



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VICENTE GUERRERO-POANAS
(1004), ESTADO DE DURANGO**

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.....	8
3.3. Hidrografía	9
3.4. Geomorfología.....	10
4. GEOLOGÍA.....	11
4.1. Estratigrafía	14
4.2. Geología estructural.....	23
4.3. Geología del subsuelo.....	24
5. HIDROGEOLOGÍA.....	26
5.1. Tipo de acuífero	26
5.2. Parámetros hidráulicos.....	26
5.3. Piezometría	27
5.4. Comportamiento hidráulico.....	27
5.4.1. Profundidad al nivel estático	27
5.4.2. Elevación del nivel estático	28
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	30
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	31
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	33
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS.....	33
7.1. Entradas.....	34
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	34
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	35
7.1.3. Retornos de riego (Rr).....	36
7.2. Salidas	36
7.2.1. Bombeo (B).....	36
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	36
7.2.3. Descarga por manantiales (Dm)	37
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	37
8. DISPONIBILIDAD.....	38
8.1. Recarga total media anual (R)	38
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	39
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	39
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	39
9. BIBLIOGRAFIA.....	41

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 Vicente Guerrero-Poanas, definido con la clave 1004 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Durango, entre los paralelos 24° 13' y 23° 24' de latitud norte y 104° 24' y 103° 45' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 3,742 km². Limita al norte con el acuífero Madero Victoria; al noreste con Cuauhtémoc y Santa Clara; al noroeste con el acuífero Valle del Guadiana; al oeste con Valle del Mezquital, todos ellos pertenecientes al estado de Durango; al sur con los acuíferos Sabinas del Estado de Zacatecas y San Pedro-Tuxpan del estado de Nayarit; al este limita con el acuífero Hidalgo, pertenecientes al estado de Zacatecas (figura 1).

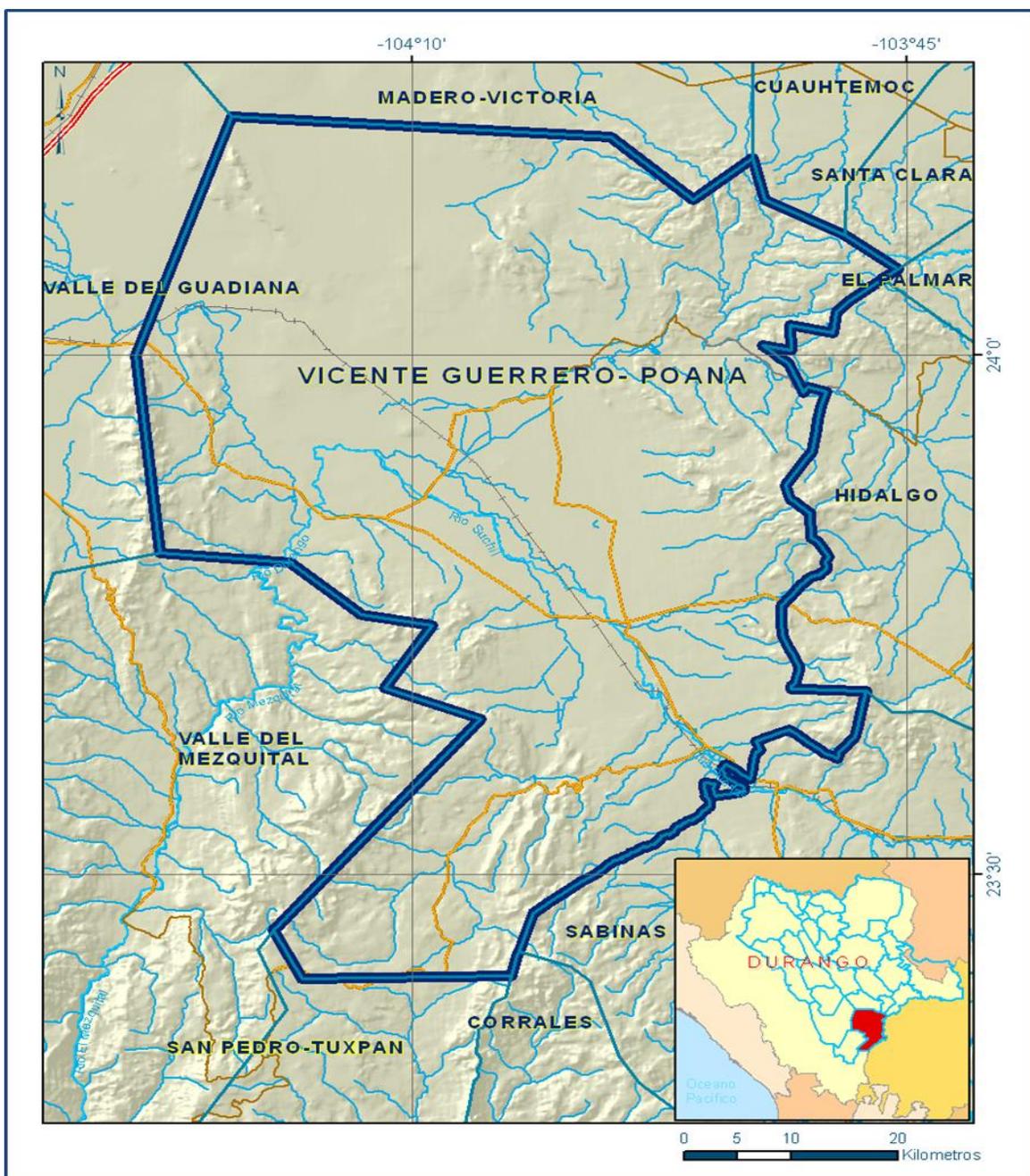


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, el área que cubre el acuífero comprende totalmente el municipio Vicente Guerrero, la mayor parte de los municipios Poanas y Nombre de Dios, porciones de SÚchil y Durango, y muy pequeñas áreas de los municipios de Cuencamé y Guadalupe Victoria.

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 1004 VICENTE GUERRERO-POANAS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	49	54.9	23	50	33.1	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	103	47	5.2	23	40	35.7	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	104	4	38.4	23	25	33.8	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	104	5	1.0	23	24	11.4	
5	104	15	36.0	23	24	0.0	
6	104	17	3.9	23	26	46.9	
7	104	6	36.0	23	39	0.0	
8	104	11	24.0	23	40	48.0	
9	104	9	0.0	23	44	24.0	
10	104	12	36.0	23	45	0.0	
11	104	16	12.0	23	48	0.0	
12	104	22	48.0	23	48	36.0	
13	104	24	0.1	24	0	0.0	
14	104	19	12.0	24	13	48.0	
15	104	0	0.0	24	12	36.0	
16	103	55	48.0	24	9	0.0	
17	103	52	48.0	24	11	24.0	
18	103	52	12.0	24	9	0.0	
19	103	48	6.6	24	6	56.9	
20	103	45	27.7	24	4	58.0	DEL 20 AL 21 POR EL LIMITE ESTATAL
21	103	46	11.9	24	4	24.9	DEL 21 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	103	49	54.9	23	50	33.1	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Vicente Guerrero-Poanas pertenece al Organismo de Cuenca III “Pacífico Norte”, al Consejo de Cuenca Ríos Presidio al San Pedro, instalado el 15 de junio de 2000, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en el estado de Durango.

En su superficie completa no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

Sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del “ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los siete acuíferos que se indican”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de abril de 2013.

A través del cual, en el 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 con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, vigente para el año 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

El uso principal del agua subterránea es el agrícola. En el territorio del acuífero se localiza parte del Distrito de Riego 052 "Estado de Durango", módulos I y II, Francisco Villa. Los usuarios se encuentran organizados a través del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Acuífero Vicente Guerrero-Poanas, A.C., instalado el 4 de abril de 2003.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación, otros con fines de prospección minera y algunos de cobertura regional en acuíferos vecinos. Entre los más importantes que cubrieron la superficie completa del acuífero se mencionan los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA ZONA DE VICENTE GUERRERO, DURANGO. Realizado en 1984, por Ingeniería Técnica de Estudios y Proyectos, S.A. ITEPSA, para Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos (SARH). Mediante actividades de censo e hidrometría, piezometría, nivelación de brocales y realización de pruebas de bombeo fue posible la evaluación hidrogeológica de la zona. Incluye la descripción de la geología de la región.

