

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Saltillo-Ramos Arizpe  
(0510), Estado de Coahuila***

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

## Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
<b>ESTADO DE COAHUILA</b>							
0510	SALTILLO-RAMOS ARIZPE	86.7	2.2	90.790833	78.7	0.000000	-6.290833

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



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

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

***México, D.F., Septiembre de 2013***

## CONTENIDO

1. GENERALIDADES .....	1
Antecedentes .....	1
1.1. Localización .....	1
1.2. Situación administrativa del acuífero .....	3
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	4
3. FISIOGRAFÍA .....	5
3.1. Provincia fisiográfica .....	5
3.2. Clima .....	5
3.3. Hidrografía .....	6
3.4. Geomorfología .....	6
4. GEOLOGÍA .....	7
4.1 Estratigrafía .....	8
4.2. Geología estructural .....	11
4.3. Geología del subsuelo .....	12
5. HIDROGEOLOGÍA .....	13
5.1. Tipo de acuífero .....	13
5.2. Parámetros hidráulicos .....	13
5.3. Piezometría .....	13
5.4. Comportamiento hidráulico .....	14
5.4.1. Profundidad al nivel estático .....	14
5.4.2. Elevación del nivel estático .....	14
5.4.3. Evolución del nivel estático .....	14
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	19
7.1. Entradas .....	19
7.1.1. Recarga vertical (Rv) .....	20
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	20
7.1.3. Recarga inducida (Ri) .....	22
7.2. Salidas .....	22
7.2.1. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	22
7.2.3. Bombeo (B) .....	23
7.3 Cambio de almacenamiento .....	23
8. DISPONIBILIDAD .....	23
8.1. Recarga total media anual (Rt) .....	24
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	24
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS) .....	24
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) .....	24
9. BIBLIOGRAFÍA .....	25

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

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

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

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1. Localización**

El acuífero Saltillo-Ramos Arizpe definido con la clave 0510 en el Sistema de información geográfica para el manejo del agua subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la parte sureste del estado de Coahuila, entre los paralelos 25° 16' y 25° 44' de latitud norte y los meridianos 100° 34' y 101° 13' de longitud oeste abarca una superficie de 1,446 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con el acuífero Paredón, al oeste con General Cepeda-Sauceda, al sur con Cañón del Derramadero y Región Manzanera-Zapaliname, pertenecientes al Estado de Coahuila; al este limita con Campo Durazno y Campo de Buenos Aires, pertenecientes al Estado de Nuevo León (figura 1). Geopolíticamente el territorio que cubre el acuífero queda comprendido parcialmente en los municipios Ramos Arizpe, Arteaga y Saltillo, del Estado de Coahuila.

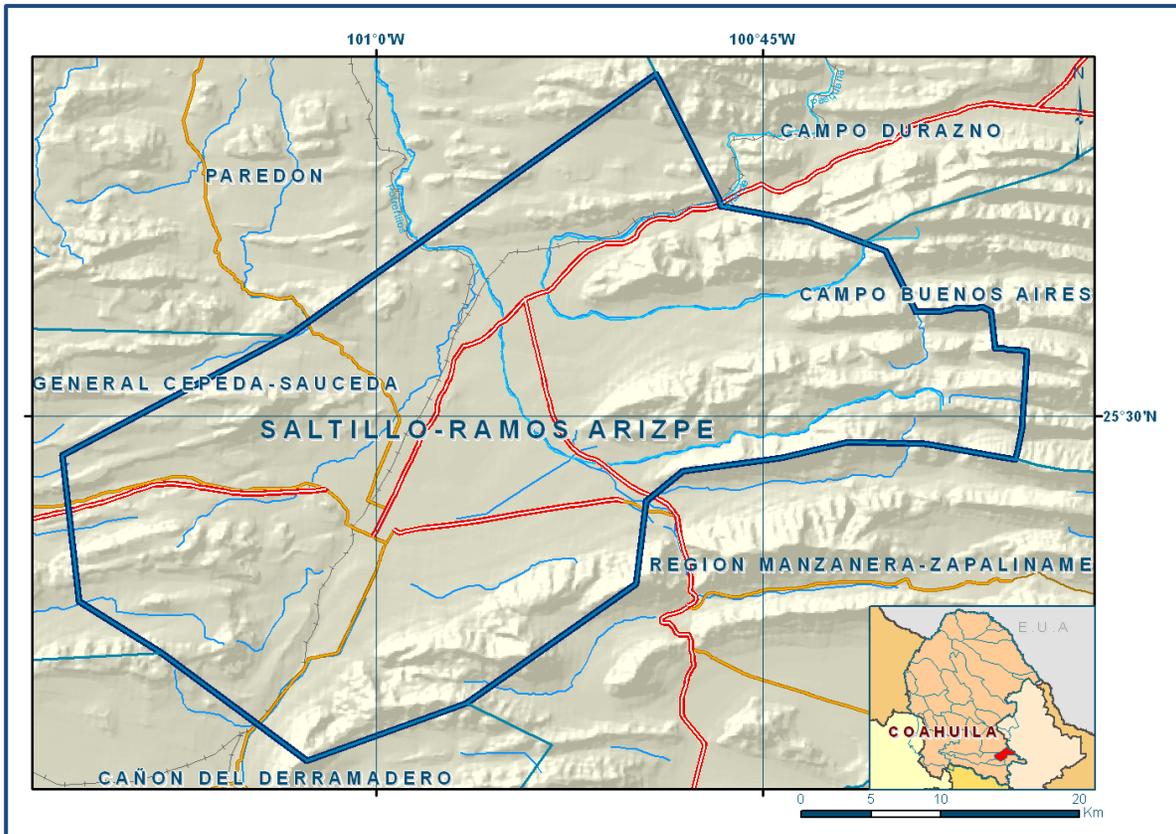


Figura 1, Localización del acuífero Saltillo-Ramos Arizpe

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 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	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Saltillo-Ramos Arizpe pertenece al Organismo de Cuenca VI Rio Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. El territorio del acuífero se encuentra parcialmente vedado y sujeto a las disposiciones de 4 decretos de veda.

El primero es el *“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 en el DOF) el 8 de octubre de 1951. Estos dos decretos establecen veda tipo I, en la que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos.

