

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SALTILLO- RAMOS ARIZPE (0510),
ESTADO DE COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación Administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	8
3.1 Provincia Fisiográfica	8
3.2 Clima.....	9
3.3 Hidrografía	10
3.4 Geomorfología.....	11
4. GEOLOGÍA.....	12
4.1 Estratigrafía.....	14
4.2 Geología Estructural.....	23
4.3 Geología del subsuelo	24
5. HIDROGEOLOGÍA.....	25
5.1 Tipo de acuífero	25
5.2 Parámetros hidráulicos.....	26
5.3 Piezometría	26
5.4 Comportamiento hidráulico.....	27
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	27
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	28
5.4.3 Evolución del nivel estático	28
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	29
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	31
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	31
7.1 Entradas	32
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	32
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	32
7.1.3 Recarga incidental (Ri).....	34
7.2 Salidas.....	35
7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	35
7.2.2 Extracción por bombeo (B).....	35
7.2.3 Descarga a través de manantiales (Dm)	35
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	35
8. DISPONIBILIDAD	37
8.1 Recarga total media anual (R).....	37
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	37
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	38
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	38
9. BIBLIOGRAFÍA	39

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 Saltillo-Ramos Arizpe, definido con la clave 0510 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Coahuila, entre los paralelos 25° 16' y 25° 44' de latitud norte y los meridianos 100° 34' y 101° 12' de longitud oeste abarca una superficie de 1,446 km². Limita al norte con el acuífero Paredón, al oeste con General Cepeda-Sauceda, al sur con Cañón del Derramadero, al sureste con Región Manzanera-Zapalinamé, pertenecientes al estado de Coahuila; al noreste limita con el acuífero Campo Durazno y al este con Campo de Buenos Aires, pertenecientes al estado de Nuevo León (figura 1).

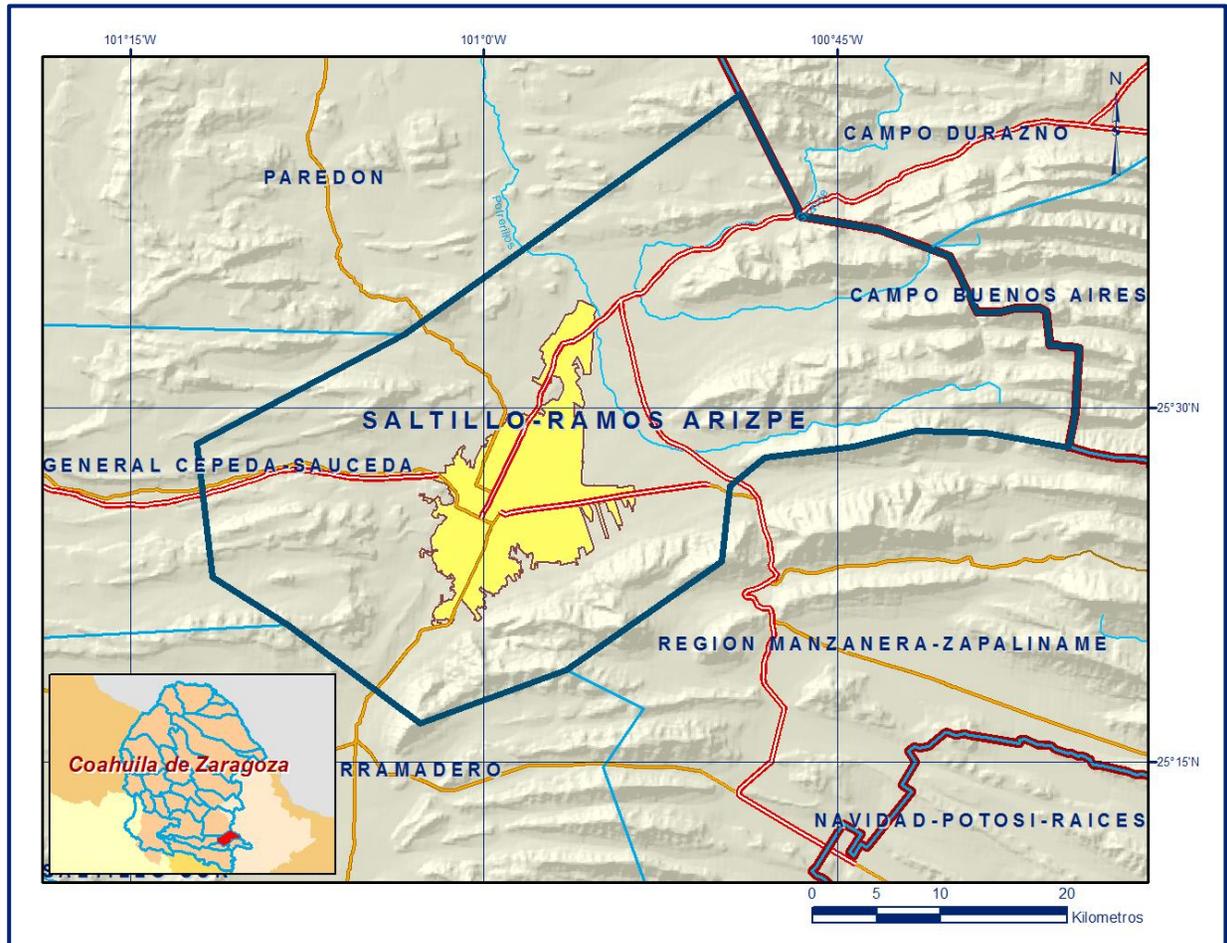


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el territorio que cubre el acuífero queda comprendido parcialmente en los municipios de Ramos Arizpe, Arteaga y Saltillo, pertenecientes al estado de Coahuila.

