

# SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO CAÑÓN DEL DERRAMADERO (0502), ESTADO DE COAHUILA

# Contenido

1. G	ENERALIDADES	2
Antec	cedentes	2
1.1 L	ocalización	2
1.2	Situación Administrativa del acuífero	4
2. E	STUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
	ISIOGRAFÍA	
	Provincia Fisiográfica	
	Clima	
	Hidrografía	
3.4	Geomorfología	
	EOLOGÍA	
	Estratigrafía	
	eología estructural	
4.3	Geología del subsuelo	
	IDROGEOLOGÍA	
	ipo de acuífero	
	Parámetros hidráulicos	
	Piezometría	
5.4	Comportamiento hidráulico	
	.1 Profundidad al nivel estático	
	.2 Elevación del nivel estático	
	.3 Evolución del nivel estático	
	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	
	ENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍAALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	
	Entradas	
7.1 E 7.1.		
7.1. 7.1.		
7.1.	, , ,	
7.1.	Salidas	
	.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	
7.2		
	.4 Descarga a través de manantiales (Dm)	
7.3	Cambio de almacenamiento	
	ALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	
	Recarga total media anual (R)	
8.2	Descarga natural comprometida (DNC)	
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	
8.4	Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	
	IBLIOGRAFÍA	

### 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 Cañón del Derramadero, definido con la clave 0502 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Coahuila, entre los paralelos 25° 08' y 25° 21' de latitud norte y los meridianos 100° 53' y 101° 29' de longitud oeste abarca una superficie de 945 km². Limita al norte con el acuífero Saltillo-Ramos Arizpe, al este con Región Manzanera-Zapalinamé, al sur con Saltillo Sur y al norte y oeste con el acuífero General Cepeda-Sauceda pertenecientes al estado de Coahuila (figura 1).

Geopolíticamente, casi la totalidad del territorio que cubre el acuífero se ubica en el municipio de Saltillo, porciones pequeñas de sus extremos oriental y occidental pertenecen a los municipios de Arteaga y General Cepeda, respectivamente.

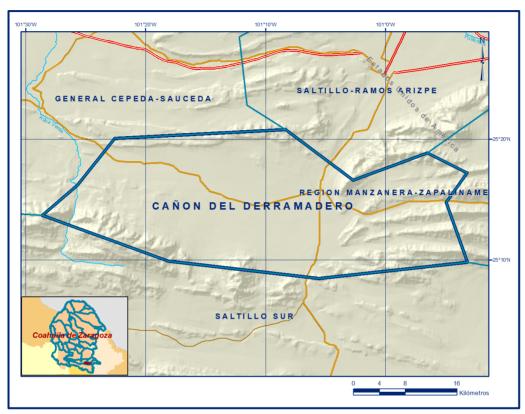


Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

ACUÍFERO 0502 CAÑON DEL DERRAMADERO							
VERTICE	LON	IGITUD OES	TE	LATITUD NORTE			
VERTICE	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDO	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDO	
1	101	8	20.2	25	20	47.9	
2	101	2	417	25	16	37.1	
3	100	56	29.9	25	18	518	
4	100	53	12.6	25	17	13.8	
5	100	54	57.4	25	14	45.9	
6	100	53	10.0	25	9	48.5	
7	101	5	33.6	25	8	27.5	
8	101	18	6.5	25	9	53.0	
9	101	28	36.8	25	13	416	
10	101	25	42.2	25	16	10.7	
11	101	22	33.7	25	20	4.2	
1	101	8	20.2	25	20	47.9	

### 1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Cañón del Derramadero pertenece al Organismo de Cuenca VI "Rio Bravo", al Consejo de Cuenca Río Bravo, instalado el 21 de enero de 1999, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila.

Su territorio se encuentra parcialmente vedado y sujeto a las disposiciones de 2 decretos de veda. El primero es el "Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos de la ciudad de Saltillo, Coah., en la zona que el mismo delimita", publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de febrero de 1952 y rige en la mitad oriental del acuífero. El segundo rige en la porción occidental y es el "Decreto por el que se 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", publicado DOF el 25 de abril de 1979. Ambas vedas son tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

La porción no vedada del acuífero Cañón del Derramadero, clave 0502, que comprende el extremo occidental de su territorio, se encuentra sujeta a las disposiciones del "ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 12 acuíferos que se indican", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento, la extracción de las aguas nacionales del subsuelo o incrementar el volumen de extracción autorizado o registrado previamente por la autoridad hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las mismas.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

El uso principal del agua subterránea es el público-urbano para el abastecimiento de la ciudad de Saltillo.

Su territorio pertenece al Consejo de Cuenca Río Bravo, instalado el 21 de enero de 1999. En él no existe Distrito o Unidad de riego alguna. Los usuarios se encuentran organizados a través del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Acuífero Cañón del Derramadero, instalado el 30 de mayo de 2002.

# 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos. Entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA DERRAMADERO, ESTADO DE COAHUILA. Realizado en 1983-1984 por Bufete Geológico y Construcciones, S.A. de C.V., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Sus objetivos fueron determinar la recarga del acuífero, definir las condiciones de explotación en que se encontraba y el volumen de agua aprovechable sin inducir efectos perjudiciales. Entre sus actividades más importantes destacan el censo de aprovechamientos, hidrometría de las extracciones, ejecución de pruebas de bombeo y muestreo de aguas subterráneas para análisis fisicoquímicos. Calcula una extracción mediante de pozos de 12.7 hm³ anuales y una descarga a través de manantiales de 3.9 hm³ anuales.

Describe a los aluviones como materiales permeables que funcionan como zona de recarga; a las areniscas del Grupo Difunta con cierta permeabilidad a través de fracturas; a las lutitas de la Formación Parras con permeabilidad por fracturamiento; a las calizas de las formaciones Indidura y Cuesta del Cura con una permeabilidad media; a las calizas de las formaciones Cupido y Aurora como de buena permeabilidad; a las calizas de la Formación Taraises como probablemente permeables y; a las lutitas y calizas de las formaciones la Caja y Zuloaga como impermeables.

Concluye que alrededor del poblado Derramadero existe una clara sobreexplotación local y recomienda para las áreas de Derramadero, Agua Nueva, norte de San Juan de la Vaquería y La Encantada disminuir la extracción, que para el año 1983 ya afectaba al acuífero.

ESTUDIO DE REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO DE LOS ACUÍFEROS DE LOS VALLES DE MONCLOVA, SALTILLO-RAMOS ARIZPE, ALLENDE-PIEDRAS

NEGRAS, CUATROCIÉNEGAS-OCAMPO, LA PAILA Y DERRAMADERO, COAH. Realizado en 1998 por Estudios y Proyectos de Agua y Tierra Rubriselva, S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua. El objetivo de este trabajo fue establecer una red de monitoreo piezométrico en acuíferos del estado de Coahuila, Cañón del Derramadero entre ellos. Toma en cuenta los aspectos geológicos y geohidrológicos del estudio elaborado en 1983 y realiza recorridos de campo para la localización de pozos piloto mediante los cuales se integró la red piezométrica, la cual quedó compuesta por 31 vértices o puntos de medición del nivel estático, con base en los cuales se elaboraron configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático.

Concluye que existe un acuífero confinado formado por depósitos aluviales y lutitas de la Formación Parras, mientras que hacia la periferia del valle el acuífero es semiconfinado; el acuífero recibe recarga subterránea en prácticamente toda la periferia con excepción de la zona noroccidental, hacia donde se presenta una salida de agua subterránea. Sólo en la localidad de Derramadero se presenta sobreexplotación.

ESTUDIO DE ISÓTOPOS PARA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CIUDAD DE SALTILLO. Elaborado en el año de 1994, por MALCOLM PIRNIE, INC, para el Fideicomiso FIDAGUA de la Ciudad de Saltillo, Coah. Este trabajo tuvo como objetivo identificar las áreas de recarga de los acuíferos y evaluar la conexión hidráulica entre los acuíferos regionales que son explotados para el abastecimiento de agua a la Ciudad de Saltillo.

Indica que la profundidad al nivel estático en los acuíferos alojados en calizas varía de 100 hasta 250 m y que el caudal promedio de los pozos perforados es estas rocas es de 75 a 80 lps. Recolecta muestras de agua en 52 aprovechamientos, 44 pozos y 8 manantiales, a las cuales les efectuaron determinaciones de cationes, aniones, oxígeno 18, deuterio y tritio. Concluye que los análisis de tritio indican que la edad del agua subterránea alojada en las calizas es por lo menos de 43 años, lo cual indica que la recarga en las calizas es pequeña, que los datos isotópicos de deuterio y oxígeno 18 señalan que el agua subterránea proviene exclusivamente de la precipitación y que la extracción es mayor a la recarga que reciben los acuíferos.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO CAÑON DEL DERRAMADERO, COAH. Realizado en 2004, por Lesser y Asociados, S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua.