El tercero 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 DOF el 7 de febrero de 1952. Por último, el *“Decreto por el que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas subterráneas, de la zona no vedada por el diverso publicado el 7 de febrero de 1952, en el área que ocupa el Municipio de Saltillo, Coah., y se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en dicha zona”,* publicado en el DOF el 25 de abril de 1979. En estos dos decretos la veda es tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

La porción no veda del acuífero Saltillo-Ramos Arizpe, clave 0510, 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 18 acuíferos que se indican”.* publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, se prohíbe la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, y el incremento de volúmenes autorizados o registrados, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua vigente para el año 2013, los municipios Saltillo y Ramos Arizpe se clasifican como zona de disponibilidad 3 y el municipio Arteaga como zona de disponibilidad 5. El usuario principal es el agrícola. No existe Distrito o Unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido a la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **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 DE LA ZONA SALTILLO RAMOS-ARIZPE, COAHUILA, elaborado por Lesser y Asociados, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 1996.** Este estudio tuvo como objetivos realizar un censo, pruebas de bombeo, caracterizar al acuífero, determinar componentes de recarga y elaborar el balance de aguas subterráneas. Se censaron 725 aprovechamientos subterráneos. Los resultados determinaron que la zona se divide en tres subsistemas: Acuífero Parras, Acuífero intermedio y Acuífero en Calizas, entre los cuales existe continuidad hidráulica entre ellos. La calidad del agua es buena en el subsistema de calizas y buena a mala en el subsistema Lutita Parras, el subsistema intermedio presenta alto contenido en sulfatos. El balance de agua subterránea indica que existía una entrada por flujo subterráneo de  $9.36 \text{ hm}^3/\text{año}$ ; la infiltración por fugas de agua potable era de  $3.97 \text{ Mm}^3/\text{año}$ ; la infiltración por lluvia de  $7.7 \text{ Mm}^3/\text{año}$ ; la salida por flujo subterráneo fue de  $1.50 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , la descarga por manantiales alcanzó los  $2.87 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y para el cambio de almacenamiento se obtuvo un valor negativo de  $5.97 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO (RECOPIACIÓN, ANALISIS 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, elaborado para la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Coahuila (CEASC), en 2002.** En este estudio se realizó cartografía geológica y mediciones estructurales, determinando una columna estratigráfica correlacionable con las formaciones que se ubican en la zona. El balance hidrogeológico en el estudio de las cuencas, determinó un valor de infiltración de  $46.0 \text{ hm}^3$ , mientras que para el sistema de San Lucas, el volumen de extracción fue de  $10.1 \text{ hm}^3$ , en San José de los Nuncios se estimó una extracción a  $6.4 \text{ hm}^3$ , en tanto que en el acuífero granular fue de  $6.1 \text{ hm}^3$  anuales y en el sistema El Chorro de  $3.7 \text{ hm}^3$ . Se determinó que el modelo conceptual de flujo está gobernado por un sistema de fallas y por ejes de los principales anticlinales, propone 6 sitios para realizar perforaciones exploratorias.

**ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS MONCLOVA Y SALTILLO-RAMOS ARIZPE, EN EL ESTADO DE COAHUILA. Elaborado 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

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. Esta provincia se encuentra 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 centros. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserraos.

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 Pliegue Saltillo Parras, en la porción oeste cubriendo la mayor parte del territorio y la Subprovincia Gran Sierra Plegada, en la porción oriental.

#### **3.2. Clima**

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el territorio en la porción sur que cubre el acuífero, en la sierra de Zapalinamé, se presenta un subtipo semiseco, hacia la planicie de Saltillo el subtipo de clima corresponde a seco templado, en la zona de Ramos Arizpe el clima es del subtipo seco semicálido; todos estos climas presentan lluvias escasas todo el año. En las tres zonas el porcentaje de precipitación invernal es mayor del 18%.

En el acuífero se localizan 3 rangos de temperatura, el primero en la zona de sierras donde existe un intervalo de 12 °C a 14 °C, incrementándose hacia la planicie en el cual está el segundo rango de temperaturas 16 °C a los 18 °C, el último se localiza en el valle de Ramos Arizpe y es de 18 °C a 20 °C en promedio. La precipitación media anual varía desde los 600 a 500 milímetros hacia la sierra de Zapalinamé, Arteaga y San Lucas; observando una disminución gradual hacia la parte baja los valles

de Saltillo y Ramos Arizpe, con valores de los 500 a 300 mm. El periodo de lluvias se presenta de mayo a septiembre mientras que el de estiaje durante octubre a abril.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 6 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Arteaga, Ramos Arizpe (SMN), Saltillo, Ramos Arizpe (DGE), S. Juan De La V. y El Tunal, cuyos registros comprenden un periodo de 10 años. Con estos datos y utilizando Polígonos de Thiessen se determinaron valores promedios anuales de precipitación y temperatura media anual de **400 mm** y **23°C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2000 mm**.

### **3.3. Hidrografía**

Hidrológicamente el área de estudio forma parte de dos regiones hidrológicas: la mayor parte pertenece a la Región Hidrológica 24 Río Bravo-Conchos, en la cual se ubican los valles de Saltillo y Ramos Arizpe. Esta región, presenta una importante producción acuífera en las zonas serranas compuestas por calizas del Cretácico. El conjunto montañoso aporta una gran cantidad de escurrimientos, parte de los cuales son captados por los sedimentos granulares que conforman la parte topográficamente más baja.

Una pequeña área de la porción sur y suroriental del acuífero pertenece a la Región Hidrológica 37 El Salado. Las calizas de edad jurásica que afloran en esta región, constituyen acuíferos que aportan gasto medios a altos, principalmente en la zona manzanera de la Sierra de Arteaga.

### **3.4. Geomorfología**

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. En general el patrón regional está dominado por plegamientos con dirección este-oeste.

Cuerpos Anticlinales: son estructuras topográficas al sur y oriente, corresponden a los cuerpos de caliza que forman flancos de estructuras de anticlinales y sinclinales.

Valle de Saltillo: Se ubica sobre materiales de la Formación Parras, con relieves suaves.

Escarpes: Se forman en las rocas que conforman el Grupo Difunta, constituido por areniscas y lutitas; las primeras generan escarpes topográficos mientras que las lutitas producen estructuras de erosión suave.

#### 4. GEOLOGÍA

La geología de la zona está constituida principalmente por rocas sedimentarias marinas y palustres-marinas, areniscas y conglomerados polimícticos, cuyas edades varían del Mesozoico (Jurásico) al Cenozoico (Cuaternario).

El Jurásico está representada por la formación La Casita; el Cretácico inferior por las formaciones Taraises, Cupido, La Peña, Aurora y Cuesta del Cura, en el Cretácico Superior la secuencia geológica continua con las formaciones Indidura y Parras, para culminar con el grupo Difunta, que engloba a las formaciones Centro del Pueblo, Cerro Huerta, Cañón del Tule, Imágenes, Encinas, Rancho Nuevo.

El basamento de estas rocas está constituido por rocas metamórficas, sedimentarias continentales e ígneas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que van del Pérmico al Jurásico Medio. La distribución de las diferentes unidades litológica se presenta en la figura 2.

