

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Saltillo Sur (0521),
Estado de Coahuila***

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

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CCCLXII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

ESTADO DE COAHUILA

0521	SALTILLO SUR	13.1	0.0	9.320268	14.6	3.779732	0.000000
------	--------------	------	-----	----------	------	----------	----------

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



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

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN
EL ACUÍFERO SALTILLO SUR (0521), ESTADO DE
COAHUILA***

México, D.F., Diciembre 2010

CONTENIDO

1.	GENERALIDADES	1
	Antecedentes	1
1.1.	Localización	1
1.2.	Situación administrativa del acuífero	3
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	5
4.	GEOLOGÍA	6
4.1.	Estratigrafía	7
4.2.	Geología estructural	11
4.3.	Geología del subsuelo	12
5.	HIDROGEOLOGÍA	14
5.1.	Tipo de acuífero	14
5.2.	Parámetros hidráulicos	15
5.3.	Piezometría	15
5.4.	Comportamiento hidráulico	15
5.4.1.	Profundidad al nivel estático	15
5.4.2.	Elevación del nivel estático	16
5.4.3.	Evolución del nivel estático	17
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	18
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7.1.	Entradas	20
7.1.1.	Recarga vertical (Rv)	20
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	20
7.2.	Salidas	24
7.2.1.	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	24
7.2.2.	Bombeo (B)	24
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	24
8.	DISPONIBILIDAD	26
8.1.	Recarga total media anual (Rt)	26
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM)	26
8.3.	Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	26
8.4.	Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	26
9.	BIBLIOGRAFÍA	27

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

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

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 Saltillo Sur, definido con la clave 0521 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción sur del Estado de Coahuila, entre los paralelos 24° 33' y 25° 34' de latitud norte y los meridianos 100° 44' y 102° 53' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 7,664 km².

Limita al norte con los acuíferos La Paila, General Cepeda-Sauceda, Cañón del Derramadero y Región Manzanera-Zapaliname, al oeste con el acuífero Principal-Región Lagunera, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila; al este con los acuíferos Navidad- Potosí-Raíces y El Peñuelo-San José el Palmar, pertenecientes al estado de Nuevo León; y al Sur con los acuíferos Cedros, Guadalupe Garzarón y El Salvador, pertenecientes al estado de Zacatecas (figura 1).

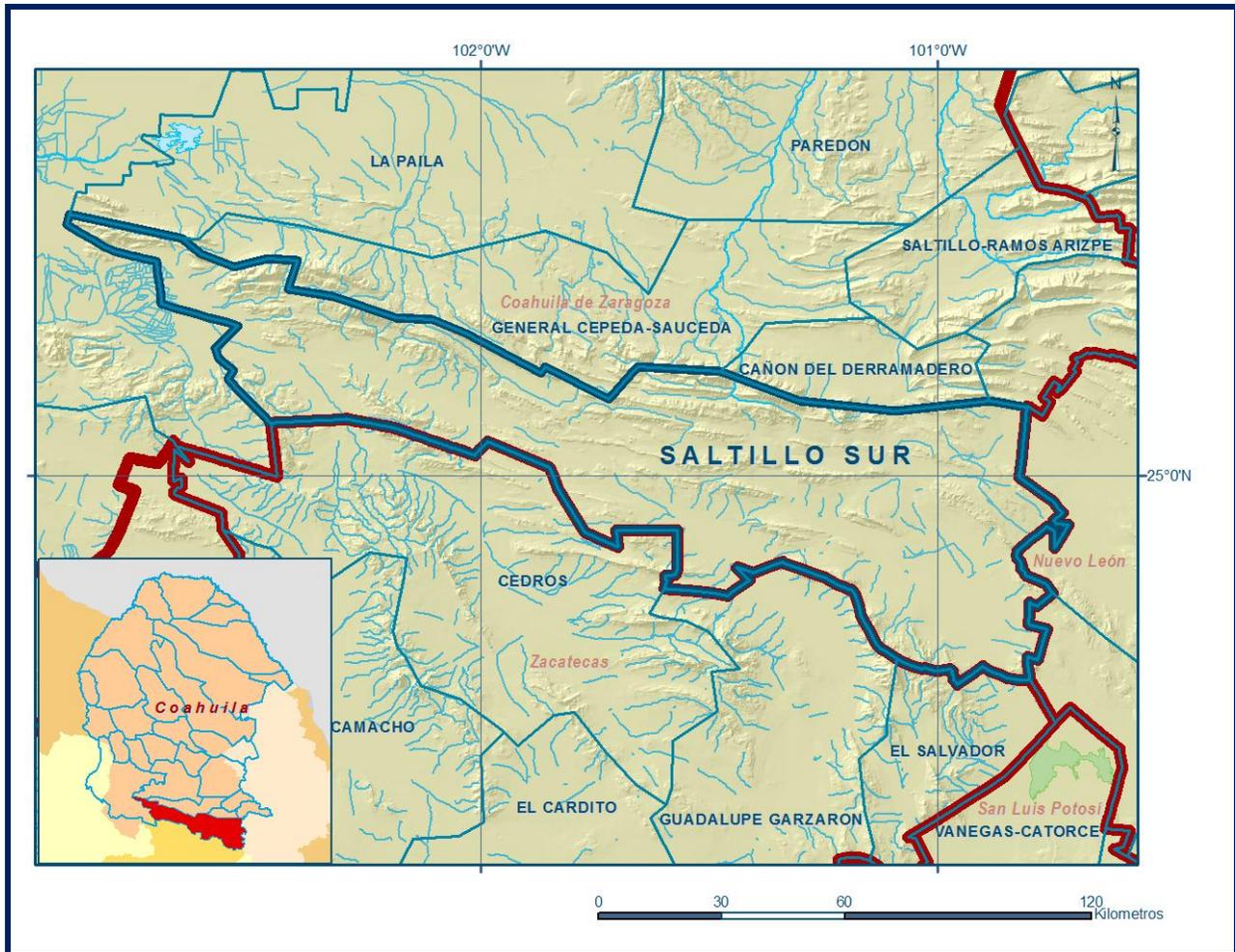


Figura 1. Localización del acuífero Saltillo Sur

Geopolíticamente abarca parcialmente los municipios Parras y Saltillo. 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

ACUIFERO 0521 SALTILLO SUR							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	48	18.8	25	8	58.0	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	100	44	55.7	24	44	32.2	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	100	47	55.0	24	33	17.5	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	101	3	16.7	24	34	58.2	DEL 4 AL 5 POR EL LIMITE ESTATAL
5	101	41	54.6	24	50	40.1	DEL 5 AL 6 POR EL LIMITE ESTATAL
6	102	27	30.8	25	6	58.0	DEL 6 AL 7 POR EL LIMITE MUNICIPAL
7	102	53	55.9	25	34	22.5	
8	102	39	12.8	25	31	12.8	
9	102	36	38.3	25	29	15.1	
10	102	32	16.6	25	27	31.0	
11	102	27	54.5	25	28	36.5	
12	102	24	1.2	25	28	23.4	
13	102	25	17.2	25	24	32.8	
14	102	19	20.7	25	23	35.1	
15	102	11	7.9	25	20	49.9	
16	102	6	16.3	25	20	32.5	
17	102	1	54.5	25	18	45.4	
18	101	52	0.5	25	13	26.7	
19	101	51	33.4	25	14	18.2	
20	101	43	8.9	25	10	7.3	
21	101	39	22.4	25	14	19.6	
22	101	28	36.8	25	13	41.6	
23	101	18	6.5	25	9	53.0	
24	101	5	33.6	25	8	27.5	
25	100	53	10.0	25	9	48.5	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. La porción occidental de su territorio se encuentra sujeta a las disposiciones del “Acuerdo que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Ceballos y de La Laguna, que comprenden parte de los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de diciembre de 1958; y en su porción oriental por el “Acuerdo que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas subterráneas, de la zona no vedada por el diverso publicado el 7 de febrero de 1952, en el área que ocupa el Municipio de Saltillo, Coah., y se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en dicha zona”. Ambos decretos se clasifican como tipo II que sólo permiten la extracción de agua subterránea para uso doméstico.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2010 los municipios Saltillo y Parras se clasifican como zona de disponibilidad 3 y 5 respectivamente.