Este trabajo tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas que imperan en el acuífero con el objeto de establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua y contar con la información geohidrológica necesaria para determinar la recarga media anual del agua subterránea. Entre sus actividades más importantes destacan el censo de aprovechamientos, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, afinar el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero y elaborar el balance hidrometeorológico de la subcuenca y de aguas subterráneas del acuífero. Concluye que la recarga que recibe el acuífero es de 18 hm³ anuales, tanto en el valle como en las sierras calizas y que la extracción asciende a 18.3 hm³ anuales.

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO CAÑÓN DEL DERRAMADERO, ESTADO DE COAHUILA. Elaborado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua en 2004. Presenta las características geohidrológicas generales del acuífero y plantea un balance de agua subterránea mediante el cual obtiene una recarga total de 18.0 hm³/año, de los cuales 9.0 hm³ son en el valle y 9.0 hm³ en las calizas que constituyen las sierras que delimitan el acuífero. Con una descarga natural comprometida de 1.1 hm³ anuales, que corresponde a las salidas subterráneas hacia el acuífero vecino General Cepeda-Sauceda, y el volumen concesionado inscrito en el REPDA al 31 de diciembre de 2004 de 17.3 hm³/año, se obtiene un déficit de 0.4 hm³/año. La actualización de la DAS con el volumen del REPDA a la fecha de corte del 30 de junio de 2014, de 27.425742 hm³ anuales, dan como resultado un déficit de 10.525742 hm³ anuales.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO CAÑÓN DEL DERRAMADERO (0502), EN EL ESTADO DE COAHUILA. Realizado en 2014, por SANX, INGENIERÍA INTEGRAL Y DESARROLLO S.A de C.V. para la Comisión Nacional del Agua. El estudio tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, recabar información para calcular su recarga media anual y determinar su disponibilidad. 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, reinterpretación de sondeos eléctricos verticales y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Este trabajo constituye la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan 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 su totalidad en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, representada por 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 a sus centro. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados.

Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la zona que corresponde al área del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, la mayor parte del acuífero se localiza en la Subprovincia Pliegues Saltillo-Parras, su extremo oriental se ubica en la Subprovincia Gran Sierra Plegada y una pequeña porción de la región suroccidental pertenece a Subprovincia Sierras Transversales.

La Subprovincia Pliegues Saltillo-Parras presenta un conjunto de sistemas de topoformas que varían desde las llanuras, valles extendidos, lomeríos suaves, abruptos y pequeñas sierras que están orientadas en dirección Este-Oeste. Por estar enclavada en una zona árida, su paisaje es típico del desierto, aunque es fácil observar en las cumbres topográficas bosques de pinos y encinos.

Dentro de ella se asienta la Ciudad de Saltillo y las localidades importantes de esta región del estado de Coahuila. Se trata de un conjunto de valles orientados de este a oeste y limitados al norte y al sur por flancos residuales de anticlinales erosionados, incluye además la Sierra de Parras con elevaciones que sobrepasan los 3,000 msnm, que es una sucesión de flancos truncados de un gran anticlinal plegado hacia el sur.

La Subprovincia Gran Sierra Plegada es la región flexionada que se ubica al este de Saltillo y sur de Monterrey, conocida también como Anticlinorio de Arteaga, que es la sucesión estructural de pliegues, que juntos integran un anticlinal general. La porción occidental de este anticlinorio es lo que de esta Subprovincia corresponde a Coahuila.

Su extensión abarca varios estados de territorio nacional, forma un gran arco de orientación general Este-Oeste, transversal respecto de toda la sierra en a que se presentan las mayores elevaciones topográficas que alcanzan hasta 3,700 msnm, alternándose con valles profundos y estrechos, limitados por laderas con pendientes muy abruptas.

Por último, la Subprovincia Sierras Transversales está conformada de sierras orientadas en forma paralela a los cuerpos centrales de la Sierra Madre Oriental, separadas unas de otras por llanuras más o menos amplias. La porción norte de la subprovincia es la que se ubica en el Estado de Coahuila.

### 3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, adaptada por Enriqueta García a las condiciones de México, en el territorio que cubre el acuífero predomina el clima árido (B), con algunas variantes. En el valle principal, en la región noroccidental y en el extremo occidental el clima es BSokw, árido templado. En las porciones más altas ubicadas al sur y oeste, el clima es semiárido templado en sus variantes BS1kw y BS1k(x'); en menor proporción, se presenta el clima BSokw, árido templado en el extremo norte del acuífero. En los climas árido semicálido y muy árido semicálido se registra una temperatura media entre 18 y 22 °C, temperatura del mes más frío menos de 18 °C y del mes más cálido mayor a 22 °C, con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% del total.

Los climas semiáridos templados presentan dos variables: BS1k(x') y BS1kw, en los que la temperatura media anual varía entre 12 y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, y la del mes más cálido mayor a 18 °C, régimen de lluvias en verano. La única diferencia entre ellos es el porcentaje de lluvias invernales: en el primero es mayor de 18% y en el segundo varía de 5 a 10.2% del total. Por último, el clima BSokw, árido templado, registra una temperatura media anual que varía entre 12 y 18 °C, con temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, también con régimen de lluvias durante el verano y porcentaje de lluvias invernales entre 5 y 10.2% del total.

Las temperaturas medias anuales varían de 10 a 22 °C, con predominio de 18 a 20 °C en la mayor parte de la superficie, con valores extremos de 38 y -8 °C para la máxima

y mínima, respectivamente. La precipitación media anual varía de 800 mm que se registran en las sierras de mayor elevación, a 200 mm en las regiones bajas de los valles. Por otra parte, la evapotranspiración real media anual varía de 200 a 400 mm.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 5 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: San Juan de Vaquería, Carneros, Huachichil, Saltillo y General Cepeda, con un periodo de registro de 1991 a 2003. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen se determinaron valores promedios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial media anual de **370 mm, 18.5°C y 1995 mm**, respectivamente.

# 3.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en su totalidad en la Región Hidrológica (RH) 24 denominada Río Bravo-Conchos; la porción sur y suroriental se ubican en la Región Hidrológica 37 El Salado, Subregión Hidrológica Río San Juan, Cuenca Río Bravo-San Juan, subcuencas de los Ríos San Miguel (RH 24) y San Rafael (RH 37).

Los escurrimientos superficiales están representados por una serie de arroyos intermitentes, con descargas torrenciales en época de lluvias, que se originan en las sierras que circundan al valle principal; describen una trayectoria general que inicia en la región sur hacia la noroeste, con una red de drenaje de tipo dendrítico, entre los principales arroyos destacan los conocidos con los nombres El Ciprés, El Capulín, La Laja, El Mimbre, San Juan de la Vaquería y La Noria.

En la superficie cubierta por el acuífero existen algunos pequeños cuerpos de agua, entre los que destacan los conocidos con los nombres de Los Tanques, El Carmen y La Atravesase; Además de una gran cantidad de bordos, como El capulín, El Viejo, De abajo, De en medio, De arriba, Los Caballos, El Durazno, La Trinidad, Santa Teresa, Agua Nueva, entre otros.

El único cuerpo de agua considerado como presa se localiza en el extremo norte, que corresponde a la Presa Nueva Imagen la cual es alimentada por las corrientes intermitentes provenientes del cerro El Carrizal, Rincón de Chole, El Coyomoxtle y Chorreadero, su cortina es de 7.4 m de altura y tiene una capacidad de almacenamiento de 0.59 hm<sup>3</sup>, destinados al riego agrícola y para abrevadero.

# 3.4 Geomorfología

Álvarez (1958), describe a esta región como una secuencia de sierras y valles semicerrados rodeados por los escarpados flancos de los anticlinales que forman a las sierras, que dan paso a una depresión (Cuenca de Parras) que se extiende desde Saltillo hasta Torreón. Las elevaciones varían de 1,100 a 3,350 msnm. La naturaleza de las rocas y estructuras existentes conforman un drenaje muy bien desarrollado, que descarga hacia el norte; no obstante, la escasez de lluvias refleja la ausencia de ríos perennes.

En la superficie cubierta por el acuífero se puede distinguir 4 unidades geomorfológicas: Sierras anticlinales, valles sinclinales, valle principal y lomeríossierras de suave relieve. Geomorfológicamente, el valle está labrado sobre la Formación Parras, que por su constitución de lutitas y su baja resistencia a la erosión, favorece un relieve suave, sobre el cual se acumularon depósitos aluviales en las regiones topográficamente más bajas. Otras formas del relieve de origen fluvial son una serie de abanicos aluviales desarrollados sobre el flanco noroccidental del Cerro El Jabalí. Las sierras anticlinales se ubican al norte y sur del acuífero y están constituidas por calizas principalmente del Cretácico; al oriental del área buzan hacia el poniente donde terminan las sierras. Los pliegues que las conforman presentan echados fuertes, en ocasiones verticales, así como plegamientos recumbentes. Estas sierras alargadas alcanzan alturas de hasta 900 m respecto del valle, con grandes pendientes que en ocasiones forman acantilados espectaculares.