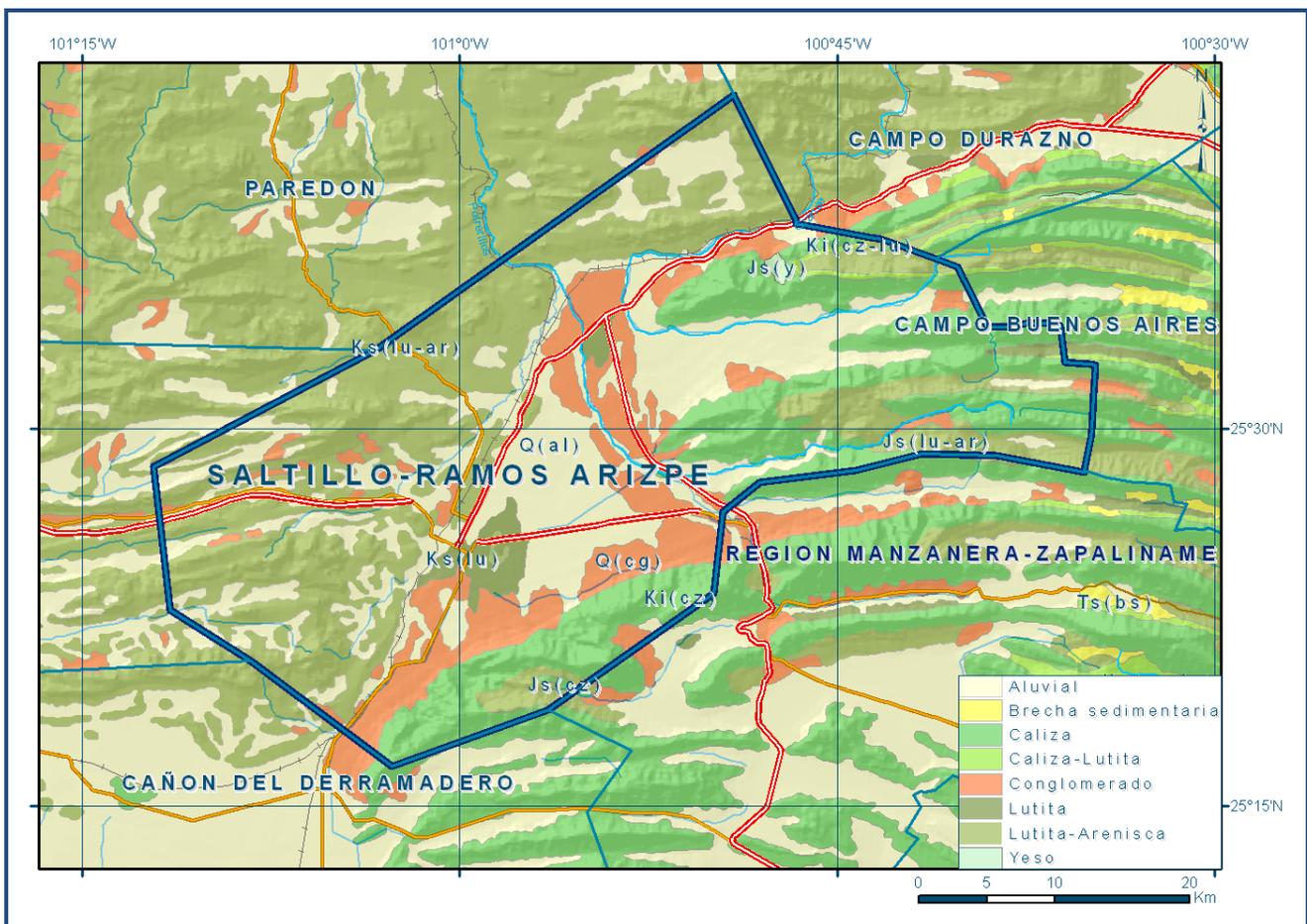


Figura 2. Geología general del acuífero

## **4.1 Estratigrafía**

La columna estratigráfica presente en la zona se describe a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente:

### **Jurásico**

#### **Formación La Casita**

Es la unidad más antigua y está representada por secuencias de lutitas, conglomerados, calizas, yesos y capas de carbón. Se encuentra ampliamente expuesta debido a que el núcleo de la estructura presenta pliegues secundarios lo que incrementa su amplitud; ha sido cartografiada en el núcleo del Anticlinal Los Nuncios, en el anticlinal San Lucas, en la vertiente septentrional de la Sierra de Arteaga y sobre el núcleo del anticlinal Los Chorros. Su espesor general es de 360 m.

### **Cretácico Inferior**

#### **Formación Taraises**

Ubicada en el sector occidental de la Sierra de Parras, representada por dos miembros, el inferior que se encuentra discordante con la Formación La Casita, el cual es del tipo erosional, constituido por una secuencia de calizas de estratificación media a gruesa, con algunas vetillas de calcita y algunos horizontes delgados de limonita. El miembro superior está conformado por calizas arcillosas de estratificación media intercalada con estratos delgados de lutitas fósiles.

#### **Formación Cupido**

Secuencia de calizas de estratificación delgada y media, presentando vetillas de calcita y estilolitas. Como localidad tipo se tiene la base de la pared norte del Cañón del Mimbres, ubicada unos 60 km al sureste de la ciudad de Parras Coahuila en esta formación se constituyen tres miembros, el inferior concordante con la formación Taraises está integrado por calizas de color gris oscuro con vetilla de calcita, el miembro medio integrado por material arcilloso-calcáreo de espesor pequeño y el superior que es una calcirrudita tamaño de la arena con una estratificación de gruesa a masiva con abundante fauna marina y estilolitas. Su contacto inferior es concordante con la formación Taraises y su contacto superior con la Formación La Peña.

#### **Formación La Peña**

Propuesta por Imlay, 1937 y posteriormente fue descrita como formación por Humphey, 1949, para designar a una serie de calizas arcillosas y fosilíferas, que separan a los potentes bancos de calizas de las formaciones Aurora y Cupido. Se puede dividir en dos miembros: El Miembro Inferior se compone de capas delgadas a medianas de caliza color gris claro, con nódulos de pedernal y delgadas capas de material arcilloso interestratificado. El Miembro Superior contiene mayor cantidad del material arcilloso y los estratos de caliza se adelgazan notablemente, hasta tener una apariencia lajosa, presentando transiciones a limolita calcárea. Con el intemperismo, las coloraciones que

adopta este miembro, son rojizas y parduzcas en ocasiones. Considerando los dos miembros, la Formación La Peña generalmente tiene un espesor de 50 m, aproximadamente. Corresponde a un horizonte índice tanto por su contenido de fósiles, como por encontrarse encajonada entre dos grandes cuerpos de calizas masivas correspondientes a las formaciones Aurora y Cupido. Tiene una edad Aptiano Superior y como característica presenta abundantes amonitas principalmente de la familia *Dufrenoya*.

### **Formación Aurora**

Está constituida por bancos de calizas de color gris claro, densas y compactas, dispuestas en estratos de 2 a 4 m, dolomitizadas en su parte basal, con fractura concoidea y nódulos de pedernal abundantes, sobre todo en las capas superiores. Presenta además estilolitas. Subyace concordantemente a la Formación Kiamichi y de la misma forma sobreyace a la Formación La Peña. Constituye el “espinazo” de la mayor parte de las sierras anticlinales, su distribución se puede considerar como la más amplia de las formaciones cretácicas en esta área. De acuerdo al contenido de macrofauna y microfauna como *Orbitulina texana*, y por su posición estratigráfica, se le ha asignado una edad Albiano Inferior y Medio. Se correlaciona en edad con las formaciones Cuesta del Cura, Tamaulipas Superior, El Abra, Tamabra y Taninul, de la parte central-oriente de México, y con la Formación Glen Rose de la cuenca Maverick.

Aflora en todas las sierras del área de estudio, constituida por calizas de plataforma con estratificación media a gruesa, sobre yace a la Formación La Peña y subyace a la Formación Cuesta del Cura, se considera que se depositó al inicio del Albiano alcanzando un espesor promedio de 200 m en el Albiano Medio.