El uso principal del agua subterránea es el público-urbano. En el territorio del acuífero actualmente no existe Distrito ni Unidad de Riego y a la fecha no se ha constituido Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, sólo algunos con fines de prospección minera. En algunos acuíferos vecinos se han realizado estudios hidrogeológicos para determinar su recarga media anual. El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el siguiente:

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO SALTILLO SUR, COAHUILA. Realizado para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) mediante convenio por el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica del acuífero y recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), la superficie cubierta por el acuífero se encuentra en el límite entre dos importantes provincias fisiográficas de la República Mexicana, la Sierra Madre Oriental y la Cuenca de Parras. La Sierra Madre Oriental representa una franja alargada orientada en sentido noroeste-sureste, desde Chihuahua-Coahuila hasta el Istmo de Tehuantepec, que presenta una flexión con orientación este-oeste entre Torreón y Monterrey; está integrada principalmente por sedimentos calcáreos del Cretácico y Jurásico que se encuentran plegados, formando valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.) en los sinclinales y serranías en los anticlinales cuando las formaciones son resistentes a la erosión, pero cuando estos últimos dejan al descubierto un núcleo constituido por rocas menos resistentes, entonces se forman valles en su centro. Debido a

la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados. La porción norte y este del acuífero corresponden a esta provincia fisiográfica.

Por su parte la Cuenca de Parras es una depresión topográfica que se extiende a través de Coahuila, desde la Ciudad de Saltillo hasta Torreón, por una longitud de unos 260 km y una anchura de 50 km, angostándose hacia el este.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de climas de Köppen, adaptada a la condiciones de la República Mexicana por Enriqueta García; en la región oriental predomina el clima clasificado como BS_0hx , que corresponden a un clima seco, semicálido y $BWhw$ que es de tipo muy seco y semicálido hacia el poniente. En las sierras que se encuentran dentro del área del acuífero el clima cambia y es de tipo (Cx') templado y subhúmedo en las zonas topográficamente más altas.

La temperatura media anual en la zona del acuífero, varía entre $14^{\circ}C$ y $20^{\circ}C$ en la planicie y flancos de las sierras y disminuye hasta $10^{\circ}C$ en las partes altas de las sierras. La precipitación media anual varía desde 155 mm en el valle del extremo poniente, rumbo a Viesca, hasta 500 mm en las partes altas de las sierras. El periodo de lluvias se presenta entre mayo y octubre, mientras que el estiaje entre noviembre y abril. En ellos se presentan valores promedio de lluvias de 50 mm, para el estiaje, y de 175 a 325 mm para la temporada de lluvias.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de dos estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Carneros y Hormigas, cuyo registro comprende los periodos 1995-2009, respectivamente. De acuerdo con estos datos se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **384 mm y $39.0^{\circ}C$** , respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1920 mm anuales**.

3.3. Hidrografía

El acuífero en su parte oriental se localiza dentro de la Región Hidrológica 37. "El Salado", Cuenca Sierra de Rodríguez, dentro de la cuenca "C" subcuenca "b" que drena hacia el sur. La mitad poniente se localiza dentro de la Región Hidrológica 36 "Nazas Aguanaval", Cuencas Lagunas de Mayrán y Viesca dentro de la cuenca "E" subcuenca "a" que drena hacia la Laguna de Viesca.

3.4. Geomorfología

En la superficie cubierta por el acuífero se pueden distinguir 4 unidades geomorfológicas presentes: sierras anticlinales calcáreas, valles sinclinales intermontanos, planicies y lomeríos, a continuación se hace una breve explicación de cada uno de ellos.

Sierras anticlinales calcáreas

La mayor parte del área comprendida por el acuífero, corresponde a una serie de sierras anticlinales formadas por rocas calcáreas del Cretácico y Jurásico que forman parte de la Sierra Madre Oriental.

Las sierras se elevan de 2300 msnm a 2900 msnm y hasta 900 sobre el nivel medio de los valles; entre ellas destacan las sierras La Casita (2900 msnm), de Parras (2700 msnm), Carneros (2500 msnm) y El Laurel (2300 msnm), así como otras de menores dimensiones que se encuentran dispersas entre las antes mencionadas: La Gloria, El Tapanco y La Casita al norte, así como la Sierra de Parras al poniente y las sierras de Zuloaga y El Astillero al sur, entre otras.

Son sierras alargadas cuyos flancos presentan pendientes que varían de medias a fuertes y se encuentran disectadas por arroyos con dirección principalmente perpendicular a las sierras, formando acantilados espectaculares.

Valles sinclinales intermontanos

Corresponden a angostos valles alargados, llamados también valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.), que se presentan entre los plegamientos de la Sierra Madre Oriental con una orientación este-noreste y oeste-suroeste. En ellos circulan algunos arroyos que bajan de las sierras y se pierden por infiltración al subsuelo.

Planicies

Representan extensas superficies planas limitadas por los conjuntos de sierras plegadas que forman anticlinales y sinclinales, que se encuentran a una altitud promedio de 1,900 msnm. Sus escurrimientos superficiales son escasos.

Lomeríos

Presentan formas suaves y redondeadas debido a que las rocas que las constituyen son lutitas y areniscas, poco resistentes a la erosión. Presentan alturas promedio entre 50 y 100 m; ocasionalmente hasta 200 m con escarpes de poca altura, denominados “Espinazos” (Manuel Álvarez Jr.), debido a la erosión diferencial que originada por la presencia de capas de areniscas de mayor resistencia a la erosión.

4. GEOLOGÍA

La geología regional de la zona está representada por rocas sedimentarias marinas y continentales, cuyo registro estratigráfico comprende edades que van del Jurásico (Mesozoico) al Reciente (Cartas Geológico-Mineras G14-C41 “Sabanilla” y G14-C42 “Sierra El Laurel”, escala 1:50,000. SGM, 2007). La distribución de las diferentes unidades litológica se presenta en la figura 2.

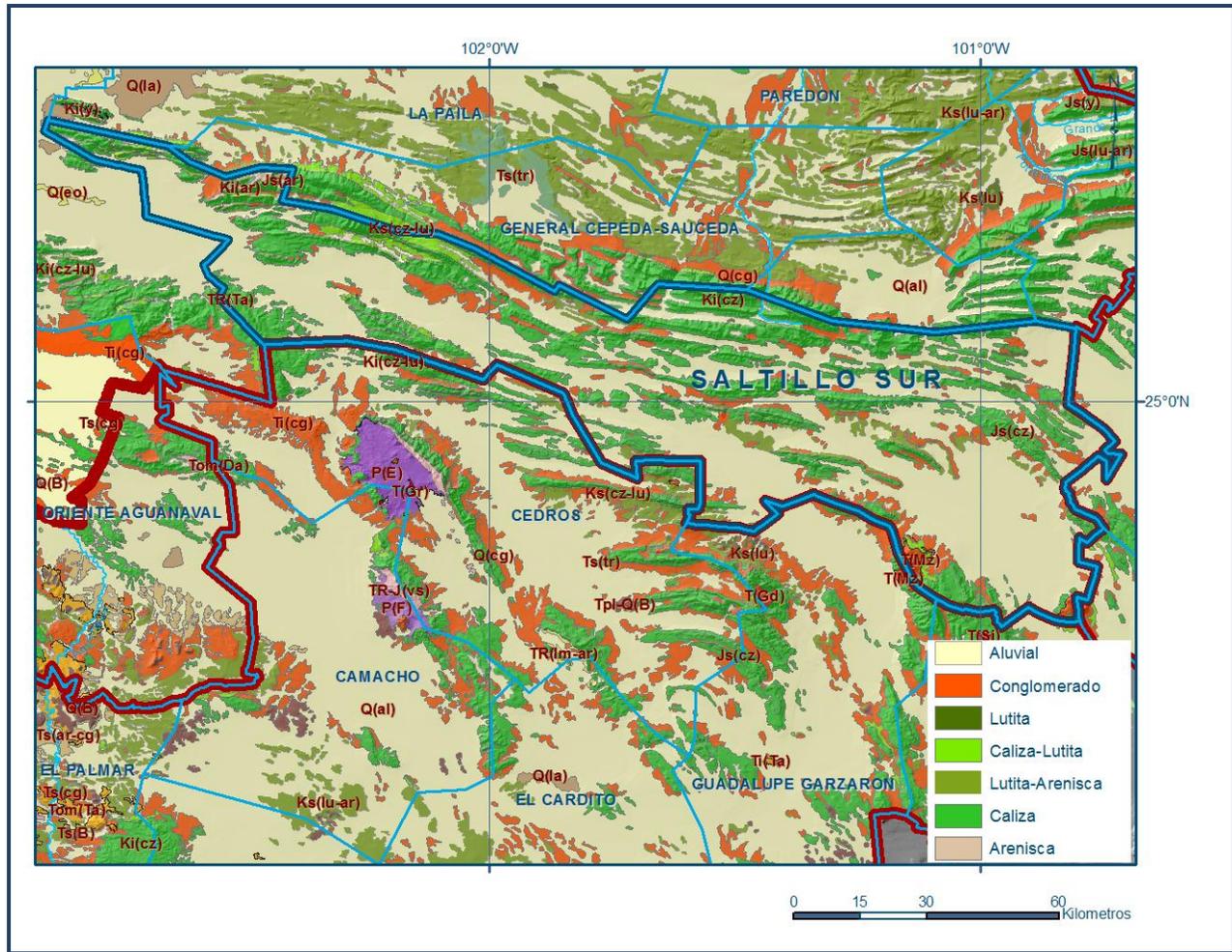


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

La estratigrafía del Jurásico está representada por las formaciones Zuloaga, La Gloria y La Casita. El Cretácico Medio e Inferior por las formaciones Taraises, Cupido, La Peña, Aurora-Treviño (Tamaulipas Superior) y Cuesta del Cura. La secuencia geológica culmina con las formaciones del Cretácico Superior Indidura y Parras. La columna estratigráfica presente en la zona se describe a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente:

