



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA EL DIABLO (0815),
ESTADO DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincias fisiográficas	6
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía	11
4.2 Geología estructural.....	13
4.3 Geología del subsuelo.....	15
5. HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1 Tipo de acuífero	16
5.2 Parámetros hidráulicos.....	16
5.3 Piezometría	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	17
7.1 Entradas.....	17
7.2 Salidas.....	18
7.2.1 Bombeo (B)	18
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	18
8. DISPONIBILIDAD	20
8.1 Recarga total media anual (R).....	21
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	21
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	21
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA).....	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 Laguna El Diablo, definido con la clave 0815 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción central del estado de Chihuahua, comprendiendo una superficie aproximada de 307 km². Geográficamente, la zona se encuentra ubicada entre coordenadas geográficas 28° 56' 07" a 29° 18' 32" de latitud norte y 106° 03' 30" a 106° 11' 35" de longitud oeste (Figura 1).

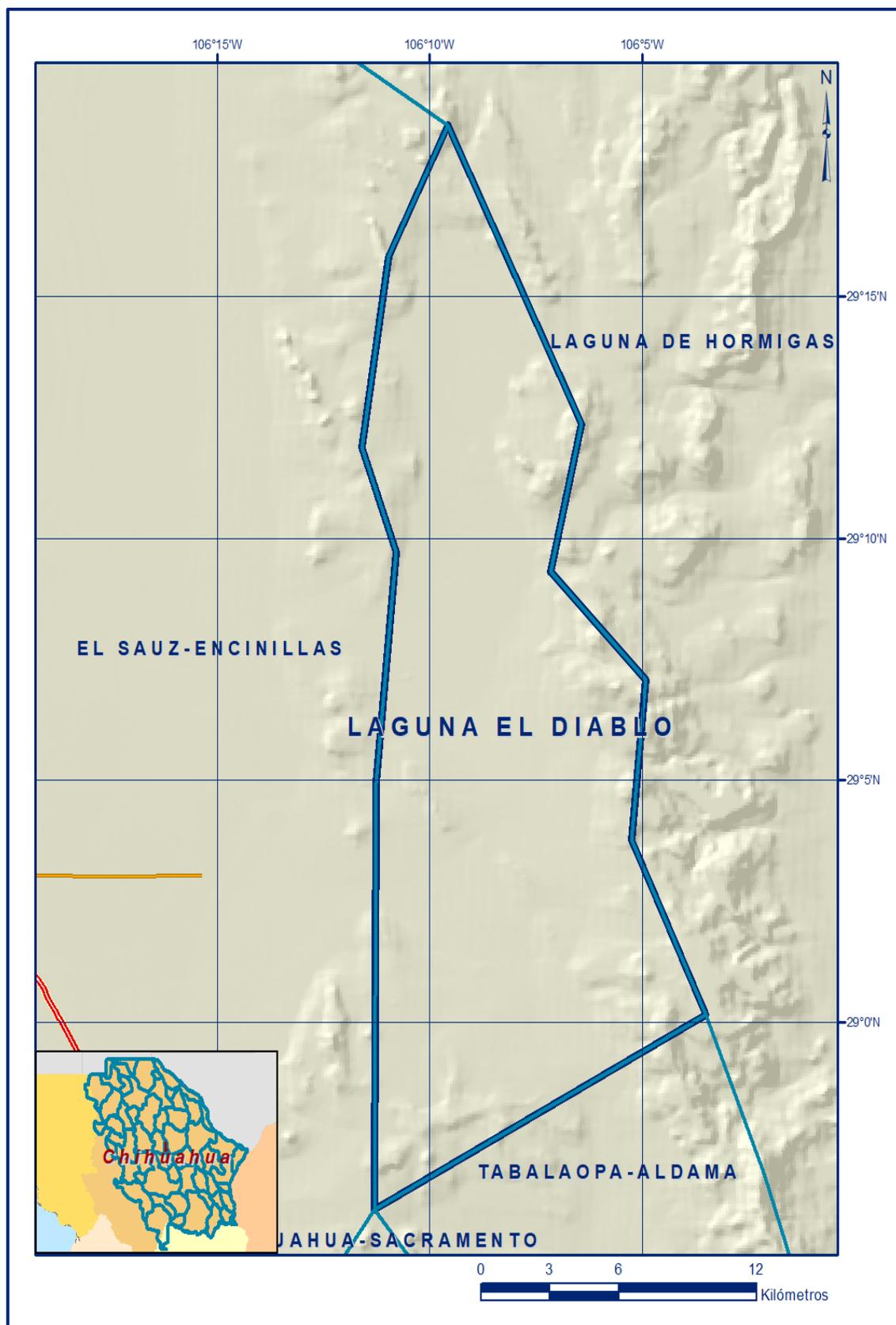


Figura 1. Localización del acuífero

Colinda al este con el acuífero Laguna de Hormigas, al sur con Tabalaopa-Aldama y al oeste con el acuífero El Sauz-Encinillas, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua.