Los valles sinclinales, llamados también valles estructurales por el Ing. Manuel Álvarez Jr., son angostos y alargados, que se presentan entre los plegamientos de la Sierra Madre Oriental, principalmente en las porciones oriental y sur del acuífero. El valle principal en el que se encuentra alojado el acuífero es una extensa planicie limitada por sierras de sedimentos marinos plegados, presenta una ligera pendiente de sur a norte y posteriormente del centro del valle hacia el poniente; se encuentra a una altitud media de 1,850 msnm. Los lomeríos y sierras de suave relieve se presentan principalmente en la región norte, tienen formas redondeadas de pendiente ligera, constituidas por areniscas y lutitas poco resistentes a la erosión; presentan alturas que varían de 50 a 200 m, en ocasiones con escarpes de poca altura, denominados "Espinazos" por Manuel Álvarez Jr., debido a la presencia de capas de areniscas de mayor resistencia a la erosión. Entre estas estructuras destaca la Sierra Huachichila.

# 4. GEOLOGÍA

La geología general que aflora en la zona que comprende el acuífero está constituida por un gran paquete de material aluvial y rocas sedimentarias, principalmente calcáreas, cuya distribución geográfica se muestra en la figura 2.

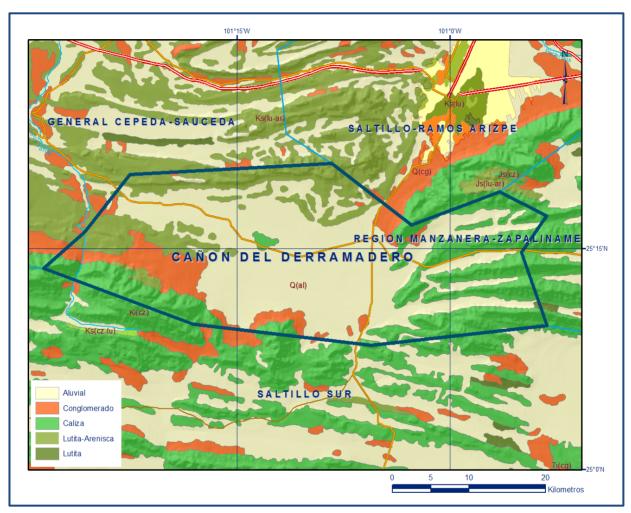


Figura 2. Geología general del acuífero

Regionalmente las rocas más antiguas están representadas por estratos de yeso y caliza que constituyen la Formación Minas Viejas cuya edad se asigna al Oxfordiano, que subyacen a las calizas de la Formación Zuloaga, la cual cambia de facies a las Formaciones La Gloria y Olvido. La Formación Olvido consiste de niveles de yeso y caliza dolomitizada, de edad Oxfordiano-Kimmeridgiano Inferior. La Formación Zuloaga está constituida por una secuencia calcárea, arcillosa en su base, de edad Oxfordiano-Kimmeridgiano, que se correlaciona por cambio de facies con la Formación La Gloria en la porción norte del sector transverso, en donde subyace concordantemente a las formaciones La Caja y La Casita.

El Cretácico está representado por los sedimentos calcáreo-arcillosos de la Formación Taraises del Berriasiano al Hauteriviano, que descansan concordantemente sobre la Formación Carbonera, la cual está expuesta ampliamente en la curvatura de Monterrey y se compone de una alternancia de lutitas arenosas interestratificadas con areniscas, cuya edad corresponde al Berriasiano.

Del Hauteriviano Tardío al Aptiano Temprano se depositaron calizas de la Formación Cupido, que aflora por toda la zona; subyace concordantemente a calizas y lutitas de la Formación La Peña del Aptiano; ésta a su vez subyace transicional y concordantemente a calizas arrecifales de la Formación Aurora, la cual es correlacionable con la Formación Cuesta del Cura del Albiano-Cenomaniano (calizas-lutitas); hacia su cima se encuentra en contacto con la Formación Indidura del Cretácico Superior y con la Formación Agua Nueva.

Durante el Cenomaniano Tardío al Turoniano se depositaron sedimentos arcillocalcáreos de la Formación Indidura (posiblemente su rango sea hasta el Santoniano), los cuales cambian gradualmente a sedimentos calcáreo-arcillosos de la Formación Agua Nueva.

En el Coniaciano-Santoniano se depositan sedimentos areno-arcillosos de la Formación Caracol que mediante un cambio lateral de facies pasa a una secuencia de lutitas y calizas de la Formación San Felipe.

La Formación Parras está constituida por lutitas y areniscas, su cambio a la Formación Caracol es transicional, esta unidad es correlacionable en la región con la Formación Méndez y su equivalente en la Cuenca de Parras, que se interpreta como un cambio de facies lateral con las cinco formaciones siliciclásticas de grano muy fino (lutita-limolita-arenisca) que conforman el Grupo Difunta, cuyas relaciones estratigráficas entre ellas con concordantes y transicionales, con edades que van del Campaniano al Maastrichtiano.

En el Cuaternario se depositaron horizontes de travertino, considerados de edad Pleistoceno. En el Holoceno el relleno es principalmente de coluvión, que en general es material mal consolidado de granulometría diversa, hasta que, finalmente, en los valles y los arroyos aparecen depósitos aluviales, constituidos por grava, arena y limo.

# 4.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica presente en la región está representada por rocas, principalmente sedimentarias, cuyas edades comprenden el registro Jurásico Superior al Reciente. A continuación, se describe cada una de ellas, de la unidad más antigua a la más reciente:

# **JURÁSICO SUPERIOR**

# Formación Minas Viejas

Nombre con el que Humphrey y Díaz (1956) se refirieron a la unidad evaporítica constituida por anhidrita, yeso y halita, con intercalaciones aisladas de lutitas, calizas y areniscas que subyacen a la Caliza Zuloaga en varios anticlinales de Coahuila y en particular en el anticlinal Minas Viejas. PEMEX en su pozo Minas Viejas No. 1 penetró cerca de 3,000 m en esta formación sin atravesar totalmente la serie de calizas, aunque la sal si se atravesó.

No hay duda de que gran parte del Golfo de Sabinas, está subyacido por la sal jurásica de Minas Viejas, desafortunadamente, las perforaciones realizadas no la han alcanzado. Su edad corresponde al Oxfordiano.

# Formación Zuloaga

Esta formación fue descrita originalmente por Burckhardt (1906) y Bose (1923) en la región norte-central de México, llamándola "calizas con nerineas". Imlay (1938) asignó el nombre de Formación Zuloaga a una secuencia de calizas dispuestas en estratos gruesos, con nódulos de pedernal negro y contenido fósil de bivalvos y gasterópodos, señalando como localidad tipo la Sierra Sombreretillo, ubicada al norte del Poblado Melchor Ocampo, Zac.

Está representada por una caliza resistente a la erosión que forma los núcleos de los anticlinales en la que se distinguen dos unidades bien definidas: la parte inferior contiene capas de caliza, cuyo color varía de gris claro a ligeramente oscuro, presenta una coloración rojiza o amarillenta al intemperismo, contiene también algunas capas de limolita calcárea débilmente consolidada. La parte superior está constituida por caliza masiva de color gris, que se caracteriza por presentar estilolitas de gran amplitud y algunos horizontes donde se presentan pequeños nódulos de pedernal de color negro. Se correlaciona con la Formación Olvido, que es un cambio lateral de facies de la primera, constituida por yeso, calizas y limolitas interestratificadas. Su espesor aproximado es del orden de 500 m.

### Formación La Casita

El término fue designado por Imlay (1936) para referirse a los sedimentos de aguas someras del Jurásico Superior limitados en la parte inferior por la Formación La Gloria del Jurásico Superior o Zuloaga y arriba por la Formación Taraises.

Su localidad tipo se localiza en el Cañón La Casita, ubicado aproximadamente a 16 km al sur del poblado General Cepeda, Coahuila y a 50 km al SE de Saltillo (Imlay, 1937), en la cual su litología consiste de 60 m de lutitas que presentan colores que varían de gris oscuro a negro, físiles e interestratificadas con delgadas capas de calizas y areniscas de color amarillento.

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. Aflora en los núcleos de los anticlinales y su espesor promedio es de 360 m.