REACTIVACIÓN DE LAS REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS DE LOS VALLES DE: VICENTE GUERRERO-POANAS Y SANTIAGUILLO, DURANGO, realizado en 2003 por Estudios y Proyectos de Agua y Tierra, Rubriselva, S.A. DE C.V. para la Comisión Nacional del Agua. A través la medición de los niveles del agua subterránea en una red de pozos piloto elegidos para tal fin, se analizaron los niveles estáticos y los abatimientos causados por la extracción. Con esta información se elaboraron las configuraciones del nivel estático.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS MADERO-VICTORIA Y VICENTE GUERRERO-POANAS, EN EL ESTADO DE DURANGO, elaborado por SANX Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; El más reciente que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación, en ambos se realiza una recopilación de los estudios previos más relevantes.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DEL REGLAMENTO ESPECÍFICO DE LOS ACUÍFEROS VALLE DE SANTIAGUILLO, VALLE DE CANATLÁN, VALLE DEL GUADIANA, MADERO-VICTORIA Y VICENTE GUERRERO-POANAS, EN EL ESTADO DE DURANGO, elaborado por SANX Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2014. El estudio tuvo como objetivos actualizar el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, plantear el balance de aguas subterráneas, realizar/actualizar el modelo de simulación hidrodinámica de los acuíferos para definir acciones tendientes a la estabilización del acuífero, 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. De sus resultados se podrán determinar las causales de interés y de utilidad pública señaladas en el la Ley de Aguas Nacionales, para establecer la medida regulatoria que proceda.

Este trabajo constituye la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero Vicente Guerrero-Poanas se ubica en la transición de 2 Provincias Fisiográficas.

Una pequeña zona de la porción norte del acuífero corresponde a la Provincia Fisiográfica IX “Mesa del Centro”, que se caracteriza por presentar amplias llanuras, con pequeñas sierras aisladas y lomeríos. La superficie restante del acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica III “Sierra Madre Occidental”, que 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 norte del acuífero se localiza en la Provincia Mesa del Centro, Subprovincia Sierras y Llanuras del Norte, la porción centro en la Subprovincia Sierras y Llanuras de Durango y la región sur en la Subprovincia Gran Meseta y Cañadas Duranguenses, ambas pertenecientes a la Provincia Sierra Madre Occidental.

La Sierra Madre Occidental es una cadena montañosa que abarca todo el oeste mexicano y el extremo suroccidental de los Estados Unidos. En sus 1500 km de longitud recorre Arizona, parte de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nayarit y Jalisco, lugar donde se une al Eje Volcánico Transversal de México. Cubre 289,000 km² y ocupa la sexta parte del territorio mexicano. Su punto más alto es el Cerro Gordo ubicado en Durango, su ancho promedio es de 150 km, con alturas de hasta 3,000 msnm. Presenta una orientación NW-SE y comprende la porción occidental del estado de Durango; es una extensa meseta formada por rocas volcánicas disectada por fallas normales y grabens, cuyo borde occidental se caracteriza por presentar una terminación abrupta con fallas normales que presentan grandes desplazamientos y zonas de barrancas profundas.

La Subprovincia de Sierras y Llanuras de Durango es una franja angosta y alargada que forma parte de los costados orientales de la Sierra Madre Occidental, desde Cuauhtémoc en Chihuahua hasta Sombrerete en Zacatecas. Está representada por llanuras amplias y una manifestación importante de mesetas, constituidas principalmente por riolitas e ignimbritas.

La Gran Meseta y Cañones Duranguenses está formada por rocas de tipo ígnea extrusiva ácida y formada principalmente por mesetas de gran superficie con cañadas y de sierra alta con cañones. En el acuífero presenta las principales elevaciones topográficas cuya elevación varía de 2,500 a 2,900 msnm; su principal rasgo son las grandes mesetas limitadas por abruptos y enormes acantilados.

Las características especiales de estas subprovincias son su elevación sobre el nivel medio del mar y el gran número y extensión de sus hermosos y fértiles valles, separados uno de otros por altas barreras montañosas.

La Mesa Central de México fue reconocida como provincia fisiográfica por Raisz (1959), quien la definió como: *“una cuenca rodeada por montañas más elevadas. Más alta y más plana que la provincia Cuencas y Sierras (localizada al norte). En lugar de sierras elongadas, ésta tiene áreas poco elevadas, principalmente disectando rocas volcánicas antiguas”*. Se caracteriza por ser una región semidesértica elevada, en su mayor parte plana, ubicada en la región central de México, que presentan amplias llanuras interrumpidas por algunas sierras. Abarca parte de los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Aguascalientes y Guanajuato. La Subprovincia Sierras y Llanuras del Norte se caracteriza por presentar extensas llanuras altas, de 2,000 a 2,200 msnm de elevación, limitadas por sierras alargadas y angostas, que en general están orientadas en dirección NW-SE, así como zonas de lomeríos.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación del INEGI, en el territorio que cubre el acuífero predomina un clima del tipo BS1kw, que es un clima semiárido templado con verano cálido; en las zonas influenciadas por este clima los meses de lluvia máxima son junio y septiembre con 70 y 80 mm. En la región sur del acuífero, entre las localidades de San Juan de Michis y La Peña se presenta un clima C(wo) Templado, subhúmedo. La precipitación tiene su máximo valor en el mes de julio con valores superiores a los 120 mm. La precipitación en el mes más seco es menor a los 40 mm. En las localidades de Nombre de Dios y San José de Acevedo se presenta el clima BSohw, árido semi-cálido; en el que la precipitación del mes más seco es menor a 40 mm.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 9 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Hacienda La Pila (Durango), El Saltito, Hacienda Ganadera El Ojo, San José Acevedo, Narciso Mendoza (Poanas), Vicente Guerrero, Súchil, Presa Santa Elena y Chalchihuites cuyo registro comprende un periodo de 90 años (1923-2013).

Con estos datos y utilizando el método de isoyetas e isotermas, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **532.9 mm** y **16.7 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,000 mm anuales**.

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.

3.3. Hidrografía

El acuífero Vicente Guerrero-Poanas se encuentra ubicado en su totalidad en la Región Hidrológica 11 Presidio-San Pedro, cuenca Río San Pedro, que comprende los estados de Durango, Nayarit y Zacatecas.

Localmente, en el área de la cuenca donde se ubica el acuífero, existen un sin número de corrientes superficiales, tanto arroyos intermitentes, ríos perennes y lagunas, los de mayor importancia son los ríos Perennes Poanas, Súchil, Graceros, Río Viejo y Durango, que reciben aportación de pequeños arroyos intermitentes que provienen de las sierras que rodean la región.

El Río Durango se localiza en la región noroeste del acuífero, se origina en la localidad El Arenal, donde se identifica con el nombre de El Tunal, en su margen derecha recibe la aportación de los arroyos La Viñata, Los Caballos y La Sabina, a partir de donde cambia su nombre a Río Durango.

El Río Poanas se origina en la Sierra Santa María, vierte el total de su cauce en la zona cercana al cerro Martín Pérez. El Río Graceros se origina en la serranía cercana a la localidad denominada Potrerillo, es almacenado por la presa Santa Elena, en su recorrido pasa por las localidades La Soledad, San Isidro de Murillos, San Pedro Alcántara, Revolución Social, San Francisco Javier, Graceros y finalmente El Tobe. El Río Súchil se origina en la localidad de Santa Cruz, atraviesa la localidad de Súchil para posteriormente ser retenido por la presa derivadora La Tamarisa que se localiza entre San José del Molino y El Mortero, continúa con dirección a Vicente Guerrero, en El Tobe recibe la aportación del río Graceros e intercepta al río Viejo cerca de la localidad Ignacio Zaragoza.

El Río Viejo nace en la intersección con el Río Súchil, este río se une al Río Mezquital y continúa su recorrido para cambiar de nombre a San Pedro, que desemboca en el Océano Pacífico.

Dentro del acuífero existen varias lagunas de pequeñas dimensiones entre las localidades Rojas, Villa Unión y 18 de Agosto, las de mayor importancia son Laguna Larga, Los Cochinos, La Cruz, El Apartadero, El Rodeo, Los Lobos, La Honda y El Resumidero.

