CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE GARZARÓN (3220), ESTADO DE ZACATECAS

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 6
3.1 Provincia fisiográfica 6
3.2 Clima 7
3.3 Hidrografía 7
3.4 Geomorfología 8
4 GEOLOGÍA 8
4.1 Estratigrafía 11
4.2 Geología estructural 15
4.3 Geología del subsuelo 16
5 HIDROGEOLOGÍA 18
5.1 Tipo de acuífero 18
5.2 Parámetros hidráulicos 18
5.3 Piezometría 18
5.4 Comportamiento hidráulico 18
5.4.1 Profundidad al nivel estático 18
5.4.2 Elevación del nivel estático 20
5.4.3 Evolución del nivel estático 21
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea 22
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 23
7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 23
7.1 Entradas 23
7.1.1 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) 24
7.2 Salidas 25
7.2.1 Extracción por bombeo (B) 26
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS) 26
8 DISPONIBILIDAD 27
8.1 Recarga total media anual (R) 27
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 28
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 28
9 BIBLIOGRAFÍA 30

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 Guadalupe Garzarón, definido con la clave 3220 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción nororiental del estado de Zacatecas, entre los paralelos 23° 45' y 24° 49' de latitud norte y entre los meridianos 101° 5' y 101° 38' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 3,952 km^2. Limita al norte con el acuífero Saltillo Sur, que pertenece al Estado de Coahuila; al oeste con Cedros y El Cardito, al este con El Salvador, todos ellos pertenecientes al Estado de Zacatecas; al sur-sureste con el acuífero Santo Domingo, que pertenece al Estado de San Luis Potosí (figura 1).

Geopolíticamente, abarca parcialmente los municipios de Mazapil y Concepción del Oro.

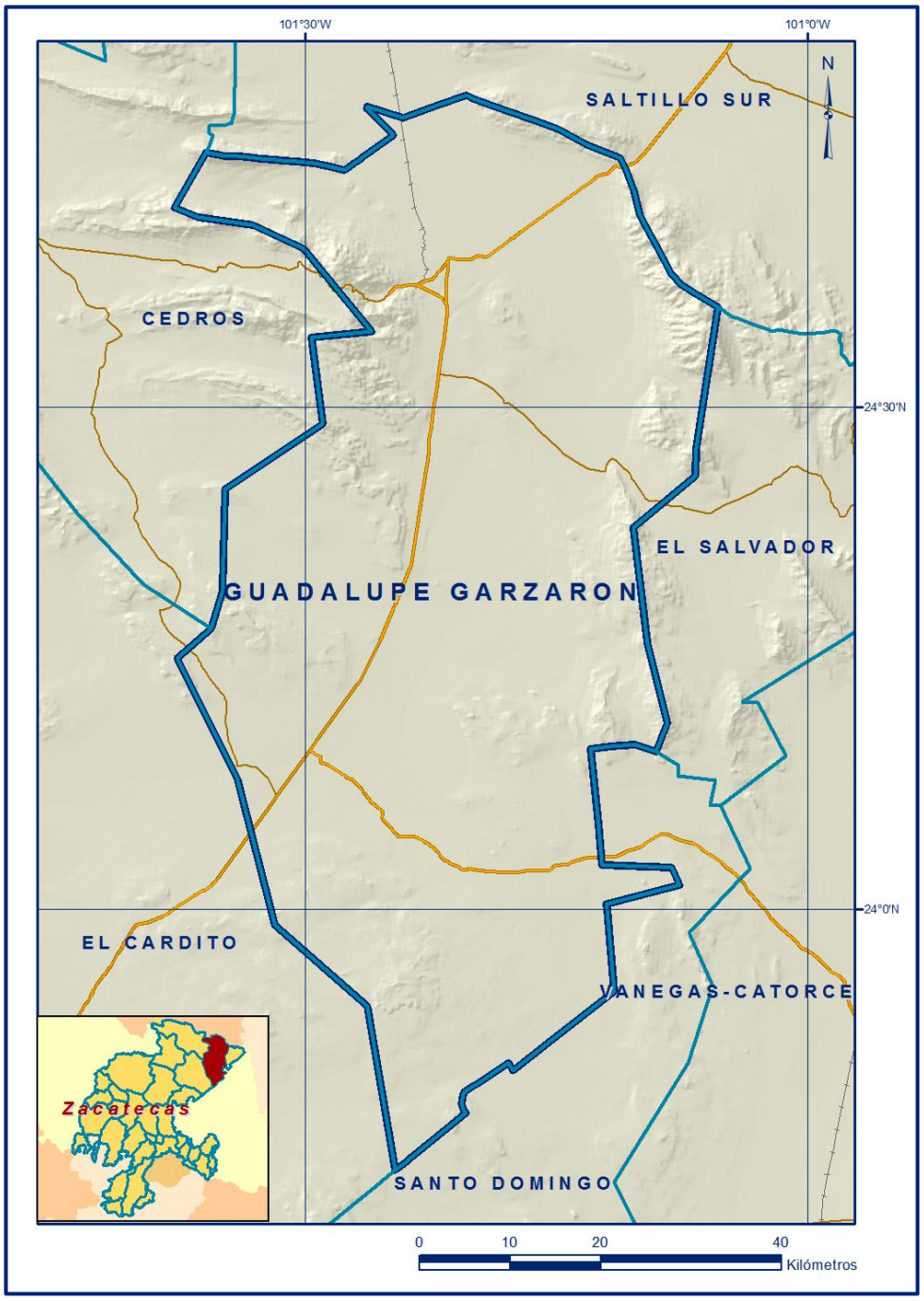


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero

ACUIFERO 3220 GUADALUPE GARZARON							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	6	38.7	24	27	33.0	
2	101	6	42.1	24	25	53.2	
3	101	10	22.7	24	22	49.4	
4	101	9	32.3	24	15	55.5	
5	101	8	22.3	24	11	7.8	
6	101	9	2.1	24	9	25.9	DEL 6 AL 7 POR EL LIMITE ESTATAL
7	101	24	35.9	23	44	23.6	
8	101	26	18.4	23	54	12.3	
9	101	31	47.7	23	59	3.4	
10	101	34	2.3	24	7	47.4	
11	101	37	38.5	24	14	59.0	
12	101	35	36.3	24	16	45.8	
13	101	34	55.0	24	19	0.9	
14	101	34	48.1	24	25	6.4	
15	101	28	57.8	24	28	59.5	
16	101	29	37.8	24	34	11.2	
17	101	26	2.6	24	34	33.3	
18	101	30	5.3	24	39	29.8	
19	101	33	7.4	24	40	53.9	
20	101	36	25.1	24	41	21.0	
21	101	37	47.4	24	41	56.0	
22	101	35	54.3	24	45	13.0	DEL 22 AL 23 POR EL LIMITE ESTATAL
23	101	5	21.3	24	35	58.6	
1	101	6	38.7	24	27	33.0	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Guadalupe Garzarón pertenece al Organismo de Cuenca VII "Cuencas Centrales del Norte", y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Zacatecas. Su territorio completo se encuentra vedado y sujeto a las disposiciones del "*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas, así como en el resto de los Municipios del Estado de Zacatecas y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en los municipios señalados*", publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 05 de agosto de 1988.