### **Formación Cuesta del Cura**

Compuesta por calizas arcillosas de estratificación delgada a media de color gris claro, presenta bandas de pedernal e intercalaciones arcillosas, su contacto inferior es concordante con la Formación Aurora y su contacto superior es concordante con la Formación Indidura, se considera que es del Albiano Medio al Cenomaniano Inferior. Su ambiente de depósito es de facies de cuenca, debido a que en el Cenomaniano los mares comenzaron a retirarse. Aflora en el Cañón de La Huasteca, N.L., Loma Alta, en el Cañón del Chorro, Sierra Zapalinamé, Arteaga, Sierra La Nieve, San José de Los Nuncios, en el estado de Coahuila.

### **Cretácico Superior**

#### **Formación Indidura**

Constituida por una secuencia de calizas y lutitas que aflora en el flanco norte de la sierra de Los Nuncios, sobre la Cañada Cabritas y en el flanco sur del cerro San Antonio, también aflora en zonas aisladas 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.

### **Formación Parras**

Es una secuencia de 1200 m de espesor de lutitas carbonosas cuya localidad tipo es Lomas de San Pablo, ubicado a 6.4 km al oriente de la ciudad Parras Coahuila. Aflora sobre los flancos norte y sur del anticlinal Los Nuncios, se reporta un espesor de 1524 m en la localidad tipo y de 595 a 610 m en el Cañón La Casita, en el sureste del estado de Coahuila. Sus contactos superior e inferior son concordantes con las formaciones Difunta y Caracol respectivamente.

### **Grupo Difunta**

Corresponde a una secuencia de sedimentos terrígenos cuyas edades que varían desde el Cretácico Superior hasta el Terciario Inferior, está integrada por estratos delgados a gruesos de lutitas, limonitas y areniscas, con un espesor de más de 400 m. El Grupo está conformado por las siguientes formaciones

### **Formación Cerro del Pueblo**

Esta unidad está compuesta por una secuencia de lutitas, areniscas y limonitas cuya 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 se presenta en las cercanías de Saltillo siendo este de 500 m aproximadamente, se le asigna una edad correspondiente al Santoniano. Esta unidad es correlacionable con la Formación Méndez de la cuenca de Burgos y con la Formación San Miguel y Olmos, de la cuenca de Sabinas.

### **Formación Cerro Huerta**

Secuencia de areniscas, lutitas, limonitas rojas y verdes que afloran en la porción central y occidental de la zona de estudio, que tiende a acuñarse hacia el norte y este, sobreyace a la Formación Cerro del Pueblo y subyace a la Formación Cañón del Tule. Presenta un espesor de 978 m, como lo muestra su localidad tipo, ubicada en las inmediaciones de Saltillo.

### **Formación Cañón del Tule**

Está constituida por una secuencia de sedimentos arcillosos que sobreyacen concordantemente a la Formación Cerro de Huerta e infrayacen 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.

### **Formación Las Imágenes**

Aflora en la porción central de la cuenca de Parras, sobreyaciendo a la formación Cañón del Tule, e infrayaciendo a la formación Cerro Grande.

### **Formación Cerro Grande**

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

### **Formación Las Encinas**

La sección tipo de esta formación se localiza a 28 km aproximadamente al norte de Saltillo y corresponde a una alternancia de capas delgadas, medias y gruesas de lutitas, areniscas y limonitas de 20 m espesor. Aflora principalmente en la porción norte de la cuenca de Parra, 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 Difunta.

### **Cuaternario**

Está representado por depósitos aluviales y fluviales (limos, gravas y arenas) producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas. En las zonas cercanas a las sierras, predominan los cantos rodados, principalmente a lo largo de los arroyos intermitentes que los transportan en época de lluvias.

## **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 cóncavos, a veces bifurcados, de rumbo predominante 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, como sucede en el Potrero Chico, Las Ánimas y Baluartes.

### 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 a partir de cortes litológicos de algunos pozos, podemos afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su parte superior, por los sedimentos aluviales y de pie de monte de granulometría variada, producto del intemperismo de rocas preexistentes en su mayoría de la Formación Parras y los conglomerados polimícticos que rellenan los amplios valles. La parte inferior del acuífero se encuentra constituida por la parte alterada y fracturada de la Formación Parras de aproximadamente 700 m de espesor conformada por lutitas calcáreas, carbonosas de estratificación delgada y laminar. Las barreras y fronteras al flujo subterránea están representadas por las mismas lutitas cuando a profundidad pierden su fracturamiento.

A mayor profundidad las calizas de las formaciones Indidura, Cuesta del Cura y Aurora, entre otras, constituyen sistemas acuíferos profundos que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento y confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas (figura 3). Esta es la unidad que principalmente se explota para satisfacer las necesidades de agua de los distintos usos en la zona.

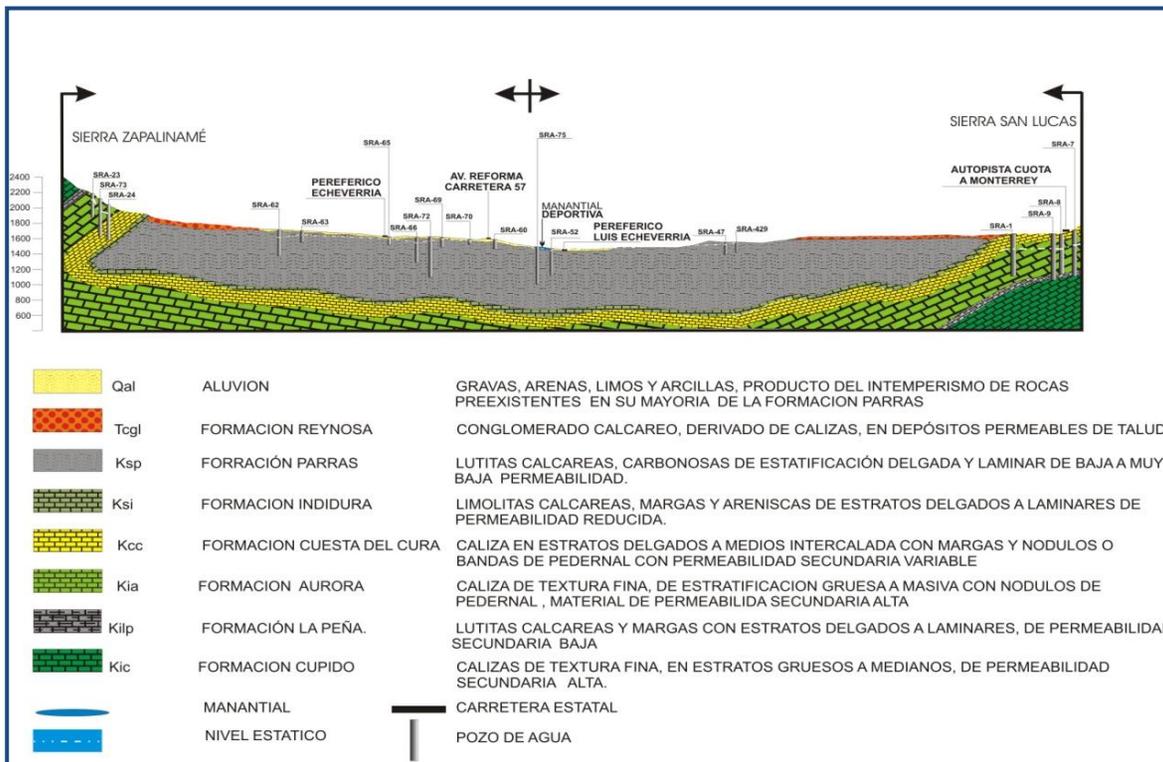


Figura 3, Sección geológica esquemática

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de dos subsistemas hidrogeológicos, uno es el denominado “Acuífero Parras”, acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido por lutitas calcáreas de muy baja permeabilidad, la presencia de esta formación en el valle y en contacto con los materiales aluviales en conjunto constituyen una unidad acuífera con pozos de bajo caudal, al cual se denomina sistema “Valle de Saltillo”.