Geopolíticamente el acuífero se encuentra emplazado parcialmente dentro de los municipios Chihuahua y Aldama. 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 0815 LAGUNA EL DIABLO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	106	9	34.6	29	18	32.4
2	106	6	25.4	29	12	22.1
3	106	7	8.8	29	9	18.0
4	106	4	54.9	29	7	4.7
5	106	5	14.4	29	3	46.1
6	106	3	29.6	29	0	9.3
7	106	11	17.5	28	56	7.4
8	106	11	15.1	29	4	56.6
9	106	10	47.4	29	9	42.7
10	106	11	35.2	29	11	53.2
11	106	10	57.4	29	15	49.8
1	106	9	34.6	29	18	32.4

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Laguna El Diablo pertenece al Organismo de Cuenca “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. La porción sur de su territorio se encuentra sujeta a las disposiciones del *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona conocida como Cuenca del Sauz y Encinillas, ubicada en el municipio de Chihuahua, Chih”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 12 de enero de 1978. Este decreto es tipo II, en los que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se localiza en la zona de disponibilidad 1.

El usuario principal del agua subterránea es el agrícola. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero sólo se ha llevado a cabo un estudio geohidrológico de evaluación.

Otros lo abarcan parcialmente, pero han tenido una cobertura regional, principalmente en el acuífero vecino al oeste el Sauz-Encinillas.

ACTIVIDADES GEOHIDROLÓGICAS EN LOS ACUÍFEROS SANTA CLARA, ALDAM-SAN DIEGO, VILLALBA, CONEJOS-MÉDANOS, TABALAOPA-ALDAMA Y ALTO RÍO SAN PEDRO, elaborado mediante convenio celebrado entre Comisión Nacional del Agua y el Servicio Geológico Mexicano, en 2007. El objetivo de este trabajo fue plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual de los acuíferos y determinar su disponibilidad.

Para ello se realizaron el censo de aprovechamiento, piezometría, nivelación de brocales, ejecución de pruebas de bombeo y sondeos geofísicos, así como la toma de muestras para análisis físico-químicos.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO LAGUNA EL DIABLO, ESTADO DE CHIHUAHUA, elaborado mediante convenio celebrado entre Comisión Nacional del Agua y Universidad Autónoma de Chihuahua, en 2009. Este estudio tuvo como objetivos generales el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas. Este trabajo constituye la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincias fisiográficas

El acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Cuencas y Sierras, que es la prolongación sureste de la provincia que en Estados Unidos de América se le conoce con el nombre de “Basin and Range” (Raisz, E., 1964). El área prácticamente se encuentra en la zona de transición, hacia el oeste, con la provincia de la Sierra Madre Occidental. De tal manera que posee rasgos fisiográficos inherentes a estas dos provincias. Hawley, 1969 designa a esta porción de la provincia como “Subsección de Los Bolsones” por la abundancia de extensas llanuras con una suave pendiente que convergen hacia una zona central con drenaje endorreico, conocidas en la región como bolsones, caracterizados por la presencia de suelos arcillosos salinos, denominados localmente como “barreales”, debido a extensas zonas lagunares sometidas a una intensa evaporación.

Las amplias llanuras, están limitadas normalmente por delgadas unidades serranas de gran longitud, orientadas en sentido NNW-SSE, que emergen de manera brusca sobre la llanura como islas. Son frecuentes los depósitos eólicos en forma de dunas o médanos que le imprimen al paisaje cierta particularidad fisiográfica, principalmente en la porción noroeste de la provincia Cuencas y Sierras. Localmente, representa una cuenca hidrográfica endorreica de forma elongada, con su eje mayor de rumbo N-S; en cuya zona central, alimentada por escasos arroyos, se ubica la Laguna del Diablo, sin embargo, en continuidad hacia el norte, sobre la misma cuenca se encuentran otras zonas lagunares pequeñas conocidas como lagunas Las Burras y Palomas.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación hecha por Köppen, adaptada por E. García para las condiciones de la República Mexicana, el clima de la zona se caracteriza por ser árido, extremo con dos variantes: **BSokw**, clima árido, templado, temperatura entre 12° C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22° C; lluvias de verano del 5% al 10.2% anual y **BS1kw**, clima semiárido, templado, temperatura media anual entre 12° C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22° C; lluvias de verano del 5% al 10.2% anual.

Para el análisis climatológico se utilizó la información de las estaciones climatológicas cuyo nombre y periodo de registro se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. Estaciones climatológicas usadas para análisis del acuífero

Clave	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Registros
8122	San Antonio, Chih.	29.083	106.25	1530	1961 – 1984
8111	Parrita, Chihuahua	29.367	106.417	1500	1961 – 1984

Con base en el análisis de los registros de estas estaciones climatológicas, se determinó que la precipitación media anual es de 370.3 mm.

La temperatura media anual es de 15.4 °C y presenta una variación con tendencia parabólica, que se manifiesta con mayor intensidad durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, decreciendo durante el resto del año. Los valores menores registrados corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero. En cuanto a la evaporación potencial, su valor es del orden de 2,226.5 mm/año.

3.3 Hidrografía

El acuífero se localiza dentro de la Región Hidrológica No 34 “Cuencas Cerradas del Norte”, cuenca Arroyo Carrizo y Otros, subcuenca Laguna de Encinillas y Laguna del Diablo. Se caracteriza por ser una cuenca endorreica, que constituye hacia su zona central terrenos bajos sujetos a inundación temporal, dentro de los cuales destacan las lagunas Del Diablo, Las Burras, Palomas y El Caballo; todas ellas ocurren a lo largo de un valle longitudinal intermontano de rumbo casi N-S. La cuenca Arroyo El Carrizo y Otros se encuentra en su totalidad en el noreste de la entidad.