Jurásico

Formación Zuloaga

Es la unidad más antigua que aflora en la región, por lo que no se aprecia su contacto inferior con las rocas que le subyacen. Está compuesta por una secuencia de calizas, dispuesta en estratos medianos y gruesos; con nódulos de pedernal negro, estilolitas y gasterópodos (*Nerineas*). La Formación Zuloaga Se encuentra subyaciendo concordantemente a los sedimentos clásticos de la Formación La Casita y se le ha asignado una edad Jurásico Superior (Oxfordiano-Tithoniano).

Formación La Gloria

Se encuentra constituida hacia la cima por intercalaciones de areniscas de cuarzo (ortocuarzitas), capas gruesas de calizas recristalizadas y calizas con pellets; esta interrelación de litologías desaparece en la base de la unidad, en donde únicamente se manifiesta la fracción arenosa. Las areniscas son de grano fino a medio subredondeado a redondeado, bien seleccionada, en las que sus constituyentes principales son granos de cuarzo, por lo que el ejemplar de mano se clasifica como ortocuarzita. Se encuentran dispuestas en estratos medios de 30 a 60 cm de espesor, presentan un color blanco ligeramente rosáceo, al intemperismo cambia a rosa amarillento. Las rocas presentan una estructura compacta y comúnmente se observan diseminaciones de óxidos. Por otra parte en el extremo occidental del Anticlinal Taraises, se observa un paquete de 8 m de espesor de sedimentos pelíticos dentro de la fracción arenosa, que muestran filitización lo cual manifiesta un ligero metamorfismo. Su espesor considerado es del orden de 500 a 600 m.

La base de la Formación La Gloria no aflora en esta región, por lo que no se conocen las rocas a las que sobreyace; sin embargo en la Sierra de Jimulco descansa sobre metasedimentos paleozoicos por medio de una discordancia de tipo angular. La cima de la unidad se relaciona concordantemente con los sedimentos clásticos de la Formación La Casita. Por su contenido faunístico y posición estratigráfica, Kellum (1932) estableció que se desarrolló durante parte del Jurásico Superior, comprendiendo en su totalidad al piso Oxfordiano.

Formación La Casita

A finales del Jurásico Tardío ocurrió el depósito de las formaciones La Casita y La Caja, las cuales representan facies litorales y de plataforma, respectivamente. Ambas formaciones sobreyacen concordantemente tanto a la Caliza Zuloaga como a la Formación Olvido. La Formación La Casita aflora extensamente en las porciones norte y oriente de la Curvatura de Monterrey y consiste principalmente, de la base a la cima, de conglomerados gruesos con fragmentos redondeados de cuarzo, esquistos y granitos, en una matriz de arenisca de grano grueso; esta litología cambia transicionalmente hacia arriba, a areniscas de grano más fino con intercalaciones de limolitas, para finalizar en su parte más alta, con lutitas y limolitas muy fosilíferas. Lateralmente, y aunque no aflora en el área, esta formación cambia a la Formación La Caja, la cual tiene una mayor homogeneidad en su litología; consistente de calizas, lutitas y limolitas intercaladas.

Cretácico Medio e Inferior

Formación Taraises

La unidad cretácica más antigua es la Formación Taraises, que aflora en toda la Curvatura de Monterrey, donde sobreyace concordante e indistintamente a las formaciones La Caja y La Casita. Esta formación consiste de calizas con intercalaciones de lutitas, pero en el área de Galeana se reporta, en la base de la unidad, la presencia de areniscas pardo-rojizas, denominándola "Miembro Galeana".

Formación Tamaulipas Inferior

Está representada por una secuencia de calizas recristalizadas de color gris oscuro en muestras frescas y gris cenizo con tonalidades amarillentas al intemperismo; con intercalaciones de estratos delgados de lutitas, cuyo espesor conjunto es de 550 a 600 m. Se encuentra sobreyaciendo por medio de un contacto transicional y concordante a la Formación Taraises y su contacto superior con la Formación La Peña es nítido y concordante. Por otra parte, lateralmente, constituye la facies de cuenca dentro del complejo arrecifal de la Formación Cupido.

Formación Cupido

Término definido para una unidad de calizas de color gris y estratificación gruesa, delgada y media, que se presenta en la porción media de la Sierra de Parras. Sobreyace concordantemente a la formación anterior y está constituida principalmente por tres facies diferentes: 1) Facies arrecifales con abundantes monopléuridos, requiénidos, caprínidos, ostras y fragmentos de corales y codiáceas, que afloran preferentemente en la parte norte de la Curvatura de Monterrey; 2) Facies de pre-arrecife, constituidas por brechas derivadas de los arrecifes, que bordean las facies arrecifales en la parte norte y noroccidental de la citada megaestructura, y 3) Facies de cuenca, representadas por calizas de grano fino de estratificación media a gruesa, con abundantes nódulos de pedernal, que aflora en la parte sur de la megaestructura.

El espesor de las facies pre-arrecifales es mayor en las facies arrecifales y menor en las facies de cuenca. Por la datación que proporcionan sus microfósiles (miliólidos) y por su posición estratigráfica que ocupa entre las formaciones Taraises y La Peña, se le asigna una edad correspondiente al Hauteriviano.

Formación La Peña

Está compuesta por una secuencia homogénea de calizas arcillosas y lutitas calcáreas de color gris oscuro, dispuestas en estratos delgados a medianos, cuyo espesor estimado varía de 40 a 50 m. Su contacto inferior con la Formación Tamaulipas Inferior (en el sector sur del área de estudio) o con la Formación Cupido (porción norte) es nítido y concordante; del mismo modo subyace a la Formación Tamaulipas Superior, en donde la zona de contacto está definida por el cambio de una sedimentación calcáreo-arcillosa a una secuencia netamente carbonatada. Los microfósiles que contiene indican que tiene una edad Aptiano Superior.

Formación Tamaulipas Superior (Formación Aurora)

La Formación Tamaulipas Superior está formada por capas gruesas a masivas de calizas densas, de color gris a gris pardo debido al intemperismo y gris claro a oscuro en muestras frescas. Presenta nódulos y bandas de pedernal de color gris claro y líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación. Esta formación presenta contacto brusco, concordante y transicional con la Formación Cuesta de la Cura (superior) y con la Formación la Peña (inferior). Por estudios micropaleontológicos

y posición estratigráfica, se le asigna edad Albiano Inferior–Medio y es equivalente a la Formación Aurora.

Formación Cuesta del Cura

Consiste de estratos delgados y ondulados de calizas de grano fino, con abundantes capas y nódulos de pedernal negro. De acuerdo a la posición estratigráfica que guarda con las formaciones Tamaulipas Superior e Indidura y por su contenido de microfauna, se le asigna una edad correspondiente al Albiano Superior a Cenomaniano Inferior.

Formación Treviño

Fue definida por Romeo Garza (1973) en la localidad tipo del Cañón de Treviño, ubicado en la porción norcentral de la Sierra La Paila, Coahuila. Consta de una secuencia de calizas de plataforma de color gris, dispuestas en estratos gruesos, medianos y delgados, con restos fósiles de miliólidos y escasos rudistas. Su base sólo se observa al poniente del área de estudio, descansando en forma transicional y concordante sobre la Formación Acatita. Su contacto superior con la Formación Indidura es abrupto pero concordante. Se le asigna una edad que ocupa un intervalo correspondiente al Albiano Medio y Superior.

Cretácico Superior

Formación Indidura

Definida por Kelly en 1936 en su localidad tipo de los afloramientos que se encuentran en el cerro del mismo nombre, en las Sierras de Santa Ana. Consta de una secuencia de lutitas y calizas, dispuestas en capas delgadas de color gris en muestras frescas y pardo-amarillentas al intemperismo. Sobre la superficie de la capa se observan impresiones y moldes de bivalvos (*inoceramus*). Sobreyace de forma concordante y abrupta a las Formaciones Tamaulipas Superior y/o Cuesta del Cura; en tanto que su contacto superior, es transicional y concordante con la Formación Parras. Se le asigna una edad correspondiente al periodo Cenomaniano Inferior- Santoniano.