El segundo subsistema hidrogeológico hace referencia al “Acuífero Calizo”, de **tipo semiconfinado**, heterogéneo y anisótropo, constituido por diversas formaciones calcáreas, que por su posición estratigráfica y ubicación forman las principales sierras en las inmediaciones del valle de Saltillo. En él se perforaron la mayor parte de los pozos de caudal medio a alto para el abastecimiento de agua potable a las ciudades de Saltillo y Ramos Arizpe.

### 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2010, se llevaron a cabo 10 pruebas de bombeo de larga duración, en etapa de abatimiento y recuperación. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos de Neuman, Theis y Jacob, tanto en etapa de abatimiento como recuperación; siete de las pruebas se realizaron en pozos que explotan el acuífero de las calizas y tres en lutitas.

De los resultados de su interpretación, se observa que en la zona de estudio los valores de transmisividad varían de  **$1.03 \times 10^{-5}$  a  $0.21 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , los valores más altos corresponden a pozos construidos en las inmediaciones de las Sierras Zapalinamé, Los Nuncios y San Lucas, típicos de zonas calcáreas fracturadas; en tanto que los valores más bajos se presentan en los pozos construidos en el Valle de Saltillo y Ramos Arizpe, en zonas de relleno o en materiales de baja permeabilidad. Los valores de conductividad hidráulica varían de  **$6.8 \times 10^{-8}$  a  $1.4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$** . En cuanto a los valores del coeficiente de almacenamiento, estos se encuentran entre los  **$2.1 \times 10^{-9}$  y  $1.7 \times 10^{-4}$** , en La Sierra de San Lucas y hacia la Zona de Ramos Arizpe, respectivamente.

### 5.3. Piezometría

Con respecto a la información piezométrica se dispone de información para los años 1996 y 2007, periodo que se utilizó para el planteamiento del balance de aguas subterráneas.

## **5.4. Comportamiento hidráulico**

### **5.4.1. Profundidad al nivel estático**

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2007, se observa que en la ciudad de Saltillo los valores oscilan entre los 5 y 40 m, mientras que para la ciudad de Ramos Arizpe y su periferia la profundidad del nivel estático se encuentra entre 20 y 40 m, estos valores se incrementan conforme hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, a lo largo de una franja orientada de suroeste a noreste, en la que los valores de profundidad del nivel estático varían de 60 a 100 m (figura 4). Valores que de igual forma se manifiestan en los valles intermontanos que se ubican entre las sierras de San José de los Nuncios y San Lucas-Loma Alta.

En el caso de las estribaciones de la Sierra de Zapalinamé los valores oscilan entre los 100 y 150 m. En las sierras de San José de Los Nuncios, San Lucas-Loma Alta y Zapalinamé las isolíneas de igual profundidad registran niveles estáticos mayores a los 150 m, llegando en algunos casos hasta 200 m, en obras que sobrepasan los 400 m de profundidad total.

### **5.4.2. Elevación del nivel estático**

En la configuración de elevación del nivel estático para el año 2007 se observa que las mayores elevaciones se ubican al sur del Valle de Saltillo (1750 m), y hacia la sierra de Zapalinamé (1850 m), valores que disminuyen gradualmente hacia la zona norte de Ramos Arizpe, hasta alcanzar 1250 m en la zona ubicada al noreste de Ramos Arizpe (figura 5). De acuerdo a la configuración, se observa que el movimiento del agua subterránea es en dirección sur-norte con aportaciones provenientes de los extremos oeste y este, hacia el centro del valle. La recarga se presenta en prácticamente toda la periferia del valle, sobre las estribaciones de la sierra, y la descarga se observa al noreste de Ramos Arizpe.

### **5.4.3. Evolución del nivel estático**

De acuerdo con la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 1996-2007, se observa que, de manera general, los niveles de agua subterránea no han sufrido variaciones significativas en su posición, presentando valores entre - 1 y 3 m para el periodo de 11 años de estudio (figura 6). Por el contrario se presentan valores positivos, indicando una recuperación del nivel de agua subterránea. Las mayores recuperaciones se presentan hacia las localidades Las Delicias, Torrecillas y Ramones; en la porción central del valle de Saltillo se observa que los niveles se han mantenido constantes. Los abatimientos del nivel estático se registran en la porción occidental de la zona urbana y hacia las estribaciones de las sierras ubicadas en esa zona del acuífero.