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

ACUIFERO 0510 SALTILLO-RAMOS ARIZPE

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	49	7.8	25	43	17.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	100	41	6.9	25	36	46.1	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	100	35	11.1	25	28	18.5	
4	100	38	41.7	25	28	57.3	
5	100	41	40.4	25	29	0.9	
6	100	44	16.6	25	28	22.8	
7	100	48	5.4	25	27	53.0	
8	100	49	32.6	25	26	42.1	
9	100	49	55.6	25	23	29.3	
10	100	56	29.9	25	18	51.8	
11	101	2	41.7	25	16	37.1	
12	101	8	20.2	25	20	47.9	
13	101	11	32.6	25	22	48.6	
14	101	12	11.4	25	28	29.9	
15	101	3	23.3	25	33	8.4	
1	100	49	7.8	25	43	17.7	

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Saltillo-Ramos Arizpe 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 4 decretos de veda.

El primero rige en una pequeña porción del centro del acuífero: *“Decreto que establece veda por tiempo indefinido, para la excavación de norias y galerías filtrantes y la perforación de pozos, para el aprovechamiento de aguas subterráneas, en la zona que circunda los manantiales de Guanajuato, en Ramos Arizpe, Coah,”* publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 10 de marzo de 1951.

El segundo es el *“Decreto que amplía la zona vedada para nuevos alumbramientos de agua del subsuelo, en Ramos Arizpe, Coah,”*, publicado DOF el 8 de octubre de 1951. Ambas vedas son tipo I, en la que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos.

El tercero rige en la porción sur y corresponde al *“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 DOF el 7 de febrero de 1952. Por último, el cuarto decreto está en vigor para la región suroccidental 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 en el DOF el 25 de abril de 1979. Estas 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 Saltillo-Ramos Arizpe, clave 0510, que comprende la mayor parte 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 1.

En su territorio no existe Distrito o Unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido a la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). La porción oriental se ubica en el Área de Protección de Recursos Naturales y Zona Protectora Forestal “Porción Sierra de Arteaga”, decretada el 7 de noviembre de 2002.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos, algunos de cobertura regional.

Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO CUANTITATIVO DE LA ZONA SALTILLO-RAMOS ARIZPE, COAHUILA. Realizado en 1981 por Ingeniería Integral, S.A. de C.V. (ININSA), para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Entre sus actividades más importantes destacan el censo de aprovechamientos, aforo de manantiales e hidrometría de las extracciones, ejecución de pruebas de bombeo, muestreo de aguas subterráneas para análisis fisicoquímicos y sondeos eléctricos verticales.

El balance de aguas subterráneas planteado para el periodo 1974-1981 determinó una recarga media anual de 49.0 hm³ anuales y una descarga total de 91.8 hm³ anuales.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA ZONA SALTILLO RAMOS-ARIZPE, COAHUILA. Realizado por Lesser y Asociados, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 1996. Entre sus actividades principales destacan piezometría y censo de aprovechamientos, pruebas de bombeo, y muestreo de aguas subterráneas. Realiza el balance de aguas subterráneas y calcula la magnitud de la recarga. Divide la zona en tres subsistemas entre los cuales existe conexión hidráulica: Acuífero Lutita Parras, Acuífero Intermedio y Acuífero en Calizas. Concluye que el subsistema en las calizas presenta agua de baja salinidad, de media a baja en el subsistema Lutita Parras, y alto contenido en sulfatos en el subsistema intermedio.

El balance de agua subterránea indica que la magnitud de las entradas fue de 21.1 hm³/año, de los cuales 9.4 hm³ corresponden al flujo subterráneo, 4.0 hm³ más a la recarga incidental por la infiltración de las fugas en la red de distribución de agua potable y del alcantarillado y 7.7 hm³ a la recarga vertical por lluvia; en tanto que el total de salidas fue de 27.1 hm³/año, de los cuales 1.5 hm³/año es por flujo subterráneo, 2.9 hm³ a la descarga a través de manantiales, 22.7 hm³ de extracción por bombeo, con un cambio de almacenamiento de -6.0 hm³ anuales.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO (RECOPILACIÓN, ANÁLISIS Y DEPURACIÓN DE LA INFORMACIÓN, PROCESAMIENTO, INTERPRETACIÓN DE IMÁGENES, LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO REGIONAL, CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA, PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE INFORMACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORME FINAL), EN SALTILLO COAHUILA. Realizado por la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Coahuila (CEASC), en 2002.

Realizó la cartografía geológica y estructural que permitieron determinar las características geométricas de los pliegues producidos por la deformación de la carpeta sedimentaria mesozoica y las fallas que la afectaron.

Censó 107 aprovechamientos, incluyendo los del sistema de Loma Alta y se recolectaron 51 muestras de agua subterránea a diferentes profundidades para determinar sus características fisicoquímicas y calidad. Calculó el balance de aguas subterráneas por subcuencas, obteniendo una recarga por infiltración de 46.0 hm³ anuales. Propone 6 sitios para realizar perforaciones exploratorias.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS MONCLOVA Y SALTILLO-RAMOS ARIZPE, LOCALIZADOS EN EL ESTADO DE COAHUILA, realizado por GEOPSA S.A de C.V., en el 2007 para la Comisión Nacional del Agua. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos 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.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO SALTILLO-RAMOS ARIZPE (0510), EN EL ESTADO DE COAHUILA. Realizado en 2014 por Consultoría BETSCO 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 y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual. De sus resultados y conclusiones se determinarán las causales de interés y de utilidad pública señaladas en la Ley de Aguas Nacionales, para establecer la medida regulatoria que proceda. 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 y 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 centros. 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, en tanto que los extremos sur y oriental se ubican en la Subprovincia Gran Sierra Plegada.

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; 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 la 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.

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 seco estepario a desértico.