Esta veda es tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

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

El uso principal es el agrícola. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Dentro de la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN EL ESTADO DE ZACATECAS, elaborado por Estudios Geológicos y Obras Civiles, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1980.

Entre sus actividades principales destacan el censo de aprovechamientos, piezometría, la toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos y el muestreo de roca para análisis petrográfico y paleontológico.

Realiza un análisis de la región para identificar las zonas de recarga al acuífero y aquellas regiones con buenas posibilidades para la explotación del agua subterránea.

RESUMEN DE CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS EN LOS ACUÍFEROS DEL ESTADO DE ZACATECAS UBICADOS DENTRO DE LA REGIÓN HIDROLÓGICA ADMINISTRATIVA CUENCAS CENTRALES DEL NORTE, elaborado por la Comisión Nacional del Agua, en 1999.

Este estudio proporciona información de las características geohidrológicas del acuífero, datos de precipitación, geología, características físico-químicas del agua.

El modelo conceptual de funcionamiento del acuífero; censo de aprovechamientos; recarga y sus componentes; salidas horizontales y extracción por bombeo.

REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO Y DE CALIDAD DEL AGUA EN LOS ACUÍFEROS VILLA GARCÍA, EL SALVADOR, GUADALUPE GARZARÓN, CAMACHO Y EL CARDITO, ESTADO DE ZACATECAS Y EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS GARCÍA DE LA CADENA, PINO SUÁREZ Y CORRALES, ZAC., elaborado por Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C., para la Comisión Nacional del Agua, en 2007.

El objetivo del estudio fue actualizar el conocimiento del flujo subterráneo, profundidad, elevación y evolución de los niveles del agua subterránea, mediante la obtención de información procedente de las redes de monitoreo piezométrico y de calidad del agua de acuíferos del estado de Zacatecas, entre los cuales se incluye Guadalupe Garzarón, para establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles, determinar la recarga media anual y las componentes de balance de agua subterránea.

ESTUDIO DE EVALUACIÓN HIDROLÓGICA Y DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS EL CARDITO Y GUADALUPE GARZARÓN, ZACATECAS, elaborado por Investigación y Desarrollo de Acuíferos y Ambiente IDEAS, S.A. de C.V., para la Compañía M³ Mexicana S. de R.L. de C.V., en 2011.

El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, 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 actualizar 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 (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en dos Provincias Fisiográficas. La primera es la Provincia Fisiográfica IX “Mesa del Centro”, la cual abarca aproximadamente el 45 % de la porción sur del área del acuífero y se caracteriza por presentar amplias llanuras, pequeñas sierras aisladas y lomeríos.

La segunda es la Provincia Fisiográfica V “Sierra Madre Oriental”, que comprende el 55 % de la zona centro y norte, se caracteriza por un conjunto de sierras con orientación NW-SE y E-W, que presentan una flexión al N-S.

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 las Subprovincias Sierras y Lomeríos de Aldama y Sierras Transversales, respectivamente.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en la superficie que cubre el acuífero se presentan tres grupos de climas predominantes: el grupo de climas templados (A), que domina la porción noroeste, en una delgada franja con orientación NW-SE; el clima seco (B) que se manifiesta en casi toda la superficie del acuífero y el clima semifrío (C) que se presenta en pequeñas porciones ubicadas el noroeste y suroeste de los límites del acuífero.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 6 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero:

San José de Coronado, San Tiburcio, Concepción del Oro, Mazapil, Santa María del Refugio y La Victoria, cuyo registro comprende un periodo de 19 años (1987-2006). Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **373.7 mm/año** y **16.5°C** respectivamente.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia uno en verano de junio a septiembre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales que abarca de diciembre a febrero, con precipitaciones menos significativas.

Las cuales son provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan a la región. Los valores extremos se registraron en 2003 (518.5 mm) y 1999 (139.0 mm).

3.3 Hidrografía

El área que cubre el acuífero se encuentra ubicada en su totalidad dentro de la Región Hidrológica 37 “El Salado”, cuenca “Sierra de Rodríguez”. Debido a que la lámina media anual de precipitación es baja, los arroyos son escasos y de tipo intermitente, cuyos escurrimientos desaparecen hacia el centro de los valles en los que el material aluvial alcanza los máximos espesores.

La cuenca toma su nombre de la parte más elevada de la zona, de donde fluyen en época de lluvias algunos pequeños arroyos que la drenan. Las subcuencas intermedias que se forman en esta cuenca son San Tiburcio y Concepción del Oro. Esta región hidrológica queda comprendida entre los meridianos 99°29' y 102°57' de longitud oeste y los paralelos 21°47' y 25°23' de latitud norte. Su área es de 94,243 km^2; limita al norte con la región hidrológica 24c, al noreste con la región hidrológica 25, al este y sureste con la región hidrológica 26, al suroeste con la región hidrológica 12 y al oeste y noroeste con la región hidrológica 36.

La región se caracteriza por presentar una serie de llanuras desérticas, en general por el escurrimiento superficial de muy corta longitud, ya que se infiltra en las rocas calizas que conforman las sierras y en los piedemonte. En las planicies los escurrimientos desaparecen por evaporación.

3.4 Geomorfología

El paisaje del relieve dentro del área se caracteriza por la presencia de los siguientes sistemas de topoformas: sierras, que se presentan hacia las porciones oeste suroeste, este y noreste del acuífero; bajadas, que se extienden en la mayor parte de la zona, hacia la porción sur, este y suroeste; lomeríos, cuya ocurrencia se limita a una pequeña porción del suroeste; y llanuras, que se observan en las porciones centro y suroeste, así como algunos valles de las regiones este y oeste.

El área del acuífero se caracteriza por la presencia de un grupo de sierras alargadas, orientadas en sentido NW-SE. La intensa erosión ha contribuido en el modelado del relieve caracterizado por cimas redondeadas con pendientes suaves. En las partes bajas de las sierras se han acumulado depósitos de pie de monte, así como abanicos y extensas llanuras aluviales. La región se encuentra surcada por arroyos intermitentes que forman un sistema de drenaje de tipo dendrítico. Los fenómenos cársticos se presentan de manera aislada y se manifiestan con la presencia de algunas cavernas de disolución.