El contacto inferior de la Formación La Casita con la Formación Zuloaga es concordante y su contacto superior con la Formación Taraises también es concordante y marcado litológicamente por el término de las lutitas de color rosado con concreciones calcáreas y el inicio de calizas de estratos medios en la Formación Taraises; se observa a distancia porque la Formación Taraises forma morros (escarpes) y La Casita no. Ambos contactos se aprecian con facilidad en las fotografías aéreas. La estratigrafía cambia al sur a la Formación La Caja. De las formaciones jurásicas La Casita es la que tiene mayores afloramientos en el área Torreón-Monterrey.

De acuerdo con su posición estratigráfica y su contenido faunístico, se le asigna una edad correspondiente al Kimmeridgiano-Tithoniano y se correlaciona con las formaciones Pimienta y Tamán de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación La Caja del norte-centro de México.

# **CRETÁCICO INFERIOR**

### Formación Taraises

Fue definida por Imlay para referirse a una sección calcárea y calcáreo-arcillosa, limitada en la parte inferior por la Formación La Caja o La Casita y en la parte superior por la Caliza Cupido, designando como localidad tipo el Cañón de Taraises, ubicado en la porción occidental de la Sierra de Parras, donde la dividió en dos miembros: El inferior conformado por capas gruesas de calizas de color gris, interestratificadas con areniscas, y el superior constituido por calizas arcillosas de color gris, nodulares y con presencia de amonitas en la parte basal. Está constituida de caliza con cantidades menores de limolita, que descansan sobre sedimentos arcillosos de la Formación La Caja.

En las partes altas de las montañas plegadas que forma, las capas de caliza son de espesor mediano a grueso, densas y de color gris claro a oscuro. La limolita que contiene se presenta intercalada en proporciones variables. La Formación Taraises es un depósito que se llevó a cabo en aguas relativamente profundas, alcanza un espesor aproximado de 150 m. Aflora en forma de franjas delgadas de poco espesor en las sierras plegadas ubicadas principalmente en la porción norte del acuífero, cuyos contactos, inferior y superior son concordantes con las formaciones La Casita y Cupido respectivamente.

Se correlaciona con las formaciones Barril Viejo, Caliza Menchaca y Padilla de las Sierra Dos Hermanas o anticlinal de Oballos; con la Arcosa San Marcos en la Sierra San Marcos, con la serie Coahuilense en el Cerro de la Silla de Monterrey y la Formación Santuario de Ixmiquilpan.

# Formación Cupido

Término definido por Imlay para una sección calcárea que descansa sobre la Formación Taraises y subyace a la Formación La Peña, cuya localidad tipo es la pared norte del Cañón del Mimbre, localizado en la porción media de la Sierra de Parras, aproximadamente a 60 km al SE de la población del mismo nombre, en el estado de Coahuila.

Representada por rocas muy resistentes y homogéneas constituidas principalmente por calizas de estratificación mediana a gruesa de coloración gris claro, que presentan concreciones de pirita, lentes y nódulos de pedernal color gris y estilolitas; en algunas localidades con intercalaciones de limolitas calcáreas y en menor proporción lutitas.

Sus mejores afloramientos se localizan en el Cañón Mimbre de la porción media de la Sierra de Parras, en Coahuila. Está conformada por calizas en estratos gruesos, intercalados con estratos delgados de calizas arcillosas. Tiene amplia distribución en las sierras de los límites oriente y poniente del acuífero, así como en algunas de la porción central. Presentan fracturamiento y desarrollo de los procesos kársticos, por lo que es una de las unidades calcáreas más importantes desde el punto de vista hidrogeológico. El contacto inferior con la Formación Taraises es nítido y concordante, el superior con la Formación La Peña es brusco y concordante.

Su edad corresponde a la parte final del Hauteriviano al Aptiano Inferior y se correlaciona con la porción superior de la Formación Tamaulipas Inferior de la Cuenca Tampico-Misantla. En la Cuenca de Chihuahua se correlaciona con la porción superior de la Formación Las Vigas, con la base de la Formación Cuchillo y en el centro de Texas con la Formación Sligo.

### Formación La Peña

El nombre fue introducido por Imlay (1936) para distinguir a un cuerpo compuesto por dos miembros: El inferior constituido por calizas y el superior por lutitas y calizas, que estratigráficamente se ubica entre la Caliza Cupido y la Caliza Aurora. Su localidad tipo se ubica en el flanco norte de la Sierra de Taraises, a 4.8 km al E-SE de la Hacienda La Peña, localizada en el extremo sur del estado de Coahuila. Se describe como un grupo de estratos calcáreo arcillosos, cuya base comienza como una secuencia de calizas de estratificación delgada de color gris claro y continúa en la parte media con calizas que presentan cantidades variables de arcilla deleznable, de color amarillento y gris, con abundante pirita en las calizas y lentes pequeños de sílice blanca.

En la cima se observa una alternancia entre caliza arcillosa, con caliza micrítica con bandas y lentes de pedernal negro y estratificación ondulada. Por su naturaleza arcillosa, es fácilmente erosionable y constituye un horizonte índice ya que su identificación resulta sencilla al formar depresiones entre las calizas más resistentes de la Formación Cupido.

Sus afloramientos en el área del acuífero representan franjas de espesor reducido, asociadas a la Formación Cupido, a la cual sobreyace concordantemente. A su vez, es cubierta concordantemente por la Formación Cuesta del Cura. Su espesor promedio es de 60 m.

Se correlaciona con el horizonte Otates de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación Cuchillo en la Cuenca de Chihuahua y con la Formación Las Uvas del área de Acatita-Las Delicias, Coahuila.

### Formación Aurora

Humphrey (1956) propuso que el término Formación Aurora fuera modificado para incluir todas las rocas carbonatadas del NE de México ubicadas estratigráficamente entre la Formación La Peña o sus equivalentes, abajo, y la Formación Cuesta del Cura y otros equivalentes del Grupo Washita o la Formación Kiamichi arriba.

Está representada por calizas de aguas profundas (mudstone y wackstone), de estratificación mediana a gruesa, en ocasiones masiva con nódulos de pedernal y en otras con delgadas capas del mismo material; aflora en gran parte de la región ubicada entre Torreón y Monterrey.

Sus contactos inferior y superior con las formaciones La Peña y Cuesta del Cura, respectivamente, son nítidos y concordantes. Por su posición estratigráfica parece corresponder al principio del Albiano al Albiano Medio.

Se correlaciona con la porción inferior de la Caliza El Abra y la porción inferior de la Formación Tamaulipas Superior, en la Cuenca Tampico-Misantla; con las formaciones Acatita y Paila del área de Delicias, Coahuila, y con la barrera arrecifal denominada Formación Viesca.

### Formación Cuesta del Cura

Imlay (1936) describió por primera vez la Caliza Cuesta del Cura, de acuerdo con los afloramientos de calizas delgadas ondulantes con bandas de pedernal negro que afloran a 6.4 km al W de Parras, Coahuila, área en donde esta unidad se encuentra entre la Caliza Aurora y la Formación Indidura.

Se distribuye en los anticlinales de Parras, Taraises, Prieta y Santiago, al SE de Torreón, pero aflora ampliamente en casi toda la zona Torreón-Monterrey, aunque con espesores menores de 300 m. Su litología consiste principalmente de capas medianas a delgadas y onduladas de caliza de color gris a negra, compacta y un poco arcillosa. Contiene además nódulos, lentes y bandas de pedernal negro, ocupa generalmente las partes bajas de las sierras, aflorando como una banda de lomeríos alineados.

Aflora en el Cañón de La Huasteca, en el estado de Nuevo León; Loma Alta, en el Cañón del Chorro, y en las sierras Zapalinamé, Arteaga, La Nieve y San José de Los Nuncios, del estado de Coahuila.

Sus contactos inferior y superior con las formaciones Aurora e Indidura, respectivamente, son concordantes y bruscos. Por su contenido faunístico fósil, su edad abarca desde el Albiano Medio hasta el Cenomaniano Inferior.

Se correlaciona con las formaciones Tamaulipas Superior y El Abra de la Cuenca Tampico-Misantla; y la porción inferior de la Formación Kiamichi, Grupo Washita, Indiferenciado del NE de México y oriente de Texas, con la con la Formación Doctor en el centro México y La Formación Acatita, en el área de Delicias, Chihuahua.