En los valles y el extremo norte el clima es BWhw, muy árido, semicálido; en tanto que hacia las porciones más altas ubicadas al sur y oeste, el clima semiárido templado en sus variantes BSkw y BSk(x'); en las regiones oriental y noroccidental el clima es árido semicálido BSohw. En menor proporción, en la región suroriental se presenta el clima BSokw, árido templado.

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: BSk(x') y BSkw, 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 48 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero, 23 localizadas en el estado de Coahuila: Alto de Norias, Arteaga (DGE), Arteaga (SMN), Ramos Arizpe (CEFZA La Saucedá), Carneros, Ciénega de la Purísima, ETA 010 Derramadero, El Tunal, General Cepeda, Gómez Farías, Hipólito, Huachichil, Jame, La Rosa, Las Hormigas, Potrero de Ábrego, Ramos Arizpe (DGE), Ramos Arizpe (SMN), Saltillo (DGE), San Antonio Las Alazanas (DGE), San Antonio Las Alazanas (SMN), San Juan de la Vaquería y Santo Domingo; y 25 en el estado de Nuevo León: Agua Blanca, Casillas, Chupaderos del Indio, Ciénega del Toro, El Cuije, El Marrubial (CFE), El Pajonal, El Potosí, Grutas de García, Icamole, La Ciénega de González, La Cruz, La Huastequita, Laguna de Sánchez, Las Comitas, Los Lerma, Mimbres, Monterrey (DGE), Rinconada, Salinas Victoria, San Isidro de Ciénega, San Rafael, Santa Catarina, Santa Cruz y Topo Chico.

El periodo de registro en variable pero hasta el año 2002 al menos cubría 37 años. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen se determinaron valores promedios anuales de precipitación y temperatura media anual de **370 mm** y **18.5°C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,000 mm** anuales.

3.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en su totalidad en la Región Hidrológica 24 denominada Río Bravo-Conchos, en el límite con la Región Hidrológica 37 El Salado, Subregión Hidrológica Río San Juan, Cuenca Río Bravo-San Juan, subcuencas de los Ríos San Miguel y Pesquería. 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 Saltillo-Ramos Arizpe; algunos de los cuales desaparecen por infiltración en los depósitos de pie de monte y otros continúan, recargando al acuífero a lo largo de su cauce, antes de entrar a la zona urbana.

La corriente principal es el Arroyo del Pueblo o Arroyo La Encantada, ubicado en la porción occidental del valle, que fluye en dirección sur-norte. Este arroyo es afluente del Arroyo Patos, al cual confluye aproximadamente 40 km al norte, fuera del valle, pasando la población de Paredón, Coahuila.

Es el principal cuerpo receptor de las descargas de aguas residuales de las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe y de las descargas de aguas industriales provenientes del corredor industrial, desarrollado principalmente en el Municipio de Ramos Arizpe, en forma paralela a la Carretera Federal Saltillo-Monterrey.

Sobre el Arroyo La Encantada, dentro del acuífero, existen las siguientes presas derivadoras: Angostura, Buenavista, El Álamo, Saltillo (S/N), La Quebrada, Rancho El Porvenir, San Juan de Dios, Hacienda Santa María y La Loma; y los bombeos directos: Buenavista, Saltillo I (S/N), Saltillo II (S/N), Rancho El Morillo, Ramos Arizpe (S/N), Rancho Analco y el Ancón. El volumen total de aprovechamiento de las obras superficiales mencionadas anteriormente, es del orden de 7.37 hm³/año, destinados al riego agrícola.

3.4 Geomorfología

Álvarez (1958), describe a esta región como una secuencia de sierras y valles semi-cerrados 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 3 unidades geomorfológicas: cuerpos anticlinales y sinclinales calcáreos, Valle de Saltillo y el Grupo Difunta.

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 de la Sierra Zapalinamé.

En la porción nororiental del valle resalta una amplia meseta aluvial antigua, que se extiende hacia el norte, que está disectada por el Arroyo La Boca y su continuación que es el Arroyo El Jaral.

En la zona de sierras ubicadas al occidente, existe una morfología típica originada por la erosión diferencial que afecta a las formaciones del Grupo Difunta, el cual está constituido por areniscas y lutitas, dando lugar, las primeras, a prominencias y escarpes topográficos y las segundas, a formas de erosión suave.

Todas las formas topográficas están sujetas desde luego al patrón estructural regional, dominado por plegamientos, cuyos ejes están orientados en dirección este-oeste.

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.