4 GEOLOGÍA

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

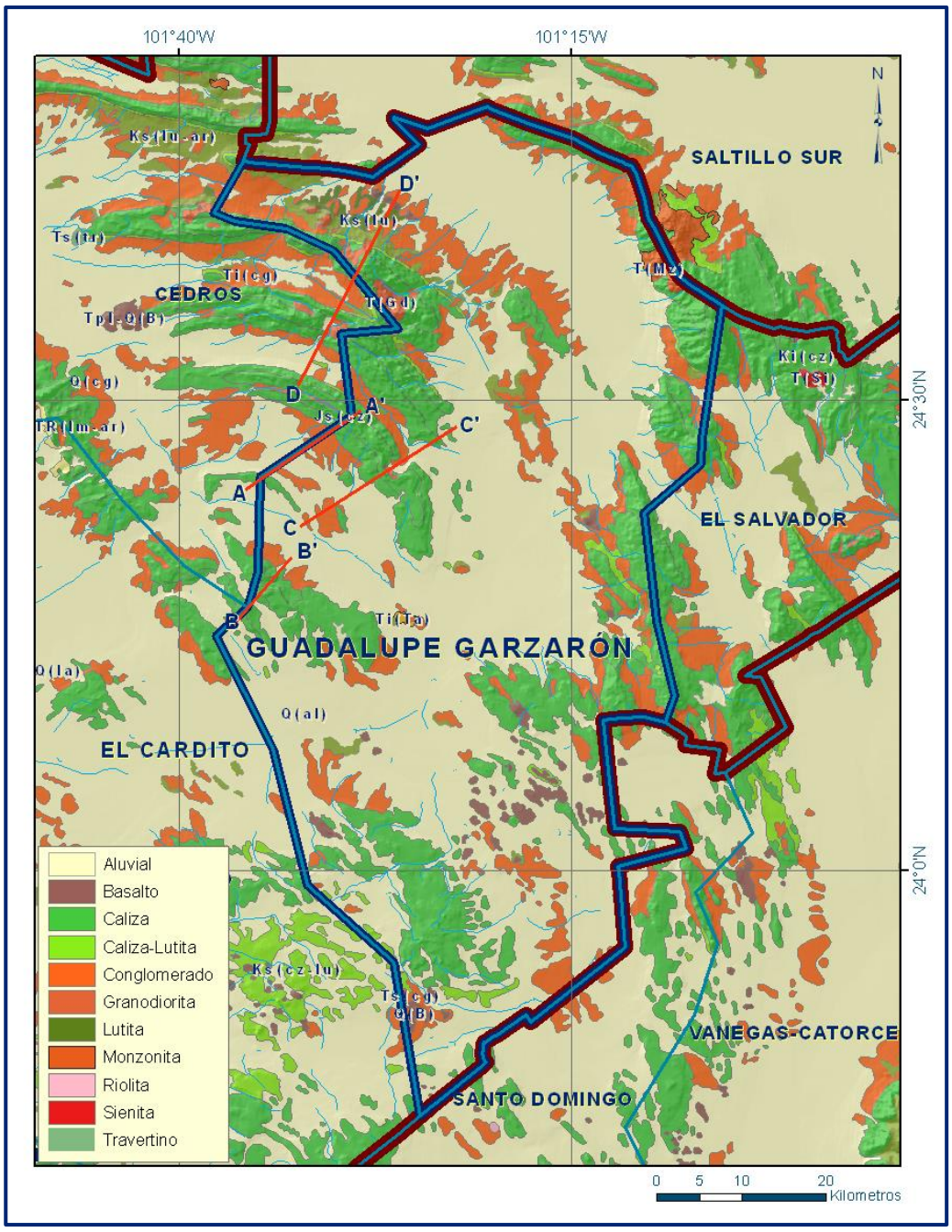


Figura 2. Geología general del acuífero

Regionalmente, la base de la columna estratigráfica está constituida por filitas y limolitas de la Formación Taray del Triásico Medio-Superior, que aflora en la porción sur de la Sierra Candelaria; hacia la cima subyace discordantemente a la Formación Nazas del Triásico Superior-Jurásico Inferior, la cual aflora hacia la porción oeste del acuífero, dentro de las sierras San Julián, Guadalupe, Candelaria y Rodríguez, su cima se encuentra en contacto discordante con un conglomerado perteneciente a la Formación La Joya.

Hacia la porción noreste, en la región de Galeana, afloran areniscas y limolitas de la Formación Huizachal del Triásico Superior- Jurásico Inferior (Carta Geológica-Minera G14-10 “Concepción del Oro”, Zac., N.L., Coah. y S.L.P., Esc. 1:250,000, 2000)

El Jurásico Medio está representado por conglomerado y arenisca de la Formación La Joya, que subyace discordantemente a la Formación Zuloaga; aflora en la Sierra de San Julián. En el Jurásico Superior se depositaron las calizas de la Formación Zuloaga, (Oxfordiano-Kimmeridgiano), que subyacen concordantemente a la Formación La Caja; aflora en la mayor parte de la zona. En las inmediaciones de Galeana, N.L., aflora una secuencia de yesos, calizas dolomíticas y anhidritas correspondientes a la Formación Olvido del Oxfordiano-Kimmeridgiano.

Se encuentran en contacto discordante con la Formación Huizachal y hacia su cima yace concordantemente con la Formación La Casita, la cual cambia lateralmente de facies con la Formación Zuloaga.

Limolitas y calizas de la Formación La Caja del Tithoniano afloran al noreste de la zona y cambian lateralmente de facies, hacia sedimentos pelítico-arenosos de la Formación La Casita. Sedimentos calcáreo-arcillosos de la Formación Taraises del Berriasiano al Hauteriviano, afloran en gran parte de la zona. Subyace concordantemente a la Formación Cupido; cambia lateralmente de facies en el Berriasiano con lutitas y areniscas de la Formación Carbonera.

Del Hauteriviano Tardío al Aptiano Temprano se depositaron las calizas de la Formación Cupido, que aflora por toda la zona; subyace concordantemente a calizas y lutitas de la Formación La Peña del Aptiano y 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 en la región de Galeana, N.L. 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 subyace concordantemente a la Formación Parras. Hacia la porción noreste de la zona, mediante cambio lateral de facies, la Formación Caracol cambia a 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 con la Formación Méndez.

El Terciario Inferior está representado por un conglomerado polimíctico con areniscas de la Formación Ahuichila del Eoceno. Lo sobreyace una brecha de composición riolítica del Oligoceno.

Durante el Mioceno tiene lugar una etapa de vulcanismo que origina el campo volcánico Los Encinos, compuesto por basaltos y andesitas basálticas.

Durante el Neógeno se acumularon conglomerados polimícticos mal consolidados; hacia los valles se depositaron materiales coluviales y aluviales, y en donde las condiciones lo permitieron, depósitos lacustres y travertinos.

En la porción occidental afloran cuerpos intrusivos de composición granodiorita con variación a diorita y a cuarzodiorita, mientras que en la región central son de composición monzonítica. En el Cerro Pedregoso y la Sierra Saltillito el intrusivo es de composición sienítica, aunque este cuerpo es de edad maastrichtiana. Los cuerpos hipabisales del Oligoceno son de composición riolítica.