3.4. Geomorfología

La Sierra Madre Occidental en Durango, por su ubicación dentro del contexto continental, se manifiesta majestuosamente a lo ancho de más de 140 km, con rumbo noroeste-sureste, al oeste de la ciudad de Durango donde alcanza su altura media de 2,650 msnm, sus elevaciones máximas son del orden de los 3,000 msnm y pueden ser observadas desde el Océano Pacífico.

El relieve de esta provincia se caracteriza por presentar cañones profundos y topografía abrupta, donde es factible encontrar pequeños y estrechos valles en los cañones; la topografía tiende a ser más suave hacia el oriente y al sur, en donde se encuentran amplios valles y extensas llanuras. Las máximas elevaciones en la región están representadas por el cerro Blanco (2,300 msnm) y una porción de la Sierra Gamón (2,580 msnm). La zona de menor elevación se representa en el río Peñón Blanco, con una altitud de 1,450 msnm.

La Mesa Central está definida como una cuenca rodeada por montañas más elevadas, más altas y más planas que la provincia Cuencas y Sierras. En lugar de sierras elongadas, ésta tiene áreas poco elevadas, principalmente disectando las rocas volcánicas antiguas. Se trata de una planicie elevada que se localiza en la parte central de México, más de la mitad de su superficie se encuentra por encima de la cota 2,000 y las elevaciones en su interior son moderadas, con desniveles inferiores a los 600 m. La zona donde se localiza el acuífero muestra un estado de erosión avanzado con grandes cuencas continentales endorreicas rellenas de sedimentos aluviales y lacustres.

Los elementos fisiográficos que caracterizan el relieve de la región que ocupa el acuífero son planicies, mesetas y volcanes, malpaíses y sierras.

Las planicies se desarrollan en las porciones central y sureste del acuífero, con alturas promedio de 1,900 msnm, en las que se presentan algunos lomeríos al norte y al sur, constituidos por materiales clásticos cenozoicos y recientes.

Las mesetas y volcanes se localizan en la porción suroriental y entre ellas destaca Santa Bárbara, constituida por materiales piroclásticos, y otra región de mayor altura que se ubica al noroeste, constituida en su parte inferior por piroclásticos y en la superior por basaltos.

Los malpaíses se localizan en las porciones sur y oeste del acuífero y se caracterizan por presentar grandes extensiones, poco accidentadas, formadas por derrames basálticos. Así mismo, es posible identificar un gran número de aparatos volcánicos diseminados, de altura variable con diferentes grados de erosión.

Por último, las sierras se localizan en los extremos norte y suroriental del acuífero, están representadas por las sierras Santa Lucía, Papatón y San José de La Parrilla; constituidas por calizas, lutitas y areniscas fuertemente plegadas con formas escarpadas a subredondeadas. Las sierras de composición volcánica se encuentran distribuidas en la porción oriental, suroeste y oeste del acuífero, originadas por materiales de tipo explosivo y emisiones de nubes ardientes, así como derrames de tipo ácido en general, formando cerros escarpados, representados por los cerros el Águila y Picacho. Su elevación topográfica varía de 2,000 en los valles a 2,500 msnm en los cerros y mesas que delimitan el acuífero.

4. GEOLOGÍA

La geología general de la región que comprende el acuífero está integrada por una secuencia flysch calcáreo-arcillosa que consiste de una alternancia de calizas y lutitas, con areniscas, capas de limolitas calcáreas y horizontes tobáceos, con estratificación delgada a mediana, cuya edad ha sido asignada al Valanginiano, con base en el análisis macro paleontológico. A pesar del plegamiento, su espesor es de 150 a 300 m.

Se depositaron discordantemente calizas con bandas, nódulos y lentes de pedernal negro, en una estratificación ondulante, dispuestas en capas de 8 a 19 cm de espesor, cuya edad corresponde al Aptiano y su espesor aproximado es de 400 a 750 m, estas son las rocas más antiguas y corresponden a la Formación Mezcalera (Carta Geológica-Minera F13-B24 "Vicente Guerrero", escala 1:50,000, SGM 2001) (Figura 2).

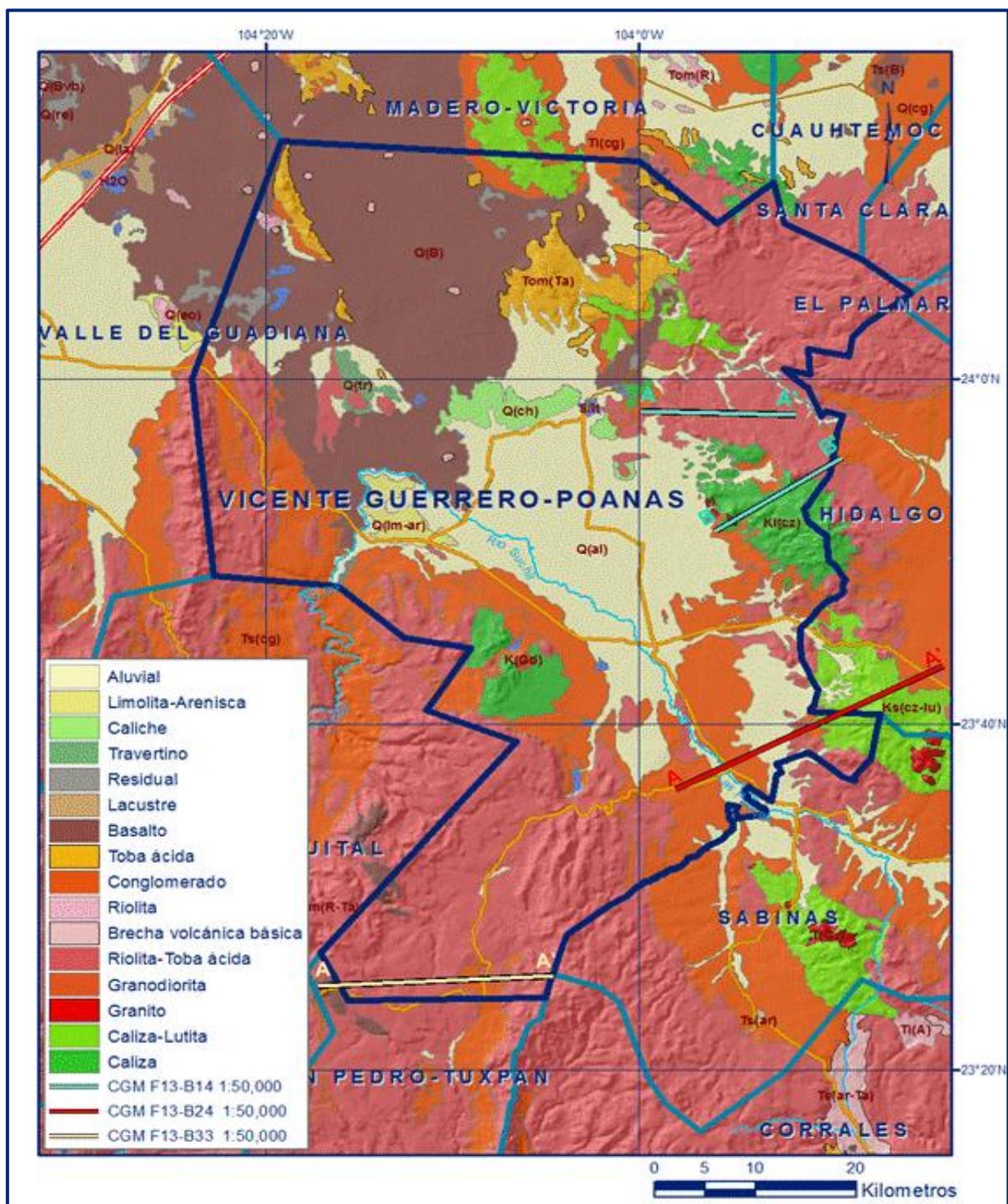


Figura 2. Geología general del acuífero

Cubriendo discordantemente a la secuencia sedimentaria anteriormente descrita aflora un derrame andesítico de color verde grisáceo, textura porfídica, estructura compacta muy fracturada, con un espesor aproximado de 70 m, que por sus relaciones en campo y su posición estratigráfica se le asignó una edad del Eoceno.

Descansando sobre las andesitas se presenta en contacto discordante, una secuencia de tobas de composición riolítica y flujos piroclásticos bien soldados con un espesor aproximado de 150 a 200 m de edad Oligoceno.