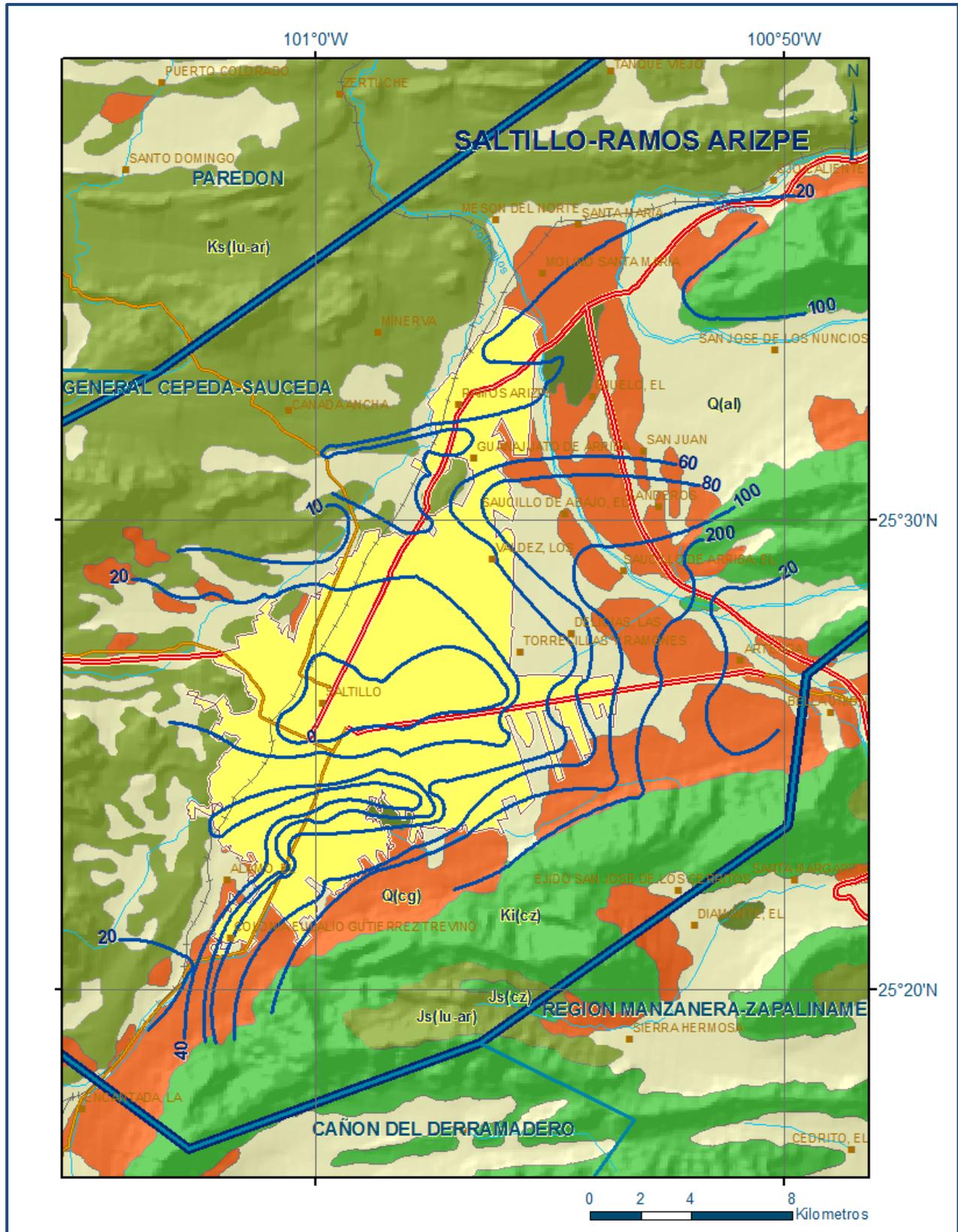


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2007)