4.1 Estratigrafía

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende edades que varían del Paleozoico al Reciente (figura 2), distribuidas en la Sierra Madre Oriental (Carta Geológica-Minera G14-C72 “Tanquecillos”, Zacatecas, Esc. 1:50,000, 2005). Sin embargo, aunque no afloran todas las unidades de la estratigrafía regional, a continuación, se describen de la más antigua a la más reciente:

PALEOZOICO

Formación Taray

Aflora principalmente en la Sierra de Teyra, formando un conjunto de rocas bandeadas, constituidas de grauvacas y filitas, con interestratos de novaculita, que cubren a la Formación Rodeo. La parte inferior de esta formación está constituida por filitas de color café claro y la parte superior por novaculitas, interestratificadas con dolomitas y grauvacas.

TRIÁSICO

Formación Nazas

También conocida como Formación Huizachal, aflora en la Sierra de San Julián, de Teyra y en el Cerro Europa. Está cubierta generalmente por la Caliza Zuloaga. La Formación Nazas está constituida de limolitas, areniscas y conglomerados de color rojo, parcialmente calcáreos, también incluye ocasionalmente material volcánico alterado, limolitas y areniscas de grano fino o cuarcita.

JURÁSICO

Formación La Joya

Esta formación aflora en la Sierra Madre Oriental, en el subsuelo se encuentra distribuida en la Planicie Costera del Golfo. En su localidad tipo tiene más de 1200 m de espesor que consisten de conglomerados, areniscas, areniscas conglomeráticas, lutitas y limolitas de color rojo, ocasionalmente de color verde, de origen continental.

Formación Zuloaga

Descansa directamente sobre rocas del basamento. Se trata de 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 que 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 nódulos de pedernal pequeños de color negro. La Formación Zuloaga está cubierta en forma concordante por la Formación La Caja. Tiene un espesor aproximado del orden de 500 m.

Formación La Caja

Aflora en la mayoría de las sierras plegadas, consiste de limolita calcárea y en menor proporción calizas, pedernal, fosforita y lutita. Aflora generalmente en estrechas bandas paralelas, que flanquean a la Caliza Zuloaga, en los núcleos anticlinales. Debido a que es poco resistente a los agentes erosivos, frecuentemente se caracteriza porque en ella se desarrollan puertos y valles, que se alargan paralelamente al rumbo de las capas. A menudo se encuentra enmascarada por una pequeña cobertura aluvial, su espesor es del orden de 100 m.

CETÁCICO

Formación Taraises

Está constituida de calizas con cantidades menores de limolita, que descansan sobre los 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.

Formación Cupido

Aflora en casi todas las sierras que existen en la región de Ixtlera, formando crestas y salientes. Está constituida de calizas de aguas profundas, muy resistentes y homogéneas, de espesor medio a grueso y colores claros.

Se caracteriza por presentar estilolitas y en ocasiones algunos nódulos y lentes de pedernal color gris. En algunas localidades presenta intercalaciones de limolita calcárea y lutita en cantidades menores. Su espesor medio es de 300 m.

Formación La Peña

Su espesor es reducido y está cubierta por la caliza Cuesta del Cura. Su porción inferior y media está constituida por calizas compactas, dispuestas en capas medias y gruesas, alternada con limolitas poco cementadas. La caliza es de color gris claro y oscuro y en ocasiones presenta pedernal, mientras que la limolita es calcárea, suave, deleznable, de color amarillento y gris. La parte superior de la formación, consiste de capas delgadas y lajosas de caliza color gris claro y de algunas capas medianas a gruesas con lentes delgados, de pedernal negro. El espesor de la formación es de 60 m.

Formación Cuesta del Cura

Esta formación también se conoce como Caliza Cuesta del Cura, se encuentra aflorando en casi todas las sierras mencionadas, formando las laderas de los cerros. Está constituida de caliza laminar de estratificación ondulada, color gris oscuro y contiene numerosas lentes y nódulos de pedernal negro. En la Zona de Ixtlera, Zacatecas tiene un espesor del orden de 300 m.

Formación Indidura

Se localiza aflorando en las sierras El Calvario, Sombreretillo, Trébol y Concepción del Oro, descansando sobre la Formación Cuesta del Cura y cubierta por la Formación Caracol. Generalmente aflorando en las laderas de las sierras; consiste principalmente de dos series diferentes que están formadas, en la parte inferior, de calizas arcillosas dispuestas en capas delgadas y lajeadas, con numerosas capas medianas o gruesas de caliza laminar color gris oscuro y de limolita calcárea 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. Su espesor total promedio es de 200 m.

Formación Caracol

Aflora localmente en las laderas de las sierras transversales de Santa Rita, Santa Rosa, La Laja y Zuloaga. Está constituida por capas de lutitas, con intercalaciones de arenisca en forma alternante.

La lutita es moderadamente calcárea y suave, de color oscuro localmente con ligero contenido de arena, mientras que la arenisca está bien consolidada y es resistente; está dispuesta en capas delgadas y gruesas que tienen colores gris pardo y verdoso. Su espesor aproximado es de 300 m.

TERCIARIO

Conglomerado y Arenisca

Unidad litológica de edad correspondiente al Eoceno representada por un conglomerado polimíctico constituido por fragmentos subredondeados de areniscas, guijarros de caliza, pedernal y rocas volcánicas de composición riolítica, así como areniscas y limos semiconsolidados.

Conglomerado Polimíctico del Neógeno

Estos depósitos conglomeráticos se depositaron durante el periodo Mioceno-Plioceno en un ambiente continental, al pie de los terrenos recién emergidos.

Se cree que, durante la acumulación de este potente depósito, la región septentrional del área se comportaba tectónicamente inestable, debido a la dinámica de un sistema de fallas de desplazamiento lateral.

CUATERNARIO

Aluvión

Los materiales que constituyen esta unidad se encuentran rellenando las depresiones, generalmente sinclinales, como llanuras de piedemonte y llanuras aluviales que forman los rellenos de cuencas cerradas, denominadas “bolsones”. En general los aluviones se presentan como una mezcla de materiales de granulometría fina a gruesa, con una disposición heterogénea, en la cual superficialmente están sueltos y con una consolidación moderada a profundidad. Dentro de la unidad de aluviones también se incluyen algunos conglomerados y depósitos muy locales de travertino, relacionados con la existencia de manantiales.

Sedimentos Lacustres

Los valles y bolsones que constituyen las partes topográficamente más bajas de la zona están constituidos por sedimentos lacustres, que en la zona donde existen lagunas efímeras se asocian a sales evaporíticas.

4.2 Geología estructural

La zona se encuentra ubicada en la Subprovincia Sierras Transversales, perteneciente a la Sierra Madre Oriental, que se caracteriza por presentar montañas plegadas, falladas y en ocasiones afectadas por macizos intrusivos y por rocas volcánicas.

La deformación que ocasionó esta subprovincia fue causada por el evento compresivo de la Orogenia Laramide.