Sobreyaciendo a la unidad volcánica anterior y en contacto concordante, se encuentra una brecha riolítica intercalada con tobas riolíticas, constituida por clastos angulosos a subangulosos de riolitas, tobas riolíticas e ignimbritas cementada en una matriz areno-tobácea poco silicificada, con espesor de 50 m y de edad Oligoceno. Sobreyaciendo a la brecha volcánica existe un paquete de ignimbritas con estructura compacta, textura piroclástica fluidal, y espesor de 100 a 300 m, de edad Oligoceno.

Estratigráficamente hacia la cima afloran riolitas, de color rojizo de estructura compacta, textura fanerítica, de espesor aproximado de 150 m, de edad del Oligoceno y discordantemente le sobreyace un conglomerado polimíctico, constituido por clastos de caliza, tobas, riolitas e ignimbritas, cementados en una matriz areno tobácea, con un espesor aproximado de 30 m y que por su posición estratigráfica se atribuye una edad del Mioceno.

Posteriormente le sobreyace un basalto de color negro, estructura compacta, textura afanítica con oquedades, con una micro textura microlítica porfídica de origen fisural, con un espesor aproximado de 10 m al que se le asignó una edad del Mioceno. Cubriendo discordantemente aflora un conglomerado polimíctico y areniscas, con espesor de 100 m de edad Mioceno. Como último evento, del Cuaternario se tienen depósitos aluviales producto de la erosión y denudación de las rocas preexistentes que afloran únicamente en los cauces de los arroyos.

Durante el Eoceno se emplazó un cuerpo intrusivo de composición granodiorítica-cuarzomonzonítica en el cerro La Gloria, cuya edad se determinó en $46.2 \pm$ Ma por el método K/Ar. Después se emplaza el pórfido riolítico Cerro Prieto, con edades K/Ar de 38 Ma. En el Oligoceno se emplaza otro cuerpo hipabisal que fue clasificado como pórfido traquítico. Las rocas metamórficas de contacto (skarns) se observan en el contacto con las rocas sedimentarias (calizas-lutitas), en una aureola por reemplazamiento, de color verdoso, gris masiva compacta y bandeada.

Localmente los afloramientos que cubren la mayor parte de la superficie del acuífero corresponden a rocas ígneas del Cenozoico (riolitas, tobas y basaltos) y del Cuaternario (basaltos), así como por depósitos aluviales y residuales del cuaternario.

Las rocas del Cenozoico afloran principalmente en las serranías que delimitan el acuífero, y los sedimentos cuaternarios constituyen los depósitos fluviales, abanicos aluviales, pie de monte y lacustres, los cuales se encuentran en las zonas topográficamente más bajas.

La sucesión de eventos magmáticos ocurridos se encuentran cubriendo, mediante una discordancia petrológica, a rocas sedimentarias del Cretácico Inferior y Superior. El magmatismo inicia en el Oligoceno y continúa de manera interrumpida hasta el Holoceno.

4.1. Estratigrafía

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende rocas volcánicas y sedimentarias, cuyas edades varían del Cretácico Superior al Cuaternario. A continuación, se describen de la más antigua a la más reciente:

CRETACICO SUPERIOR

Grupo Mezcalera

En 1986, Araujo M. y Arenas P. la proponen de manera formal como Formación Mezcalera y en la hoja Indé (G13C19 escala 1:50,000) se definieron y cartografiaron cuatro unidades por lo que en términos del Código de Nomenclatura estratigráfico (1983) se conviene denominarla como Grupo Mezcalera.

Está representado por una alternancia rítmica tipo flysch de areniscas y lutitas, cuyos afloramientos principales se ubican en las porciones suroriental y oriental del acuífero. Litológicamente está constituida por una secuencia rítmica de areniscas de grano fino y lutitas intercaladas con horizontes gruesos de calizas y limolita.

Como cambio de facies de esta secuencia, se presentan rocas calcáreas de la Formación Aurora, constituida por calizas, dolomías, pedernal y horizontes arcillosos, que afloran en la sierra La Sierrita y al noroeste en los cerros Andrés y Sotoles.

Formación Aurora

El nombre fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, donde están constituidas por capas gruesas de calizas fosilíferas, que presentan abundantes nódulos de pedernal.

Está constituida por calizas de estratificación media a gruesa con diversos desarrollos arrecifales y algunos horizontes de calcarenitas.

Presenta una coloración de tonalidad gris a oscura, escasos nódulos de pedernal y hematita hacia la cima, con fracturamiento general que varía de moderado a intenso, estructuralmente forma pliegues anticlinales cuyo eje se orienta noroeste-sureste y echados suaves más o menos uniformes.

Aflora en un macizo montañoso de poca altura ubicado al sureste del acuífero, ocupando la totalidad del área conocida como La Sierrita; otra exposición se presenta a unos 6 km hacia el norte, cuyas rocas han sido afectadas por un tronco de riolita extrusiva, provocando la generación de minerales de contacto metasomático, ricos en plomo y zinc principalmente, este lugar se conoce como "Las Minas".

Su distribución dentro del área de estudio, se restringe a los afloramientos localizados en la sierra Santa Lucía e inmediaciones del poblado de San José de La Parrilla, ubicado en la porción centro occidental del área. Por su posición estratigráfica y su contenido fosilífero, es posible asignarle una edad correspondiente al Albiano-Cenomaniano. Su espesor estimado es de 300 m.

Formación Cuesta del Cura

Fue definida formalmente por Imlay (1936) en su localidad tipo llamada Cuesta del Cura, ubicada a 7 km al poniente de Parras, Coahuila. La describe como una sección de 65 m de potencia, constituida por capas delgadas de calizas de color gris a negro, onduladas y con numerosos nódulos de pedernal, sobreyaciendo concordantemente a las calizas de la Formación Aurora y, de la misma manera, subyaciendo a la Formación Indidura.

En la región de La Parrilla, San Martín y Chalchihuites se localizan importantes obras mineras en esta región. Según Mayer (1967), las calizas Cuesta del Cura pueden estar interdigitalizadas con la Formación Aurora, por lo cual se le ha asignado una edad que comprende de Albiano Tardío al Turoniano Temprano.

Sus afloramientos se restringen a la porción sureste, cerca del poblado Villa Insurgentes, Zac. La secuencia consiste de intercalaciones de calizas de color gris verdoso, que intemperizan en pardo verdoso y rojizo; la estratificación es laminar y llega a presentar capas de 10 a 30 cm de espesor.

Formación Indidura

Fue nombrada por Kelly (1936) en la región de Delicias, Coahuila, donde sobreyace a la Formación Aurora y consiste de 30 m de lutitas, interestratificadas con capas delgadas de calizas. En la zona de estudio sobreyace concordantemente a las calizas Cuesta del Cura y está constituida por una alternancia de rocas calcáreas y lutitas, que presentan una coloración gris claro que intemperiza a café rojizo.

Sus mejores exposiciones se encuentran en la margen izquierda del Río Poanas, en las cercanías del poblado Santa Atenógenes, sobre la carretera que une Narciso Mendoza con La Ochoa, y al este del Rancho Los Hernández. Su litología sugiere las primeras pulsaciones de la Orogenia Laramide en ambientes litorales. De acuerdo con su posición estratigráfica, se le asigna una edad que corresponde al Turoniano.

PALEÓGENO (EOCENO)

Formación Ahuichila

Definida formalmente por Rogers (1981), en los afloramientos expuestos en el “Frontón de Ahuichila”, ubicado en el límite donde convergen los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas. Sobreyace discordantemente a las rocas mesozoicas y corresponde a un conglomerado de origen continental, tipo “molasse”, constituido por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos angulosos a subredondeados de caliza, calcarenita, calcilutita y de rocas volcánicas, con matriz calcárea y limolítica, que se presentan en bancos gruesos y masivos, de colores que varían de gris a rojizo, que conforman lomeríos de pendientes ligeras. Debido a su posición estratigráfica y su origen, se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del continente generada por la Orogenia Laramide. Por correlación con depósitos clásticos del centro de México, Fries et al., 1955; Edwards, 1955, le asignan una edad que corresponde al Eoceno-Oligoceno.