Al norte limita con la cuenca Río Bravo-Cd. Juárez, al este con la cuenca Río Conchos-Ojinaga, al sur con la cuenca Río Conchos-Presa El Granero, pertenecientes a la Región Hidrológica 24; al oeste con la cuenca Río del Carmen y al suroeste con una pequeña parte de la cuenca Laguna Bustillos y de los Mexicanos, ambas de la Región Hidrológica 34.

La red hidrográfica es de tipo dendrítico, de baja densidad, debido a la alta resistencia a la erosión que presentan las rocas que afloran sobre todo en el límite oriental del acuífero, que corresponde con la vertiente occidental de la sierra Peña Blanca. De esta manera, no se observan arroyos de importancia, solo algunos confinados en estrechas cañadas que descienden del flanco oeste de la sierra antes mencionada. En esta región se agrupan todas las corrientes que se generan, entre la sierra Madre Occidental y las cuencas de los ríos Conchos y Bravo.

Muestra amplias zonas de escasa precipitación pluvial, que determinan severas condiciones de sequía y de caudales exiguos en las corrientes establecidas, así como otras zonas donde ocasionalmente llegan a producirse escurrimientos.

La pendiente general en la parte alta de la cuenca es media, mientras que en la porción inferior es baja.

El sistema orográfico que configura esta cuenca forma subcuencas cerradas que originan vasos de tipo lacustre aluvial muy azolvados y, por tanto, en avanzado proceso de extinción.

3.4 Geomorfología

El acuífero se distribuye principalmente en una llanura intermontana de pendiente suave, cuya mayor superficie se sitúa a una altitud variable entre los 1,545 y 1,575 msnm.

Sin embargo, hacia su margen oriental, la cuenca está limitada por las grandes elevaciones de la sierra Peña Blanca, que alcanzan los 2,000 msnm, las cuales disminuyen hacia su porción norte.

Tanto al oeste como sur de la cuenca, las elevaciones de las serranías limitantes son más bajas y apenas constituyen pequeños lomeríos orientados sensiblemente al NNW-SSE, en tanto que el flanco occidental de la sierra Peña Blanca es accidentado y escarpado.

Considerando las características del relieve y orientación de las unidades montañosas que rodean la cuenca de la Laguna El Diablo, se aprecian rasgos de erosión diferencial que genera una topografía escalonada debido a la diferente resistencia de las unidades litológicas volcánicas riolíticas del Paleógeno y Neógeno, que constituyen una secuencia con actitud casi horizontal.

La continuidad de ciertos rasgos del relieve, indican la presencia de estructuras afalladas de rumbo NNW-SSE.

En los cambios de pendiente entre las sierras, cerros y el valle se desarrolla una morfología de abanicos aluviales que poco a poco se van interrelacionando con los sedimentos más finos del valle en zonas de llanuras de inundación, ciénagas y lagunas.

4. GEOLOGÍA

El ambiente geológico dominante en el área de estudio es de naturaleza volcánica, representado principalmente por una secuencia de unidades litológicas de composición riolítica y de textura variable (Figura 2).

Están expuestas unidades de carácter piroclástico como tobas e ignimbritas con notable textura eutaxítica, intercaladas con delgados intervalos compuestos por sedimentos continentales granulares de tipo conglomerático, aunque en algunos casos pueden llegar a constituir un espesor moderado.

La sección volcánica se considera de edad Paleoceno-Eoceno en su base, expuesta ampliamente en la sierra El Oso (porción NW de la sierra Peña Blanca), pero hacia su cima se torna de edad más reciente, Eoceno-Oligoceno, en las elevaciones topográficas que limitan a la laguna, tanto al oriente como al poniente de la misma.

En estas elevaciones, es posible observar estructuras de falla normales, a veces reflejadas por un escarpe, o bien en el cambio litológico brusco y directo con rocas calcáreas del Cretácico Inferior, como es en el caso de los cerros La Escondida y Prietos, ubicados al SE de la laguna El Diablo.

Las partes bajas de la cuenca, se componen de sedimentos aluviales y lagunares de edad Cuaternaria, compuestos por conglomerados y sedimentos de grano fino en las zonas lagunares.