A nivel regional se pueden distinguir grupos de sierras, separadas por amplias llanuras denominadas “bolsones”, formados al rellenarse de sedimentos antiguas depresiones originadas por fallas tectónicas o por erosión. A partir del oeste, se pueden distinguir las siguientes Sierras y Llanuras: Sierra de Guadalupe Garzarón, Bolsón San Carlos o Laguna Jazminal, Zona de Sierras Transversales, Bolsón Cedros, Zona de la Sierra de Teyra y Bolsón San Simón. Las sierras presentan características estructurales diferentes: La Sierra de Guadalupe Garzarón, localizada al oriente del acuífero, es una sierra plegada con orientación NW-SE que está intrusionada por un macizo de tipo monzonítco. La porción occidental de esta sierra está cortada por una falla cuya orientación es la misma que la de la sierra. En la porción central se localizan las Sierras El Carpintero, La Caja, Santa Rosa y Santa Rita, cuyas características estructurales, pertenecen a anticlinales de orientación E-W, separados por pequeñas llanuras, que corresponden a sinclinales rellenos de sedimentos.

Las Sierras La Caja y Santa Rosa han sido afectadas por numerosas fallas paralelas al rumbo de las capas, intrusionadas por cuerpos de composición granodiorítico y coronadas por derrames volcánicos.

Este conjunto de sierras transversales, está limitado al oriente y al poniente por el Bolsón San Carlos y el Bolsón Cedros, respectivamente. Hacia el poniente se presenta el Cerro Europa y las Sierras San Julián, Teyra, Gruñidora, Candelaria y Tanquecillos.

La porción norte de este conjunto de sierras presenta condiciones estructurales bien definidas ya que se trata de un homoclinal con orientación NW-SE, que descansa directamente sobre rocas del basamento; mientras que en la porción sur, las sierras Gruñidora, Candelaria y Tanquecillos, tienen una estructura geológica complicada, pues los estratos cambian frecuentemente de posición, en respuesta a los plegamientos y al fracturamiento. Todo este conjunto está limitado hacia el oriente por el Bolsón San Simón.

En general, se considera que los tres conjuntos de sierras mencionadas están limitados por fallas, que sólo son evidentes por los cambios morfológicos bruscos y por la posición estructural de las capas que presentan discontinuidades.

A partir de una falla normal que se infiere sepultada por la sedimentación continental cenozoica (Servicio Geológico Mexicano, 2000), ubicada en la margen oriental del valle central del acuífero con una orientación N-S, buzando hacia el oeste, es posible proponer que esta porción corresponde a una cuenca de medio-graben, generada por la actividad extensional intraplaca desarrollada desde el Mioceno.

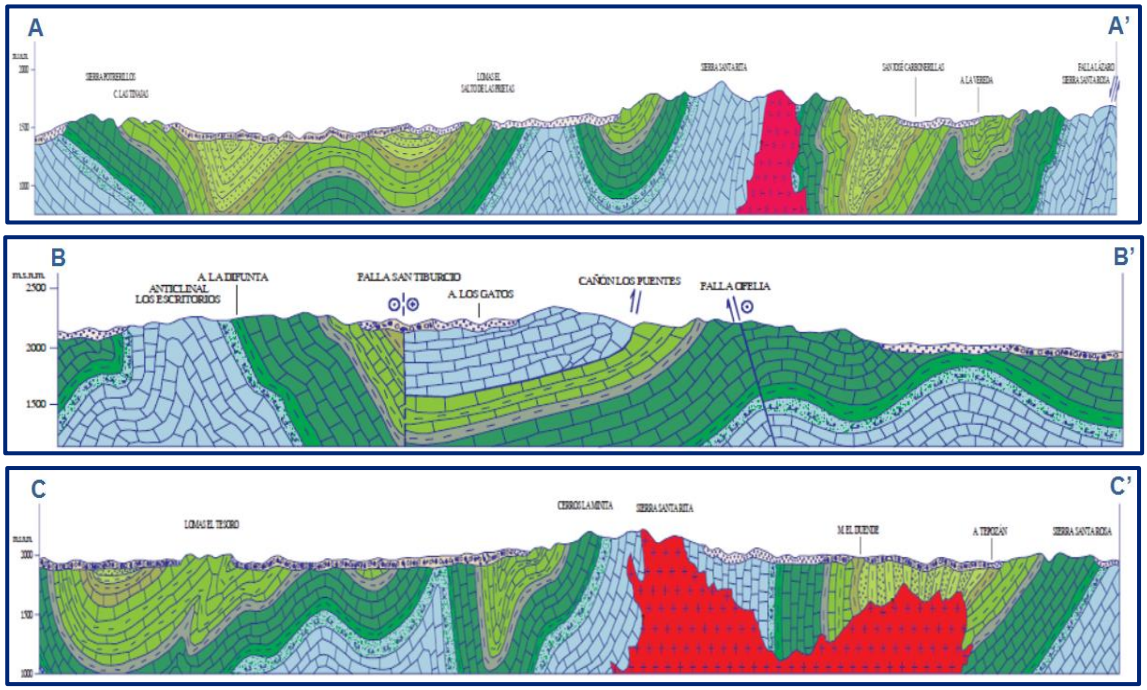
4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, podemos afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los depósitos granulares y los conglomerados paleógeno-neógenos que rellenan los valles.

Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la zona. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias, principalmente areniscas y lutitas de la Formación Caracol, cuando presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

El predominio de sedimentos granulares y conglomerados polimícticos, de granulometría fina, 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 mayor profundidad, así como por las 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 de las formaciones La Peña e Indidura. Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas constituidas durante la Orogenia Laramide (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera G14-C73 “Tanquecillos”, Zacatecas. Esc. 1:50,000 (SGM, 2003)

Fuente: Carta Geológica-Minera G14-C62 “Concepción del Oro”, Zacatecas. Esc. 1:50,000 (SGM, 2003)

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 en su porción superior por sedimentos aluviales, de granulometría variada, sedimentos lacustres y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar varios cientos metros en el centro del valle. La porción inferior se aloja en areniscas y lutitas fracturadas. A mayor profundidad, las calizas alojan un acuífero que puede presentar condiciones de confinamiento o semiconfinamiento debido a que están interestratificadas o sobreyacidas por lutitas.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2011, se ejecutaron 5 pruebas de bombeo de larga duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos convencionales de Neuman, Theis y Jacob. Los resultados de su interpretación indican que los valores medios de transmisividad varían entre **7.0 x 10^{-5} m²/s** y **1.8 x 10^{-3} m²/s (6.0 a 155.5 m²/d)**, con un valor promedio de **4.1x 10^{-4} m²/s (35.4 m²/d)**.

Los valores de conductividad hidráulica varían de **7.0 x10^{-7}** y **1.8 x10^{-5} m/s (0.06 a 1.6 /d)**, con un valor promedio de **4.1 x 10^{-6} m²/s (0.35 m/d)**, que se asocian a sedimentos de granulometría fina. Ninguna prueba de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento. De acuerdo a la granulometría de los depósitos, para el balance de agua subterránea se adoptaron valores entre **0.1 y 0.001.**

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 2007 y 2011.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2011 muestra que los valores varían de 20 a 80 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía hacia las estribaciones de las sierras que limitan los valles.

Los niveles estáticos someros se ubican en el centro de los valles, en las zonas donde se ubican las localidades San Francisco de Los Quijanos, Mesillas, El Ranchito, Ciénega de Rocamontes y San Juan del Salado; en tanto que los más profundos se registran en los límites con los acuíferos El Salvador y El Cardito, hacia las localidades El Durazno y Pozo de San Juan (figura 4).

