

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO EL BARRIL (2402), ESTADO DE SAN
LUIS POTOSÍ**

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.....	6
3.1 Provincia fisiográfica	6
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología	8
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural.....	12
5. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	12
5.1 Tipo de acuífero.....	12
5.2 Comportamiento hidráulico	12
5.2.1 Profundidad al nivel estático.....	12
5.2.2 Elevación del nivel estático.....	14
5.2.3 Evolución del nivel estático	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	15
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
7.1 Entradas.....	16
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	17
7.1.2 Recarga inducida (Ri)	17
7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	17
7.2 Salidas.....	18
7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....	18
7.2.2 Descargas naturales por flujo base (Fb)	18
7.2.3 Extracciones por bombeo (B).....	18
7.2.4 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	18
7.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	18
8. DISPONIBILIDAD.....	20
8.1 Recarga total media anual (R)	20
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	20
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	21
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	21
9. 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 área del acuífero El Barril, definido con la clave 2402 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noroccidental del estado de San Luis Potosí, entre los paralelos 22° 38' y 23° 33' de latitud norte y entre los meridianos 101° 44' y 102° 19' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 3,229 km² (figura 1).

Limita al oriente con diversos cerros como los de La Mina, Peñitas, Mesa La Herradura, Los Peñoncitos y El Sabino, mientras que, en su parte occidental, limita con el cerro El Potosí y con diversas depresiones naturales, como las lagunas La Colorada, El Carbón y con el límite del estado de Zacatecas.

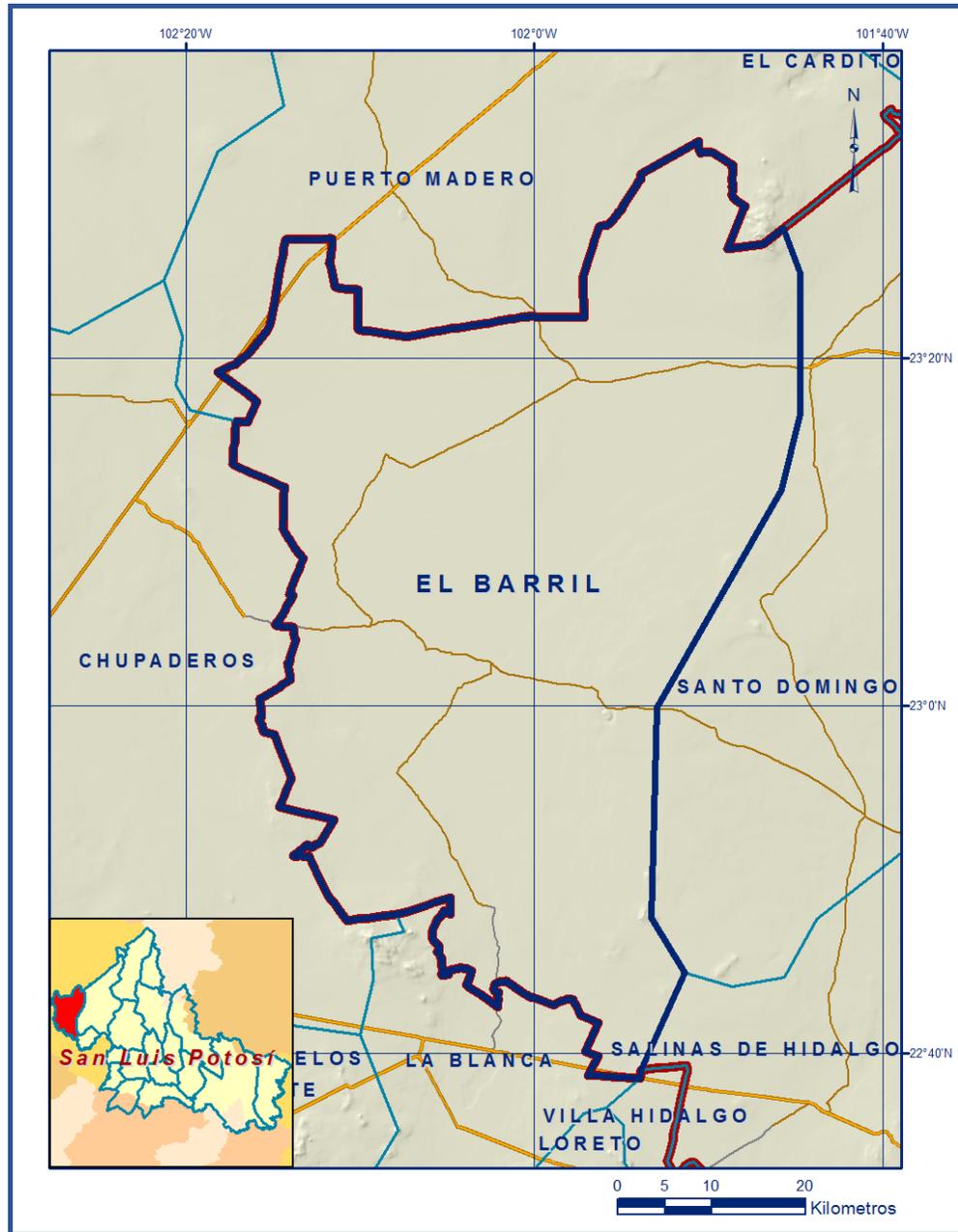


Figura 1. Localización del acuífero.

Abarca parcialmente los municipios de Villa de Ramos con una superficie aproximada de 1,578 km², y Santo Domingo con una superficie aproximada de 1,681 km², además de una pequeña parte del municipio de Salinas, siendo la superficie total del acuífero de 3,229 km². En el municipio de Santo Domingo se cuenta con una superficie de riego del orden de 2 600 ha y en el municipio de Villa de Ramos, otras 10 200 hectáreas. Los vértices que definen a la poligonal que limita al acuífero de El Barril son los mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero.