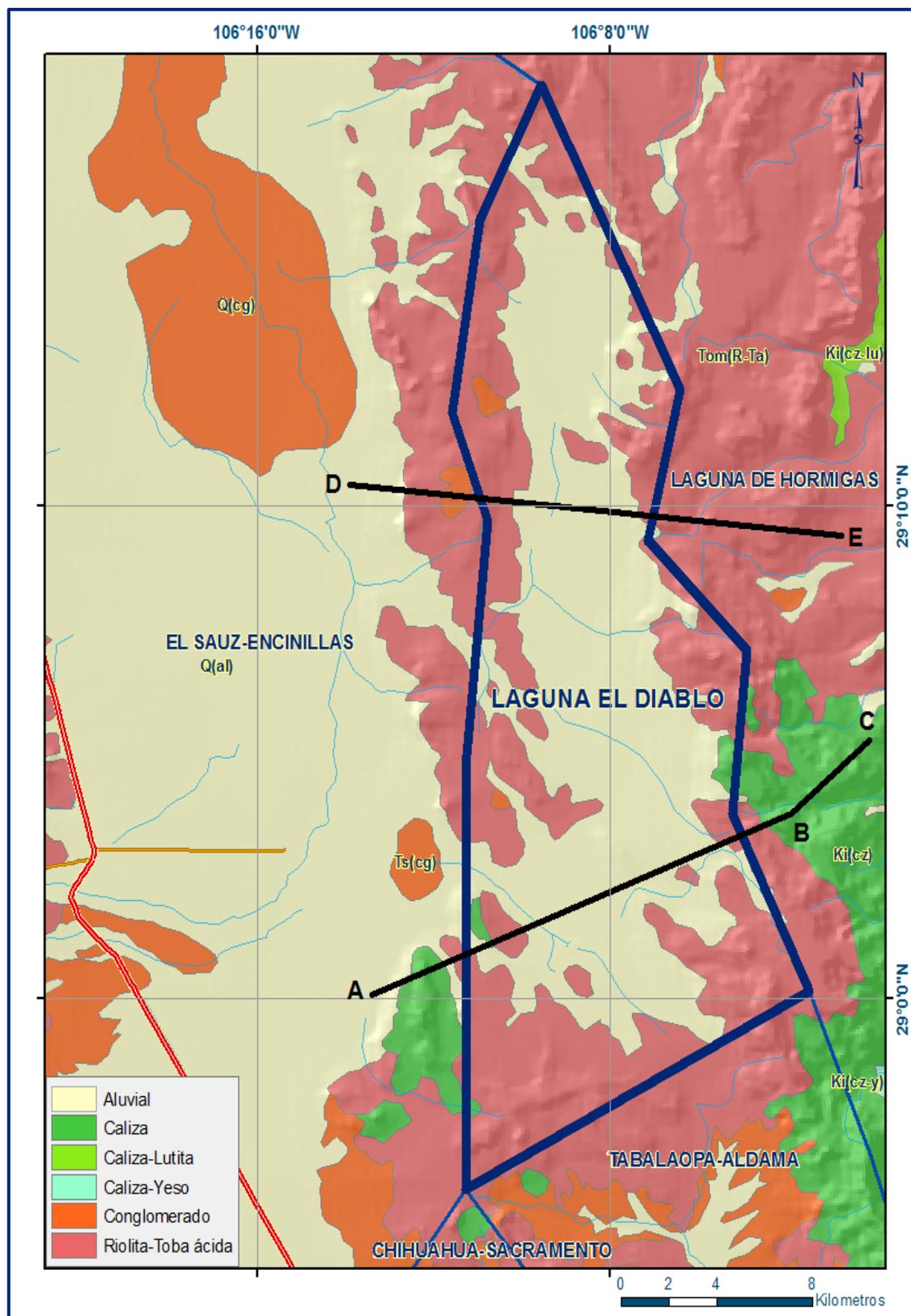


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico de la región abarca del Mesozoico al Reciente. Las unidades se describen a continuación de la más antigua a la más reciente:

MESOZOICO

Cretácico, Rocas Sedimentarias

Al sureste de la Laguna El Diablo y prácticamente donde termina la cuenca, al este de Cerro Prieto, están expuestas calizas de la Formación Finlay (KaimCz) que subyacen discordantemente a la secuencia volcánica del Paleógeno y Neógeno, en ocasiones en contacto directo con ella mediante fallas normales. Las calizas desarrollan un relieve accidentado y escarpado que destaca sobre las rocas volcánicas. Se presentan en estratos delgados a gruesos de color gris claro-blanquecino con abundantes bancos de fósiles que constituyen zonas arrecifales que varían lateralmente a ambiente de cuenca. En ocasiones las calizas presentan recristalización y zonas de brechamiento con indicios de mineralización uranífera. También afloran ampliamente al SSE de la población de El Sauz; justo en la totalidad de la sierrita El Sauz, que presenta extensiones hacia el sur en la localidad minera de Terrazas y al este de la misma en la porción centro-sur de la sierra Peña Blanca.

PALEOCENO-EOCENO

Rocas Volcánicas-Sedimentarias

Presenta en su base un conglomerado basal polimíctico (Formación Pozos), que aflora al oriente, cerca del área de estudio (GEOCA. S. A., 1970) en el arroyo Corrales que drena hacia la laguna El Cuervo, ésta última ya en el valle de Aldama. En el área de estudio se agruparon las unidades como a continuación se describe: sobre el conglomerado basal polimíctico, yace una secuencia volcánica de tobas e ignimbritas riolíticas separadas en algunos casos por unidades clásticas conglomeráticas y arenosas. Se compone por varias unidades litológicas claramente diferenciables que se han asignado en orden estratigráfico ascendente a las formaciones; Nopal, Escuadra, Peña Blanca y Mesa, que afloran en la mayor parte del área de estudio. Están expuestas en los lomeríos alargados que constituyen el límite occidental del acuífero, presentando una secuencia alternante de productos ignimbríticos, tobáceos y conglomeráticos basculada hacia el este, cuya diferencia erosiva produce una morfología de mesetas con laderas escalonadas, que se distribuyen desde las Lomas La Rifa (al norte) pasando en la dirección sur por los cerros El Cerote, El Caracol y El Pinto. También afloran ampliamente en el límite oriental, en el flanco oeste de la sierra Peña Blanca (GEOCA. S. A.1970).