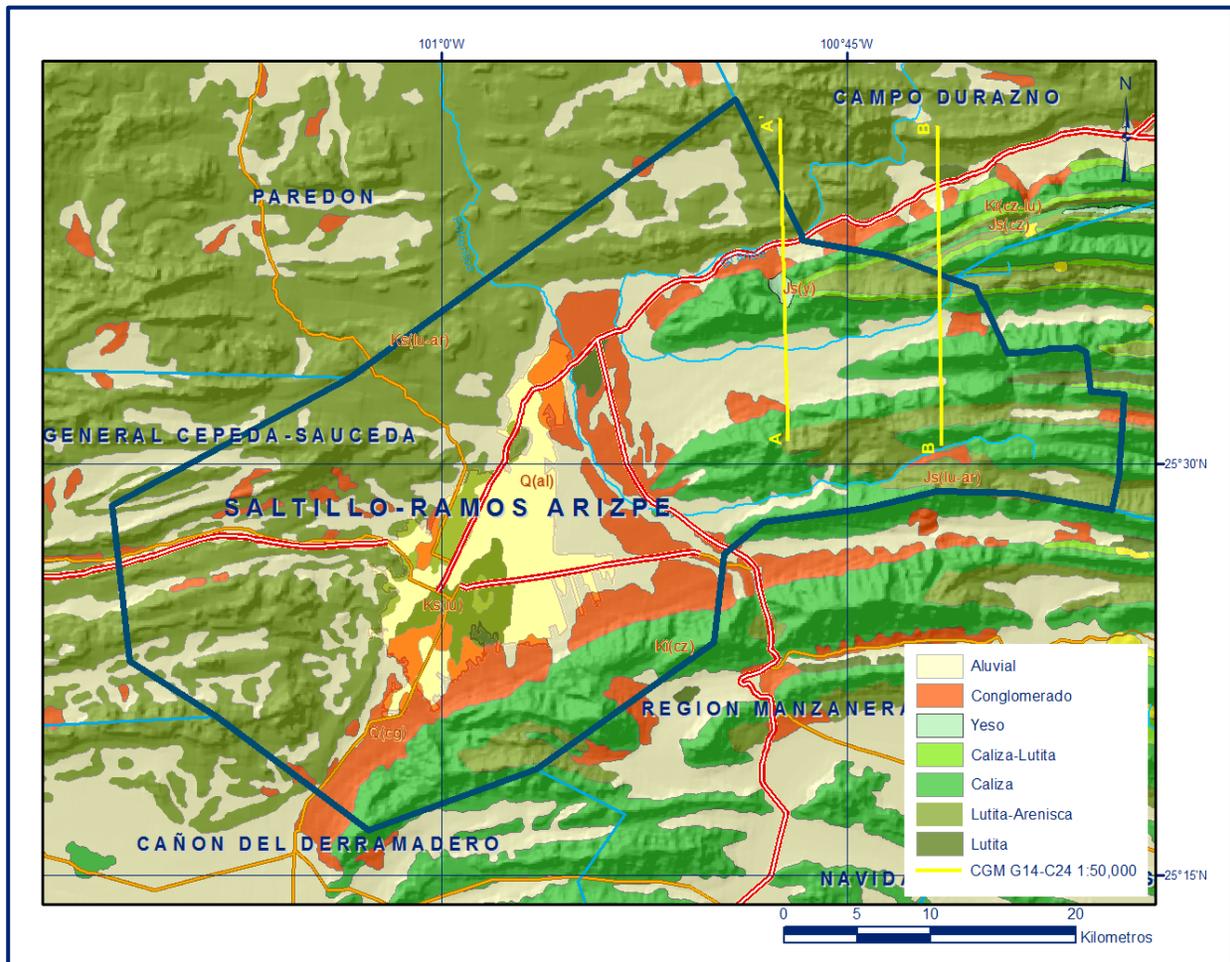


Figura 2. Geología general del acuífero

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 transversal, 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 afloran 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 arcillo calcáreos 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 son concordantes y transicionales, con edades que varían 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 sí 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 Sombrerete, 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, físilas 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- 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 Mimbres, 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 Mimbres 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 corresponde 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 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.

Aflora en el flanco norte de la sierra San José de los Nuncios, sobre la Cañada Cabritas y en el flanco sur del cerro San Antonio; de manera aislada en el flanco norte del anticlinal San Lucas, sobre la cañada Potrerillos, en el flanco sur del Anticlinal de Arteaga y en ambos flancos del anticlinal El Chorro. Las formaciones Indidura y Agua Nueva, son correlacionables esta última que aflora en el cañón de la Huasteca, N.L.

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, corresponde 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 1,524 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 sobreyace 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-calcáreas 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 acarrearán 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 escurre 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. En esta unidad se incluye también a los horizontes de travertino.

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 a fallados, 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 cóncavos, a veces bifurcados, de rumbo preferencial NW-SE. La deformación de estas estructuras está relacionada con el movimiento vertical de sal o anhídritas que 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).

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 por 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.

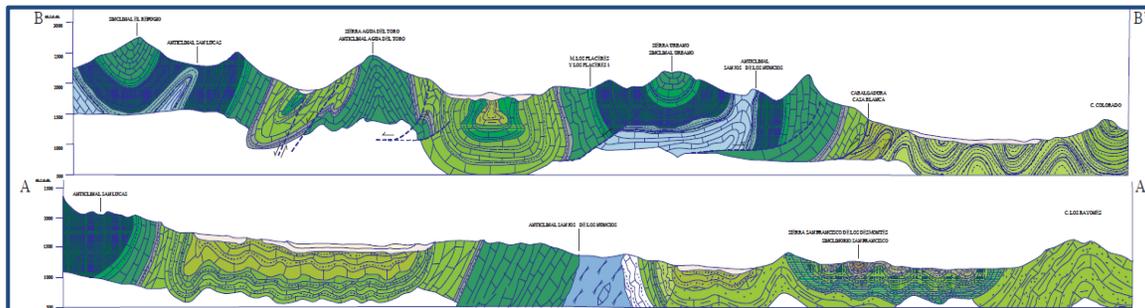
La mayor parte del subsuelo de la región está conformada por las lutitas calcáreas de la Formación Parras cubierta en ocasiones por la secuencia de lutitas y areniscas del Grupo Difunta.

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.

En la figura 3 se presenta una sección geológica esquemática que muestra la compleja geología estructural de la región y la delgada capa de sedimentos aluviales y coluviales que se depositaron en los anticlinales.



Fuente: Carta Geológica-Minera "Ramos Arizpe" G14-C24" Esc. 1:50,000 (SGM, 2010)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

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.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2014, se ejecutaron 15 pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Adicionalmente se recopiló información de 10 pruebas del estudio realizado en 2007 y 19 más realizadas en 1996. De su interpretación por métodos analíticos convencionales se determina que los valores medios de transmisividad varían entre **6.0×10^{-6}** y **$3.4 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$** , con un valor promedio de **$25.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** .