ACUIFERO 2402 EL BARRIL							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	45	45.1	23	27	25.3	
2	101	44	45.8	23	24	53.3	
3	101	44	45.6	23	16	45.9	
4	101	45	50.5	23	12	23.1	
5	101	52	57.7	22	59	52.9	
6	101	53	18.4	22	47	46.4	
7	101	51	23.2	22	44	36.2	
8	101	53	52.9	22	39	0.4	DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL
9	102	7	55.5	22	47	58.1	DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL
10	102	17	5.5	23	16	20.8	DEL 10 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	101	45	45.1	23	27	25.3	

1.2 Situación administrativa del acuífero

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

1. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA EL BARRIL, EN EL ESTADO DE SAN LUIS POTOSÍ, en 1977 la SRH realizó el primer estudio geohidrológico en la zona denominado con la finalidad de cuantificar los recursos hidráulicos subterráneos y conocer el funcionamiento de los acuíferos, delimitando zonas de interés susceptibles de aprovechamiento de agua para uso agrícola, agua potable o abrevadero. En los meses de abril y mayo de 1977 se efectuó un censo de aprovechamientos subterráneos, encontrándose 192 pozos, 279 norias, 1 manantial y 1 tajo. De acuerdo con el censo de pozos se observó que las profundidades de estos fluctúan entre 80 y 200 m, con un mayor porcentaje de frecuencia los de 100 m. Respecto a las obras menos profundas (norias), estas variaron de 3 a 54 m de profundidad. También se determinó la presencia de tres acuíferos, siendo el más importante el constituido en los rellenos del valle (arenas, gravas, limos y arcillas), que sobreyacen a sedimentos continentales terciarios, formando estos últimos el segundo acuífero, pero con un funcionamiento hidrogeológico interdependiente con el primero; el tercer acuífero, que presenta baja permeabilidad, está constituido por las lutitas y areniscas de la formación Caracol.

En cuanto al flujo del agua subterránea, adopta una dirección general de sur a norte, con aportaciones laterales del este y oeste; las líneas de corriente confluyen hacia las partes topográficamente más bajas, que son los sitios donde se forman las lagunas, cerca de los poblados de Illescas y Santa Clara, al norte del área de estudio.

En 1981 la SARH encomendó la realización de un estudio geohidrológico con carácter preliminar en la zona de El Barril, S.L.P., con la finalidad de estimar la recarga del acuífero y recomendar el régimen de explotación conveniente, así como el emplazamiento adecuado de las captaciones de aguas subterráneas.

Se determinó que los acuíferos de la zona El Barril están constituidos por tobas arenosas y conglomerados poco cementados del Terciario, así como de material aluvial del Reciente, con una geometría irregular y de dimensiones variadas; quedando limitados en su porción sur y lateralmente por las formaciones impermeables Cretácicas (Cuesta del Cura, Indidura y Caracol), que fueron intrusionadas por rocas volcánicas y que a su vez constituyen el basamento del acuífero granular, el cual presenta un espesor mayor a los 300 m.

También se asentó que regionalmente los acuíferos se comportan como libres, aunque localmente presentan confinamiento debido a la presencia de lentes arcillosos. Por lo anterior se estimó un coeficiente de almacenamiento del orden de 0.20, debido al predominio de material fino. De acuerdo con las pruebas de bombeo realizadas la transmisividad varía de 10^{-3} a 17×10^{-3} .

De acuerdo al censo efectuado se tenían 514 captaciones de aguas subterráneas, de las cuales 229 eran pozos, 283 norias, un manantial y un tajo, con volumen global de extracción del orden de los $53 \text{ hm}^3/\text{año}$.

La mayor parte del volumen se destinaba a la agricultura, concentrándose en la porción centro-occidental (área del Ejido El Barril), donde estaban emplazados la mayoría de los pozos. Las norias se encontraban diseminadas por toda la zona, especialmente en las inmediaciones de los poblados Los Hernández y El Naranjal, extrayendo volúmenes reducidos con fines domésticos y pecuarios.

La calidad del agua subterránea variaba de regular a mala, debido a la circulación de ésta a través de material evaporítico; la salinidad total varía en el área de 400 a 1,300 ppm de STD, siendo el calcio y sulfatos los iones predominantes. El agua se clasificó como tipos C_2-S_1 y C_3-S_1 en la mayoría de la zona, aunque localmente se encuentran los tipos C_2-S_4 y C_4-S_1 .

La profundidad de los niveles del agua oscilaba entre 15 y más de 60 m, observándose que la influencia del bombeo era todavía poco significativa. En la porción norte era menor de 30 m, decreciendo gradualmente de sur a norte; en su mitad sur es de 30 m a más de 60 m. Durante el período 1977-1981 la operación de los pozos originó abatimientos de 2 a 7 m en el área de El Barril y de 4 a 8 m en el área del poblado Zacatón; el ritmo de abatimiento en la zona de bombeo fue de 0.5 a 2 m/año.

La recarga natural del acuífero tenía lugar principalmente por la infiltración de los escurrimientos procedentes de las sierras que limitan a la zona; otra recarga al acuífero era la del flujo horizontal procedente de la zona Chupaderos-Villa de Cos, Zac.; una tercera fuente de recarga al acuífero era la de retornos por riego, dando como resultado una estimación de 15 a 20 hm³/año.