Hacia la parte superior de esta secuencia y sobre la Formación Nopal yace un conglomerado compuesto en su mayor parte por clásticos volcánicos, aunque también se encuentran cantos calcáreos, intercalados con areniscas rojizas, que asignan a la Formación Escuadra. Sobre este conglomerado yace el miembro ignimbrítico de dicha formación, que consiste en una ignimbrita riolítica de moderado espesor, expuesta principalmente tanto al oeste como al este de la laguna Las Burras (al norte de la laguna El Diablo).

Cabe señalar que al NE y E de la laguna El Diablo se localizan tres localidades uraníferas que fueron exploradas con obra minera por el INEN-Uramex, conocidas en ese tiempo como los prospectos Cueva Amarilla y Corrales 1 y 2 (GEOCA S. A., 1970). De igual forma, al SE de dicha laguna se ubica el prospecto Anomalía laguna El Diablo 1-A, en una ignimbrita riolítica asignada a la Formación Nopal; así como en las anomalías Tásate I, II, III y IV (Iparrea, y Chávez, 1969).

Discordantemente sobre la Formación Escuadra yace un espesor potente de conglomerados (Conglomerado Chontes designado por URAMEX), considerado dentro de la unidad Formación Peña Blanca, sobre la cual descansan tobas arenosas de color blanco (Tobas Peña Blanca); estas últimas dan lugar al nombre de Sierra Peña Blanca que afloran sobre todo en el flanco oriental de dicha sierra.

En algunos sitios del área de estudio la Formación Escuadra subyace directamente a La Formación Mesa.

Sobre las Tobas Peña Blanca yacen ignimbritas riolíticas correspondientes a la Formación Mesa, que corona las elevaciones mayores de la sierra Peña Blanca.

En el área de estudio, las Tobas Peña Blanca están expuestas en la porción occidental de esa sierra, de tal manera que la Formación Mesa la cubre concordantemente y ambas a las unidades anteriores en los cerros que limitan al acuífero en su porción norte, precisamente al noreste en los alrededores de la laguna las Burras y en la cima de las elevaciones principales de la sierra Peña Blanca.

Sin embargo, también se presenta un contacto discordante de la Formación Mesa directamente sobre la Formación Escuadra.

Rocas Ígneas Intrusivas

En las proximidades del área de estudio afloran cuerpos ígneos intrusivos de composición ácida a intermedia.

Al oriente de la laguna El Diablo, en el acuífero vecino Laguna de Hormigas, se localiza un pequeño afloramiento de un intrusivo granodiorítico en el arroyo Corrales, al este de los prospectos de uranio Corrales I y II.

Así mismo, al sureste de la Laguna El Diablo y este del prospecto uranífero Diez Palmas, situado también en Laguna de Hormigas, aflora un pórfido riolítico que afecta tanto a las calizas cretácicas como a las ignimbritas de la Formación Nopal. Los intrusivos citados se consideran de edad Eoceno – Oligoceno.

Al sur de la cuenca de la laguna El Diablo y casi en la porción sur del área que comprende el acuífero, se expone un importante pórfido riolítico de edad Paleoceno que afecta a las calizas de la Formación Finlay, provocando la mineralización del Distrito Minero Terrazas.

CUATERNARIO

El Cuaternario está representado por los productos de la erosión de las rocas preexistentes, constituyendo depósitos de origen aluvial compuestos por clásticos de granulometría diversa que varían desde gravas hasta arcillas; sin embargo, dentro del área están ampliamente distribuidos sedimentos de ambiente lagunar compuestos por arenas y limos principalmente que comprenden la mayor parte de las zonas bajas de la cuenca de la Laguna El Diablo.

4.2 Geología estructural

La expresión estructural del relieve del área de estudio corresponde claramente con la Provincia Fisiográfica Cuencas y Sierras destacando la morfología de “horst y graben” (figura 3). El área de estudio limita al oeste con el “gaben” de la cuenca El Sauz-Encinillas que tiene una gran continuidad por decenas de kilómetros en el sentido NNW-SSE. El valle que corresponde al acuífero Laguna El Diablo, es básicamente un valle intermontano de una altitud ligeramente mayor que la del valle El Sauz-Encinillas, producto del fallamiento tensional en bloques y la generación de fosas tectónicas.