Formación Parras

Definida por Imlay en 1936 para referirse a una secuencia de 1200 m de lutitas carbonosas negras con escasa intercalaciones de areniscas. Está constituida por una litología muy homogénea de lutitas calcáreas y calizas arcillosas, estas últimas intercaladas en forma esporádica dentro de la secuencia arcillo-calcárea. Las lutitas son calcáreas de color negro a gris oscuro, estratificadas en capas delgadas y medianas. Al intemperismo ofrecen un aspecto masivo debido a que la fractura astillosa o esquistosidad tipo lápiz, destruye los planos de estratificación. Se considera que la potencia de la secuencia arcillo-calcárea varía de 400 a 800 m y cubre de manera concordante y transicional a la Formación Indidura, por lo que es difícil precisar la zona de contacto entre ambas unidades. Su contacto superior, dentro de los límites del acuífero, es con los sedimentos continentales del Reciente por medio de discordancia angular.

Dentro de la zona de estudio es una formación geológica importante, ya que constituye la mayor parte del subsuelo en la parte plana del valle. Llega a presentar espesores de hasta 1,600 metros. Esta formación junto con el Grupo Difunta, corresponden a los sedimentos terrígenos característicos de la Cuenca de Parras. Tiene una edad Santoniano-Coniaciano y se correlaciona con la Formación San Felipe de la Sierra Madre Oriental y de la Cuenca de Sabinas.

Grupo Difunta

De manera transicional y concordante sobre las lutita de la Formación Parras, se localiza El Grupo Difunta, constituido por una secuencia monótona de areniscas y lutitas, cuyo espesor conjunto alcanza hasta 3,000 m. Intercalados con la arenisca siempre se encuentran lechos de lutita y limolita calcárea en dispuestas en capas laminares y físis, con aspecto astilloso, de colores muy variado. Dentro de este amplio espesor se han identificado 7 formaciones (Boyd, 1959; Peterson, 1983).

Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios que se encuentran expuestos en la zona están constituidos por arenas, gravas y cantos rodados de calizas. Cerca de las sierras, predominan los cantos rodados, principalmente a lo largo de los arroyos. Su espesor varía de unos cuantos metros hasta alrededor de 100 metros.

4.2. Geología estructural

De acuerdo con la carta Geológica-Minera G14-C42 "Sierra El Laurel", escala 1:50,000 (SGM, 2007), en el contexto estructural se presentan estilos de deformación dúctil-frágil y frágil. Los pliegues varían en forma y tamaño, con planos axiales orientados E-W, algunos con vergencia al N y otros al S; existen pliegues simétricos, en abanico destacando el anticlinorio del cañón La Casita. También es posible observar cabalgaduras, fallas laterales y normales. De acuerdo con el concepto de terrenos estratotectónicos, la región se ubica en el terreno Sierra Madre, en el límite con el terreno Coahuila (Campa y Coney, 1983), dentro de la provincia geológica del cinturón plegado y cabalgado de la Sierra Madre Oriental, en su porción oeste y en llamada Napa de Parras. La carpeta sedimentaria mesozoica se deposita sobre los basamentos de estos terrenos, que se considera fueron formados durante el Paleozoico Tardío, al cierre del Proto Atlántico (Campa, 1983). Las estructuras desarrolladas en la Sierra Madre Oriental y en la Cuenca de Parras, están eventualmente afectadas por fallas inversas cuyos planos son de bajo ángulo y se encuentran inclinados en la misma dirección del transporte tectónico. Esta morfología establece que el corredor tectónico, ubicado al sur del bloque de Coahuila, presenta un estilo de deformación caracterizado por el emplazamiento de fallas profundas y anticlinales con altos relieves topográficos, cuyos ejes se orientan siguiendo los bordes paleográficos como la Sierra y Cuenca de Parras, en donde los planos axiales tienen vergencia contra los elementos estables. Por lo tanto el aspecto estructural predominante está dado por el efecto de los esfuerzos comprensivos provenientes del sur-suroeste, de la Orogenia Laramide, sobre

los sedimentos mesozoicos y cenozoicos, donde la Isla de Coahuila y la Península de Tamaulipas se mantuvieron como contrafuerte de estos esfuerzos, que influyeron en gran medida en el estilo de deformación de las estructuras y la etapas de fallamiento distensivo durante el periodo Paleógeno.

Existe entre Torreón y Saltillo una serie de anticlinales orientados NE-SW, recostados hacia el nort-noreste que forman la Sierra Madre Oriental. En el extremo norte del acuífero predominan principalmente anticlinales recumbentes, así como pliegues y fallas que forman parte de la Sierra Madre Oriental. En la mitad sur del acuífero, los pliegues se encuentran ligeramente recostados en dirección noreste pero con menor intensidad que en el norte del acuífero. Las fallas de cabalgadura son comunes en el límite norte de la Sierra Madre Oriental, donde se acumularon esfuerzos de compresión provenientes del suroeste y fallas de deslizamiento asociadas a ellas. En el sur del acuífero son las más frecuentes las fallas de tipo normal o de tensión.

4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información de los cortes litológicos de pozos, los sondeos geofísicos y las evidencias de la geología superficial, es posible definir que en el subsuelo se presentan areniscas, lutitas, calizas y; sobreyacidas por delgados espesores de depósitos aluviales y coluviales, así como de piedemonte hacia los flancos de las sierras que delimitan el acuífero.

El acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, por una delgada capa de sólo unos metros de espesor de sedimentos aluviales y coluviales producto de la erosión de las partes altas de las sierras, que han sido transportados por abanicos aluviales, por escurrimientos superficiales y por el viento para ser depositados en los cauces de los arroyos y las planicies, así como conglomerados. La parte inferior está constituida por lutitas alteradas y fracturadas, que junto con la unidad superior forman un acuífero de baja permeabilidad y de reducida capacidad de almacenamiento, que actualmente se explota para cubrir las necesidades del uso doméstico-abrevadero. La mayor parte del subsuelo de la región está conformada por las lutitas calcáreas de la Formación Parras, las cuales se encuentran cubiertas en ocasiones por la secuencia de lutitas y areniscas del Grupo Difunta.

Las fronteras, barreras y basamento hidrogeológico están representadas por las mismas lutitas y lutitas-areniscas de la Formación Parras y el Grupo Difunta, al desaparecer el fracturamiento y la alteración.

A mayor profundidad, las secuencias de calizas cretácicas conforman un acuífero de permeabilidad alta que es explotado en las estructuras anticlinales, con buenos caudales que se destinan al uso público-urbano y agrícola. Debido a que las secuencias carbonatadas se encuentran intercaladas con capas de lutitas y limolitas, se crean condiciones de semiconfinamientos y confinamiento.

En las figuras 3 y 4 se presentan la localización y representación de las secciones geológicas

esquemáticas, que muestran la compleja geología estructural de la región y la delgada capa de sedimentos aluviales y coluviales que se depositaron en los anticlinales.