El almacenamiento de los acuíferos se estaba drenando al ritmo de 30 hm³/año, ocasionando el descenso de los niveles del agua en la porción occidental del área. Para fines prácticos la zona de El Barril se puede considerar independiente de las zonas adyacentes, debido a su baja transmisividad de los rellenos, por lo que los efectos del bombeo se propagan lentamente. Y finalmente recomendaron no incrementar el bombeo en el área de El Barril, ya que la explotación provoca abatimientos que afectarían al rendimiento de los pozos a mediano plazo;

Concluyendo que la redistribución del bombeo en un área más extensa permitiría prolongar la sobreexplotación durante más tiempo.

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

La zona se localiza dentro de la provincia fisiográfica denominada Mesa Central, que comprende la Subprovincia Altiplano Mexicano; se caracteriza por sus amplios valles en los que sobresalen algunas prominencias topográficas de cerros o pequeñas serranías, formadas por material volcánico y sedimentario, en ocasiones intrusionadas.

2.2 Clima

En el área el clima se caracteriza por ser seco extremo, con invierno frío, reflejándose sus efectos en la vegetación, que es característica de una zona semi-desértica, donde predomina plantas como la lechugilla, gobernadora, palma china, mezquites, nopales, maguey y biznagas.

Para el análisis de la temperatura, precipitación y evaporación medias anuales se utilizaron datos registrados desde 1961 hasta 1999 en las estaciones de Villa de Ramos y Santo Domingo, localizadas dentro del área de interés, mismas que se ubican en las cabeceras municipales del mismo nombre.

En la estación Villa de Ramos la temperatura media mensual varía de un valor máximo de 20.4° C, para los meses de mayo y junio, hasta un mínimo de 13.1° C, para el mes de enero, mientras que la temperatura media anual en esta estación es de 17.2° C.

En la estación Santo Domingo la temperatura media mensual va de una máxima de 20.3° C en el mes de junio, a una mínima de 13.2° C en el mes de diciembre; resultando la temperatura media de 16.9° C.

La precipitación media mensual en la estación Villa de Ramos presenta una máxima de 67.5 mm en el mes de julio, contra una mínima de 6 mm en marzo; por lo que respecta a la precipitación media anual se tiene un valor de 332.8 mm.

En la estación Santo Domingo la precipitación media mensual tiene un valor máximo de 100.8 mm en el mes de junio con un mínimo de 16.5 mm en marzo; en cuanto a la precipitación media anual es de 571.8 mm.

Del análisis de la información histórica se observa que las precipitaciones se presentan en la zona de mayo a octubre.

Por lo que respecta a la evaporación media mensual en la estación Villa de Ramos se presentan valores que van de una máxima de 201.1 mm en el mes de mayo a una mínima de 117.1 mm en diciembre; en cuanto a la evaporación media anual, es de 1 896.9 mm.

En la estación Santo Domingo no existen datos históricos de este parámetro.

3.3 Hidrografía

La zona geohidrológica El Barril se ubica dentro de la Región Hidrológica N° 37, denominada El Salado, que se caracteriza por presentar un drenaje de tipo endorreico.

Dentro de esta área tienen lugar pequeñas cuencas o depresiones donde se han formado lagunas, que ocasionalmente almacenan agua durante la temporada de lluvias (Laguna El Salitral, Los Hernández, El Barril y Santa Clara), que tienen poca profundidad y que junto con la evaporación del área favorecen la formación de depósitos de sales.

En las partes topográficamente más altas el drenaje podría clasificarse como dendrítico y radial; además las corrientes fluviales en estas zonas son intermitentes por la precipitación tan escasa que se presenta, infiltrándose, la mayoría de ellas, antes de llegar al valle.

3.4 Geomorfología

En la zona la mayor parte del área son valles formados por lomeríos y cerros de pendientes suaves, con excepción de la porción sur donde se presenta una topografía abrupta.

Se presentan desniveles del terreno que van de 100 a 150 m, con respecto al valle; su orientación es de Norte a Sur, variando ligeramente de NW-SE, con longitudes de 10 a 30 km y anchos de 5 a 8 km. En el Cerro El Águila, que se localiza al sur del área, se presenta el mayor desnivel (450 m) y la mayor altitud (2 600 msnm); mientras que la zona más baja está representada por la Laguna de Santa Clara, con una altitud de 1 900 msnm.

Las rocas sedimentarias plegadas (areniscas, calizas y lutitas de las formaciones Caracol e Indidura) forman lomeríos con pendientes suaves y con poca altura con respecto al valle (extremos oriental y occidental del área, así como los cerros aislados en la parte central y norte); relieve semejante al descrito se da en los depósitos continentales de conglomerados y tobas.

Las formas más abruptas se presentan al sur del área, debido al emplazamiento de rocas ígneas intrusivas, contribuyendo al afloramiento de rocas resistentes a la erosión como las calizas de la formación Cuesta del Cura y de rocas riolíticas.

Las cuencas formadas por el proceso tectónico de la Orogenia Laramide (finales del Cretácico y principios del Terciario), se han convertido en amplios valles intermontanos, ya que fueron rellenadas por material aluvial.

3. GEOLOGÍA

La geología superficial del acuífero es muy variada, está constituida principalmente por depósitos aluviales, y en menor proporción por rocas ígneas extrusivas, sedimentarias y metamórficas, su distribución se muestra en la figura 2.