Los valores de conductividad hidráulica varían de **1.05×10^{-3}** y **$1.6 \times 10^{-8} \text{ m/s}$** (**90.7 a 0.001 m/d**). Los valores más altos corresponden a pozos perforados en rocas calizas, en las inmediaciones de las Sierras Zapalinamé, San José de Los Nuncios y San Lucas, valores típicos de zonas calcáreas fracturadas. Mientras que los valores más bajos se presentan en los pozos construidos en el Valle de Saltillo y Ramos Arizpe, en zonas de relleno de baja permeabilidad o en lutitas.

En cuanto a los valores del coeficiente de almacenamiento, estos se encuentran entre los **2.1×10^{-9}** y **1.7×10^{-4}** , obtenidos mediante pruebas de bombeo con pozo de observación en La Sierra de San Lucas y en la Zona de Ramos Arizpe, respectivamente. Como parte de las actividades de los estudios realizados en 2014, se ejecutaron 30.

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 1996, 2007 y 2014. Para la descripción del comportamiento hidráulico únicamente se describe el último año y para la evolución el periodo 2007-2014.

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 manera general, de 8 a 240 m, los cuales se incrementan, de manera general, por efecto de la topografía desde el centro de los valles hacia las estribaciones de las sierras que los delimitan, desde la zona urbana de Saltillo. Los niveles estáticos más someros, menores o iguales de 10 m, se presentan al suroeste de Saltillo y en el área urbana de las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe; en tanto que los más profundos, mayores de 150 m, se registran en las estribaciones de las sierras Zapalinamé, San Lucas-Loma Alta y San José de Los Nuncios, en los pozos perforados en calizas hasta profundidades de 500 m. Profundidades de 30 a 40 se presentan en una franja orientada en sentido suroeste-noreste, de Saltillo a Ramos Arizpe, y en los valles intermontanos que se ubican entre las sierras San José de los Nuncios y San Lucas-Loma Alta (figura 4).

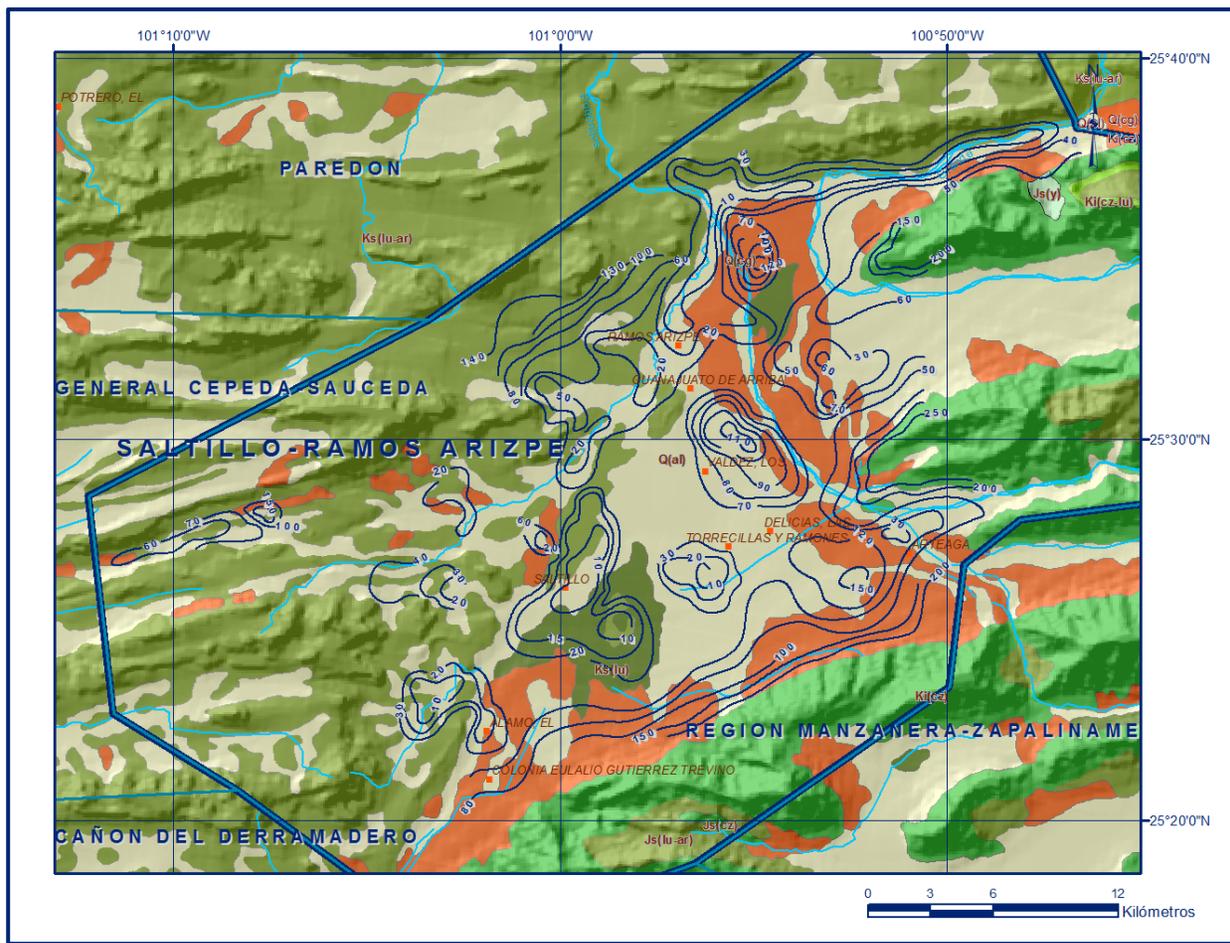


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2014)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2014 registró valores que variaron de 1750 a 1170 msnm, los cuales decrecen desde la porción suroccidental y sur del acuífero hacia el valle aluvial localizado en la región centro y continuar hacia noreste, mostrando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo suroeste-noreste, paralela a la dirección del escurrimiento superficial, con alimentaciones provenientes de los flancos oriental y occidental, para finalmente dirigirse hacia el límite con el acuífero Campo Durazno, en el estado de Nuevo León, a través del cañón que forma el Río Pesquería (figura 5).