# **CRETÁCICO SUPERIOR**

### Formación Indidura

Fue estudiada por primera vez por Emil Bosé en 1906 en la Sierra de Parras, y posteriormente fue definida por W.A. Kelly (1936) en su localidad tipo de Delicias, Coahuila y la bautizó por el afloramiento localizado en el flanco oriental del Cerro La Indidura, localizado aproximadamente a 8 km al norte de Tanque Toribio. Generalmente aflora en las laderas de las sierras; consiste principalmente de dos series diferentes que están formadas en la parte inferior, de caliza arcillosa dispuesta en capas delgadas y lajeadas, con numerosas capas medianas o gruesas de caliza laminar color gris oscuro y de limolita calcárea que es de color amarillento. La parte superior está formada de una lutita gris muy homogénea, fácilmente erosionable, que en la parte más alta, casi en contacto con la Formación Caracol, presenta un cambio de facies a una lutita arenosa. Sobreyace por medio de un contacto concordante y abrupto a la Formación Cuesta del Cura, solo identificado por el incremento de sedimentos pelíticos y la ausencia de pedernal. Su espesor promedio es de 200 m; se correlaciona con la Formación Soyatal de la Cuenca Mesozoica del centro de México, con la Formación Mezcala del Sur de México y con La Formación Agua Nueva de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

### Formación Parras

Definida por Imlay en 1936 para referirse a una secuencia de 1,200 m de lutitas carbonosas negras con escasas 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 muestran 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. 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 y con las formaciones Austin, Indidura y Méndez.

Aflora sobre los flancos norte y sur del anticlinal San José de los Nuncios, se reporta un espesor de 1524 m en la localidad tipo y de 595 a 610 m en el Cañón La Casita, ubicado al sureste del estado de Coahuila. El contacto con la Formación Austin es por cambio de facie, el contacto superior con el Grupo Difunta es concordante, y el contacto inferior es concordante con la Formación Indidura, dentro de la Sierra Madre Oriental.

### **Grupo Difunta**

De manera transicional y concordante sobre las lutitas de la Formación Parras, se localiza El Grupo Difunta, constituido por una secuencia monótona de areniscas, lutitas y limolitas, de edades que varían del Cretácico Superior al Terciario Inferior, cuyo espesor conjunto supera los 1,000 m en algunas zonas. El Grupo Difunta fue estudiado y denominado como Formación Difunta por Imlay (1936), en las colinas de El Pozo Boquillas, al norte del extremo occidental de la Sierra de Parras. El nombre fue tomado de un pequeño cerro conocido como Cerro Difunta que se encuentra a 4.5 km., al norte del poblado de Pozo Boquillas.

Posteriormente, Boyd (1959), en un trabajo realizado al norte de Saltillo, estableció para la secuencia Difunta una clasificación de 7 unidades, que por su posibilidad de mapeo, distribución y espesores, fueron definidas como formaciones (informalmente), de modo que la formación quedó elevada al rango de Grupo. Las formaciones que componen este grupo se conocen con los nombres Cerro del Pueblo, Cerro Huerta, Cañón del Tule, Las Imágenes, Cerro Grande, Las Encinas y Rancho Nuevo.

Las formaciones Cerro Huerta, Las Imágenes y Las Encinas consisten principalmente de depósitos de planicie de delta y lechos rojos de los flancos de la planicie costera, los cuales se extienden lateralmente a lo largo de la cuenca y cambian a facies marinas en la porción este de la Cuenca de Parras y La Popa. Las formaciones Cerro del Pueblo, Cañón del Tule, Cerro Grande y Rancho Nuevo están conformadas principalmente por calizas tipo "mudstone" y areniscas de ambiente marino somero.

### Formación Cerro del Pueblo

Esta unidad está compuesta por una secuencia de lutitas, areniscas y limonitas. Su localidad tipo se encuentra al noroeste de los límites de la ciudad de Saltillo, por la carretera No. 57 a Torreón.

Sobreyace a la lutita Parras y está cubierta por las capas rojas de la Formación Cerro Huerta. Su espesor más potente, de 500 m aproximadamente, se presenta en las cercanías de Saltillo

Se correlaciona con la Formación Méndez de la Cuenca de Burgos y con la Formación San Miguel y Olmos, de la Cuenca de Sabinas. Se le asigna una edad correspondiente al Santoniano.

### Formación Cerro Huerta

Secuencia de areniscas, lutitas, limonitas rojas y verdes que afloran en la porción central y occidental de la zona de estudio, la cual tiende a acuñarse hacia el norte y este, sobreyace a la Formación Cerro del Pueblo y subyace a la Formación Cañón del Tule. Su espesor es de 978 m en la localidad tipo ubicada cerca de Saltillo.

### Formación Cañón del Tule

Secuencia de sedimentos arcillosos que sobreyacen concordantemente a la Formación Cerro de Huerta y subyacen a la Formación Imágenes, su localidad tipo se encuentra en el Cañón del Tule y aflora principalmente en las porciones central y occidental de la Cuenca de Parras.

# Formación Las Imágenes

Constituida por rocas arcillo-calcáreos que afloran en la porción central de la Cuenca de Parras, sobreyaciendo a la Formación Cañón del Tule y subyaciendo a la Formación Cerro Grande.

### Formación Cerro Grande

Está integrada por grauvacas calcáreas cuya localidad tipo se encuentra en el Cerro Grande, ubicado al oeste de la población Las Imágenes, aproximadamente a 20 km de Saltillo

# Formación Las Encinas

Alternancia de capas delgadas, medias y gruesas de lutitas, areniscas y limonitas cuyo espesor conjunto es aproximadamente 20 m; su sección tipo se localiza a 28 km al norte de Saltillo. Aflora principalmente en la porción norte de la Cuenca de Parras. Sobreyace a la Formación Cerro Grande y subyace a la Formación Rancho Nuevo.

### Formación Rancho Nuevo

Corresponde a una alternancia de estratos delgados a medios de lutitas, areniscas y limonitas que subyacen a la formación Las Encinas; su localidad tipo se encuentra a 27 km de Saltillo, aflora en la porción norte de la Cuenca de Parras y es la formación más joven del Grupo La Difunta.

# **CUATERNARIO**

Cubriendo los valles se encuentran materiales granulares producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas. Corresponden principalmente a arenas, gravas y cantos rodados de calizas y conglomerados polimícticos que constituyen los pie de monte y los valles. En las zonas cercanas a las sierras, predominan los cantos rodados, principalmente a lo largo de los arroyos intermitentes que los acarrean en épocas de lluvias. Su espesor promedio es de 10 a 30 m, pero puede alcanzar hasta 100 m. Hacia las partes bajas de los valles, predominan las gravas y arenas a lo largo de incipientes cauces de inundación, donde solo corre agua superficial en tiempo de lluvias. En las partes más bajas de los valles se acumulan materiales aluviales finos, principalmente arcillas y en menor proporción arenas.

# 4.2 Geología estructural

Las estructuras predominantes corresponden a dos grandes tipos de plegamiento. El primero consiste en anticlinales alargados, relativamente angostos, de flancos asimétricos, algunos recostados y afallados, con buzamientos suaves en ambos extremos cuyos ejes son burdamente paralelos a los bordes de los antiguos elementos paleogeográficos del Jurásico Tardío.

El segundo tipo de plegamientos se caracteriza por anticlinales amplios, ligeramente dómicos, a veces bifurcados, de rumbo preferencial NW-SE. La deformación de estas estructuras está relacionada con el movimiento vertical de sal o anhidritas. El flujo de evaporitas es evidente en el núcleo erosionado de varias estructuras observadas en la porción sureste de la cuenca (Potrero Chico, Las Ánimas y Baluartes).

La región se ubica en la convergencia de los Terrenos Sierra Madre y Coahuila. Se considera que la carpeta sedimentaria mesozoica se depositó sobre los basamentos de dichos Terrenos, que evolucionaron durante el Paleozoico Tardío, cuando ocurrió el cierre del océano Proto-Atlántico. Tectónicamente, las estructuras desarrolladas en la Sierra Madre Oriental y en la Cuenca de Parras, están afectadas por fallas inversas de bajo ángulo, inclinadas en la misma dirección de transporte tectónico.

Este arreglo morfoestructural permitió el desarrollo de un corredor tectónico ubicado al sur del Terreno Coahuila, en donde el estilo de deformación se caracteriza por el desarrollo de fallas profundas y anticlinales de bajo relieve, cuyos ejes coinciden con los bordes paleogeográficos de la Sierra Madre Oriental y la Cuenca de Parras. La deformación es el resultado de los esfuerzos compresivos provenientes del sursuroeste, asociados a la época orogénica laramídica, cuando la Isla de Coahuila y la Península de Tamaulipas, se mantuvieron como contrafuertes cratónicos.

Los pliegues son simétricos –algunos asimétricos-, con orientación preferente al noroeste-suroeste que varía de este-oeste, con vergencia al norte (Carta Geológico-Minera Ramos Arizpe G14-C24. Escala 1:50,000. SGM, 2010).

Las estructuras de la región son consecuencias de un acortamiento de la corteza terrestre generado por los efectos compresivos de la Orogenia Laramide, que se adaptaron al estilo de la deformación por propagación de falla. El evento tectónico ocurrió desde finales del Cretácico Superior hasta el Terciario. El arreglo final es una serie de pliegues asimétricos y alargados dispuestos en la dirección WNW-ESE (Carta Geológico-Minera General Cepeda G14-C32. Escala 1:50,000. SGM, 2005).