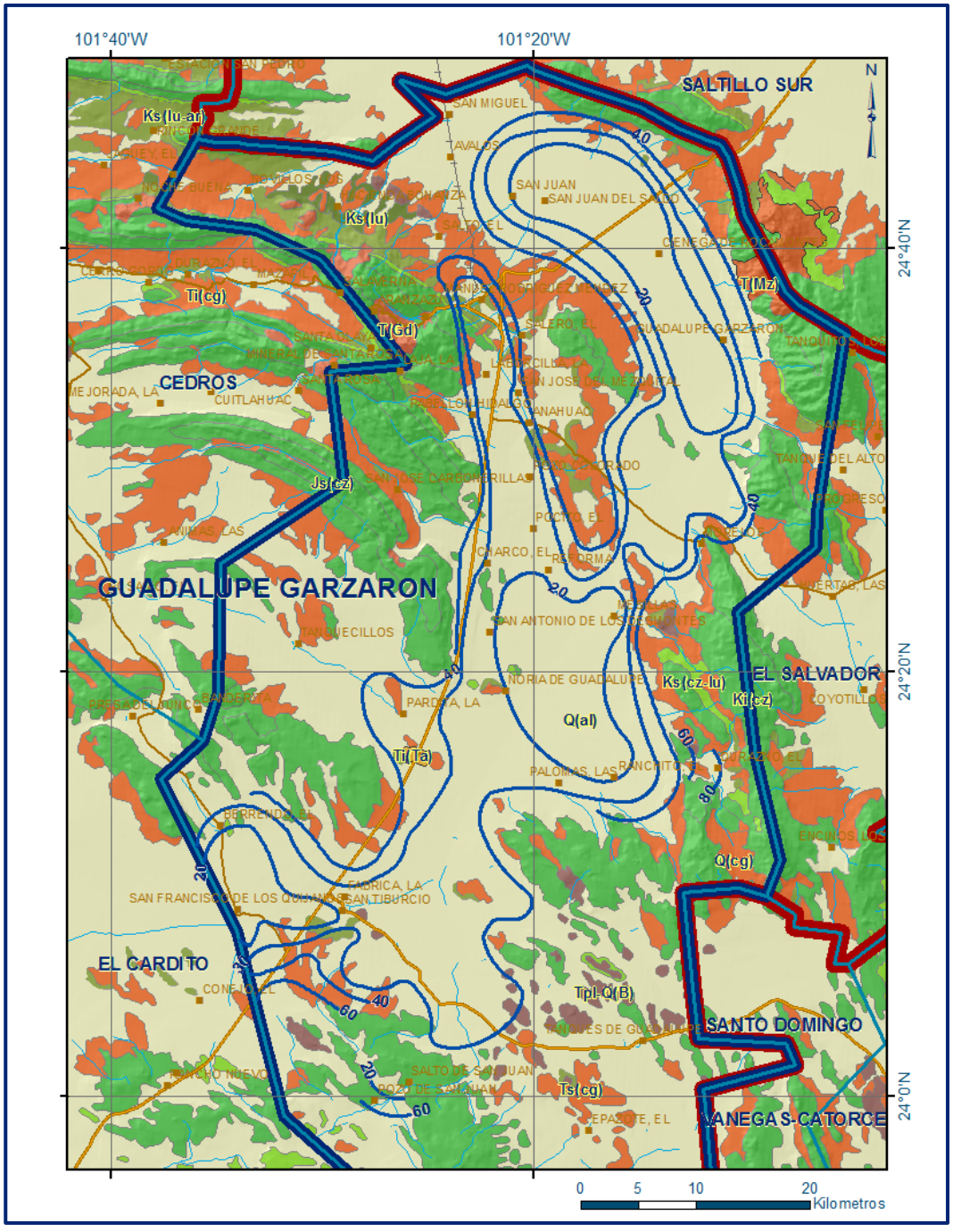


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2011)

5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático para el año 2011, se observa que los valores varían de 1635 a 1880 msnm. Las menores elevaciones se registran en la región norte del acuífero, donde se forma un cono de abatimiento, hacia la localidad de Ciénega de Rocamontes. Las mayores elevaciones, de 1770 a 1880 msnm, se registran en la región centro-norte del acuífero, en donde existe la presencia de un pequeño parteaguas, hacia la localidad La Laborcilla, que divide el flujo hacia el norte y hacia el sur. Las pequeñas cuencas son endorreicas, por lo que no existen salidas subterráneas (figura 5).