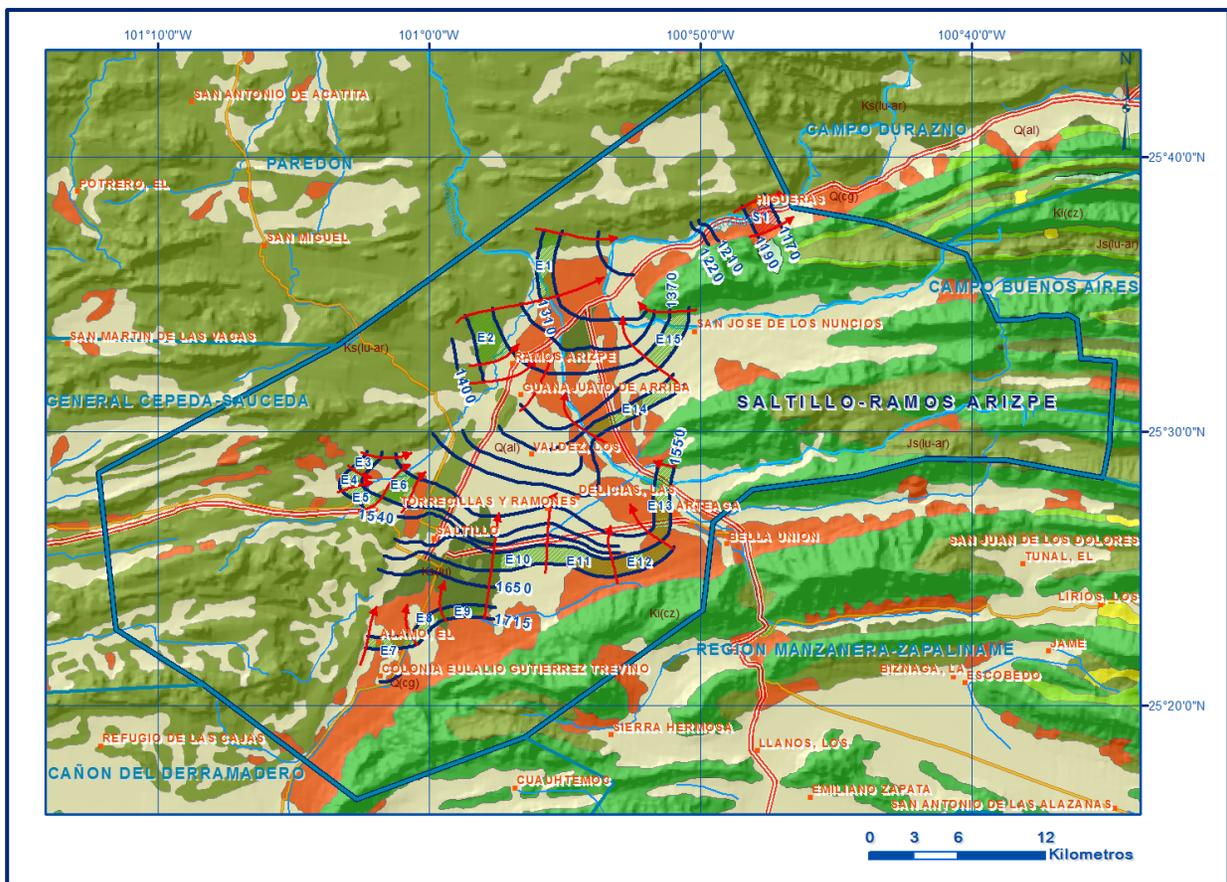


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2014)

5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2007-2014 registra valores de abatimiento en la región centro-norte del acuífero, en donde se ubica la zona urbana de las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe, que varían de 1 a 10 m, con valores puntuales de hasta 15 m.

En toda la porción central del valle, el abatimiento promedio es de 3 m para el periodo analizado, es decir de 0.4 m anuales, que disminuye hacia los flancos de las sierras que delimitan el acuífero. En la superficie restante del valle no se observan cambios significativos en la porción de los niveles del agua subterránea (figura 6). En la zona donde se ubican los pozos de las plantas de General Motors y Chrysler, la concentración de la extracción ha generado un cono abatimiento