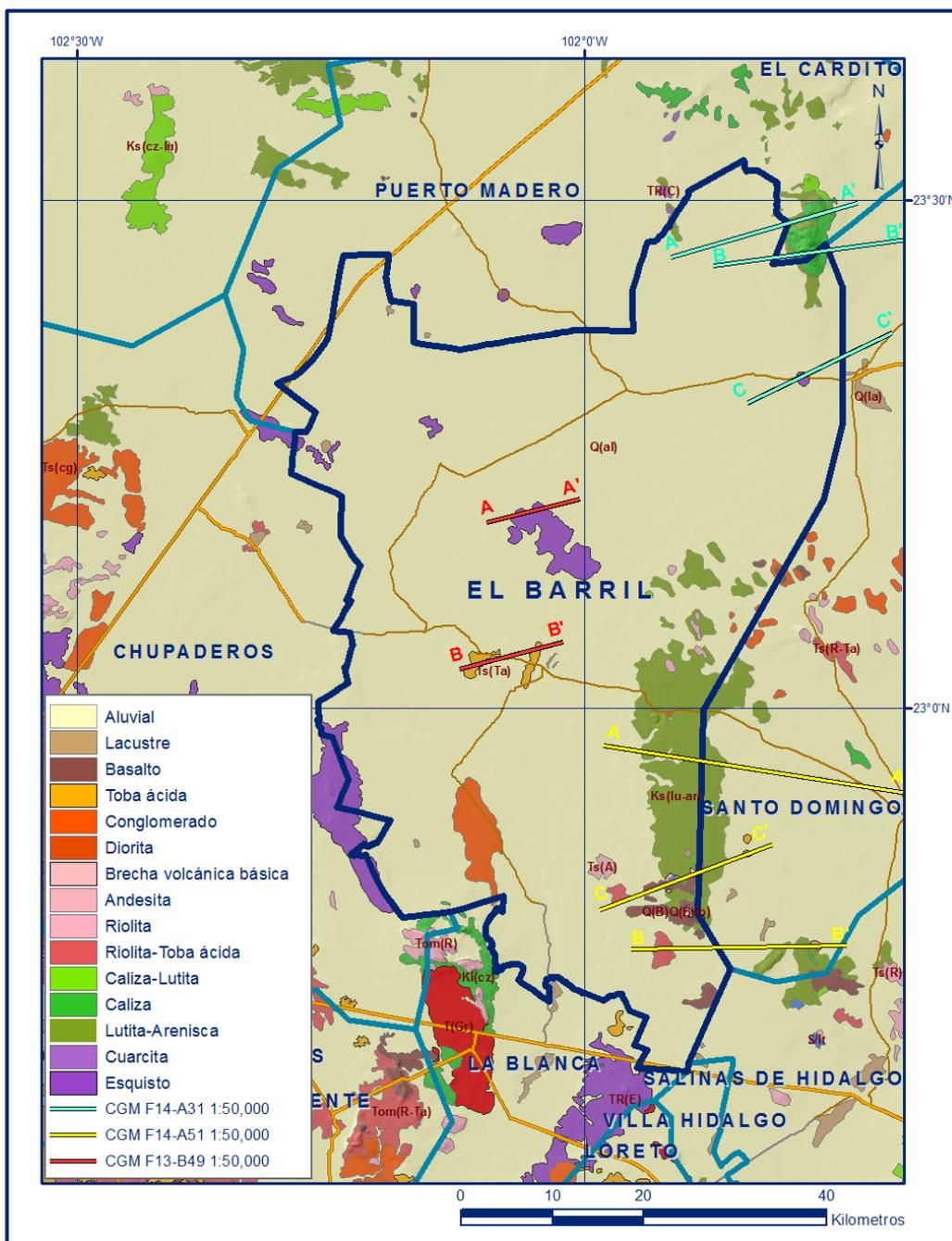


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

La estratigrafía en la zona está representada por rocas sedimentarias del Cretácico, que afloran al oriente y poniente, en las elevaciones que flanquean el valle y que corresponden a las siguientes formaciones:

SISTEMA CRETÁCICO

Cuesta del Cura (Cretácico Inferior). Escasos afloramientos se presentan al sur del área de estudio; consiste principalmente de calizas de color gris a gris oscuro, en estratos medianos y delgados (de 5 a 30 cm), con abundantes lentes y bandas de pedernal negro, con estratificación ondulante y presenta intercalaciones de capas delgadas de calizas arcillosas y lutitas calcáreas.

Indidura (Cretácico Superior). Aflora en escasos y pequeños lomeríos que representan suaves plegamientos al suroeste del área de estudio; consiste en calizas arcillosas de espesor medio a delgado, de color gris a gris oscuro y café rojizo, que alternan con lutitas calcáreas de color gris claro.

Estas rocas se caracterizan por ser fácilmente erosionables, circunstancia que, relacionada con su topografía de suaves ondulaciones, permite inferir que su presencia es prácticamente continua entre sus afloramientos.

Caracol (Cretácico Superior). Se encuentra ampliamente distribuida en toda el área estudiada; consiste en una alternancia de lutitas calcáreas de color pardo rojizo y gris verdoso, y de areniscas calcáreas y grauvacas, en estratos delgados a medianos, de colores gris oscuro y verdoso.

SISTEMA TERCIARIO

Las rocas ígneas intrusivas, se localizan al sureste de la zona en forma de pequeños afloramientos en el Cerro del Potosí y minas Calderón, son probablemente de composición granítica, de textura porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato y plagioclasas.

Riolita. Estos derrames se localizan al sur del área a la altura del poblado El Cerro, así como en las cercanías de Santa Ana como pequeños derrames sobre la formación Caracol al este de la zona de estudio, caracterizándose por su textura porfídica, con abundantes fenocristales de cuarzo.

Brechas. Son materiales piroclásticos expuestos en las cercanías de Villa de Ramos en forma de pequeños cerros aislados. Se constituye por una mezcla medianamente consolidada de piroclásticos de basalto vesicular, fragmentos de arenisca, ceniza, escoria y tezontle, variando el tamaño de grano desde lapilli hasta clastos gruesos.