Los anticlinales y sinclinales están orientados en dirección este-oeste, con flancos de pendiente suave y otros con recumbencia hacia el norte, como es el caso de las sierras Huachichila y Agua Nueva y los anticlinales Zapalinamé y Carneros, respectivamente, todos ubicados en la porción oriental del acuífero.

En la porción sur, destacan los anticlinales La Casita y la continuación de Carneros, que tienen la misma orientación y corresponde a cabalgaduras recostadas hacia el norte.

# 4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, así como con la información obtenida de cortes de pozos, es posible definir que en el subsuelo se presentan lutitas, areniscas y calizas 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 y constituido por dos medios, uno granular en su porción superior, conformado por una delgada capa 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 para ser depositados en los cauces de los arroyos y las planicies, así como conglomerados polimícticos.

La porción inferior es un medio fracturado que está constituido por lutitas y lutitas calcáreas alteradas de la Formación Parras, que junto con la unidad superior forman un acuífero de baja permeabilidad y de reducida capacidad de almacenamiento.

La mayor parte del subsuelo de la región está conformada por las lutitas calcáreas de la Formación Parras cubierta en ocasiones por la secuencia de lutitas y areniscas del Grupo Difunta. El predominio de sedimentos granulares y conglomerados polimícticos de granulometría fina, y la presencia de lutitas, le confieren muy baja permeabilidad al acuífero, dado que los bajos caudales que aporta sólo son suficientes para el abastecimiento de las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico del acuífero, están representadas por las mismas rocas sedimentarias cuando se presentan inalteradas y al desaparecer el fracturamiento, así como por la secuencia de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas y limolitas. A mayor profundidad se considera que el basamento geohidrológico regional está constituido por la secuencia de calizas arcillosas y lutitas del Cretácico Inferior y Jurásico.

La secuencia de rocas carbonatadas del Cretácico Inferior y Jurásico Superior constituye un acuífero de alta permeabilidad que al estar sobreyacidos por rocas arcillosas, presenta condiciones de semiconfinamiento y confinamiento. Este es la unidad que se explota para satisfacer las necesidades de los usos mayores en la región.

# 5. HIDROGEOLOGÍA

# 5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido por un medio granular y otro fracturado.

La porción superior está conformada por sedimentos aluviales, de granulometría variada, así como conglomerados polimícticos, cuyo espesor puede alcanzar algunas decenas de metros en el centro de los valles; la porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias, principalmente lutitas de la Formación Parras, cuando presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Esta es la unidad que se explota para satisfacer las necesidades del uso doméstico y pecuario.

Las calizas cretácicas y jurásicas representan un acuífero de buen potencial que presenta condiciones de **semiconfinamiento y confinamiento**, debido a que están sobreyacidas por lutitas y limolitas.

Por su posición estratigráfica y ubicación forman las principales sierras que limitan al valle, constituyendo las zonas de recarga. En el subsuelo conforman el acuífero que representa actualmente la principal fuente de abastecimiento de agua potable para abastecimiento de Saltillo y la zona industrial establecida en el valle.

### 5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2014, se ejecutaron 10 pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Adicionalmente se recopiló información de 11 pruebas del estudio realizado en 2004 y 15 pruebas más realizadas en 2014 en el acuífero vecino Saltillo-Ramos Arizpe. De su interpretación por métodos analíticos convencionales y por el modelo numérico de Rathod y Rushton (1991) para las pruebas realizadas en 2014, se determina que los valores medios de transmisividad varían entre **0.01 x 10**-3 y **8.4 x10**-1 m²/s, predominando valores entre **0.2 y 6.2 x10**-3 m²/s. Los valores de conductividad hidráulica varían de **1.15 x10**-6 y **3.2 x10**-3 m/s (**0.1 a 280 m/d**).

Los valores más altos de estos parámetros corresponden a pozos perforados en rocas calizas muy permeables y los más bajos a las lutitas poco fracturadas que afloran en la mayor parte del valle. Sólo 4 pruebas de bombeo realizadas en 2014 contaron con pozo de observación, dos en este acuífero y 2 en el acuífero vecino Saltillo-Ramos Arizpe.

En el primer caso se obtuvieron valores de rendimiento específico de **0.1 y 0.01**, representativos de los sedimentos aluviales y lutitas fracturadas. En Saltillo-Ramos Arizpe el valor de coeficiente de almacenamiento fue de **2.1 x 10**-9 **y 1.7 x 10**-4, en los pozos perforados en las calizas de la Sierra de San Lucas y en la Zona de Ramos Arizpe, respectivamente.

# 5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información recabada como parte de las actividades de los estudios realizados en 2004 y 2014.

Para la descripción del comportamiento hidráulico únicamente se describe el último año y para la evolución el periodo 2004-2014.

# 5.4 Comportamiento hidráulico

### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2014 muestra que los valores varían de 20 a 250 m en toda la superficie del acuífero, los cuales se incrementan, de manera general, por efecto de la topografía desde el centro de los valles, entre las poblaciones Providencia-El Derramadero y Agua Nueva-Jagüey de Ferniza, hacia las estribaciones de las sierras que los delimitan.

Los niveles estáticos más someros, de 20 a 40 m, se presentan en la porción central y occidental, en el acuífero aluvial, en el que la profundidad varía de 25 a 95 m; en tanto que los más profundos, mayores de 150 m se registran en los pozos perforados en las calizas, en la zona localizada entre las poblaciones Agua Nueva y El Jagüey de Ferniza.

En estos pozos la profundidad al nivel del agua varía de 110 a 250 m (figuras 3 y 4).

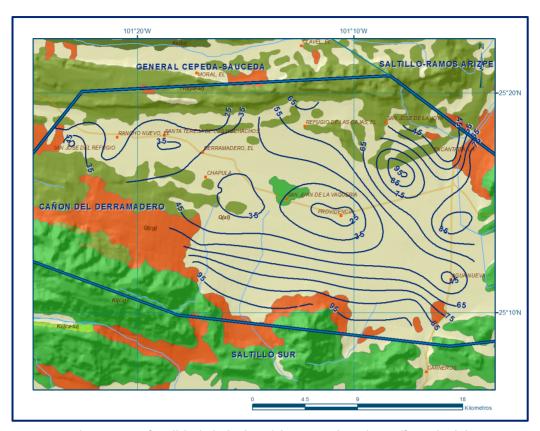


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2014). Acuífero aluvial

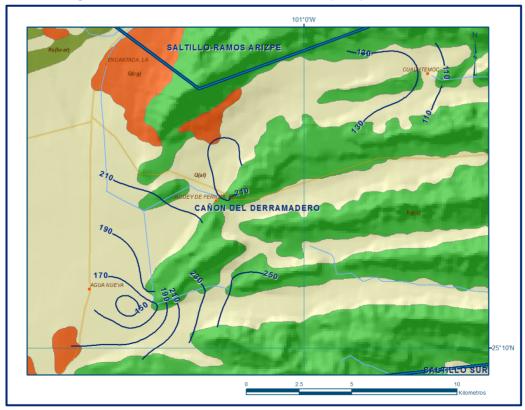


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2014). Acuífero en calizas

### 5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2014 registró valores que variaron de 1980 a 1660 msnm en toda la superficie del acuífero, los cuales decrecen, al igual que la topografía, desde la porción sur y suroriental del acuífero hacia el valle aluvial localizado en la región central y continuar hacia noroeste, mostrando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo sur sureste-noroeste, paralela a la dirección del escurrimiento superficial, con alimentaciones provenientes de los flancos norte y oriental, para finalmente dirigirse hacia el límite con el acuífero vecino General Cepeda-Sauceda.

En el acuífero aluvial los valores de elevación registrados varían de 1,880 a 1,660 msnm, con dirección preferencial sureste-noroeste; y en la zona de explotación en calizas la elevación fluctúa entre 1,980 y 1,780 msnm, con dirección preferencial este-oeste, hacia el valle aluvial al cual recarga a mayor profundidad (figuras 5 y 6).