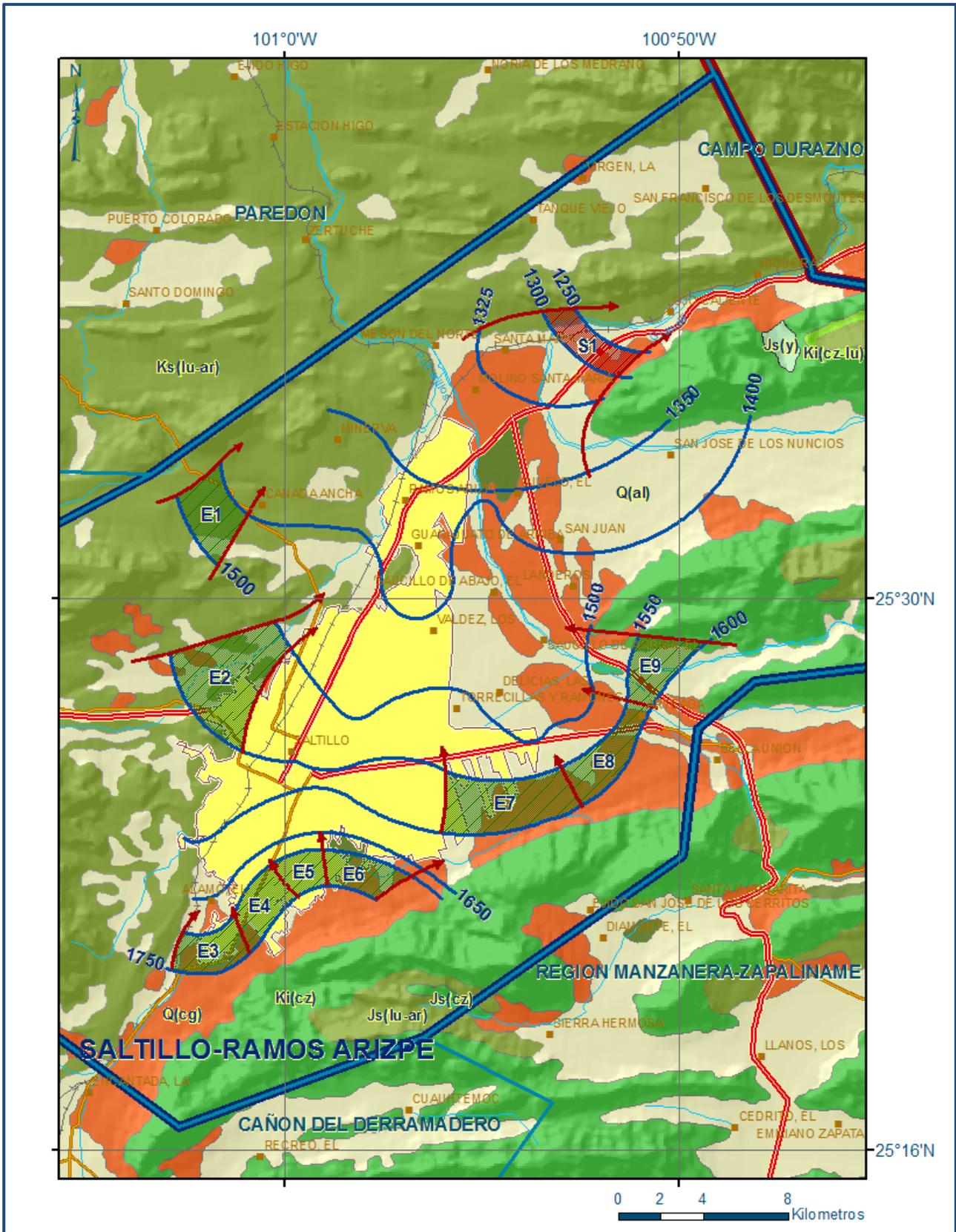


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

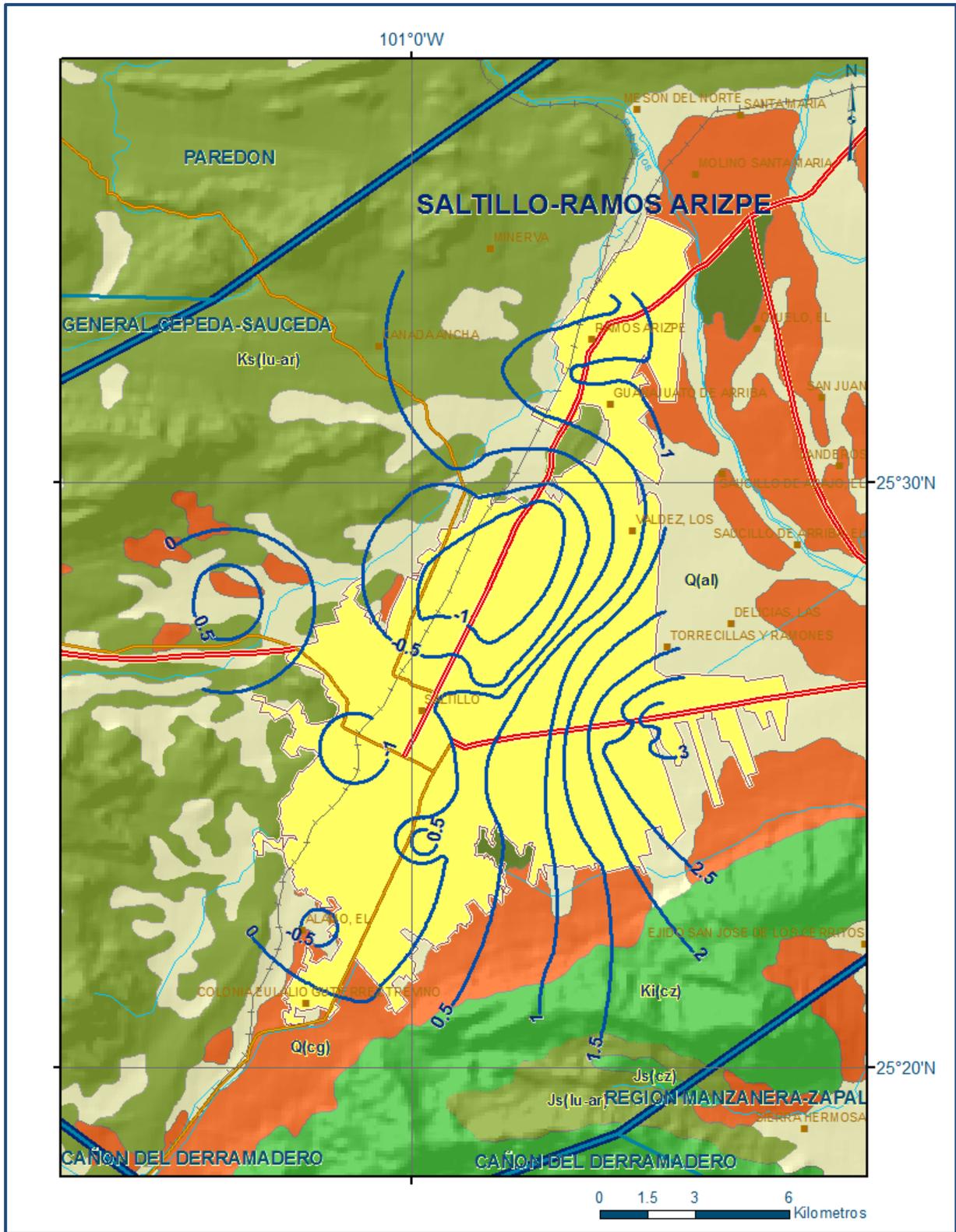


Figura 6, Evolución del nivel estático en m (1996-2007)

## **5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, 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, análisis de aniones, cationes, metales y metaloides. También se contó con la información de 50 análisis más que el sistema operador de agua potable del municipio de Saltillo proporcionó.

Con respecto a la conductividad se observan valores que varían de 500 a 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los valores menores a 1000 se ubican en las elevaciones topográficas de la porción oeste, este y sur. Los valores por encima de los 2000, se registran hacia la porción centro-norte, correspondiente al poblado de Ramos Arizpe y sus alrededores. De las muestras colectadas solo algunas se encontraron debajo del límite permisible de 1000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. No se observa una tendencia espacial definida en la concentración de la salinidad

El Sulfato es el elemento más común en la zona de estudio y presenta valores mayores a 1000 ppm, debido a la presencia de formaciones geológicas con altos contenidos de yesos, debido a su gran solubilidad el agua subterránea se enriquece muy rápidamente; por lo tanto aún con periodos cortos de residencia se presenta alto contenido de sulfatos.

Con respecto a las familias de agua, las interpretaciones indican que en el acuífero alojado en los rellenos y la porción fracturada de la lutitas del Cretácico Superior, se encuentran dos principales familias: bicarbonatada-cálcica y sulfatada- cálcica. La primera se ubica hacia las estribaciones de las sierras de calizas y presentan similitud con las aguas que se descargaban en los diversos manantiales. La segunda familia se presenta en los pozos ubicados en la porción norte del valle, hacia las sierras de areniscas del Cretácico Superior, evolucionando a las familias Sódico-Cálcica y sulfatadas-Clorurada. En general, la presencia de sulfatos en el agua subterránea indica la posible presencia de evaporitas en los rellenos del valle. Las aguas provenientes de las calizas cretácicas generalmente se clasifican como bicarbonatada-cálcica; aunque hacia la zona de Loma Alta prevalecen las aguas sulfatada-bicarbonatadas- cálcica.

Se clasificó el agua para su uso en riego utilizando la clasificación de Wilcox, en la cual se cataloga al agua de acuerdo a su contenido de sodio (expresado como RAS = relación de adsorción de sodio) y salinidad (expresada como conductividad eléctrica). De acuerdo a los resultados, se identifican tres zonas; la primera se ubica en los alrededores de Ramos Arizpe, la cual se caracteriza por predominar agua de tipo  $\text{C}_4\text{-S}_1$  con salinidad muy alta y bajo contenido de sodio intercambiable, asociada a la presencia de evaporitas, principalmente de sulfato de calcio. Esta zona cubre aproximadamente el

15% del área del valle. En la porción central del valle predomina el agua del tipo C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>, que representa agua de salinidad alta y baja cantidad de sodio intercambiable. La tercera zona se localiza en las estribaciones de la Sierra de Zapaliname, en la que el agua presenta bajo contenido salino y se clasifica del tipo C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, con salinidad media y bajo contenido de sodio.

## 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, para el acuífero de Saltillo-Ramos Arizpe se registró la existencia de 750 obras: 709 pozos, 38 norias y 3 manantiales; del total de aprovechamientos, 605 se encuentran activos y 145 se encuentran inactivos.

El volumen de extracción por bombeo asciende a **78.7 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 31.5 hm<sup>3</sup>/año (40.0%) corresponde al uso agrícola, 26.8 hm<sup>3</sup>/año (34.0%) al uso público urbano, 10.2 hm<sup>3</sup>/año (13.0%) al uso industrial, 4.7 hm<sup>3</sup>/año (6.0%) al uso doméstico y 3.2 hm<sup>3</sup>/año (4.1%) al uso pecuario. Existe un volumen de 2.3 hm<sup>3</sup>/año (2.9%) del volumen total extraído que no corresponde a ningún uso de acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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

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

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

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

### 7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas Recarga vertical por precipitación directa, infiltración de cuerpos superficiales y retornos de riego. (Rv) y Entradas por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas y de la red de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida ( $R_i$ ).

### 7.1.1. Recarga vertical ( $R_v$ )

El acuífero es considerado un sistema por el cual transita agua subterránea que se almacena temporalmente como en un embalse y tiene necesariamente una fuente de alimentación que conceptualmente tiene dos componentes principales: aquella agua que ingresa al sistema en forma vertical, producto de la infiltración directa del agua de lluvia precipitada sobre el valle, así como de los pequeños escurrimientos superficiales de los frentes de las sierras, por la complejidad y variabilidad de los parámetros involucrados en el proceso de recarga, en realidad la recarga vertical ingresa como un todo y su volumen se estima mediante la solución de la ecuación de balance planteada.