Superggrupo Volcánico Inferior

Se compone de una secuencia de lavas andesíticas y tobas estratificadas que, de acuerdo con Swanson (op, cit.), se encuentra dispuesta a lo largo de la base de la Sierra El Registro. La litología predominante de este complejo en el área consiste de flujos de andesitas y brechas andesíticas de color gris morado. Las andesitas presentan una textura afanítica y generalmente con una alteración principalmente propilítica.

Los derrames de andesita y brechas andesíticas están compuestas por fragmentos de andesita con alteración clorítica a veces pseudoestratificada que presenta variación litológica a dacitas con espesor variable de 100 a 350 m. Principalmente la unidad está expuesta en forma de ventanas erosionales.

Es considerada de manera informal en el área de Tayoltita por Henshaw (1953), Randall y compañía Minas de San Luis (1975), posteriormente es estudiada sobre la carretera del Mezquital, Dgo. (Keizer, 1974) y sobre la carretera a Mazatlán por McDowell y Clabaugh (1976); los primeros autores la mencionan constituida por riolitas, toba andesítica y andesitas con un espesor de 800 m; en Topia, Dgo. Lemish (en Clark y otros, 1977), reporta un espesor de 1,400 m en una alternancia de andesitas y tobas en la Sierra de Registro y Sierra Colorada, ubicadas al suroeste de la Ciudad de Durango.

La litología está constituida por andesitas y brechas andesíticas; megascópicamente las andesitas presentan una textura afanítica de color gris, gris claro, verde oscuro y rojiza; las brechas andesíticas están conformadas por fragmentos angulosos de andesitas y riolitas de pequeñas dimensiones de color variable con tonalidades de púrpura al gris claro. Generalmente esta secuencia tiene la característica especial de presentarse en forma de pseudoestratos de 0.5 a 1.5 m de espesor y se encuentra aflorando en forma de ventanas estructurales debido a la tectónica y a la erosión. Se consideran espesores de hasta 700 m en la zona de Tayoltita y Bacís y espesores de 250 m en Tejámen, Alamito, Coneto de Comonfort y San Lucas de Ocampo. La andesita fue datada por el método de K-Ar en la localidad de San Lucas de Ocampo, reportando una edad de 38.8 m.a. (Damon, 1975). Otra datación en la carretera Durango-Mazatlán arrojó una edad de 52 m.a. (McDowell y Clabaugh, 1976); por lo que la andesita queda ubicada en el Paleoceno-Eoceno Temprano a Tardío.

PALEÓGENO (OLIGOCENO)

Supergrupo Volcánico Superior

Una extensa secuencia de ignimbritas intercaladas con flujos de lavas y sedimentos epiclásticos tobáceos sobreyacen el Complejo Volcánico Inferior y forman la capa superior de la Sierra Madre Occidental. Esta gran acumulación de rocas volcánicas del Cenozoico Medio ha sido designada como el “Supergrupo Volcánico Superior” (McDowell y Keize, 1977), comparable con depósitos piroclásticos de flujo de cenizas y rocas asociadas de edad similar que cubren áreas amplias del occidente de los Estados Unidos (McDowell y Clabaugh, 1979).

En el occidente de México estos dos grupos ígneos ocupan áreas similares y se pueden identificar a través de la mayor parte de la Sierra Madre Occidental. Ambos están aproximadamente paralelos a la margen occidental del continente.

La Sierra Madre Occidental es una gran región con elevaciones y depresiones topográficas que forman la margen occidental del altiplano central mexicano. En la región de Durango está profundamente disectada por ríos que fluyen hacia el este y que descienden rápidamente al nivel del mar.

La parte superior está compuesta por rocas volcánicas del Cenozoico Medio, donde se pueden apreciar ignimbritas riolíticas espectacularmente expuestas.

Ésta es probablemente la secuencia de ignimbritas continua más grande del mundo (McDowell y Clabaugh, 1979; Swanson y McDowell, 1984), distribuida en un cinturón con orientación sureste con aproximadamente 200-500 km ancho y al menos 1,200 km de largo, extendiéndose desde la frontera de México con Estados Unidos, hasta su intersección con la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana.

Las rocas dominantes en esta secuencia son ignimbritas riodacíticas a riolíticas con un grado de soldamiento de moderado a alto. Cantidades menores de rocas máficas están usualmente presentes hacia la cima de las secuencias (McDowell y Clabaugh, 1979).

El Supergrupo Volcánico Superior fue emplazado durante un periodo de convergencia entre la placa Farallón y la placa Norteamericana (McDowell y Clabaugh, 1979; Aguirre-Díaz y McDowell, 1991).

Este periodo de vulcanismo paroxístico ha sido relacionado con pulsos de extensión en la porción meridional de la provincia de Cuencas y Sierras (Aguirre-Díaz y McDowell, 1991,1993; Aranda-Gómez et al., 2000).

Por otro lado, Nieto-Samaniego et al. (1999) consideran que el vulcanismo silícico del “flareup” fue disparado por el efecto combinado de un emplazamiento extensivo de magmas básicos en la base de la corteza (mafic underplating) y el comienzo de extensión en la parte superior de la placa, incidental por el retroceso de la trinchera.

Haciendo un estudio comparativo con el campo volcánico de San Juan, McDowell y Clabaugh (1979) estimaron que para producir los más de 300,000 km³ de rocas piroclásticas que forman la Sierra Madre Occidental (300,000 km² de área cubierta por este paquete de ignimbritas multiplicado por un espesor promedio de 1 km) deberían existir de 200 a 400 calderas con un diámetro promedio de 30 km.

Sin embargo, sólo se han reportado alrededor de 15 calderas (o complejos de calderas) en la Sierra Madre Occidental, de las cuales solo unas cuantas han sido moderadamente estudiadas (Swanson y McDowell, 1984; Aguirre-Díaz y Labarthé-Hernández, 2003).

Varios autores han propuesto que algunas de estas ignimbritas fueron emplazadas mediante fisuras corticales relacionadas a la formación de grabens (Scheubel et al., 1988; Aguirre-Díaz y Labarthé-Hernández, 2003) llamados también “depresiones vulcano-tectónicas” (Lipman, 1997). Aguirre-Díaz y Labarthé-Hernández (2003) y Aguirre-Díaz et al. (2005), Aguirre-Díaz et al. (2007, 2008) proponen la existencia de cámaras magmáticas alargadas de dimensiones batolíticas que formaron calderas alargadas dentro de los grabens, llamando a estas estructuras “graben-caldera”.

Derrames Riolíticos

Se diferencian litológicamente asociaciones y alternancia de riolitas porfídicas, corrientes de flujo, tobas soldadas, tobas de caída libre, variando su composición de riolita a riodacita en zonas de corrientes de flujo y hacia la transición a rocas andesíticas.

Domos

Esta unidad está representada por domos de composición riolítica con minerales de cuarzo, feldspatos y vidrio los cuales fueron descritas por McDowell y Keizer (1977), las estructuras tienen un espesor que varía de 50 a 200 m. Debido a que se encuentran cortando a las rocas volcánicas, se les asigna una edad correspondiente al Oligoceno.

NEÓGENO (MIOCENO)

Conglomerado Polimíctico

Secuencia conglomerática que rellena las depresiones de los valles y que presenta intercalaciones de basaltos. El conglomerado está constituido por clastos mal clasificados de variada composición y tamaño (1 a 20 cm).

La composición de los clastos está en función del paquete rocoso que lo delimita, se aprecia cierta gradación y alternancia en la secuencia de depósito que gradúa de finos a gruesos, aunque en la mayoría de los casos se manifiesta un depósito caótico.

Está compuesto por fragmentos líticos mal clasificados, de color gris claro-amarillento a rojizo, angulosos y subangulosos de tamaño variable, cementados por una matriz areno-arcillosa, areno-tobácea y carbonatada de pigmentación rojiza.

La secuencia de conglomerados presenta intercalaciones de basalto, que varían en espesor de 10 a 30 m y una longitud aflorante que varía de algunos cientos de metros hasta más de 1 km.

Considerando su posible correlación con la Formación Báucarit, su origen se puede considerar que la secuencia pertenece a una facies clástica que comprende conglomerados polimícticos y areniscas, asociados a la formación de un abanico aluvial.

Por otro lado, su origen también se asocia al proceso distensivo que dio origen a las depresiones y por consiguiente a los clásticos que las rellenan.