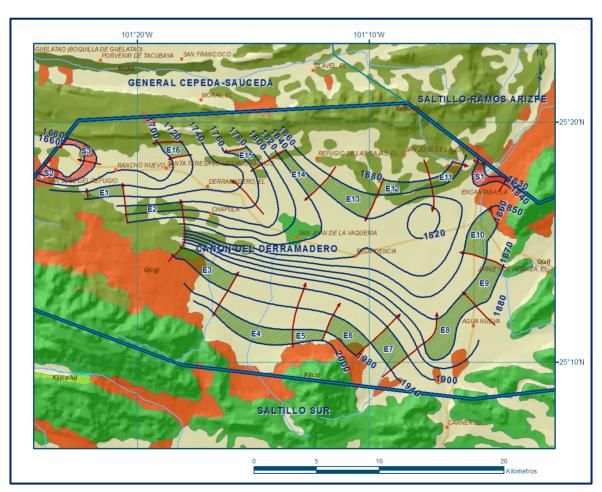


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2014). Acuífero aluvial y caliza

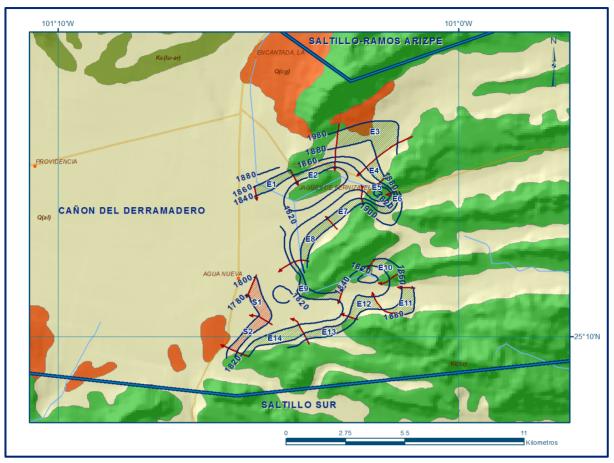


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2014). Acuífero en calizas

# 5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2004-2014 registra valores de abatimiento en la mayor parte de la zona de explotación, especialmente en la que se localizan los pozos profundos que abastecen de agua potable a la ciudad de Saltillo.

En el acuífero aluvial los abatimientos varían de 5 a 10 m, con valores puntuales de 15 m en la zona de Derramadero y al norte, en la zona donde se ubica la planta de Chrysler. En todo el valle, el abatimiento promedio es de 8 m para el periodo analizado, es decir de 0.8 m anuales, que disminuye hacia los flancos de las sierras que lo delimitan.

En la porción central del valle, entre las localidades Providencia y San Juan de la Vaquería, se registraron recuperaciones de 5 a 10 m, con valores puntuales de hasta 15 m.

Por otra parte, en la zona de explotación en calizas se midieron abatimientos de 2 a 17 m, con valores puntuales de 22 a 27 m en los pozos perforados en las inmediaciones de los poblados Agua Nueva y Jagüey de Ferniza (figuras 7 y 8).

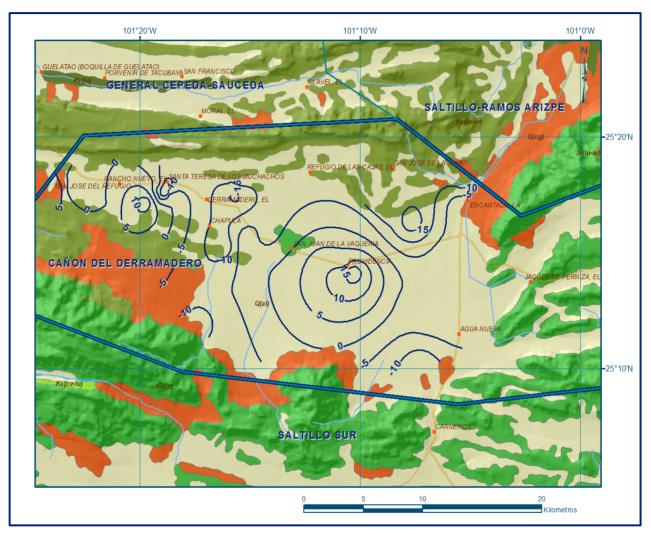


Figura 7. Evolución del nivel estático en m (2004-2014). Acuífero aluvial

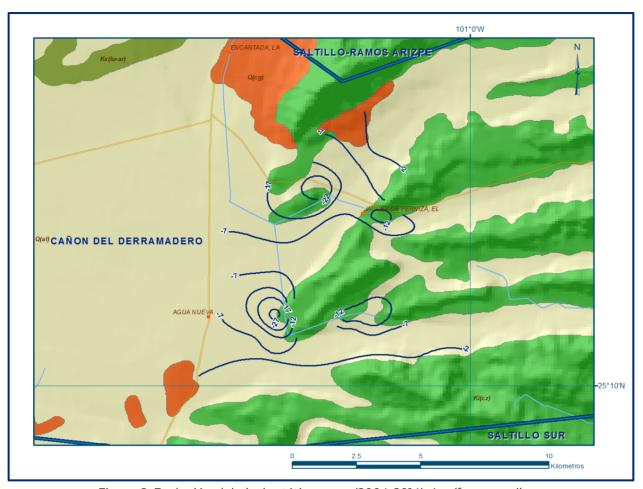


Figura 8. Evolución del nivel estático en m (2004-2014). Acuífero en calizas

# 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2014 se obtuvieron 8 muestras de agua subterránea de pozos distribuidos en el valle. Adicionalmente, durante el estudio realizado en 2007, se tomaron 18 muestras de agua subterránea en aprovechamientos de la zona de explotación para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros de temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, alcalinidad, iones principales y sólidos totales disueltos.

De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determina que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) varían de 97 a 2385 mg/l, algunas de las cuales superan el límite máximo permisible de 1000 mg/l establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022.

De acuerdo con la clasificación establecida por la American Public Health Association (APHA, 1995), el agua del acuífero se clasifica como agua dulce a salobre ya que los valores máximos de conductividad eléctrica de algunas muestras superan el valor de 2000 /S/cm y presentan valores extremos de 420 a 2713  $\mu$ S/cm. Los valores más bajos de STD y conductividad eléctrica se registran al sur del acuífero, y se incrementan en dirección general sur sureste-noroeste, hacia los poblados El Derramadero y San José del Refugio, confirmando con ello la dirección preferencial del flujo subterráneo.

De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se clasificaron las muestras en el diagrama de Piper y se identificó que predominan tres familias del agua: bicarbonatada-cálcica, bicarbonatada-sódica, que representan agua de reciente infiltración con periodos cortos de residencia, y mixtas en las que no prevalece la presencia dominante de ningún anión o catión.

Se clasificó el agua para su uso en riego utilizando la clasificación de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el mayor número de muestras analizadas se clasifican como C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>, que corresponde a salinidad alta y bajo contenido de sodio intercambiable, en menor número se presenta la clasificación C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, que representa agua de salinidad media con bajo contenido de sodio intercambiable; ambas clasificaciones se consideran aptas para el uso agrícola en cultivos medianamente tolerantes a la salinidad en suelos de buen drenaje.

# 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2014, se registró la existencia de 387 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 378 son pozos, 3 norias y 6 manantiales; del total de aprovechamientos, 167 se encuentran activos (161 pozos y 6 manantiales) y 220 se encuentran inactivos (217 pozos y 3 norias). De los 167 aprovechamientos activos, 99 son para uso agrícola, 27 para uso público-urbano, 4 para uso industrial, 28 para uso doméstico-pecuario y los 9 restantes para otros usos. El volumen de extracción por bombeo asciende a **31.5 hm³/año**, de los cuales 12.3 hm³/año (39.0%) son para uso público urbano, 17.0 hm³/año (54.0%) corresponden al uso agrícola, 0.6 hm³/año (1.9%) al uso industrial y 1.6 hm³/año (5.1%) para usos múltiples. Del volumen total, 20.0 hm³ anuales se extraen del acuífero aluvial y 11.5 hm³ más de las calizas para abastecimiento de agua potable de la ciudad de Saltillo.

Adicionalmente, a través de los **6 manantiales** se descarga un volumen de 12 lps, que equivalen a **0.4 hm³ anuales**, destinado principalmente para usos pecuario y doméstico.

### 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2004-2014, en una superficie total de **510 km²**, de los cuales 415 km² corresponden al acuífero aluvial explotado mediante aprovechamientos someros y 95 km² al área de calizas en la que están perforados los pozos profundos para el abastecimiento de agua potable a Saltillo; en esta superficie se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos que cuentan con información piezométrica. Aunque los balances se realizaron de manera independiente por tratarse de sistemas diferentes, se presentan los resultados de manera simplificada para el propósito de este documento.

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 masa es la siguiente:

# Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento

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

# Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

# 7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (Rt) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en los valles y por infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo horizontal (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero.

Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (Ri). Para este caso, debido a que no existen poblaciones urbanas importantes y el agua que se extrae de calizas para uso público-urbano se conduce a Saltillo, sólo se considera la recarga debido a los retornos de riego agrícola (Rr).

# 7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔVS), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, este valor es la incógnita a despejar en la ecuación de balance.

$$Rv + Eh + Rr - B - Sh - Dm = \pm \Delta V(S)$$
 (1)

Donde:

Rv: Recarga vertical

**Eh:** Entradas por flujo subterráneo horizontal

**Rr:** Recarga por retornos de riego

**Sh:** Salidas por flujo subterráneo horizontal

B: Bombeo

**Dm:** Descarga a través de manantiales

**ΔV(S):** Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Rv = B + Sh + Dm \pm \Delta V(S) - Eh - Rr$$
 (2)

# 7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

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 2014, mostrada en las figuras 5 y 6.