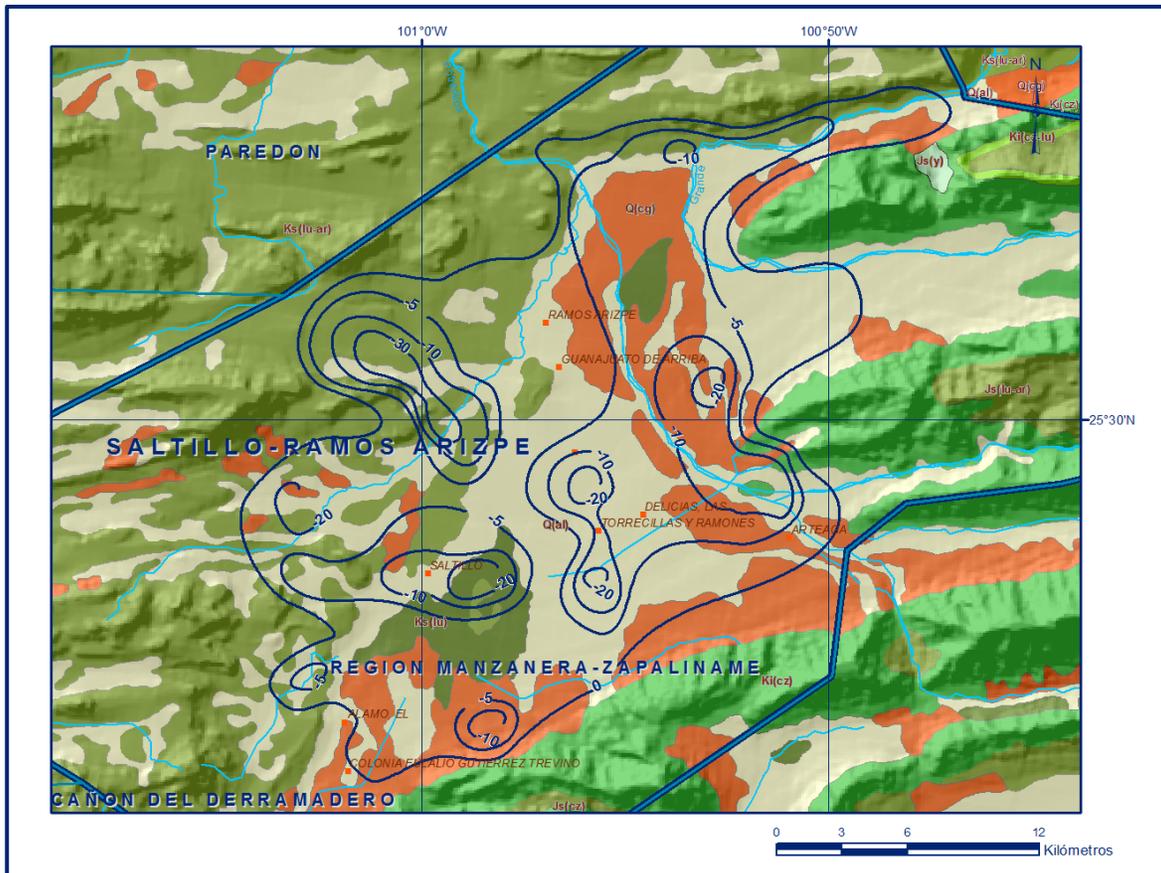


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2007-2014)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2014 se obtuvieron 15 muestras de agua subterránea de pozos distribuidos en el valle.

Adicionalmente, durante el estudio realizado en 2007, se tomaron 120 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, alcalinidad, aniones principales, sólidos totales disueltos, cationes y metales y metaloides. También se contó con la información de 50 análisis más que el sistema operador de agua potable del municipio Aguas de Saltillo proporcionó.

De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determina que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) varían de 395 a 1,840 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 algunos valores de conductividad eléctrica superan 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y presentan valores extremos de 560 a 3,130 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los valores más altos de STD y conductividad eléctrica se registran al sur del acuífero y se incrementan en dirección general suroeste-noreste, 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 dos familias del agua: cálcica- bicarbonatada, que representa agua de reciente infiltración con periodos cortos de residencia, que ha circulado a través de rocas calcáreas, y sulfatada-cálcica, en la que el sulfato se asocia a las formaciones geológicas que contienen yesos, los cuales son muy solubles, que se presenta en la porción norte del valle, hacia las sierras constituidas por areniscas y calizas del Cretácico Superior.

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), las muestras analizadas se clasifican como C_2-S_1 , que representa agua de salinidad media con bajo contenido de sodio intercambiable; y C_3-S_1 , que corresponde a salinidad alta y bajo contenido de sodio intercambiable; ambas clasificaciones se consideran aptas para el uso agrícola en cultivos medianamente tolerantes a la salinidad y en suelos con buen drenaje, requiriendo en algunos casos el lavado periódico.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2007, se registró la existencia de 853 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 803 son pozos, 43 norias y 7 manantiales; del total de aprovechamientos, 549 se encuentran activos y 304 se encuentran inactivos (287 pozos, 15 norias y 2 manantiales).

El volumen de extracción por bombeo asciende a **63.8 hm³/año**, de los cuales 45.5 hm³/año (71.3%) son para uso público urbano (9.5 hm³ del valle y 36.0 hm³ de las calizas), 5.7 hm³/año (8.9%) corresponden al uso agrícola, 9.3 hm³/año (14.6%) al uso industrial, 1.3 hm³/año (2.0%) al uso doméstico-pecuario, 1.6 hm³/año (2.6%) para servicios y 0.4 hm³/año (0.6%) para otros usos. Adicionalmente, a través de los 7 **manantiales** se descarga un volumen de 33 lps, que equivalen a **1.0 hm³ anuales**, destinado principalmente para usos público-urbano y agrícola.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2007-2014, en una superficie de **317 km²**, que corresponde a la zona del valle donde se cuenta con información piezométrica en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh). De manera incidental, la infiltración de los excedentes del 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).

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 ($\Delta V(S)$), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, este valor es la incógnita a despejar en la ecuación de balance.

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

Donde:

Rv:	Recarga vertical
Eh:	Entradas por flujo subterráneo horizontal
Ri:	Recarga Incidental
Sh:	Salidas por flujo subterráneo horizontal
B:	Bombeo
Dm:	Descarga a través de manantiales
$\Delta V(S)$:	Cambio de almacenamiento

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

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

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 la figura 5.

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:

$$Q = B * i * T$$

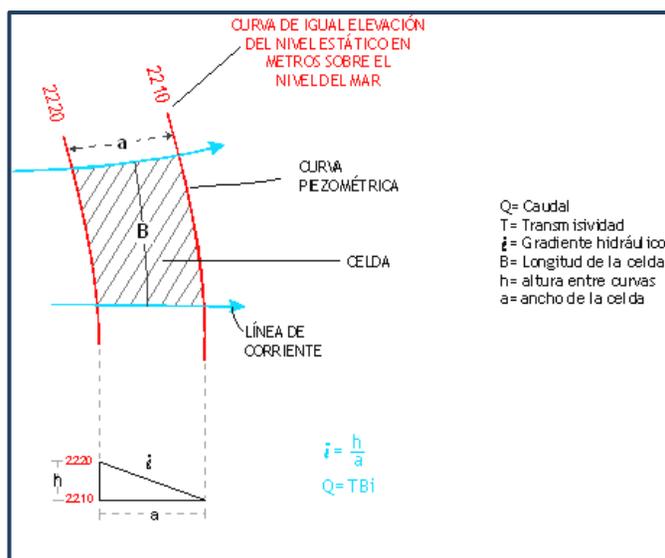
Donde:

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 **30.5 hm³/año**.