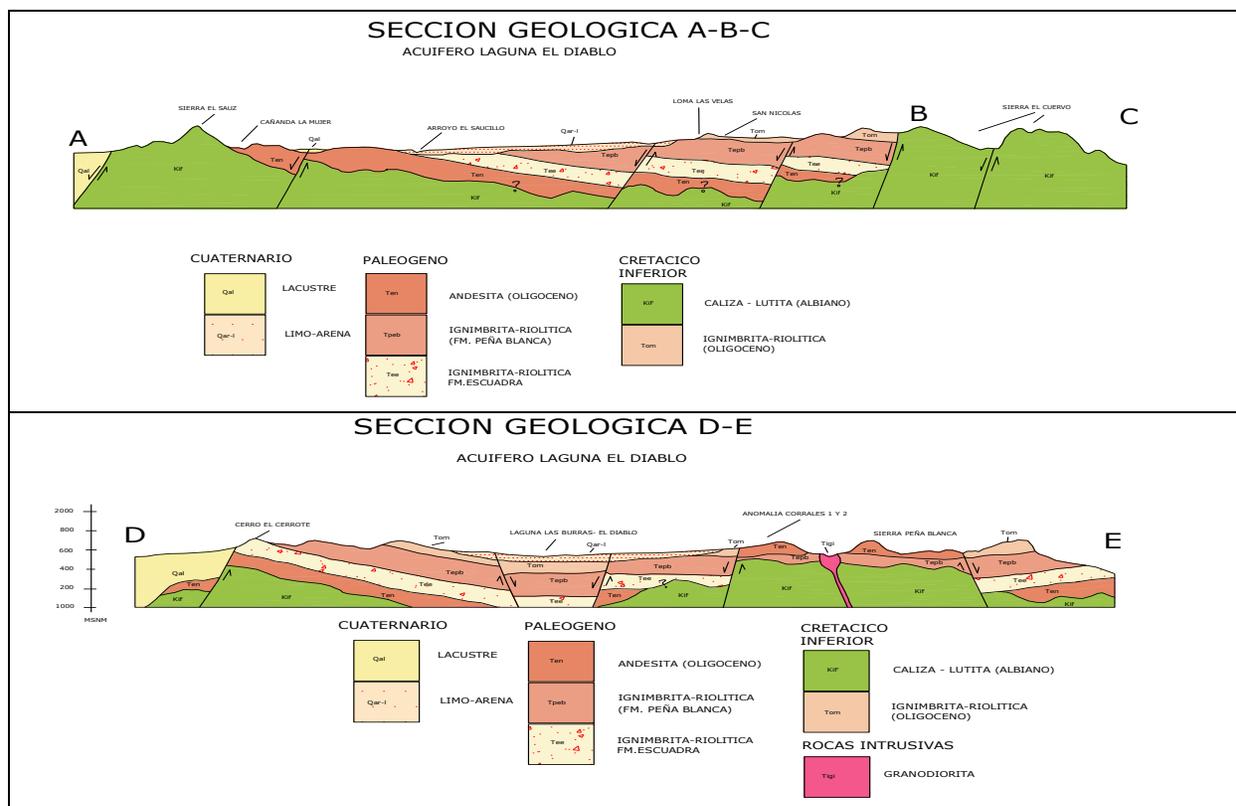


Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

A su vez, ambos valles se hallan situados unos 300 m por encima del valle adyacente hacia el E, pasando la sierra Peña Blanca, en el que se aloja el acuífero llamado Laguna de Hormigas, lo que da idea de los grandes desplazamientos verticales entre algunos bloques a fallados. Sin embargo, en la porción sur de la cuenca de la Laguna El Diablo, las serranías que la rodean poseen normalmente un rumbo NNW-SSE, congruente con el rumbo de las fallas principales.

Se trazó una sección ABC en la cual se observa un basculamiento de la secuencia volcánica terciaria hacia el NE, ocasionado por varias fallas de rumbo NNW-SSE, cuyo bloque hundido se sitúa relativamente en el lado suroeste, quedando como bloques levantados más notables: la sierra El Sauz, en el oeste, y la sierra El Cuervo hacia el este, desarrolladas ambas sobre bloques calcáreos compuestos por la Formación Finlay plegada en anticlinales apenas perceptibles.

En la porción central de la sección se aprecia la prolongación sur de la cuenca de la laguna El Diablo, desarrollada sobre un suelo compuesto por sedimentos aluviales en los que predominan las facies lagunares.

En la sección DE se aprecia un posible graben en la zona de la laguna El Diablo, así como los correspondientes bloques levantados de las estribaciones occidentales de la sierra Peña Blanca. La mayor parte de las fallas, de tipo normal, se desarrollan con un rumbo NNO-SSE.

Sin embargo, se aprecian varias fracturas o fallas de rumbo casi E-O, sobre todo en la porción noreste del área de estudio. Cabe señalar el salto vertical fuerte que existe hacia el valle El Sauz-Encinillas (al oeste del Cerro El Cerote, en el extremo oeste de la sección) y hacia el acuífero Laguna de Hormigas, en el extremo oriental de dicha sección.

4.3 Geología del subsuelo

Para la interpretación de la geología del subsuelo, se tomaron en cuenta los datos geológicos y la exploración geofísica electromagnética obtenida durante las actividades realizadas por el estudio de 2009.

De esta manera, se consideró tanto la información obtenida en el área de estudio como la correspondiente de los acuíferos adyacentes que se encuentran en un ambiente geológico semejante a nivel regional.

De acuerdo con la información de sondeos geofísicos, cortes litológicos de pozos y de la geología superficial, es posible definir que el acuífero se aloja, en su porción superior en sedimentos clásticos aluviales de granulometría variable y conglomerados; la porción inferior está conformada por sedimentos vulcanoclásticos y rocas volcánicas fracturadas.

El basamento y las fronteras al flujo subterráneo del acuífero están constituidos por ignimbritas de composición riolítica compactas de la Formación Escuadra y la secuencia volcánica predominantemente andesítica.

Estas unidades presentan baja permeabilidad en el subsuelo, pero cuando presentan fracturamiento constituyen zonas de recarga en superficie, ya que conforman las sierras que limitan al valle.

A mayor profundidad, las rocas calizas cretácicas conforman el basamento regional y presentan buena permeabilidad, ya que en los trabajos de mina ocasiona la inundación de las obras.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El sistema acuífero es heterogéneo y anisótropo, en general de **tipo libre**, con condiciones locales de semiconfinamiento, debido a la interdigitación de estratos de baja permeabilidad.