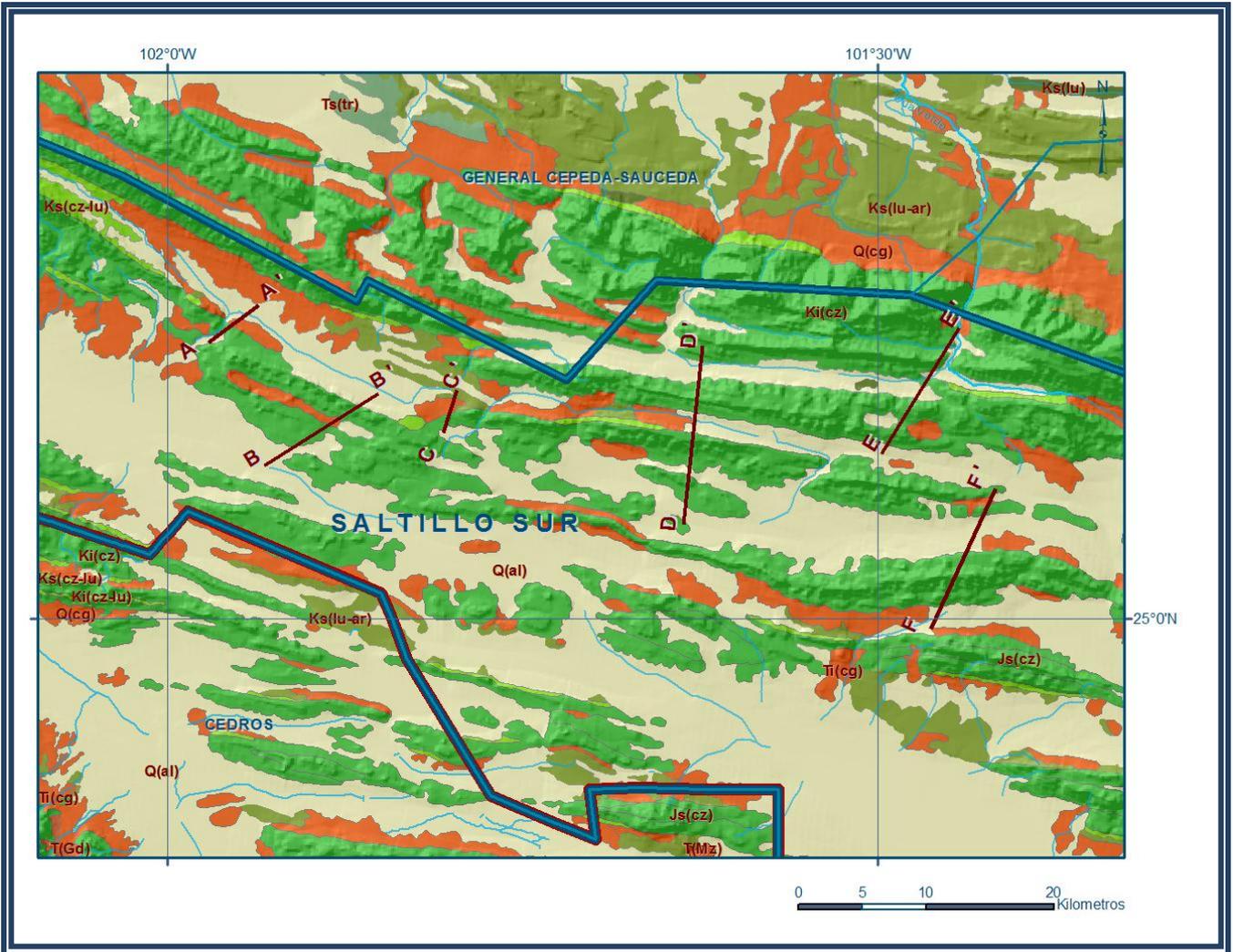
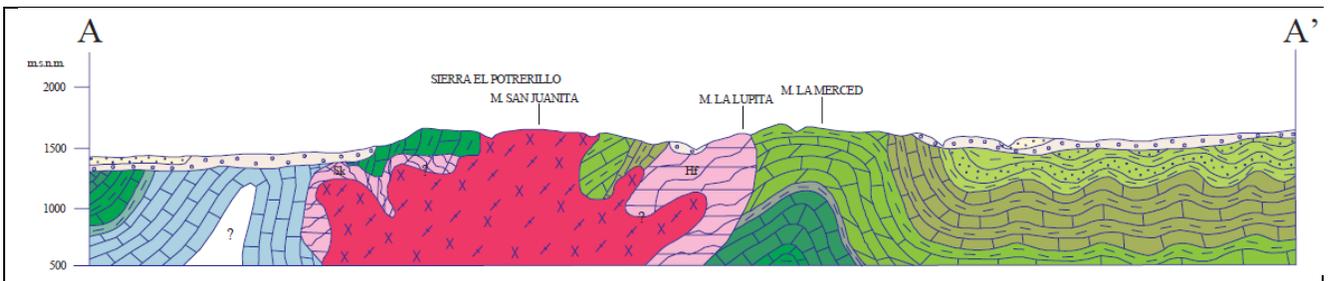


Figura 3. Localización de Secciones Geológicas



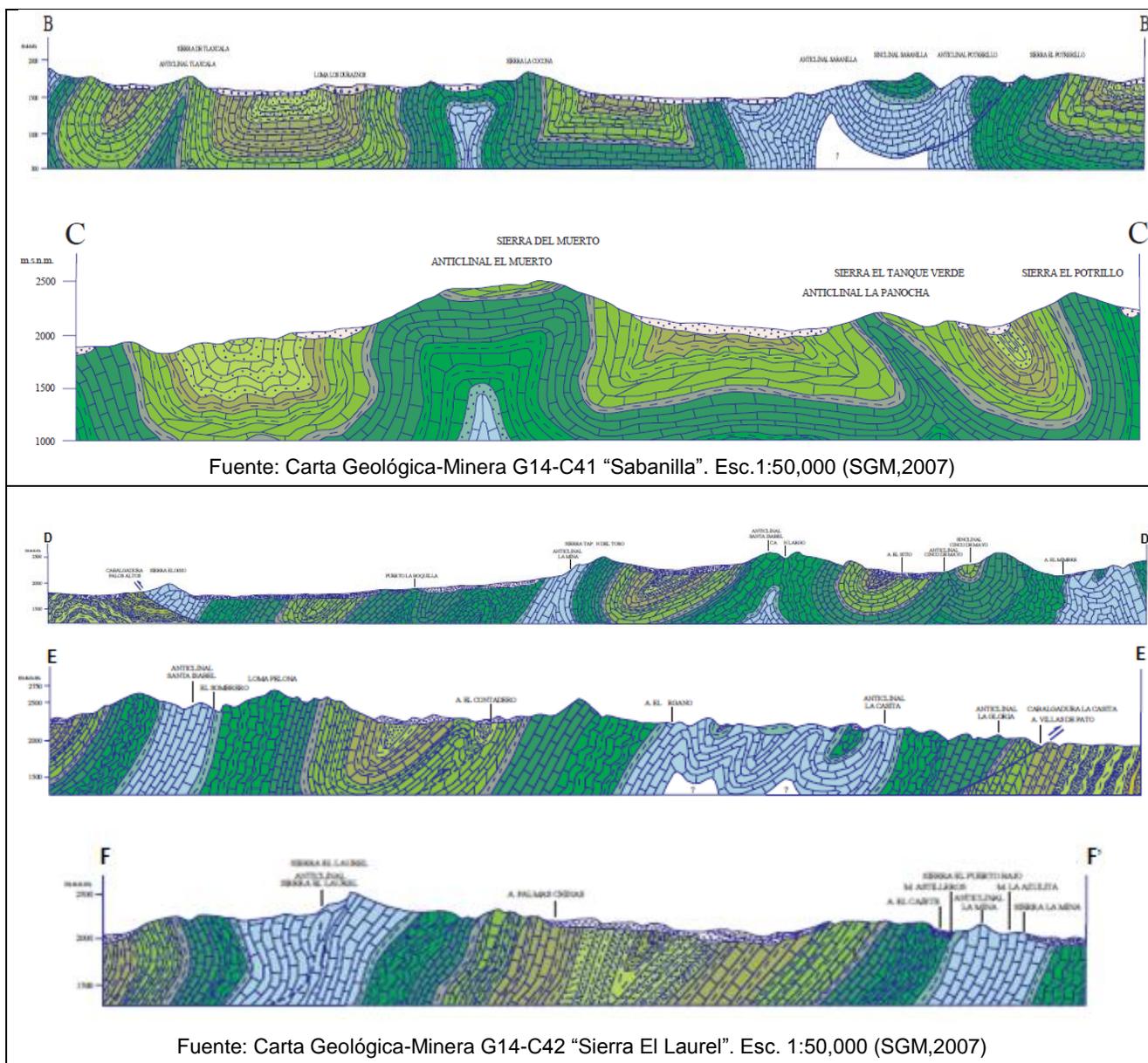


Figura 4. Secciones Geológicas Esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible identificar que las unidades litológicas descritas conforman un acuífero, en general, de tipo libre, heterogéneo y anisotrópico; constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, coluviales y conglomerados; y en su porción inferior por rocas sedimentarias fracturadas y alteradas. El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados y semi-consolidados que incluyen materiales clásticos de granulometría diversa, originados a partir del intemperismo y erosión de las diversas unidades

geológicas que afloran en las sierras que delimitan el acuífero; estos materiales presentan permeabilidad media a baja y se ubican en la proximidad del cauce de los arroyos y en las planicies. A esta unidad pertenecen los conglomerados y areniscas. Subyaciendo a estos depósitos, se presentan una secuencia de lutitas y de lutitas y areniscas, que presentan fracturamiento y alteración. Su espesor promedio conjunto alcanza varias centenas de metros dependiendo de su deformación estructural.

A mayor profundidad, existe otro acuífero **confinado** y **semiconfinado**, que está alojado en gruesos bancos de caliza cárstica de la Formación Tamaulipas Superior, que se localizan en los buzamientos anticlinales ubicados en la porción norte. Su zona de recarga se encuentra en las partes altas de la sierra, donde el agua de lluvia se infiltra y circula a través de fracturas y conductos de disolución.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se ejecutaron 9 pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación

De los resultados de su interpretación por el método de Hantush, se determina que los valores de transmisividad varían de **13.9×10^{-3} a $0.01 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , con un promedio de **$2.81 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** .

Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se pudieron obtener valores del coeficiente de almacenamiento

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se cuenta con información piezométrica para los años 1997 y 2010.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 5, se puede observar el nivel se encuentra entre 80 y 200 m en los pozos en calizas que se encuentran en el extremo noreste del acuífero, entre El Garambullo, El Astillero y Carneros. Hacia la planicie comprendida entre Presa de Los Muchachos y La Ventura, el nivel se encuentra a menos de 40 metros en el centro del valle y a entre 40 y 80 metros al pie de las sierras, aumentando gradualmente por efecto de la topografía.

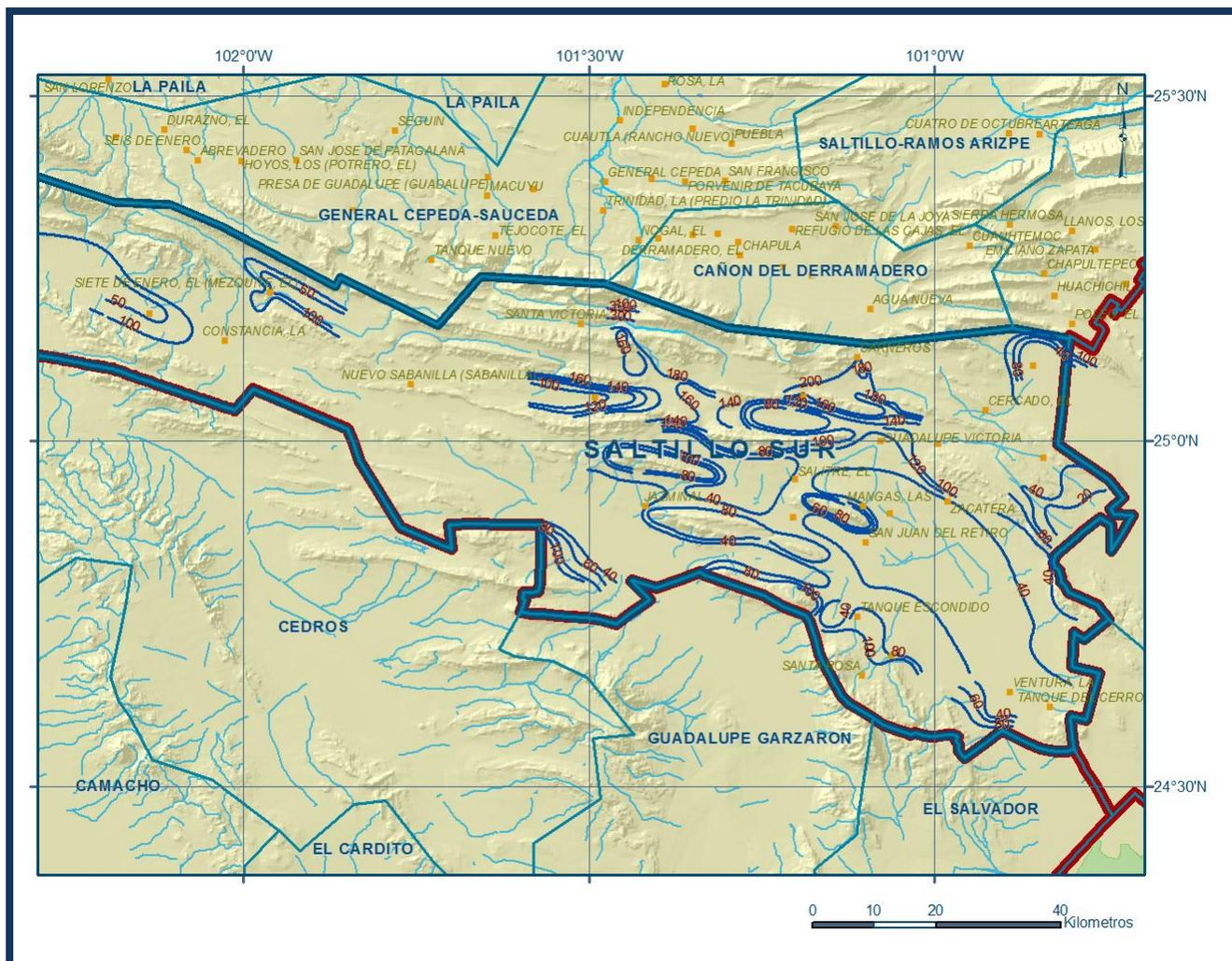


Figura 5. Profundidad al nivel estático en m (2010)

5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 6, se observa que los valores varían entre 2250 y 1600 msnm, mostrando en general el reflejo de la topografía, al igual que los valores de profundidad, los valores más altos se ubican hacia las estribaciones de las sierras que delimitan los valles anticlinales.

Elevaciones de 1850 a 1900 msnm se registran en las inmediaciones del poblado El Salitre y de 1800 a 1825 msnm alrededor de Guadalupe Victoria. En el poblado Presa de Los Muchachos las elevaciones varían entre 1700 y 1750 msnm. De manera general, se observa una dirección preferencial del flujo subterráneo de las sierras hacia los valles.

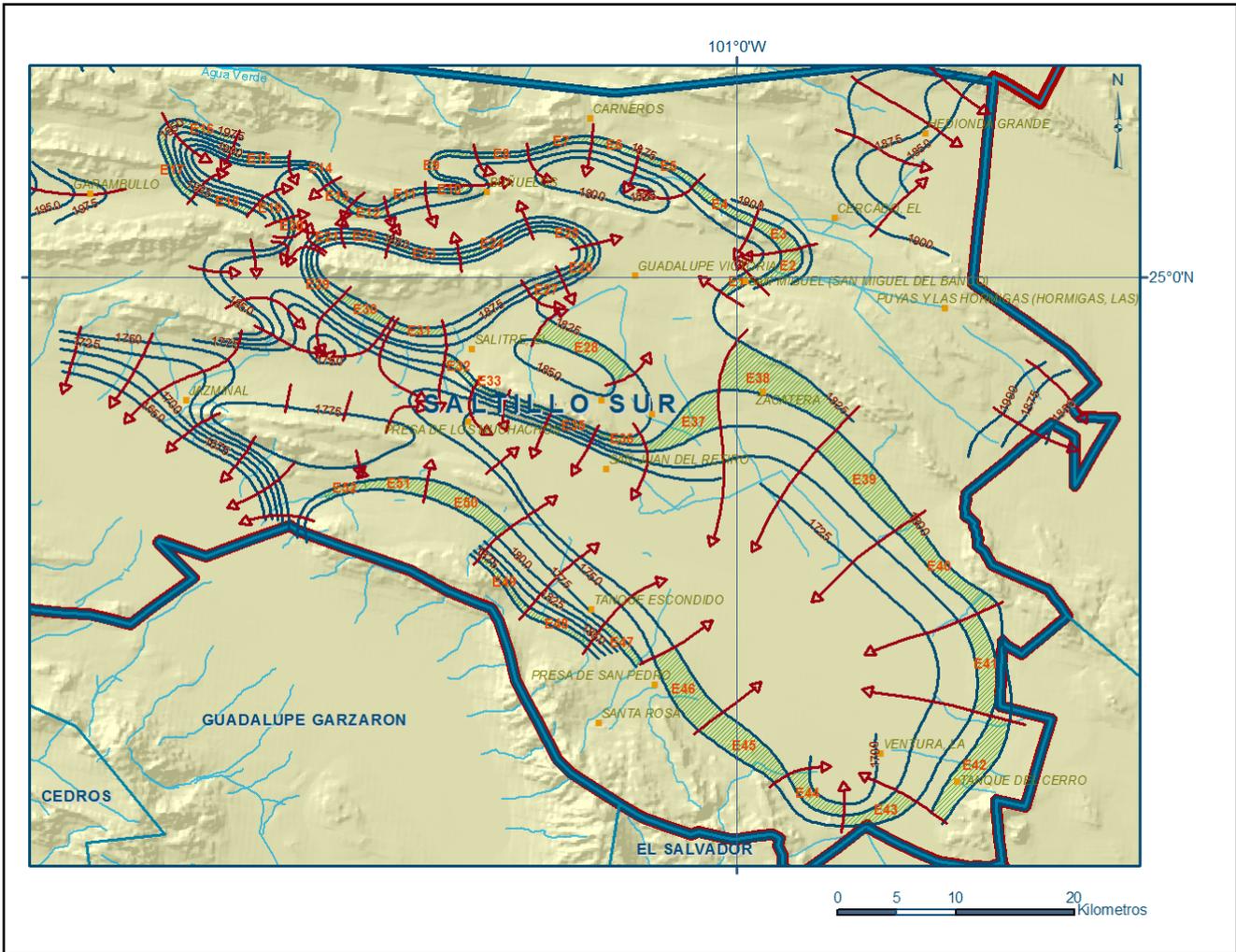


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, con la información piezométrica para los años 1997 y 2010 se elaboró el plano de evolución que se muestra en la figura 7. Del análisis de la configuración se desprende que, de manera general, los niveles del agua subterránea no han sufrido variaciones significativas en su posición, salvo en la porción norte del acuífero donde se localizan los pozos perforados en calizas que se destinan al abastecimiento de agua potable para la ciudad de Saltillo

Valores de abatimiento entre 30 a 60m se registran en el área de Carneros, en tanto que entre El Astillero y Gómez Farías varían entre 5 y 10 m. En la planicie ubicada entre La Presa de los Muchachos y La Ventura, las evoluciones varían de 0 a -3 m.