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.

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

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	4515	1015	10	0.0099	0.0004	0.0178	0.6
E2	4865	1820	20	0.0110	0.0005	0.0267	0.8
E3	1435	800	30	0.0375	0.0006	0.0323	1.0
E4	1140	1310	30	0.0229	0.0008	0.0209	0.7
E5	1850	1000	30	0.0300	0.0008	0.0444	1.4
E6	1520	2125	30	0.0141	0.0008	0.0172	0.5
E7	2900	800	15	0.0188	0.0025	0.1359	4.3
E8	2500	825	15	0.0182	0.0025	0.1136	3.6
E9	2680	800	15	0.0188	0.0025	0.1256	4.0
E10	3410	1230	50	0.0407	0.00035	0.0485	1.5
E11	4345	1235	50	0.0405	0.00035	0.0616	1.9
E12	3700	1165	50	0.0429	0.00035	0.0556	1.8
E13	4965	1000	50	0.0500	0.0005	0.1241	3.9
E14	6410	850	25	0.0294	0.0005	0.0943	3.0
E15	3900	1200	30	0.0250	0.0005	0.0488	1.5
TOTAL							30.5

7.1.3 Recarga incidental (Ri)

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 10% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga efectiva, tomando en cuenta la profundidad al nivel del agua subterránea mayor a 30 m en las zonas agrícolas y la presencia de estratos de permeabilidad media a baja en el subsuelo, principalmente de la lutita Parras.

Por otra parte, se considera también que existe una baja eficiencia en el sistema de la red de abastecimiento de agua potable, por lo que se estima que más del 25 % de este volumen se fuga en la red de distribución de agua potable y en el sistema de alcantarillado; sin embargo, solo se considera que un 10% constituye recarga efectiva al acuífero. De esta manera, considerando que el volumen para uso público-urbano es de 65.9 hm^3 anuales, de los cuales 45.5 hm^3 se extraen en el acuífero y 20.4 hm^3 proceden del acuífero vecino Cañón de Derramadero, y 5.7 hm^3 anuales se destinan al uso agrícola; es decir un total de 71.6 hm^3 anuales, y que un 10% de éste recarga de manera efectiva al acuífero, se obtiene una recarga incidental de 7.2 hm^3 anuales.

Por lo que **Ri = 7.2 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 la figura 5, tal como se muestra en la tabla 3.

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

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)
S1	2145	1630	20	0.0123	0.0020	0.0526	1.7
Tota salidas							1.7

7.2.2 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **63.8 hm³ anuales**; de los cuales 27.8 hm³ corresponden al relleno aluvial y a las lutitas y 36.0 hm³ a las calizas.

7.2.3 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo realizado en 2014, se identificó la existencia de 7 pequeños manantiales, que en conjunto descargan 33 lps, es decir un volumen estimado de **1.0 hm³ anuales**.

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático registrada durante el periodo 2007-2014 (figura 6).

Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico Sy de 0.05 (SARH, 1981), se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- ΔV:** 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)

Como consecuencia de la explotación del recurso, la posición de los niveles piezométricos ha descendido propiciado una variación negativa del almacenamiento.

El volumen de agua drenado en el intervalo 2007–2014, fue de -4.1 hm³, que representa un promedio anual de **-0.6 hm³** (tabla 4).

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento (2007-2014)

Evolución (m)	Abatimiento medio (m)	Área (km ²)	Sy	ΔV(S) (hm ³ /año)
0 a 2	1	19.2	0.05	1.0
0 a 5	2.5	1.2	0.05	0.2
1 a 4	2.5	5.1	0.05	0.6
2 a 4	3.0	2.8	0.05	0.4
3 a 6	4.5	2.2	0.05	0.5
5 a 8	6.5	1.2	0.05	0.4
0 a -2	-1	18.8	0.05	-0.9
-1 a -4	-2.5	12.9	0.05	-1.6
-4 a -8	-6.0	6.1	0.05	-1.8
-8 a -10	-9.0	1.1	0.05	-0.5
-10 a -15	-12.5	1.2	0.05	-0.8
-15 a -25	-20	1.5	0.05	-1.5
0	0.0	243.7	0.05	0.0
Área de balance		317.0	TOTAL	-4.1
Promedio anual				-0.6

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:

$$R_v = B + Sh + Dm \pm \Delta V(S) - E_h - R_i$$

$$R_v = 63.8 + 1.7 + 1.0 - 0.6 - 30.5 - 7.2$$

$$R_v = 28.2 \text{ hm}^3$$

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

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 28.2 + 30.5 + 7.2 \\ R &= 65.9 \text{ hm}^3 \text{ año} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
- R** = Recarga total media anual
- DNC** = Descarga natural comprometida
- VEAS** = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso, su valor es de **65.9 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **DNC = 2.7 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 **118,112,811 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 65.9 - 2.7 - 118.112811 \\ \text{DMA} &= -54.912811 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **54,912,811 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1996, Estudio Geohidrológico de la Zona Saltillo Ramos-Arizpe, Coahuila. Realizado por Lesser y Asociados, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 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), 1981. Estudio Geohidrológico Cuantitativo de la Zona Saltillo-Ramos Arizpe, Coahuila. Realizado por Ingeniería Integral, S.A. de C.V. (ININSA).