Tobas. Localizadas hacia el centro y sur de la zona estudiada, como afloramientos aislados, no muy extensos, en forma de lomeríos, cerca de los poblados de Los Hernández, La Dulcita, Santa Lucía, Sauz de Carrera y Casa Blanca, este último en el Edo. de Zacatecas. Son rocas ígneas extrusivas de composición riolítica, con fenocristales de cuarzo y clastos de riolita, caliza y arenisca, llamándose también tobas híbridas.

Depósitos continentales. Se encuentran infrayaciendo a los rellenos del valle; afloran irregularmente en lomeríos casi sin relieve confundiendo con el aluvión. Se han encontrado pequeños afloramientos en las cercanías del poblado El Barril, así como en los tajos del Ejido Illescas. Se componen de material tufáceo y arenoso muy deleznable, que contiene restos de fósiles muy mal conservados; frecuentemente carecen de cohesión.

SISTEMA CUATERNARIO

Depósitos conglomeráticos. Se localizan distribuidos al oeste del poblado El Salitral de Carrera y al sur de La Concepción, en forma de lomas de escasa altura. Se componen de fragmentos arredondados del tamaño de cantos rodados y guijarros de caliza, pedernal negro, arenisca y tobas, cementados con caliche.

Rocas basálticas. Se localizan en los alrededores de Villa de Ramos, en forma de lomas de poca altura y alargadas. Se compone de derrames lávicos de poco espesor, frecuentemente con estructura vesicular y textura afanítica, por lo general con fracturamiento intenso, con pequeños cristales de olivino.

Depósitos aluviales. Se encuentra distribuidos en toda la zona, cubriendo un 75% del área; están constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas, sedimentos derivados de las rocas preexistentes, que se acumulan en el interior del valle y en las partes más bajas; sus espesores mayores conocidos se tienen en la porción media oriental del valle (352 m en el pozo RGZA-380).

4.2 Geología estructural

A finales del Cretácico y principios del Terciario, durante la Orogenia Laramide, emergieron y se plegaron las rocas sedimentarias marinas que afloran en la zona, proceso que fue seguido por un largo período de erosión, fallamiento y actividad volcánica de tipo ácida, que inició aproximadamente en el Oligoceno; posteriormente se presentó otro período de erosión y vulcanismo de tipo basáltico.

4. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

5.1 Tipo de acuífero

Los acuíferos de la zona El Barril están conformados por tobas arenosas del terciario, conglomerados poco cementados de la misma edad y materiales aluviales del Reciente, que forman estratos intercalados de geometría irregular y dimensiones muy variadas.

En la porción sur de la zona están limitados lateralmente por barreras montañosas impermeables, constituidas por rocas sedimentarias cretácicas (formaciones Cuesta del Cura, Indidura y Caracol), intrusionadas por rocas graníticas y cubiertas parcialmente por rocas ígneas extrusivas.

Las mismas rocas sedimentarias constituyen el basamento del relleno, cuyo espesor es mayor de 300 m en el centro del valle. Regionalmente los acuíferos se comportan como libres, aunque localmente pueden estar confinados o semiconfinados por horizontes de materiales arcillosos cementados o compactos.

Su coeficiente de almacenamiento tiene valores no mayores de 0.1, debido al predominio de materiales de grano fino. Coeficientes de transmisividad dentro del rango de 10^{-3} a 17×10^{-3} m²/s son representativos.

5.2 Comportamiento hidráulico

5.2.1 Profundidad al nivel estático

Las profundidades de los niveles del agua subterránea oscilan por los 35 m, como se muestra en la figura 3, donde se consigna la configuración respectiva.

