta forma se hizo una descripción de los niveles observados por zonas.

Santa Catarina. La profundidad al nivel estático varía de 0.0 a 26.93 m, el nivel con referencia cero corresponde a un pozo que se localiza en la comunidad de Juan Diegos.

El nivel más profundo se localiza en la comunidad de Corral Blanco en el extremo noroeste del municipio con un nivel de 26.93 m, en los pozos restantes que se ubican en la porción sur de Santa Catarina la profundidad del agua se localiza entre los 8.42 y 11.73 m. La captación más alejada de la cabecera y que se ubica en la comunidad de El Chapín reporta una profundidad del agua a los 14.56 m.

Tierra Blanca. Los niveles que van de los 0.0 a los 135.54 m. Hacia la porción oeste los niveles del agua son más profundos como ocurre en las comunidades de Cerro Colorado y Cuesta de Piñones, que reportan un nivel estático entre los 103.35 y 135.54 m respectivamente.

Al sur de esta localidad en las comunidades de El Cano y Rincón de Cano los niveles se ubican entre los 30.58 y 79.10 m de profundidad.

Victoria. En este municipio los niveles se presentan en un rango de 8.32 a 195.25 m de profundidad, en la cabecera municipal (Victoria), el nivel se localiza entre los 6.45 y 23.81 m.

En la porción occidental entre las localidades de El Carmen y El Refugio la profundidad del nivel estático se profundiza observándose niveles entre los 49.61 y 70.35 m, los cuales están controlados principalmente por la posición topográfica de cada una de las captaciones. El nivel más profundo de este municipio se localiza al sur de Victoria en la localidad de Los Remedios con un nivel estático de 195.25 m.

San Luis de la Paz. Los pozos medidos en parte de este municipio reportan niveles entre los 9.46 y 70 m de profundidad, en la población de Manzanares la profundidad del nivel estático observada es de 9.46 a 17.91 m, al sureste de estos pozos en el pequeño valle que se ubica en Chichimecas 3 km al oriente de San Luis de la Paz, la profundidad del agua se ubica entre los 34.35 y 46.93 m.

Xichú. En la cabecera municipal se localiza el único pozo de la zona, el cual reporta un nivel estático de 24.39 metros.

5.3.2 Elevación del nivel estático

El establecer el comportamiento de la dirección del flujo subterráneo en la zona resulta complicado, por un lado, no se cuenta con un dato preciso de la elevación de brocal de cada uno de los pozos y la topografía abrupta del área no permite establecer una continuidad.

5.3.3 Evolución del nivel estático

Como ya se mencionó anteriormente no se tiene conocimiento de que existan antecedentes de mediciones del nivel estático, por lo que resulta difícil establecer la evolución del nivel estático de este acuífero.

5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Grupos de agua subterránea, cuyas características se presentan a continuación:

Grupo de agua 1. Este grupo se integra por muestras de agua subterránea con temperaturas entre 30° y 38° C, las cuales se agrupan en el diagrama de Stiff como aguas Sódicas-Bicarbonatadas. Según Freeze y Cherry (1979) en el triángulo de Piper las facies dominantes de cationes y aniones consideran una clasificación de tipo Sódica-cálcica-bicarbonatada-cloruradas.

Grupo de agua 2. Se caracterizan por ser aguas de temperatura baja a intermedia con un rango de 24° a 27° C.

El tipo de agua se define principalmente como Sódica-Bicarbonatada, aunque también se presentan las de tipo Cálcico-Bicarbonatada y la Magnésico-Bicarbonatada. Como en la mayoría domina los bicarbonatos, esto da como resultado una familia de tipo Cálcica-sódica-bicarbonatada-clorurada.

Grupo de agua 3. Corresponden a aguas con temperatura intermedia entre 24° y 28° C. El tipo de agua que reporta este grupo corresponde al Sódico-Bicarbonatado. La clasificación por el diagrama de Piper define una familia de agua Sódica-cálcica-bicarbonatada-clorurada.

Grupo de agua 4. Este grupo se integra por dos manantiales con agua de temperatura baja (18° a 19° C). El tipo de agua que se reporta es Magnésico-Bicarbonatada y Cálcico-Bicarbonatada. La clasificación por el diagrama de Piper define una familia de agua Cálcica-sódica-bicarbonatada-clorurada.

Calidad del agua subterránea para consumo humano.

En las muestras analizadas no se determinaron todos los parámetros considerados en la Norma Oficial Mexicana 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 2020, para poder establecer un criterio de potabilidad, sin embargo, aun cuando algunos parámetros de las muestras colectadas sobrepasan los niveles permisibles, esto no es limitante para que estas aguas no puedan ser utilizadas para consumo humano con el debido tratamiento.

Calidad del agua subterránea para riego agrícola.