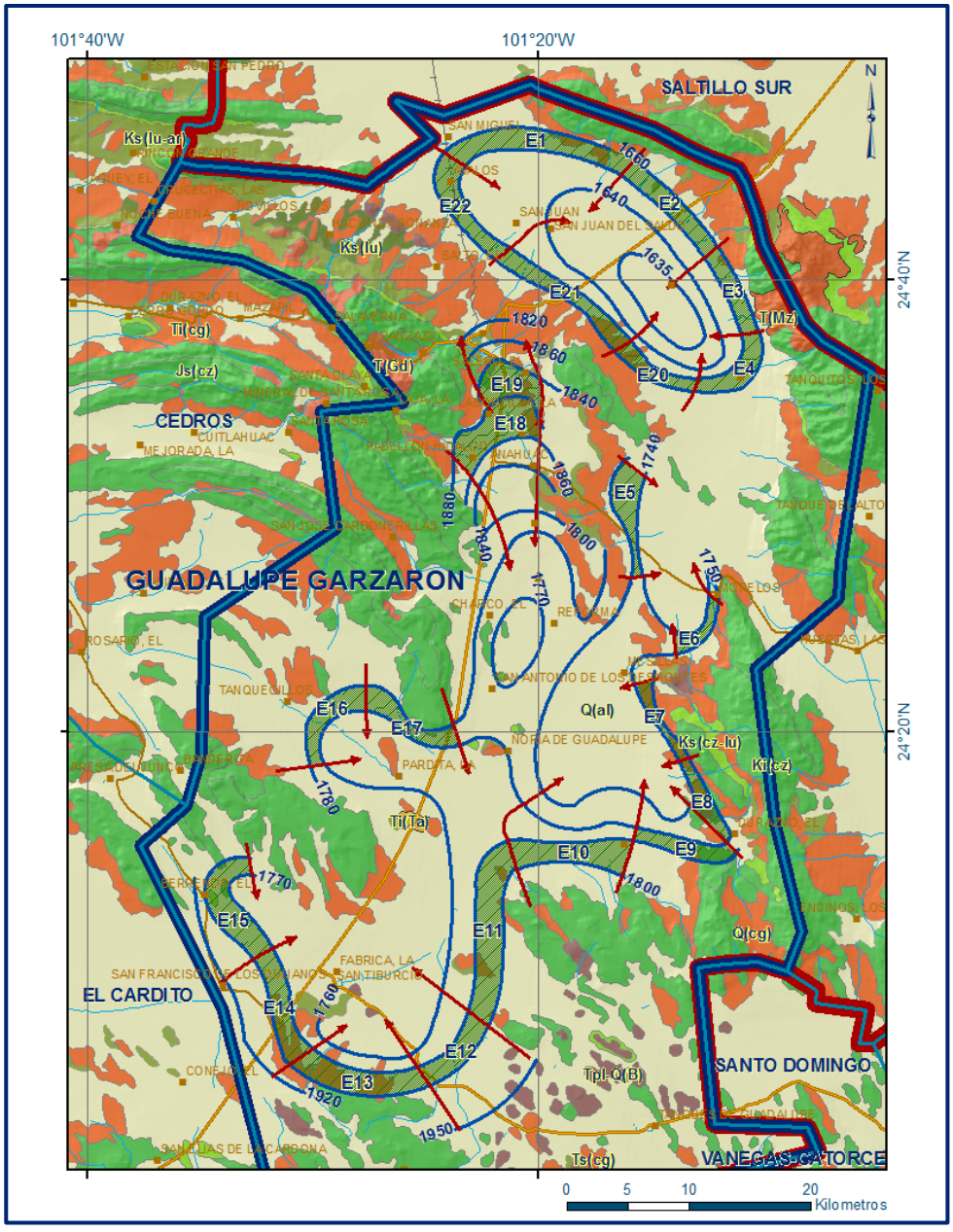


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2011)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2007-2011, se observa que los valores de abatimiento medio anual varían de 0 hasta 3 m. Los mayores abatimientos se observan en la región norte y centro del acuífero, donde se ha definido la presencia de conos de abatimiento causados por la explotación intensiva del acuífero, que ha modificado la configuración original de los niveles estáticos. En estas regiones el ritmo anual de abatimiento es de 0.5 m (figura 6).

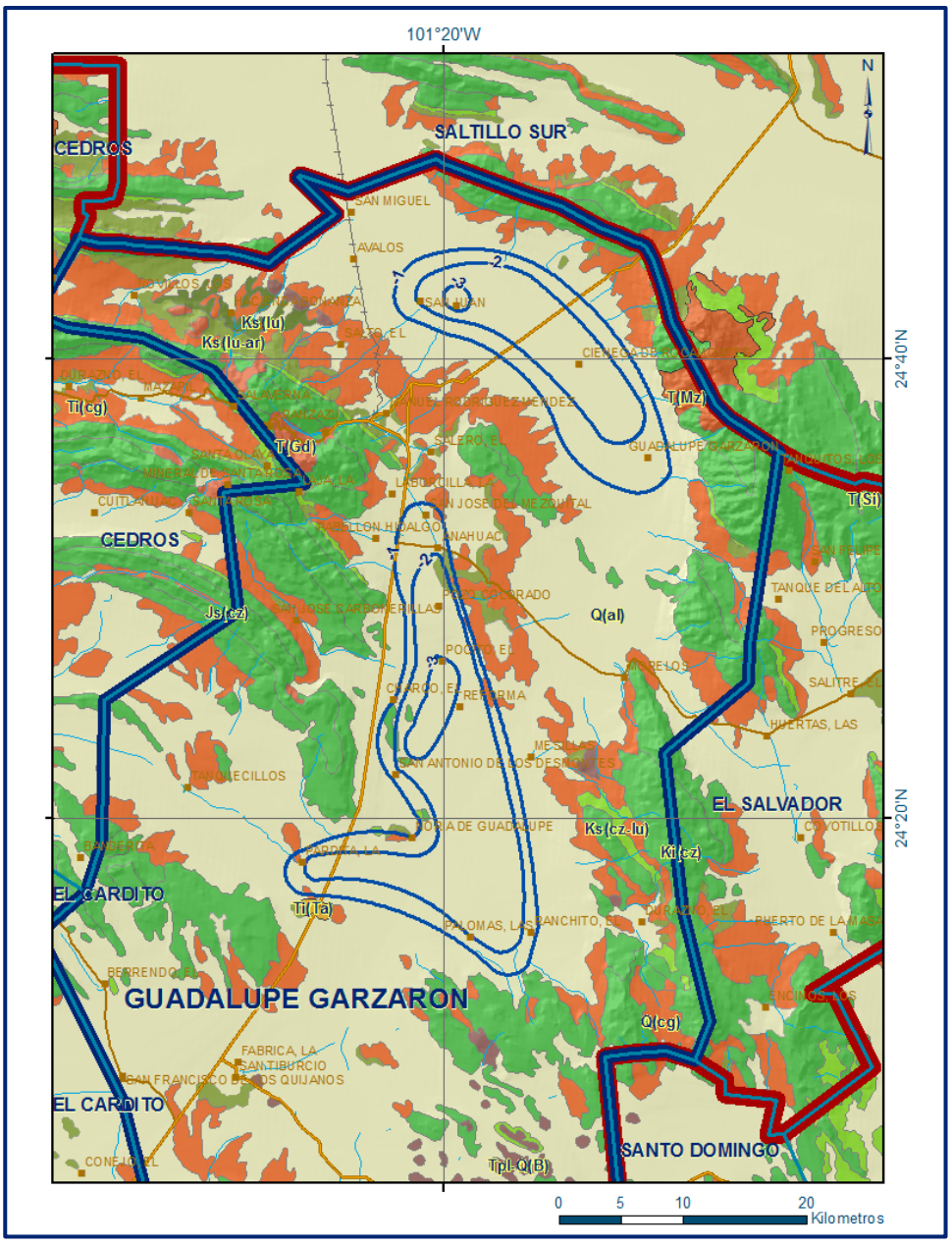


Figura 6. Evolución anual del nivel estático en m (2007- 2011)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2011, se tomaron 20 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (19 pozos y 1 noria), para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), potencial de hidrógeno (pH), potencial redox (Eh), dureza total, dureza al calcio, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, calcio, magnesio, sodio y potasio.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) varían de 233 a 1902 ppm, que en la mayoría de los casos no superan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido por la modificación a la 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 STD, para el agua destinada al consumo humano.

De manera general, el agua del acuífero se clasifica como agua dulce, según la clasificación establecida por la APHA, ya que la mayoría de las muestras no rebasan el límite para el agua dulce (2000 µS/cm).