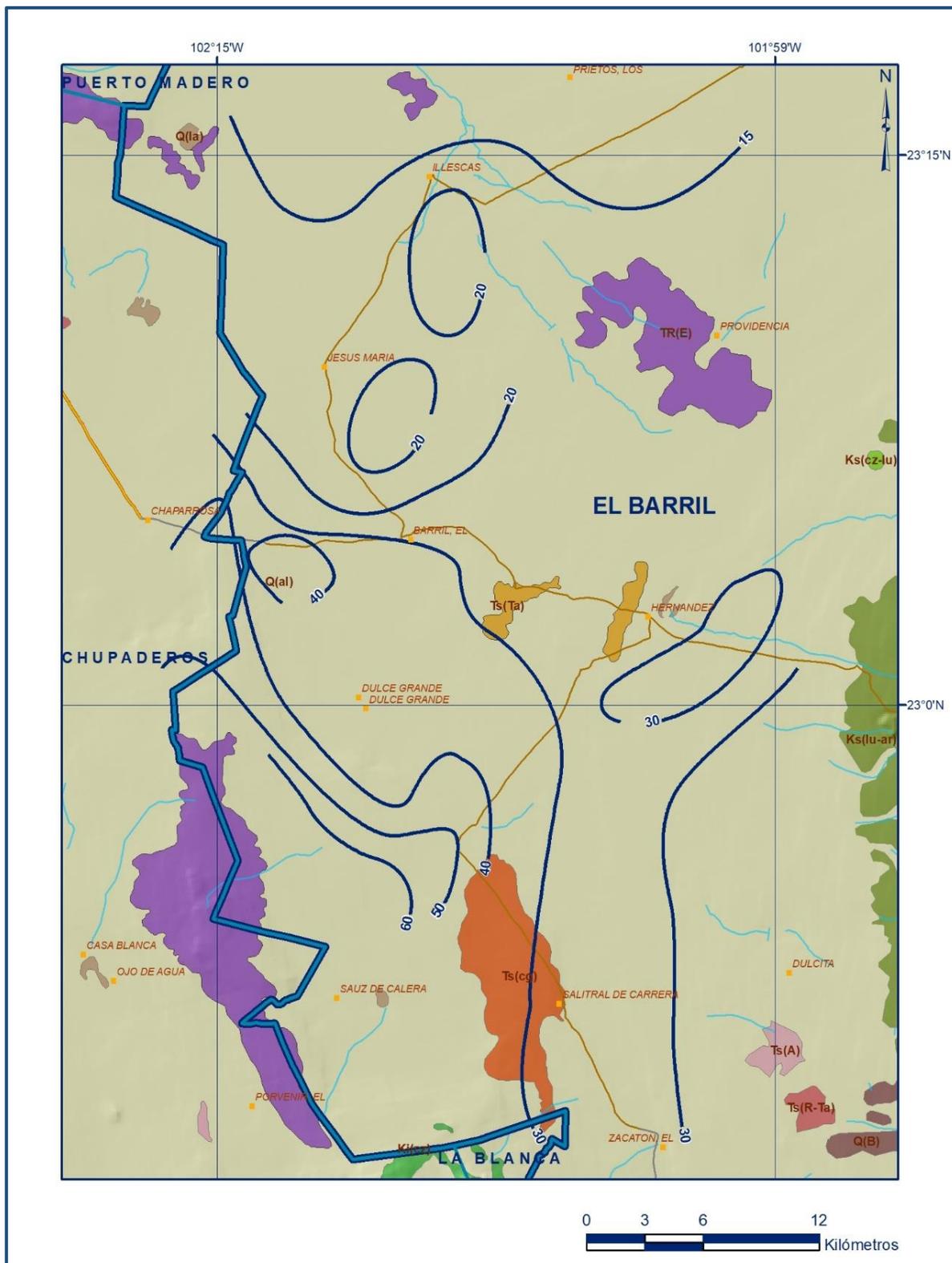


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (1981)

5.2.2 Elevación del nivel estático

Las configuraciones más recientes datan de 1981, para esta fecha se tienen elevaciones del nivel estático que van desde los 1 950 msnm en la zona cercana a El Barril, hasta valores de 2040 msnm, hacia el sur de Salitral de Carrera (figura 4),.

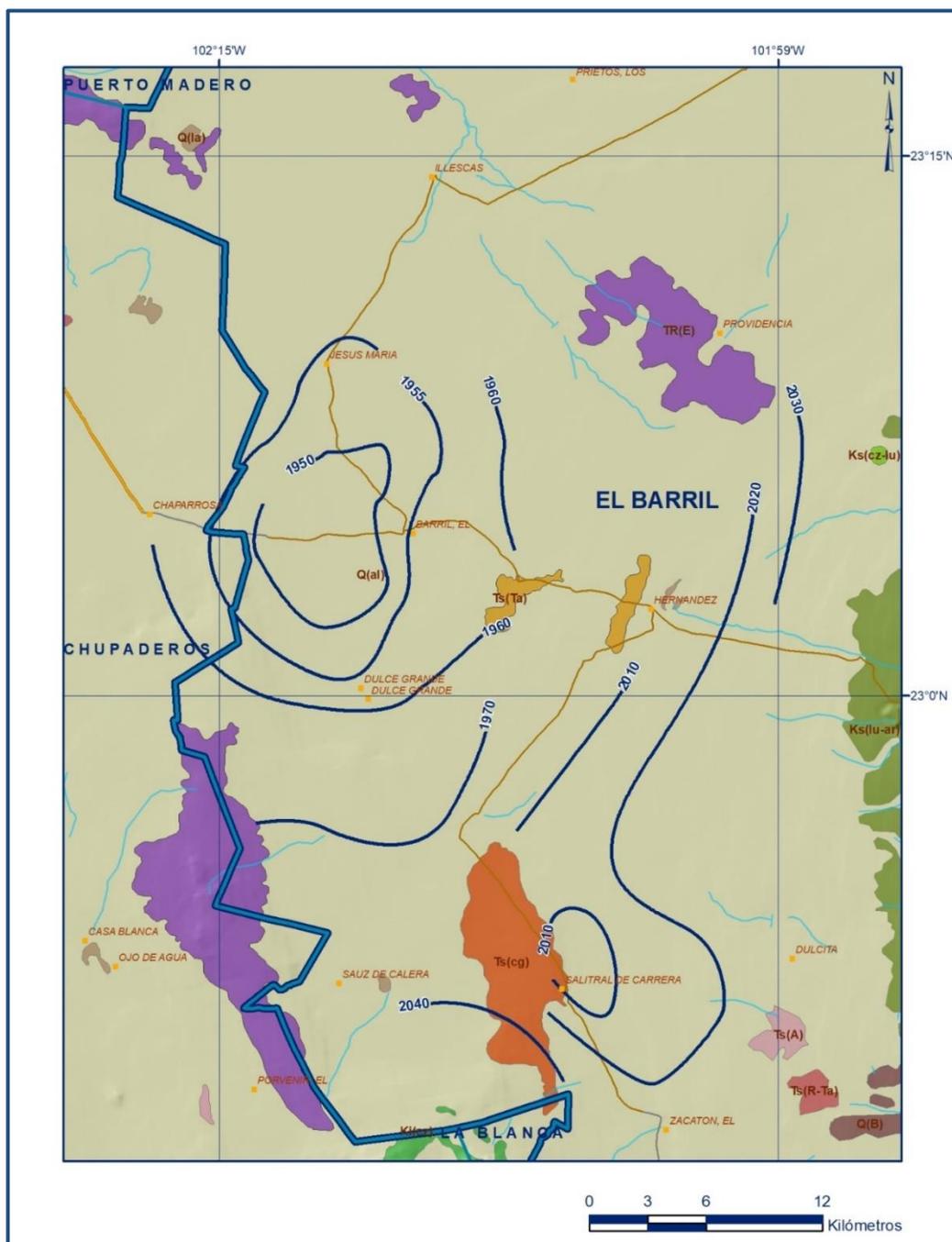


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (1981).