El medio poroso donde se aloja el acuífero regional está constituido por los sedimentos clásticos de relleno de valle, de reducido espesor, junto con los conglomerados de abanico aluvial en sus facies más distantes que se presentan en las laderas de las sierras extendiéndose hacia el centro del valle.

El medio fracturado se presenta en rocas volcánicas como son tobas, ignimbritas y flujos basálticos, intercalados con sedimentos vulcanoclásticos, que en conjunto presentan permeabilidad baja a media.

5.2 Parámetros hidráulicos

En la superficie que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para determinar las características hidráulicas del acuífero. Sin embargo, por correlación hidrogeológica con los acuíferos vecinos el Sauz-Encinillas, Tabalaopa-Aldama y Laguna de Hormigas, con características litológicas y evolución geológica similar, es posible adoptar valores característicos de transmisividad.

De esta manera, los valores promedio de transmisividad, adaptados a la geología y espesor saturado, pueden variar de 0.5 a $8.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Los valores mayores se asocian a zonas de abanicos aluviales, mientras que valores mínimos se relacionan a la presencia de sedimentos arcillosos en la zona lagunar.

Con respecto a la conductividad hidráulica, los valores varían de 0.3 a 10 m/d, con un valor promedio de 1.5 m/día.

5.3 Piezometría

Como parte de los recorridos por la zona realizados en el estudio hidrogeológico de 2009, se identificaron 8 pozos activos en los que se intentó medir la profundidad al nivel estático, pero no fue posible debido a que no pueden sondear o están sellados. Debido a este problema no fue posible obtener información piezométrica para elaborar las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático.

Esto mismo motivó el planteamiento diferente del balance de aguas subterráneas, como se describe más adelante.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2009, existen en el acuífero 19 aprovechamientos, de los cuales 15 son pozos y 4 son norias. Del total de captaciones encontradas 8 pozos están activos y las 11 restantes inactivas.

En estas últimas se considera un pozo que se encontraba en proceso perforación durante el recorrido, las otras 10 están desde hace varios años selladas y/o abandonadas.

El volumen de extracción estimado asciende a **0.2 hm³ anuales**, destinados en su totalidad al uso pecuario.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Debido a que no fue posible obtener información piezométrica para elaborar las configuraciones del nivel estático, no es posible plantear el balance de aguas subterráneas de manera “tradicional”. Sin embargo, partiendo del principio universal de conservación de la masa, la ecuación general de balance es la misma:

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

Dado que no es posible calcular las entradas al acuífero y aprovechando la información piezométrica recabada en el 2009 del acuífero vecino al occidente El Sauz-Encinillas, se procedió a plantear el balance considerando que los niveles del agua subterránea se mantienen estables y que por lo tanto no existe cambio de almacenamiento.

Esto se traducirá en una estimación conservadora de la recarga, que podrá ser actualizada cuando sea posible obtener información piezométrica. De esta manera:

$$\text{Recarga Total} = \text{Descarga Total}$$

7.1 Entradas

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga vertical se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña.

En la provincia fisiográfica de Sierras y Cuencas, la recarga de frente de montaña tiene dos componentes: el flujo subterráneo que proviene de las sierras que delimitan el valle, a través de fracturas y/o conductos de disolución, que se dirige hacia los sedimentos que rellenan la cuenca; y la infiltración en los cinturones de piedemonte.

A su vez, en estos últimos la recarga se efectúa por medio de la infiltración que se produce a lo largo de los arroyos que drenan las sierras y también de manera difusa.

Para el caso del acuífero, debido a que la falta de información piezométrica no permite calcular las entradas y a que el cambio de almacenamiento (ΔV) tiende a ser nulo, el valor de la recarga total será igual a la suma de las salidas del acuífero:

$$\text{Recarga total} = B + Sh \quad (1)$$

Donde:

B= Bombeo;

Sh=Salidas por flujo horizontal;

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y posiblemente a través de salidas subterráneas. No se tienen evidencias de descarga por evapotranspiración o evaporación directa del agua de niveles freáticos someros. Por lo que **ETR = 0**.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, se estimó un valor de extracción por bombeo de **0.2 hm³ anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Aprovechando la red de flujo para el 2009 que se configuró en el acuífero vecino el Sauz-Encinillas, se calcularon las salidas del acuífero, que corresponden con las entradas al acuífero El Sauz-Encinillas, en la zona en que ambos mantienen comunicación hidráulica.

El cálculo se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2009 que se elaboró en el acuífero El Sauz-Encinillas (figura 4), mediante la siguiente expresión:

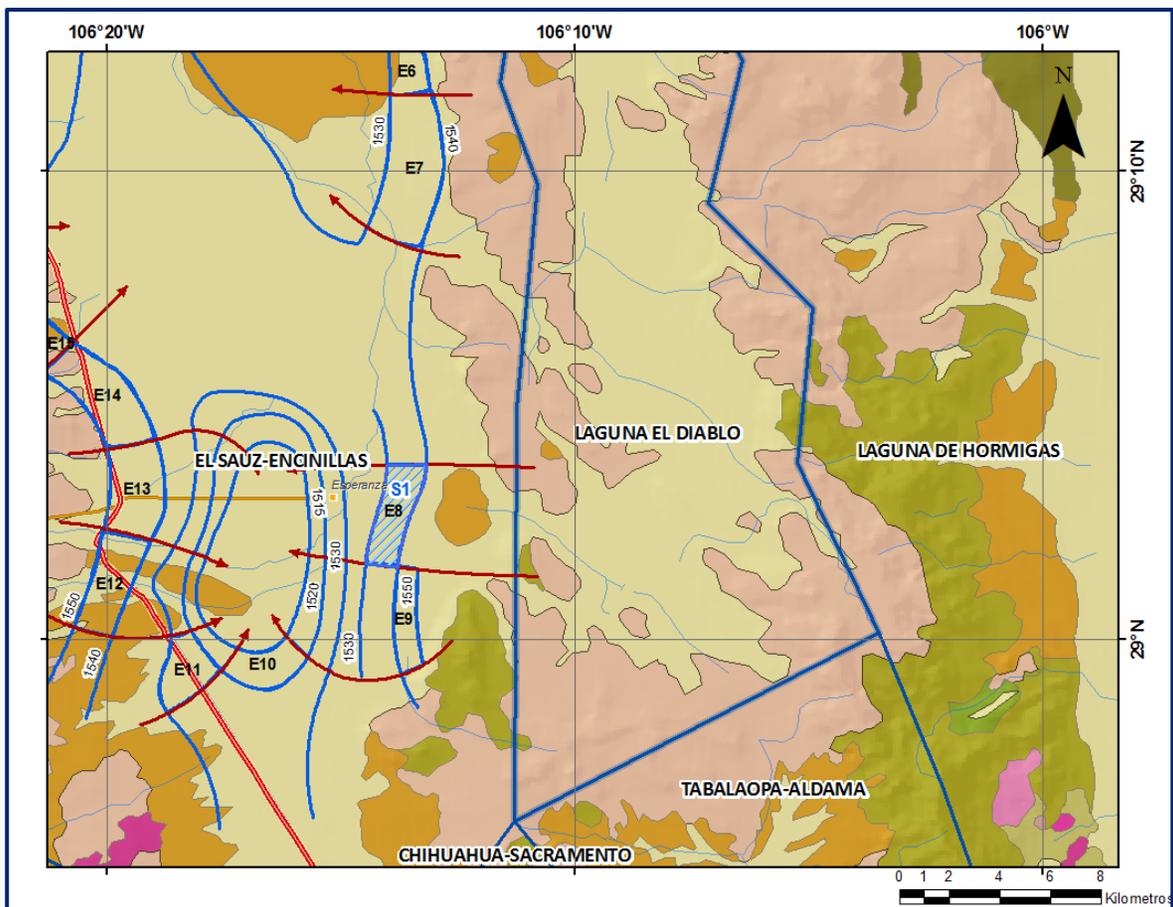


Figura 4. Salidas por flujo subterráneo horizontal hacia El Sauz-Encinillas

$$Q = B * i * T$$

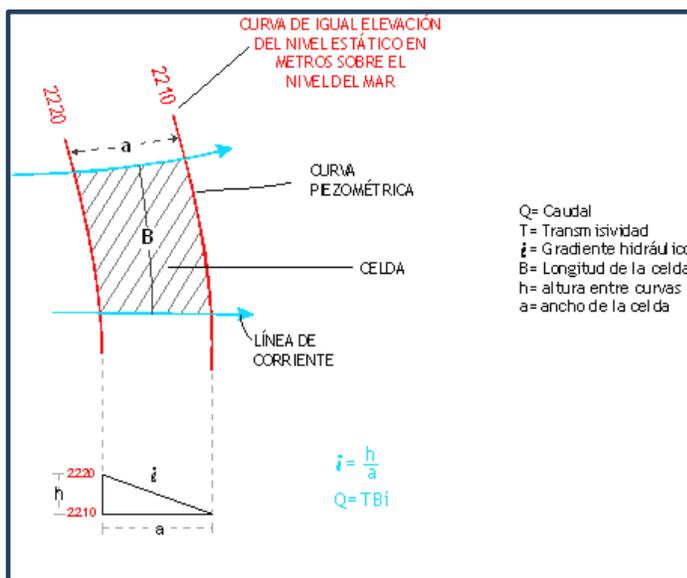
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



Partiendo de esta configuración se seleccionó un canal de flujo para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero, el detalle del cálculo se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

Celda	Ancho a (m)	Longitud B (m)	h_2-h_1	Gradiente i	$T (m^2/s)$	Caudal Q (m^3/s)	Volumen V ($hm^3/año$)
S1	1310	2670	10	0.0076	0.001	0.020	0.6
Total Salidas							0.6

El valor de las salidas subterráneas es de **0.6 $hm^3/año$** .

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga total por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (1), que fue establecida con anterioridad:

$$R = B + Sh \quad (1)$$

$$R = 0.2 + 0.6$$

$$R = 0.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Este valor representa el 0.7 % del valor del volumen que se precipita en la superficie de 307 km^2 que comprende el acuífero.

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:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **0.8 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos 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 el caso del acuífero Laguna El Diablo, se considera que la descarga natural comprometida es de 0.6 hm³ anuales que corresponden a las salidas por flujo subterráneo hacia el acuífero El Sauz-Encinillas, debido a que existen usuarios con derechos vigentes e infraestructura aguas abajo del límite entre ambos acuíferos.

Por lo que **DNCOM = 0.6 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 **256,330 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 0.8 - 0.6 - 0.256330 \\ \text{DMA} &= -0.056330 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **56,330 m³ anuales**.

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 su valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento realizar un balance más completo debido a que no existe información piezométrica. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.