Los valores extremos son de 518 y 4225 µS/cm. Las temperaturas registradas varían de 14.5 a 27.7 °C y el pH varía de 7.2 a 8.8. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, predomina las familias bicarbonatada-cálcica y sulfatada-sódica, la primera de ellas representa aguas de reciente infiltración y la segunda se asocia con zonas lacustres o presencia de evaporitas. De manera general, se considera que el agua subterránea no ha tenido contacto con las rocas evaporíticas o la zona mineralizada, debido a su rápida circulación a través de los flancos de las sierras que delimitan el acuífero.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), de las 20 muestras de agua, 6 se clasifican como C_4S_3 (Muy altos contenidos de sales y alta concentración de sodio intercambiable) que no son aptas para el uso agrícola; 12 se clasifican como C_3S_1 (alta concentración de sales y bajos contenidos de sodio intercambiable) puede ser usada en algunos tipos de suelos con buen drenaje y cultivos tolerantes a las sales y 2 se clasifican como C_2S_1 (contenido medio de sales y bajo contenido de sodio intercambiable), que se considera apta para el uso agrícola.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el año 2011, se registraron un total de 163 obras que aprovechan el agua subterránea: 76 pozos y 87 norias; del total de obras, 126 están activas y las 37 restantes inactivas. El volumen de extracción asciende a **9.1 hm³ anuales**, de los cuales 5.8 hm³ (63.7 %) se destinan al uso agrícola, 2.5 hm³ (27.5 %) se utilizan para uso público-urbano, 0.7 hm³ (7.7 %) para uso industrial y 0.1 hm³ (1.1 %) son destinados a las necesidades del uso doméstico.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2007-2011, en una superficie de **2287 km²**, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

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

Entradas (E) - Salidas (S) = 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:

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

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

Para este caso, debido a que los volúmenes utilizados en riego son incipientes y no existen poblaciones urbanas importantes, se considera para fines del balance de agua subterránea que no existe recarga inducida, por lo que **Ri = 0**.

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 (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo. Su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$Rv + Eh - B = \pm \Delta V(S) \qquad (1)$$

Donde:

Rv= Recarga vertical;
Eh= Entradas horizontales por flujo subterráneo horizontal
B= Bombeo;
ΔV(S) = Cambio de almacenamiento;

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

$$Rv = B - Eh \pm \Delta V(S) \qquad (2)$$

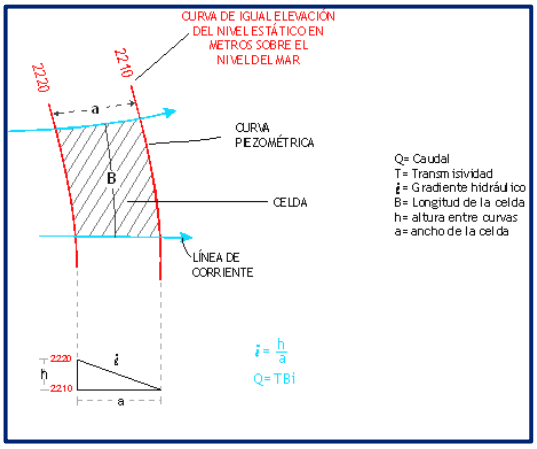
7.1.1 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2011 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$



Donde:

Q= Gasto;
T= Transmisividad;
B= Longitud de la celda;
i= Gradiente hidráulico;

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 **18.5 hm³/año**. 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 y de los obtenidos por correlación hidrogeológica en los acuíferos vecinos Cedros, Saltillo Sur y El Cardito, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre únicamente por bombeo (B). No existen descargas naturales por flujo base (Dfb), evapotranspiración (ETR), salidas por manantiales (Dm) ni descarga por flujo subterráneo horizontal (Sh).

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente hidráulico i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN (hm^3/año)
E1	13700	2220	10	0.004505	0.00050	0.0309	1.0
E2	10000	1665	10	0.006006	0.00050	0.0300	0.9
E3	7410	1480	10	0.006757	0.00050	0.0250	0.8
E4	8150	2220	10	0.004505	0.00050	0.0184	0.6
E5	9260	1480	10	0.006757	0.00050	0.0313	1.0
E6	4815	1295	10	0.007722	0.00050	0.0186	0.6
E7	7405	1110	10	0.009009	0.00030	0.0200	0.6
E8	5555	1480	10	0.006757	0.00030	0.0113	0.4
E9	6665	1665	10	0.006006	0.00030	0.0120	0.4
E10	10740	2590	30	0.011583	0.00030	0.0373	1.2
E11	13700	2775	30	0.010811	0.00008	0.0118	0.4
E12	6665	2220	30	0.013514	0.00008	0.0072	0.2
E13	11110	1850	30	0.016216	0.00008	0.0144	0.5
E14	9260	1480	30	0.020270	0.00008	0.0150	0.5
E15	10370	1850	30	0.016216	0.00008	0.0135	0.4
E16	7410	2220	20	0.009009	0.00120	0.0801	2.5
E17	8150	1850	20	0.010811	0.00120	0.1057	3.3
E18	7410	2780	20	0.007194	0.00030	0.0160	0.5
E19	5555	2960	20	0.006757	0.00030	0.0113	0.4
E20	8890	1480	10	0.006757	0.00040	0.0240	0.8
E21	12220	1665	10	0.006006	0.00040	0.0294	0.9
E22	11110	1850	10	0.005405	0.00040	0.0240	0.8
						Total entradas	18.5

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **9.1 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 2007-2011 (figura 6). Con base en ella y considerando un coeficiente de almacenamiento S que varía de 0.1 a 0.001, se determinó la variación del almacenamiento en el área de balance de 2287 km², mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

ΔV(S) = Cambio de almacenamiento en el período analizado;
S = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;
A = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km²);
h = Valor de la variación piezométrica en el período (m);

Los valores obtenidos para cada variación piezométrica durante el período 2007-2011 se pueden observar en la tabla 3. El volumen anual del cambio de almacenamiento asciende a **10.5 hm³/año.**

Tabla 3. Cálculo del volumen de cambio de almacenamiento (2007-2011)

Evolución (m)	Abatimiento promedio (m)	Área (km²)	S	ΔV(S) (hm³/año)
0.5	0.5	1360.7	0.1	68.0
0 a -1	-0.5	450.4	0.1	-22.5
-1 a -2	-1.5	191.7	0.01	-2.9
-2 a -3	-2.5	263.8	0.001	-0.7
-3	-3	20.4	0.001	-0.1
	Total	**2287**		41.9
			Promedio anual	10.5

Solución de la ecuación de balance

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

$$Rv = B - Eh \pm \Delta V(S)$$
$$Rv = 9.1 - 18.5 + 10.5$$
$$Rv = 1.1\ hm^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual está definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas:

$$R = Rv + Eh$$
$$R = 1.1 + 18.5$$
$$R = 19.6\ hm^3 \text{ anuales}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

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, tanto en forma de recarga natural como inducida.

Para este caso su valor es **19.6 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 el caso del acuífero Guadalupe Garzarón, se considera que no existen descargas naturales comprometidas, por lo que **DNC = 0.0. hm³/año**.

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 **20,508,523 m³ anuales,** que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 19.6 – 0.0 – 20.508523
DMA = -0.908523 hm³/año.

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **908,523 m³ anuales.**

9 BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el Estado de Zacatecas. Elaborado por Estudios Geológicos y Obras Civiles, S.A.

Comisión Nacional del Agua. 2007. Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y de Calidad del Agua en los Acuíferos Villa García, El Salvador, Guadalupe Garzarón, Camacho y El Cardito, estado de Zacatecas y Evaluación Geohidrológica de los Acuíferos García de la Cadena, Pino Suárez y Corrales, Zac. Realizado por Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C.