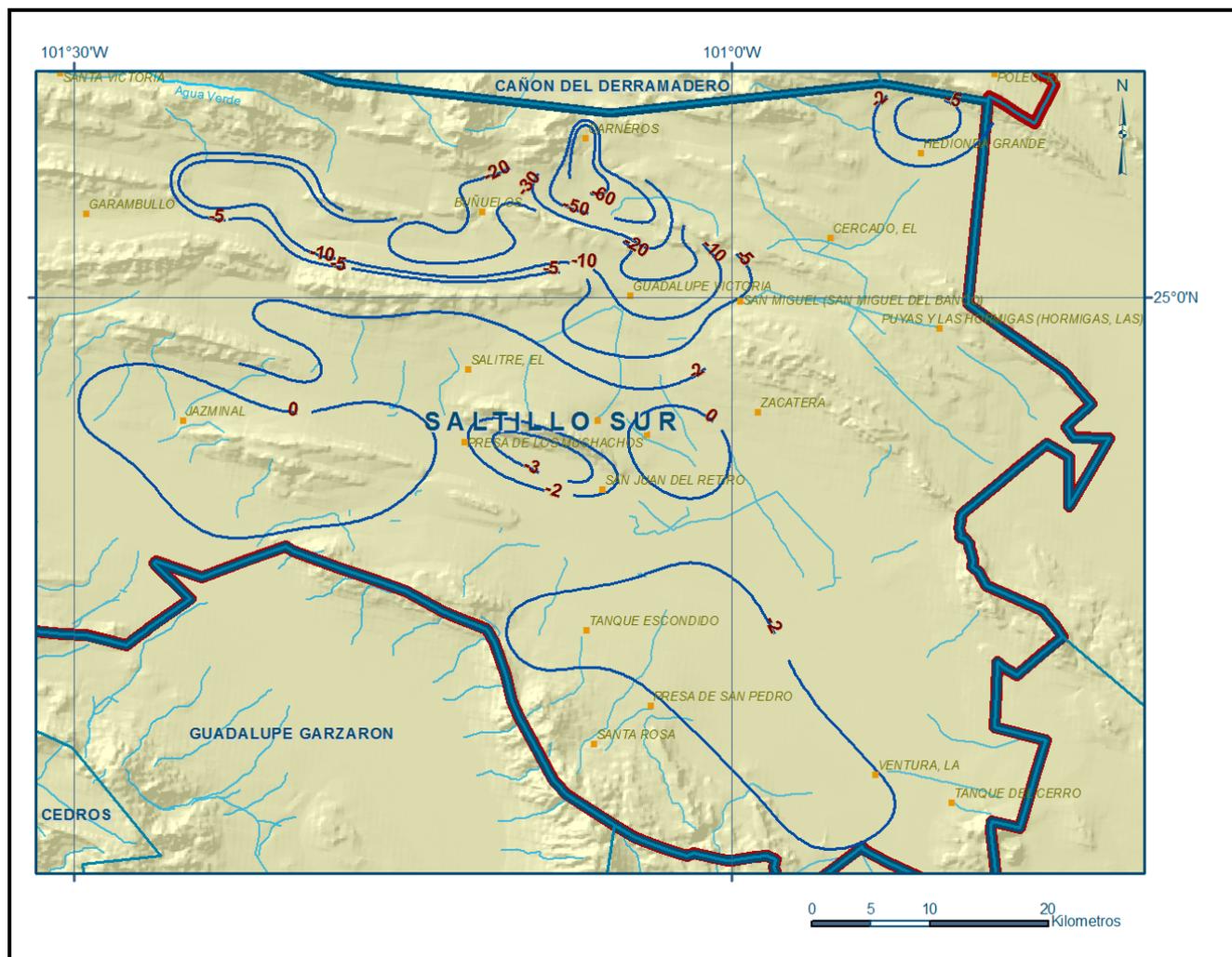


Figura 7. Evolución del nivel estático en m (1997 - 2010)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, se tomaron 8 muestras en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para su análisis correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros de pH, temperatura y conductividad eléctrica, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sólidos totales disueltos, alcalinidad, dureza de calcio, dureza de magnesio y dureza total, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, para los diferentes usos, salvo en el caso de los sólidos totales disueltos (STD) en los que 3 muestras presentan valores que varían de 1660 a 4852 mg/l. En las muestras restantes la concentración se encuentra por debajo de 1000 mg/l.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), 2 muestras se clasifican como C_2-S_1 , que representa contenido medio de sales y baja proporción de sodio intercambiable, por lo que se puede utilizar para riego sin ninguna restricción. La muestra del pozo SS-47 se clasifica como C_4-S_1 que no es apropiada para riego por su alta salinidad. Las 5 muestras restantes se clasifican como C_3-S_1 , (alto contenido de sales y baja proporción de sodio intercambiable) que es recomendable su uso en cultivos tolerantes a las sales.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2010, se registraron un total de 190 aprovechamientos, de los cuales 173 son pozos y 17 norias. Del total de obras, 130 se encuentran activos y 60 inactivos. De los aprovechamientos activos 59 son para público-urbano, 28 para uso agrícola y 43 para uso agropecuario.

El volumen de extracción se ha estimado en **14.6 hm³/año**, de los cuales el 9.2 hm³ (63.0%) se destinan al suministro de agua potable para la ciudad de Saltillo y las comunidades de la región, 4.9 más (33.6%) para uso agrícola y 0.5 hm³ (3.4%) para uso doméstico-abrevadero.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 1997-2010, en una superficie aproximada de **1,665 km²** de la zona en la que están dispersos los aprovechamientos y en la que se cuenta con información piezométrica. Para efectos prácticos, se dividió el área de balance en dos zonas: Astillero-Carneros Carneros (430 km²) y Presa de Los Muchachos-La Ventura (1,235 km²).

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:

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

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

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en los sedimentos de las formaciones y a lo largo de los escurrimientos (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes y el riego agrícola es incipiente, se considera que para fines del balance no existe recarga inducida.

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña. Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$), así como las entradas y en valor nulo de las salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$R_v + E_h - B = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

R_v = Recarga vertical;

E_h = Entradas subterráneas por flujo horizontal;

B = Bombeo;

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento;

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

La recarga del acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre las zonas topográficamente más altas del área de estudio y por la infiltración de los escurrimientos superficiales. El agua se infiltra por las fracturas de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2010, mostrada en la figura 6. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

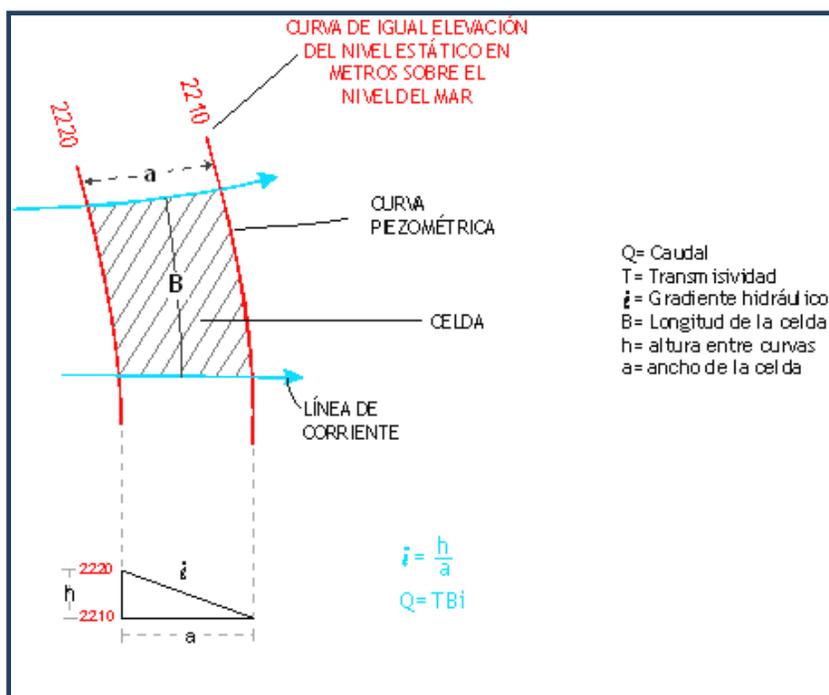
Donde:

Q= Caudal;

B= Largo del canal de flujo (m);

i= Gradiente hidráulico ($i = h_2-h_1/a$); h y a son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo;

T= Transmisividad en el canal de flujo (m^2/s);



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En las tablas 2 y 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **11.7 hm³/año**, 7.2 en la zona Astillero-Carneros y 4.5 en Presa de Los Muchachos-La Ventura.