NEÓGENO (PLIOCENO)

Formación Los Llanos

Designada formalmente por Enciso de la Vega (UNAM, 1968) para referirse a los clásticos continentales probablemente de edad Plioceno o Pleistoceno, que están presentes en el área de la hoja Cuencamé y que se encuentran ampliamente distribuidos en el área estudiada. Está constituida principalmente de gravas, arenas, arcillas y limos; los clásticos gruesos se presentan sin consolidar y los finos débilmente consolidados. La mayor parte de sus componentes son derivados de rocas volcánicas de composición ácida principalmente. La forma de los clásticos varía de subredondeados a redondeados. Presenta generalmente una coloración café rojiza.

Eventualmente contiene capas de tobas andesíticas y lavas basálticas; algunas de ellas presentan evidencias de haber sido depositadas en cuerpos de agua, como en los afloramientos que se muestran sobre la carretera Durango-Cuencamé, a 8 km al NE de Guadalupe Victoria; algunas de estas lavas han sido cortadas en los pozos perforados para explotación de agua potable.

Desde el punto de vista geohidrológico, es la unidad de mayor interés, ya que presenta muy buenas características estructurales que hacen que sea una excelente zona de recarga debido a su alta permeabilidad.

La Formación Los Llanos descansa tanto sobre las rocas mesozoicas como sobre las formaciones cenozoicas anteriormente descritas, excepto los depósitos aluviales recientes, forma la cima de la columna estratigráfica. Su espesor es uno de los puntos que más se presta a controversia. Enciso de La Vega (op. cit.) le asigna un espesor de 15 m, sin embargo se tienen evidencias por la información de pozos perforados, de que el espesor es considerablemente mayor, especialmente en los valles de origen tectónico, en los que podría alcanzar varios cientos de metros.

Constituye precisamente la unidad fisiográfica de la región, la cual ha sido denominada "Región de Los Llanos". Fisiográficamente se describe como amplias planicies, poco disectadas, en las que se desarrollan amplias superficies de cultivos. La edad de la formación está bien datada por la presencia de restos de mamut (algunos molares y posiblemente parte de un fémur descubiertos en la hacienda de Atotonilco, así como en otras localidades). Desde el punto de vista geohidrológico, es la unidad de mayor interés, ya que presenta muy buenas características estructurales que hacen que sea una excelente zona de recarga debido a su alta permeabilidad.

Formación Santa Inés

El término formacional de esta unidad fue propuesto por Pantoja (1963) para designar a las rocas conglomeráticas de origen continental que afloran en las cercanías de San Pedro El Gallo, Dgo.

En la región se encuentran distribuidas en la mayor parte de las sierras formadas por rocas volcánicas cenozoicas (series volcánicas inferior y superior).

Está constituida por conglomerados de rocas volcánicas, que en su contacto con las rocas subyacentes presenta capas arenosas de color rojizo, así como limos de color blanquecino, secuencia que paulatinamente cambia a conglomerados hacia la cima. Intercalaciones de derrames basálticos se observaron en las inmediaciones de San José de la Unión. Por la similitud litológica y relación estratigráfica, estos depósitos se correlacionaron con la Formación Los Llanos, asignándole una edad correspondiente al Plioceno Tardío.

Formación Metates

Su nombre fue propuesto por Córdoba (1963) para referirse a los derrames de basalto con olivino que sobreyacen en discordancia erosional con la Formación Río Chico. El autor sitúa la localidad tipo en el km 990 de la carretera Durango-Mazatlán, en las cercanías del poblado Metates y le atribuye una edad correspondiente al Paleógeno Superior. Se encuentra en discordancia con las rocas riolíticas, en forma de pequeños afloramientos de basalto de escasa potencia que presentan una coloración gris oscura, intemperizando a color gris rojizo. Aflora al noreste del acuífero. En los trabajos consultados, algunos autores mencionan que estos basaltos son correlacionables con los de la Formación Guadiana.

CUATERNARIO (PLEISTOCENO)

Formación Guadiana

Albritton (1958) asigna el nombre de Formación Guadiana a los derrames de basalto que afloran a 25 km al este de la ciudad de Durango, en el poblado Saltito de La Constancia. Está constituida por derrames de brecha basáltica; basalto de color oscuro en superficie fresca que intemperiza a café oscuro, de textura afanítica con estructura vesicular, con presencia de olivino de color amarillo verdoso.

Su localidad tipo se encuentra en la población de Cárdenas, localizada al SW de la ciudad de Durango, en donde se encuentra constituida exclusivamente por gravas con lentes arenosos, con un espesor que varía de 6 a 12 m.

En el área del acuífero está constituida por interdigitaciones de cuerpos arenosos gravillentos y arcillosos, que subyacen a basaltos cuaternarios. Por otra parte, es sobreyacida por sedimentos aluviales recientes, distinguiéndose de éstos por su textura gravillenta y arenosa de color café claro parcialmente cementados por caliche, así como por la presencia de huesos y dientes de vertebrados de edad Pleistoceno.

Por la similitud litológica y posición estratigráfica, los basaltos del área se correlacionan con los de la localidad tipo, que se ubican en el Pleistoceno. Según Lyons (1975) la emisión de los basaltos ocurrió después del segundo colapso de la Caldera Chupaderos.

Representan la última actividad volcánica del Neógeno y cubren grandes extensiones de terreno; por su color y forma son fáciles de identificar en campo.

Se presentan en forma de derrames intercalados en el Conglomerado Polimíctico; volcanes y conos cineríticos. Los basaltos son de color gris oscuro a negro de textura afanítica que varía a fanerítica, puede ser compacta o vesicular dependiendo de su génesis, contiene plagioclasas con cristales de olivino y ferromagnesianos.

CUATERNARIO (HOLOCENO)

Está representado por sedimentos aluviales, de diferente granulometría, desde gravas, arenas, arcillas y limos no consolidados, mal clasificados y de composición variada, producto de la erosión de las rocas que afloran en la región, que han sido transportadas por las corrientes de los ríos y arroyos hasta las regiones topográficamente más bajas, formando extensas planicies aluviales y lacustres.

4.2. Geología estructural

A nivel regional, estructuralmente la región está afectada por un patrón de fallas normales de rumbo NW-SE, que conforman una serie de fosas tectónicas escalonadas, las cuales son desplazadas ocasionalmente por fallas laterales.

El fallamiento normal NW-SE se infiere que pudo haber sido el conducto para el emplazamiento del pórfido traquítico, domos exógenos, aparatos volcánicos y diques. Con base en lo anterior, se definieron de poniente a oriente, los pilares Zaragoza, Guadalajara, Los Cuatillos y La Fosa Guadalupe Victoria (Carta Geológica-Minera G13-D73 Guadalupe Victoria. Escala 1:50,000. SGM, 2009).

La mayor parte de las estructuras que conforman el marco geológico-estructural de la región donde se ubica el acuífero Vicente Guerrero-Poanas, han sido generadas mediante los mecanismos que dieron origen a la Sierra Madre Occidental.

Sin embargo, las rocas generadas anteriormente a esta sierra muestran características propias que las hacen diferentes de las estructuras ocasionadas por los eventos magmáticos del Cenozoico: las estructuras circulares corresponden a las calderas de Chupaderos y Mezquital, las cuales se desarrollan al poniente y sur del área de estudio, respectivamente, están relacionadas con los eventos magmáticos del Supergrupo Volcánico Superior. De esta manera, es claro que se presentan dos tipos de deformaciones independientes entre sí, una que corresponde a estructuras desarrolladas sobre rocas cretácicas y la otra que afecta a la carpeta volcánica.

La primera de estas deformaciones se asocia con los efectos compresivos generados por la Orogenia Laramide, la cual está representada por abundantes estructuras anticlinales y sinclinales con una vergencia al NE, así como fallas inversas en los flancos orientales de las estructuras, que se presentan en las unidades de edad cretácica, en un ambiente tectónico desarrollado en zonas adyacentes a un arco volcánico ubicado al occidente del Mar Mexicano (Secuencia Mezcalera o Parral. Eguluz, 1984). Dentro del área de estudio, las estructuras generadas por los efectos de la Orogenia Laramide están representadas por el anticlinorio Sacrificio-Papanton (Sierra Santa Lucía), cuyo núcleo está afectado por intrusiones graníticas. Este elemento está integrado por abundantes pliegues recostados principalmente al NE, cuyos ejes axiales están orientados en dirección N20 a 30°W; muy apretados (tipo chevron), por la disposición estructural de las rocas al parecer su buzamiento general es al SE.