Los resultados de las muestras tomadas de aprovechamiento subterráneos, indican que el riesgo por salinidad agrupa a las muestras con índices C2-C3, reportando un peligro por salinidad de medio a alto, en lo que respecta a la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), todas las muestras reportan bajos niveles (S1).

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El más reciente recorrido en el que se efectuó un inventario de pozos para este acuífero corresponde al realizado en el Estudio de Prospección Hidrogeológica del Acuífero de Xichú, en el que se tomó los datos relativos a: tipo de obra, volumen de agua extraída anualmente, reposición de obras, nombre del propietario, uso al que se destina el agua aprovechada, profundidad al nivel del agua, profundidad del aprovechamiento y georreferenciación mediante un geoposicionador.

El censo arrojó como resultado un total de 106 aprovechamiento de agua subterránea, de los cuales 75 corresponden a pozos profundos, 11 norias, 11 manantiales y 9 galerías filtrantes. De los 75 pozos profundos, 57 están activos y 13 inactivos, 2 se tienen registrados como negativos y 3 estaban en proceso de perforación.

El volumen total de extracción para este acuífero es del orden de **8.8 millones de m³**, distribuidos de la siguiente forma 7.83 corresponde a pozos, 0.617 millones de m³ a manantiales, 0.137 millones de m³ a norias y 0.182 millones de m³ a galerías filtrantes.

La extracción por uso correspondiente a los pozos es la siguiente, para uso agrícola es del orden de 4.83 millones de m³ al año y para uso potable la extracción es de 3 millones de m³ al año.

Es conveniente hacer notar que en el municipio de Xichú se localizó un manantial que se ubica aproximadamente a 7 km de la localidad La Laja, cuyo acceso hasta este punto se realiza a pie o en bestias sobre el cauce del arroyo La Laja, el manantial es conocido con el nombre de Ojo de Agua, el cual produce un gasto del orden de 1.0 m³/s.

El manantial tiene su origen debido a que se erosionó la cubierta de calizas impermeables de la parte superior de la formación El Doctor, que forman el flanco oriental del sinclinal sobre el que corre el Arroyo La Laja, dejando al descubierto las calizas cavernosas permeables de la parte inferior de la formación El Doctor.

El manantial brota a través de un depósito de boleos semi-redondeados de rocas volcánicas y calizas.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Primera alternativa (Cálculo efectuado por la GAS de Oficinas Centrales, en función a la información base tomada del Estudio Hidrológico de los Ríos Santa María y Verde en los Estados de Guanajuato Y San Luis Potosí con la finalidad del abastecimiento de agua para el Estado de Guanajuato, según Programa Hidráulico 1995-2000 de dicho Estado; elaborado por Ingeniería y Administración, S.A. de C.V., en 1998 para la CEASG)

Área total:	4,073 km ²
Área acuífera:	100 km ²
Precipitación pluvial:	542 mm
Cantidad de lluvia:	2,207,566,000 m ³

Volumen escurrido calculado para la subcuenca del arroyo La Laja, en 1998:
245,702,096 m³

Coefficiente de infiltración:	2%
Recarga al acuífero:	44.15 hm ³ /año
Manantial Ojo de Agua:	1 m ³ /s 31,536,000 m ³ /año
Volumen de extracción por uso:	8.718 hm ³ /año
T O T A L:	

Balance de aguas subterráneas

ENTRADAS

Recarga:	44.15 hm ³ /año
(-) Cambio de Almacenamiento:	0.0
Suma:	44.15 hm ³ /año

SALIDAS

Flujo subterráneo	2.16 hm ³ /año
Evapotranspiración	0.0
Descargas naturales	31.5 hm ³ /año
Bombeo	8.8 hm ³ /año

Segunda alternativa (Tomando la información del Estudio de Prospección Hidrogeológica del Acuífero de Xichú)

Debido a la escasez de información para este acuífero se harán varias consideraciones, entre las que se encuentran es que **no existe** cambio de almacenamiento en el acuífero, que **no existe** flujo subterráneo hacia otro acuífero y que la evapotranspiración es igual a **cero**; por lo que teniendo un volumen de extracción por bombeo de **8.8 hm³/año**, la descarga natural correspondiente a los manantiales de **31.5 hm³/año** y el cambio de almacenamiento igual a **cero**, se tiene que la Recarga Total es igual a:

$$\text{Recarga Total} = \text{Cambio de almacenamiento} + \text{Descarga Total}$$

$$\text{Recarga Total} = 0 + (31.5 + 8.8) = \mathbf{40.3 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida.

Para este caso es de **40.3 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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 concesionarios como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes.

Para el caso de la zona en estudio la descarga natural comprometida corresponde al gasto de los manantiales, que como ya se indicó anteriormente es del orden de los **31.5 hm³/año**.

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 (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **6,506,301 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) 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 aguas subterráneas (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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 40.3 - 31.5 - 6.506301 \\ \text{DMA} &= 2.293699 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones **2,293,699 m³ anuales**.