El flujo subterráneo tiene una dirección este oeste y no tiene salidas; se observa entre El Barril y La Concepción un cono de abatimiento, señalado por la curva 1950 msnm así como otro pequeño cono de abatimientos en el Salitral de Carrera, señalado por el halo 2010msnm.

5.2.3 Evolución del nivel estático

De la configuración de evolución piezométrica 1977 a 1981 (figura 5) se observan abatimientos del orden de los 3 metros en promedio, presentándose los mayores de 7 m al sur de El Barril y de 8 m en Salitral de Carrera.

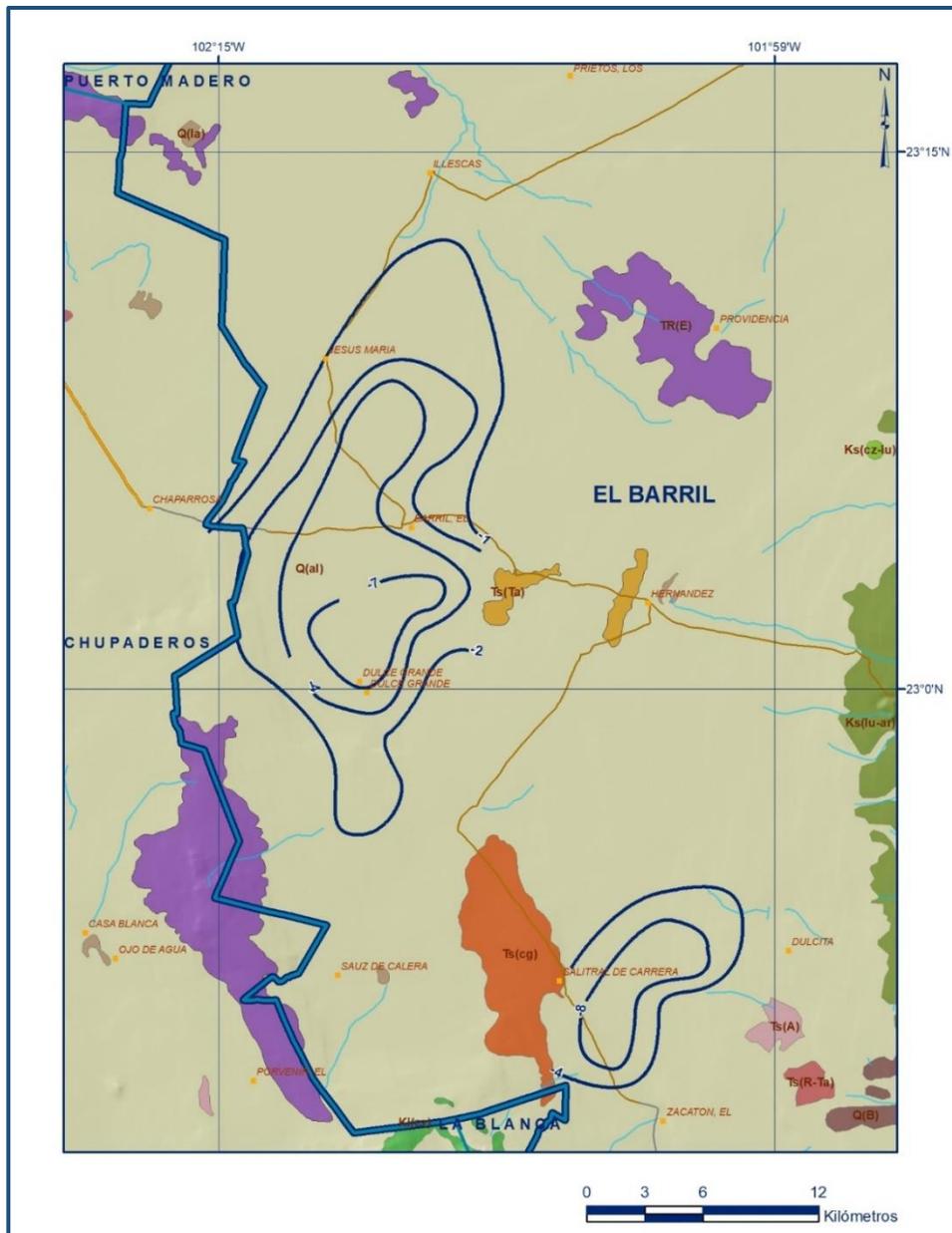


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (1977-1981).

5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el mismo estudio se censaron 514 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 229 son pozos, 283 norias, 1 tajo y 1 manantial, estimándose su extracción en 53 hm³/año, de los cuales 1.38 hm³/año se consideraron que corresponden al uso público urbano y el restante al agrícola en el cual se incluyen volúmenes ínfimos del uso doméstico y abrevadero ya que no hay ninguno destinado al uso industrial.

6. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó en la superficie que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

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

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

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:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh). De manera incidental, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituye otra fuente de recarga al acuífero (Ri).

La recarga total está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga natural del acuífero corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia y recarga horizontal proveniente de las zonas de recarga. La recarga por lluvia es de **18.0 hm³/año**, al considerar un área de 900 km², una precipitación de 400 mm/año y un coeficiente de infiltración de 0.05.