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

Donde:

$R_v$  = Recarga vertical;

$E_h$  = Entradas por flujo horizontal subterráneo;

$R_i$  = Recarga inducida

$B$  = Bombeo;

$S_h$  = Salidas por flujo horizontal subterráneo;

$\Delta V(S)$  = Cambio en el volumen almacenado;

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

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

### 7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal ( $E_h$ )

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

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2010, mostrada en la figura 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:

$$Q = B * i * T$$

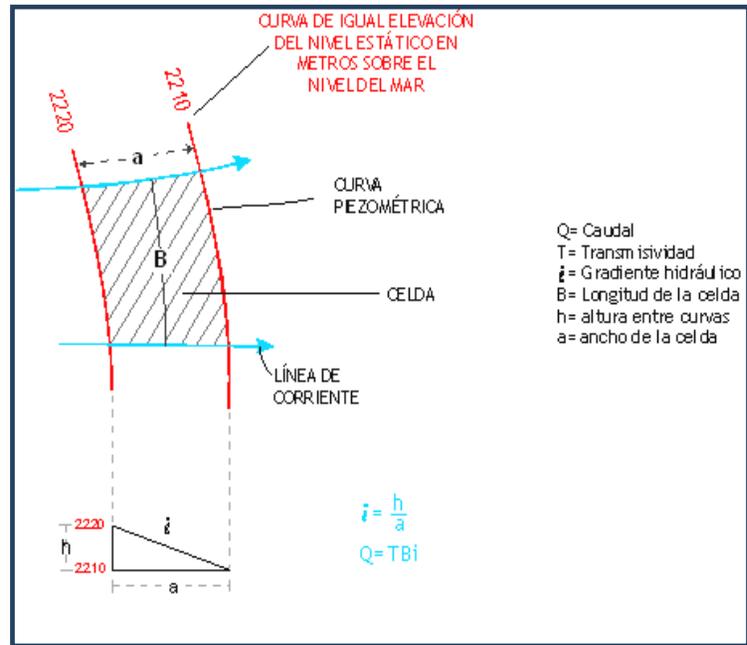
Donde:

**Q** = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

**T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s)

**B** = Longitud de la celda (m)

**i** = Gradiente Hidráulico (adimensional)



Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

La recarga total del flujo subterráneo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos, en la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda.

Tabla 2. Calculo de entradas por flujo subterráneo.

CELDAS	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$ (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
E1	4193	2419	100	0.041339	0.000399306	0.069214063	2.2
E2	2822	4032	50	0.012401	0.000810185	0.028352463	0.9
E3	2419	2822	50	0.017718	0.004456019	0.190983501	6.0
E4	3629	1855	50	0.026954	0.003819444	0.373605496	11.8
E5	2661	1855	50	0.026954	0.001076389	0.077204066	2.4
E6	2016	1613	50	0.030998	0.001076389	0.067265964	2.1
E7	5242	2016	50	0.024802	0.00072338	0.094046528	3.0
E8	4032	1048	50	0.047710	0.00072338	0.139153944	4.4
E9	3387	564	50	0.088652	0.000434028	0.130323766	4.1
E10	3629	2661	50	0.018790	0.000520833	0.035514922	1.1
<b>Total entradas</b>							<b>38.0</b>

El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **38.0 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.1.3. Recarga inducida (Ri)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen por concepto de los excedentes del riego y de la infiltración de las fugas de la infraestructura hidráulica de conducción del agua potable y/o de alcantarillado de Saltillo. Para el caso del agua destinada al uso agrícola, 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. 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.

Para este caso, no se cuenta con información de superficies y láminas de riego por cultivo; sin embargo, debido a la profundidad a la que se localiza el nivel del agua en la zona agrícola se considera que el 20% del volumen utilizado en la agricultura recarga de manera efectiva al acuífero. De igual manera, se considera un 20% de coeficiente de infiltración de las fugas en a red de agua potable y de alcantarillado. Si consideramos que el volumen de agua para uso agrícola es de 31.5 hm<sup>3</sup>/año y 26.8 hm<sup>3</sup>/año para uso público urbano, recarga inducida es 11.7 hm<sup>3</sup>. Por lo tanto **Ri = 11.7 hm<sup>3</sup> anuales**

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh), no existen salidas por evapotranspiración ni por flujo base de los ríos (Dfb). El volumen aportado por los manantiales es muy pequeño, por lo que para fines del balance se considerará cero.

### 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, Calculo de salidas por flujo subterráneo

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h2-h1 (m)	GRADIENTE I	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
S1	4455	1760	50	0.028409	0.002	0.253125	8.0
<b>Total salidas</b>							<b>8.0</b>

El volumen total estimado de salidas por flujo subterráneo asciende a **8.0 hm<sup>3</sup>/año**.

### 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 **78.7 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.3 Cambio de almacenamiento

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, los niveles de agua subterránea no han sufrido variaciones significativas en su posición en el periodo de 11 años de estudio, los abatimientos anuales son sólo de unos pocos centímetros, el comportamiento de las líneas de flujo no se ha modificado en el periodo de estudio. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento. Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir,  $\Delta V(S) = 0$ .

### 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:

$$\begin{aligned} R_v &= Sh + B \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \\ R_v &= 8.0 + 78.7 + 0.0 - 38.0 - 11.7 \\ R_v &= 37.0 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + E_h + R_i \\ R_t &= 37.0 + 38.0 + 11.7 \\ R_t &= 86.7 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la siguiente expresión:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS$$

Donde:

**DAS** = Disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero;

**Rt** = Recarga total media anual;

**DNCOM** = Descarga natural comprometida;

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

### **8.1. Recarga total media anual (Rt)**

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **86.7 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 75.0 hm<sup>3</sup> son recarga natural y 11.7 hm<sup>3</sup> recarga inducida.

### **8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)**

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

Para el caso del acuífero Saltillo-Ramos Arizpe el valor de **DNCOM** es de **2.2 hm<sup>3</sup>/año**, que corresponden al 28 % de las salidas subterráneas horizontales, de 8.0 hm<sup>3</sup>/año, debido a que aguas abajo de la celda en la que fueron calculadas, existen aprovechamientos con derechos vigentes.

### **8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)**

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 31 de marzo del 2013 es de 47,896,097 m<sup>3</sup>/año. Sin embargo, existe un volumen de 51'088,320 m<sup>3</sup> anuales pendientes de inscripción, que corresponden al título de asignación del municipio de Saltillo, por lo que el VCAS es **de 98'984,417 m<sup>3</sup> anuales**.

### **8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)**

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

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

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS}$$

$$\mathbf{DAS = 86.7 - 2.2 - 98.984417}$$

$$\mathbf{DAS = -14.484417 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponibilidad de para otorgar nuevas concesiones, por el contrario el déficit es de **14'484,417 hm<sup>3</sup>/año**, que se están extrayendo del almacenamiento no renovable del acuífero

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Coahuila (CEASC), 2002, Estudio geohidrológico (recopilación, análisis y depuración de la información, procesamiento, interpretación de imágenes, levantamiento geológico regional, calidad de agua subterránea, procesamiento e interpretación de información y elaboración de informe final en Saltillo, Coahuila.

Comisión Nacional del Agua, 1996, Estudio geohidrológico de la zona Saltillo Ramos-Arizpe, Coahuila. Por la empresa Lesser y Asociados, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2007. Actualización Geohidrológica de los acuíferos Monclova y Saltillo Ramos Arizpe, en el Estado de Coahuila. Realizado por GEOPSA, S.A. de C.V.