Tabla 2. Calculo de entradas por flujo subterráneo (2010). Astillero – Carneros

CELDAS	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente (i)	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E-1	789	2511	25	0.0317	0.00005	0.003978	0.1
E-2	1243	4264	25	0.0201	0.00005	0.004288	0.1
E-3	1131	3729	25	0.0221	0.00005	0.004121	0.1
E-4	768	5549	25	0.0326	0.00006	0.010838	0.3
E-5	565	5035	25	0.0442	0.00006	0.013367	0.4
E-6	637	3808	25	0.0392	0.00006	0.008967	0.3
E-7	439	5028	25	0.0569	0.00006	0.017180	0.5
E-8	375	3949	25	0.0667	0.00005	0.013163	0.4
E-9	459	7414	25	0.0545	0.00004	0.016153	0.5
E-10	375	3408	25	0.0667	0.00004	0.009088	0.3
E-11	540	3297	25	0.0463	0.00004	0.006106	0.2
E-12	634	3082	25	0.0394	0.00005	0.006076	0.2
E-13	592	2490	25	0.0422	0.00005	0.005258	0.2
E-14	364	3990	25	0.0687	0.00003	0.008221	0.3
E-15	410	4531	25	0.0610	0.00003	0.008288	0.3
E-16	570	5457	25	0.0439	0.00004	0.009574	0.3
E-17	490	6919	25	0.0510	0.00003	0.010590	0.3
E-18	493	4431	25	0.0507	0.00004	0.008988	0.3
E-19	460	2262	25	0.0543	0.00004	0.004917	0.2
E-20	411	1700	25	0.0608	0.00004	0.004136	0.1
E-21	463	2254	25	0.0540	0.00004	0.004868	0.2
E-22	371	3699	25	0.0674	0.00003	0.007478	0.2
E-23	433	5590	25	0.0577	0.00003	0.009682	0.3
E-24	385	5848	25	0.0649	0.00003	0.011392	0.4
E-25	453	4405	25	0.0552	0.00003	0.007293	0.2
E-26	510	3988	25	0.0490	0.00003	0.005865	0.2
E-27	545	2579	25	0.0459	0.00003	0.003549	0.1
E-28	1640	8010	25	0.0152	0.00005	0.006105	0.2
Total entradas							7.2

Tabla 3. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2010). Presa de Los Muchachos - La Ventura

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente (i)	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E-29	478	5394	25	0.0523	0.000020	0.005642	0.2
E-30	927	4256	25	0.0270	0.00003	0.003443	0.1
E-31	672	4023	25	0.0372	0.00003	0.004490	0.1
E-32	697	3237	25	0.0359	0.00003	0.003483	0.1
E-33	481	2641	25	0.0520	0.00005	0.006863	0.2
E-34	398	3652	25	0.0628	0.00005	0.011470	0.4
E-35	431	3753	25	0.0580	0.00005	0.010885	0.3
E-36	607	3700	25	0.0412	0.00005	0.007619	0.2
E-37	2196	6559	25	0.0114	0.00004	0.002987	0.1
E-38	2596	10539	25	0.0096	0.00004	0.004060	0.1
E-39	2255	9302	25	0.0111	0.00004	0.004125	0.1
E-40	1274	9644	25	0.0196	0.00002	0.003785	0.1
E-41	1586	8406	25	0.0158	0.00003	0.003975	0.1
E-42	2033	9678	25	0.0123	0.00003	0.003570	0.1
E-43	1385	5575	25	0.0181	0.00005	0.005032	0.2
E-44	1131	5310	25	0.0221	0.00005	0.005869	0.2
E-45	2216	7237	25	0.0113	0.00005	0.004082	0.1
E-46	2340	6932	25	0.0107	0.00004	0.002962	0.1
E-47	715	4269	25	0.0350	0.00003	0.004478	0.1
E-48	567	5602	25	0.0441	0.00003	0.007410	0.2
E-49	592	5829	25	0.0422	0.00003	0.007385	0.2
E-50	1634	7198	25	0.0153	0.00003	0.003304	0.1
E-51	1054	4706	25	0.0237	0.00003	0.003349	0.1
E-52	703	3022	25	0.0356	0.00003	0.003224	0.1
E-53	564	3469	25	0.0443	0.00004	0.006151	0.2
E-54	1010	3371	25	0.0248	0.00004	0.003338	0.1
E-55	1126	4036	25	0.0222	0.00004	0.003584	0.1
E-56	481	2619	25	0.0520	0.00004	0.005445	0.2
Total entradas							4.5

Los valores de T utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas.

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B); no existen salidas por flujo subterráneo, descargas por evapotranspiración, flujo base, ni manantiales.

7.2.1. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Para este caso particular, se considera que no existen salidas subterráneas.

7.2.2. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es de **14.6 hm³ anuales**.

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

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2007-2010 mostrada en la figura 7. Con base en ella y tomando un valor del coeficiente de almacenamiento de 0.01 en la porción del acuífero que funciona como libre (Presa Los Muchachos-La Ventura) y de 0.0004 para la zona que tiene un comportamiento confinado (Astillero-Carneros), se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

S= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

A= Área entre curvas de igual evolución del nivel estático (km²);

h= Valor medio de la variación piezométrica en el período (m);

Salvo la parte norte del acuífero, donde se localizan los pozos para abastecimiento de agua potable a la ciudad de Saltillo, donde se registra un abatimiento promedio anual de 1.2 m, en el resto de la superficie del acuífero no se han registrado variaciones importantes en la posición de los niveles del agua subterránea, debido principalmente a la baja capacidad de almacenamiento y permeabilidad del acuífero.

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 4, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento es de **- 1.5 hm³/año**.

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento (1997-2010)

ZONA ASTILLEROS-CARNEROS			
AREA EN (km2)	Abatimiento (m)	S	VOLUMEN (hm ³)
6.6	-60	0.0004	-0.2
50.0	-55	0.0004	-1.1
70.0	-40	0.0004	-1.1
120.0	-25	0.0004	-1.2
142.3	-15	0.0004	-0.9
75.2	-7.5	0.0004	-0.2
9.3	3.5	0.0004	0.0
73.2	3.5	0.0004	0.1
546.6			-4.5
ZONA PRESA DE LOS MUCHACHOS-LA VENTURA			
AREA EN (km2)	Abatimiento EN m	S	VOLUMEN (hm ³)
725.9	-1	0.01	-7.3
283.0	-2	0.01	-5.7
47.8	-2.5	0.01	-1.2
18.8	-3	0.01	-0.6
1,075.4			-14.7
		TOTAL	-19.2
		Prom anual	-1.5

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

$$R_v = 14.6 - 1.5 - 11.7$$

$$R_v = 1.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto el valor de la recarga total (Rt) es igual a la suma de las entradas.

$$R_t = R_v + E_h$$

$$R_t = 1.4 + 11.7$$

$$R_t = 13.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

Donde:

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

Rt= Recarga total media anual;

DNCOM= Descarga natural comprometida;

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

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, el valor estimado de la recarga total media anual que recibe el acuífero es de **13.1 hm³/año**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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 el caso del acuífero Saltillo Sur, no se existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto el valor de **DNCOM = 0**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

De acuerdo con la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010** es de **9'476,218 m³ anuales**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios,

adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

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

$$DAS = 13.1 - 0.0 - 9.476218$$

$$\mathbf{DAS = 3.623782 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible de **3'623,782 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones, sin embargo es necesario considerar que el volumen de extracción real es de 14.6 hm³ anuales, valor que es superior al volumen registrado en el REPDA.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2010. Actualización Geohidrológica del Acuífero Saltillo Sur, Coahuila. Realizado mediante convenio con el Instituto del Agua del estado de Nuevo León.

Servicio Geológico Mexicano, 2007. Cartas Geológico-Mineras G14-C41 "Sabanilla" y G14-C42 "Sierra El Laurel", escala 1:50,000.