Respecto a la recarga por infiltración de agua de los escurrimientos superficiales naturales, ya se comentó que no existen corrientes importantes y permanentes que se generen en la cuenca, o que provengan de otras cuencas vecinas y que contribuyan a la recarga del acuífero.

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del exceso de riego que se realiza en el área, se calculó multiplicando al volumen aplicado al riego (51.6 hm³/año), por un coeficiente de infiltración de 0.15 (I₂), resultado un volumen de recarga de **7.7 hm³/año**.

Al mismo tiempo, el uso público urbano origina una recarga al acuífero por pérdidas en redes de distribución básicamente, el cual se calculó aplicando un coeficiente de 0.25 (I₃), al volumen usado de 1.4 hm³/año, resultando una recarga inducida por este concepto de **0.4 hm³/año**.

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

De acuerdo con la geología y la piezometría existentes, no se tienen entradas por flujos provenientes de acuíferos contiguos; el agua que fluye de las sierras y que entra al acuífero en forma horizontal por el pie de las mismas, proviene de las precipitaciones ocurridas en las partes altas; en este sentido una parte del volumen de lluvia que recarga al acuífero se calculó como una entrada horizontal (Eh).

El cálculo de entradas por flujo horizontal (Eh), se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático del año 1982, y la transmisividad obtenida a través de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

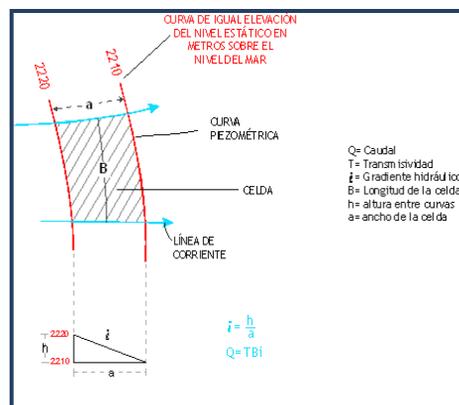
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

T = Transmisividad (m²/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)



El gasto obtenido en un total de 7 canales de flujo de entrada considerados fue de **5.5 hm³/año**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B).

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Debido a que en el acuífero en estudio existen profundidades del nivel estático mayores a 20 m, no existen pérdidas por este concepto.

7.2.2 Descargas naturales por flujo base (Fb)

En la zona no existen manantiales ni corriente con gastos base, ya que el acuífero se ubica en una cuenca cerrada.

7.2.3 Extracciones por bombeo (B)

El volumen total extraído del acuífero a través del bombeo y para todos los usos, resultó de **53 hm³/año**.

7.2.4 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Para este acuífero, de acuerdo a la piezometría, particularmente al plano de curvas de igual elevación del nivel estático de 1981, se concluye que el agua subterránea no zona tiene una salida horizontal.

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

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero considerando el promedio anual de abatimientos registrado entre 1977 y 1981 de 0.5 m/año, valor que aplicado al área de valle (900 km²), resulta un volumen drenado (Vd) de 450 hm³/año.

Esto aplicado al coeficiente de almacenamiento de 0.04764, obtenido de la ecuación de balance, resulta un cambio de almacenamiento de **-21.4 hm³/año**.

En la tabla 2 se consigna en forma resumida el balance de aguas subterráneas para el acuífero El Barril. De esta manera, la recarga total es la suma de todas las entradas:

Tabla 2. Balance de aguas subterráneas

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO EL BARRIL- LOS HERNÁNDEZ, SLP					1981
Área total del acuífero				km ²	3,270
RECARGA TOTAL					
		Área de valle		km ²	900
		Coeficiente	I_1		0.05
		Precipitación		mm/año	400
Recarga natural por lluvia				hm ³ /año	18
Entradas horizontales				Eh	5.5
Total de recarga natural				hm ³ /año	23.5
	Público Urbano		I_2		0.25
Recarga inducida P.U.				hm ³ /año	0.4
	Agrícola más otros agua subterránea		I_3		0.15
Recarga inducida Agrícola + otros				hm ³ /año	7.7
RECARGA TOTAL				R	31.6
DESCARGA TOTAL					
Salidas horizontales			Sh	hm ³ /año	0
Caudal base				Q_{base}	0
Evapotranspiración			ETR	hm ³ /año	0
	Extracción total			hm ³ /año	53
	Agrícola			hm ³ /año	51.6
	Público urbano			hm ³ /año	1.4
	Industrial			hm ³ /año	0
	Otros			hm ³ /año	0
DESCARGA TOTAL				hm ³ /año	53
Cambio de almacenamiento	de		DA	hm ³ /año	-21.4
Coeficiente de almacenamiento	de		S		0.04764
Volumen drenado (0.5 m/año)			Vd	hm ³ /año	450

$$R = R_v + R_i + E_h$$

$$R = 18.1 + 5.5 + 8.1$$

$$R = 31.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

7. 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:

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

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.

Para este caso, su valor es de **31.6 hm³/año**, de los cuales corresponden 18.0 hm³/año a la recarga natural y 5.6 hm³/año a la recarga inducida.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso, en donde no existen manantiales, ni caudal base, y considerando que no existen volúmenes comprometidos por la descarga de flujo subterráneo, su valor es de **0.0 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **94,896,591 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 31.6 - 0.0 - 94.896591 \\ \text{DMA} &= -63.296591 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **63,296,591 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

ININSA, S.A. Contrato GZA-81-85-GD, 1981. Estudio geohidrológico preliminar de la zona de El Barril, San Luis Potosí.

Op. Cit. Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona de El Barril, S.L.P., 1981

Op. Cit. Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona de El Barril, S.L.P., 1981