En lo que respecta a la segunda fase de deformación, está controlada por efectos tensionales cenozoicos que ocurrieron en la Sierra Madre Occidental. Los estudios realizados en la región describen dos grupos principales, el primero con trazas en dirección NW-SE y un segundo, que es subordinado, se presenta cortando al anterior y tiene una dirección NNE. Estas estructuras corresponden con fallas normales a las cuales Waitt (1970) y Wahl (1976), les determinaron bloques caídos hacia el oriente.

Las estructuras principales corresponden con lineamientos que se extienden desde Vicente Guerrero hasta la comunidad de Orión; también se observan otras estructuras como fallas normales que forman un horts, asociadas a cuerpos intrusivos. Otros lineamientos son perpendiculares a los principales y están asociados a zonas de mineralización y manifestaciones, emplazadas en pliegues anticlinales, sinclinales, cabalgaduras y fallas, que permiten definir la dirección preferencial de los esfuerzos con un rumbo al noreste, asociados a la Orogenia Laramide.

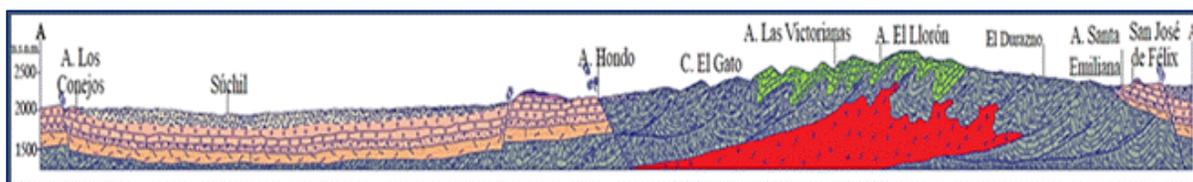
4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica, geofísica e hidrogeológica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos que tienen el mismo origen, evolución y constitución geológica, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por sedimentos aluviales, fluviales y de pie de monte, lacustres y eólicos, producto del intemperismo de rocas preexistentes, así como por conglomerados polimícticos que rellenan los amplios valles. Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región.

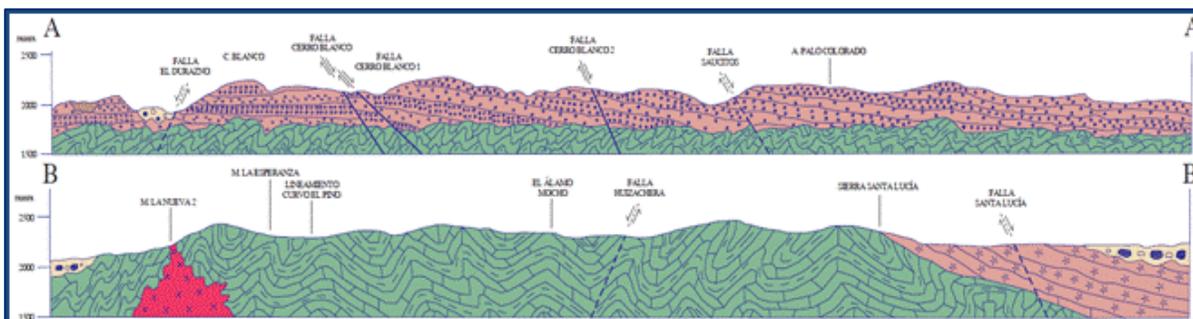
Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se produjeron durante la revolución laramídica.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que predominan basaltos, tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas volcánicas, al desaparecer el fracturamiento

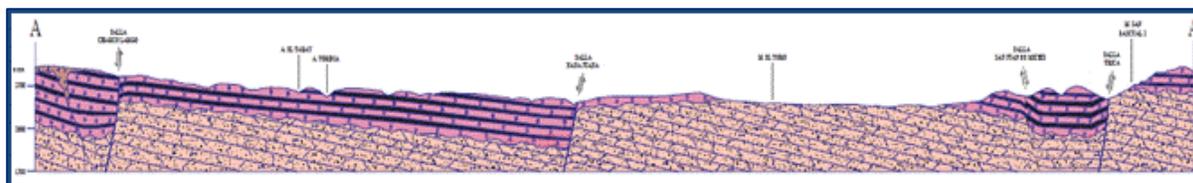
A mayor profundidad las calizas constituyen sistemas acuíferos profundos que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento y confinamiento, debido a que están sobreyacidas por lutitas y limolitas. Esta secuencia de rocas calcáreas y arcillosas está intrusionada por cuerpos granodioríticos y pórfidos traquíticos y riolíticos (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera F13-B24 "Vicente Guerrero". Esc.: 1: 50,000 (SGM, 2001)



Fuente: Carta Geológico-Minera F13-B14 "La Joya", Esc.: 1: 50,000 (SGM, 2001)



Fuente: Carta Geológico-Minera F13-B33 "San Juan de Michis", Esc.: 1: 50,000 (SGM, 2013)

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 **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada y por conglomerados polimícticos, cuyo espesor puede alcanzar varios metros en el centro de los valles y disminuye gradualmente hacia los flancos y estribaciones de las sierras.

Esta es la unidad que se explota actualmente en mayor proporción para satisfacer las necesidades de agua de la región. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas y basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad las calizas constituyen sistemas acuíferos profundos que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento y confinamiento, debido a que están sobreyacidas por lutitas y limolitas. Su existencia y potencial se ha comprobado en acuíferos vecinos que explotan esta unidad.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2010, se realizaron 6 pruebas de bombeo de corta duración, en etapa de abatimiento y recuperación.

Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos analíticos convencionales de Neuman, Theis y Jacob.

Los resultados de su interpretación indican que los valores medios de transmisividad varían entre **$0.05 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** y **$9.47 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , con un valor promedio de **$2.65 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** . Los valores de conductividad hidráulica varían de **1.0×10^{-6}** y **$3.16 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** (**0.09 a 27.3 m/d**), con un valor promedio de **$8.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$** (**7.2 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. Sin embargo para el propósito del balance de aguas subterráneas, se consideró un valor de rendimiento específico **Sy promedio de 0.03**.

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 2010 y 2014, debido a que los niveles estáticos se han mantenido más o menos constantes en el periodo 2010-2014, únicamente se describen las configuraciones del 2014.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

En 2014 los valores de profundidad al nivel del agua subterránea variaron de 15 a 120 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía hacia las estribaciones de las sierras que limitan los valles.

Los niveles estáticos más someros, de 15 a 30 m, se presentan en la porción occidental, en las inmediaciones del poblado Nombre de Dios, en las márgenes del Río Graceros y al sureste del acuífero, hacia el poblado Súchil, aumentando gradualmente conforme se asciende topográficamente.

Los más profundos, de 90 a 120 m, se registraron en la porción oriental y sur del acuífero, en las inmediaciones de El Alamillo y al sur de San Isidro de Murillos, respectivamente. En la porción central las profundidades varían de 40 a 60 m (figura 4).