Con base en ella 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

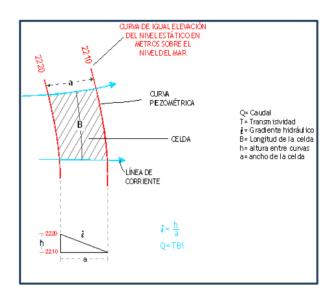
Donde:

**Q**= Caudal;

**B**= Largo del canal de flujo;

i= Gradiente hidráulico (i);

T= Transmisividad en el canal de flujo;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda.

El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **10.0 hm³/año** para el acuífero aluvial y **13.1 hm³ /año** para las calizas; es decir un total de **23.1 hm³ anuales**.

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas, fueron obtenidos de pruebas de bombeo realizadas en 2014 y en estudios previos, es este acuífero y otros colindantes, que tienen el mismo origen, evolución y constitución geológica, adaptados al espesor saturado de las distintas zonas.

rabia z. Calculo de entradas por hujo subterrarieo (2014).							
CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h2-h1 (m)	Gradiente i	T (m²/s)	CAUDAL Q (m³/s)	VOLUMEN (hm³/año)
E1	2635	735	20	0.02721	0.00052	0.0373	1.2
E2	4075	550	20	0.03636	0.00052	0.0771	2.4
E3	4715	1130	40	0.03540	0.00017	0.0284	0.9
E4	6145	870	20	0.02299	0.00017	0.0240	8.0
E5	2280	900	20	0.02222	0.00017	0.0086	0.3
E6	3210	1405	40	0.02847	0.00017	0.0155	0.5
E7	2630	1670	40	0.02395	0.00017	0.0107	0.3
E8	4990	1785	10	0.00560	0.00017	0.0048	0.1
E9	3490	1375	10	0.00727	0.00017	0.0043	0.1
E10	3560	1500	10	0.00667	0.00017	0.0040	0.1
E11	2610	695	20	0.02878	0.00017	0.0128	0.4
E12	3735	900	20	0.02222	0.00033	0.0274	0.9
E13	4015	1525	20	0.01311	0.00033	0.0174	0.5
E14	3850	910	20	0.02198	0.00033	0.0279	0.9
E15	2140	1175	20	0.01702	0.00033	0.0120	0.4
E16	1375	1550	20	0.01290	0.00033	0.0059	0.2
E17	1775	365	20	0.054794521	0.00012	0.011671233	0.4
E18	1820	290	20	0.068965517	0.00012	0.015062069	0.5
E19	2985	965	80	0.082901554	0.00015	0.037119171	1.2
E20	960	450	40	0.08888889	0.00012	0.01024	0.3
E21	705	155	20	0.129032258	0.00093	0.0846	2.7
E22	2195	175	20	0.114285714	0.00041	0.102851429	3.2
E23	1705	325	20	0.061538462	0.00012	0.012590769	0.4
E24	2275	335	20	0.059701493	0.00012	0.016298507	0.5
E25	3165	375	20	0.053333333	0.00012	0.020256	0.6
F26	1320	405	20	0.049382716	0.00069	0.044977778	1.4
E27	1530	750	20	0.026666667	0.00046	0.018768	0.6
E28	1560	525	20	0.038095238	0.00012	0.007131429	0.2
E29	2260	300	20	0.066666667	0.00012	0.01808	0.6
E30	2760	385	20	0.051948052	0.00012	0.017205195	0.5
						TOTAL	23.1

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2014).

# 7.1.3 Recarga de riego (Rr)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático.

Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación. Debido a la falta de información de láminas de riego por cultivo, se consideró que un 5% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga efectiva, tomando en cuenta la profundidad al nivel del agua subterránea entre 20 y 40 m en las zonas agrícolas y la presencia de estratos de permeabilidad baja en el subsuelo, principalmente de las lutitas de la Formación Parras.

De esta manera, considerando que para el uso agrícola se utilizan 17.0 hm³ anuales y que un 5% de éste recarga de manera efectiva al acuífero, se obtiene una recarga incidental por los retornos del riego agrícola de 0.9 hm³ anuales. **Rr = 0.9 hm³ anuales**.

### 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) y descarga a través de manantiales (Dm).

# 7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en las figuras 5 y 6, tal como se muestra en la tabla 3. El volumen total estimado de salidas por flujo subterráneo asciende a **4.7 hm³ anuales**, 2.7 hm³ en el acuífero aluvial y 2.0 hm³ en las calizas.

CELDA	LONGITUD B	ANCHO	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub>	Gradiente	Т	CAUDAL Q	VOLUMEN
	(m)	(m)	(m)		( m <sup>2</sup> /s)	(m³/s)	(hm³/año)
S1	3270	440	10	0.02273	0.00034	0.0253	0.8
S2	4245	845	20	0.02367	0.00034	0.0342	1.1
S3	2750	700	20	0.02857	0.00034	0.0267	0.8
S4	1745	735	20	0.02721	0.00048	0.0228	0.7
S5	1970	455	20	0.04396	0.00048	0.0416	1.3
TOTAL 4.7							

Tabla 3, Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2014)

# 7.2.3 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **31.5 hm³ anuales**; de los cuales 20.0 hm³ corresponden al relleno aluvial y a las lutitas y 11.5 hm³ se extraen de pozos profundos perforados en calizas.

# 7.2.4 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo realizado en 2014, se identificó la existencia de 6 pequeños manantiales, que en conjunto descargan 12 lps, es decir un volumen estimado de **0.4** hm³ anuales.

### 7.3 Cambio de almacenamiento

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático registrada durante el periodo 2004-2014 (figuras 7 y 8).

Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico Sy de 0.03 para los sedimentos aluviales que rellenan el valle y 0.0009 para las calizas, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

**ΔV(S)**= Cambio de almacenamiento en el período analizado

S= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

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

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

Los valores obtenidos para cada variación piezométrica durante el período 2000-2014 se pueden observar en la tabla 4. El volumen anual del cambio de almacenamiento es positivo y asciende a **-5.0 hm³/año,** que en su totalidad se produce en el acuífero aluvial.

Área Evolución Abatimiento ΔV(3) Sy (hm³/año) (m) (m) (km<sup>2</sup>)Aluvial -49.80 -4 415 0.03 Calizas 95 0.0009 0.40 TOTAL 510.0 TOTAL 49.8 Promedio anual

Tabla 4. Cálculo del volumen de cambio de almacenamiento (2000-2014)

### 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:

Rv = B + Sh + Dm 
$$\pm \Delta V(S)$$
 - Eh- Rr  
Rv= 31.5 + 4.7+ 0.4 - 5.0 - 23.1 - 0.9  
Rv = 7.6 hm<sup>3</sup>/año

Por lo tanto el valor de la recarga total (R) es igual a la suma de todas las entradas:

R= Rv + Eh + Ri R= 7.6 + 23.1+ 0.9 R = 31.6 hm<sup>3</sup> anuales

### 8. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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:

DISPONIBILIDAD MEDIA =	RECARGA	<ul> <li>DESCARGA</li> </ul>	-	EXTRACCIÓN DE
ANUAL DE AGUA DEL	TOTAL	NATURAL		AGUAS
SUBSUELO EN UN	MEDIA	COMPROMETIDA		SUBTERRÁNEAS
ACUÍFERO	ANUAL			

### 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 **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 de **31.6 hm³/año**, de los cuales 30.7 hm³ son recarga natural y 0.9 hm³ corresponden a recarga incidental.

# 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 el caso del acuífero Cañón de Derramadero su valor es de 5.1 hm³ anuales, de los cuales 4.7 hm³ corresponden a la salida por flujo subterráneo y 0.4 hm³ a la descarga a través de manantiales. Por lo tanto, **DNC = 5.1 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 (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 **29,238,602 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 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.

DMA = R - DNC - VEAS DMA = 31.6 - 5.1 - 29.238602 DMA = -2.738602 hm<sup>3</sup>/año El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,738,602 m³ anuales.** 

# 9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2014. Estudio Geohidrológico del Acuífero Saltillo-Ramos Arizpe (0502), en el estado de Coahuila. Realizado por SANX, Ingeniería Integral y Desarrollo S.A de C.V.

Comisión Nacional del Agua de Saltillo, 2014. Estudio Geohidrológico del Acuífero Saltillo-Ramos Arizpe (0510), en el estado de Coahuila. Realizado por Consultoría BETSCO S.A de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1983. Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona Derramadero, estado de Coahuila. Realizado por Bufete Geológico y Construcciones, S.A. de C.V.