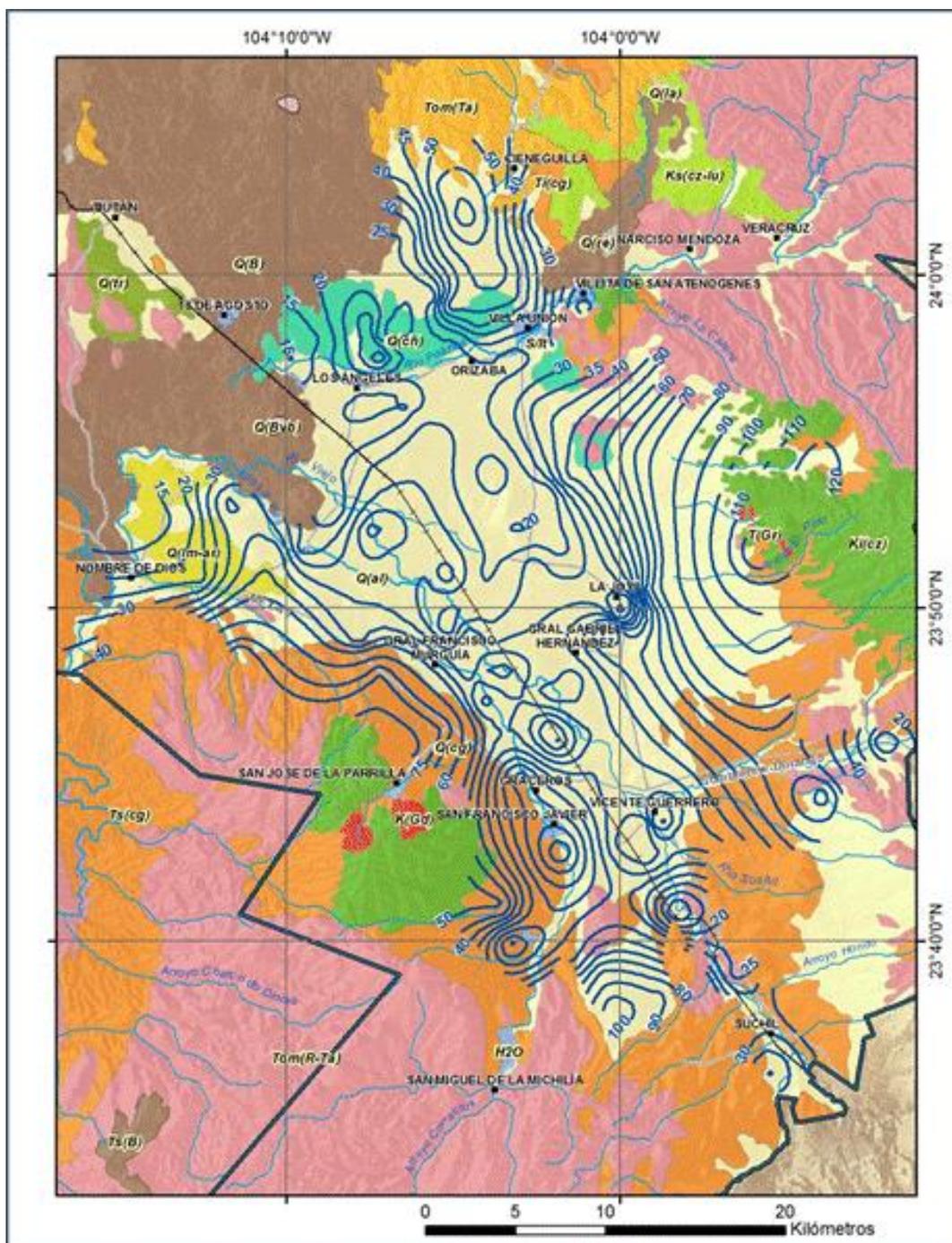


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2014)

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de elevación del nivel estático en 2014 registró valores de carga hidráulica que varían de 2070 a 1710 msnm, que se incrementan de la porción occidental del acuífero hacia el oriente y hacia los flancos de las sierras que lo delimitan.

Actualización de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Vicente Guerrero-Poanas, estado de Durango

Las menores elevaciones, de 1710 a 1760 msnm, se registraron al occidente, en las inmediaciones del poblado Nombre de Dios, y las mayores, de 2000 a 2070 msnm, en las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero en su porción oriental.

La dirección preferencial del flujo subterráneo es este-oeste, con alimentaciones provenientes de los flancos nororiental y suroccidental, paralela al flujo superficial del Río Súchil y de la red de escurrimiento, para confluir hacia el centro del valle y en la zona topográficamente más baja, donde se ubican los poblados Amado Nervo y Nombre de Dios, y hacia el noroeste del acuífero, a la altura del poblado Los Ángeles, donde se localizan las Lagunas Los Lobos y El Rodeo (figura 5).

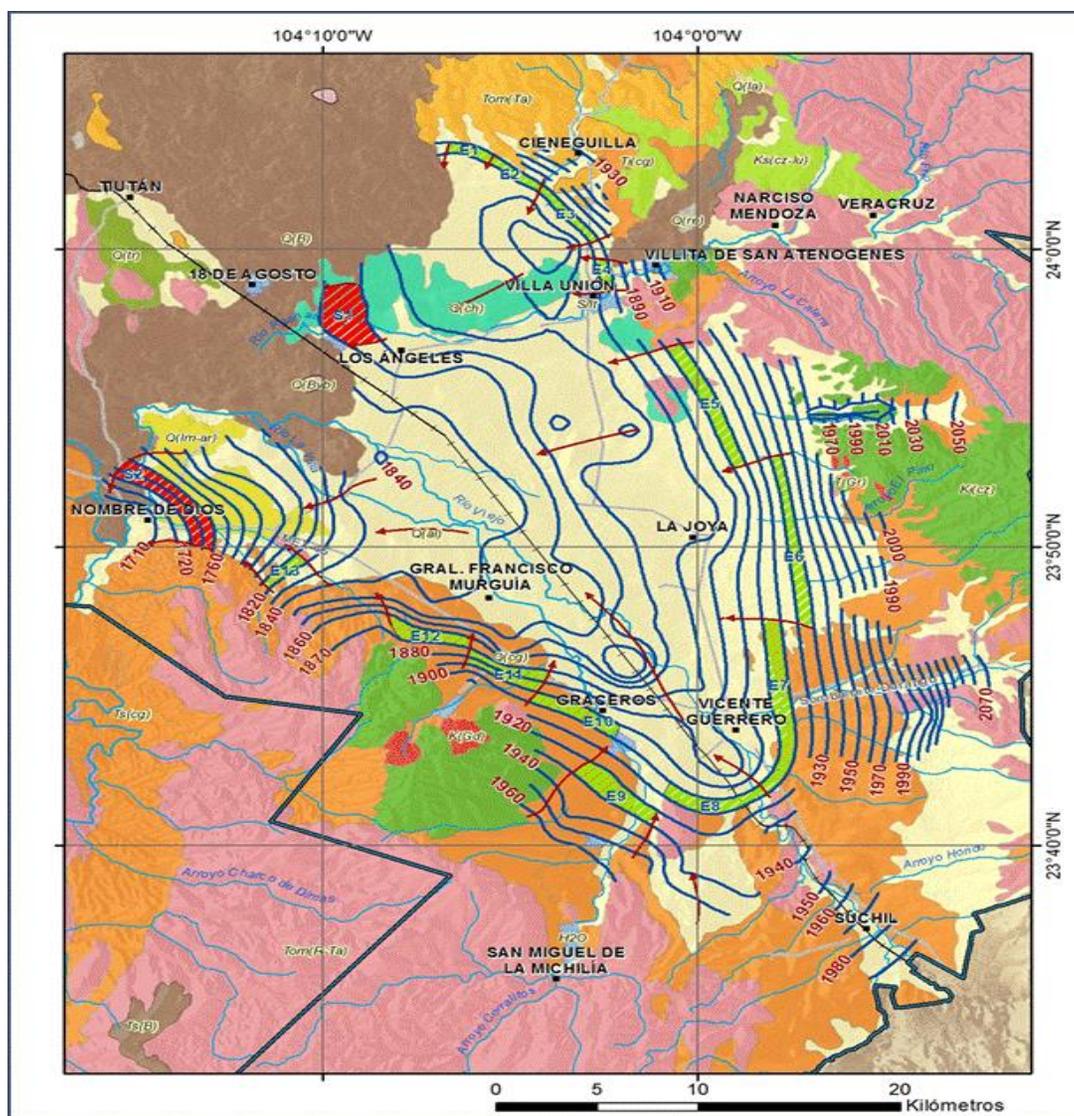


Figura 5. Profundidad al nivel estático en m (2014)

5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2010-2014, registra abatimientos de 1.0 a 10.0 m, con valores puntuales de 14.0 m, que representan un ritmo anual que varía de 0.25 a 2.5 m, con un promedio de 1.5 m.

La zona del valle donde se encuentra la principal zona de explotación presenta abatimientos de 6 a 8 m, es decir un promedio de 1.7 m anuales. En la región norte, en las inmediaciones de Villa Unión, el abatimiento varía de 1 a 4 m.

En la porción occidental del acuífero, en torno de Nombre de Dios, así como en la zona comprendida entre Vicente Guerrero y Francisco Javier, el abatimiento varía de 1 a 2 m. Por otra parte, en la zona sur del acuífero, hacia el poblado San Miguel de La Michilia, se registraron recuperaciones del nivel estático (figura 6).

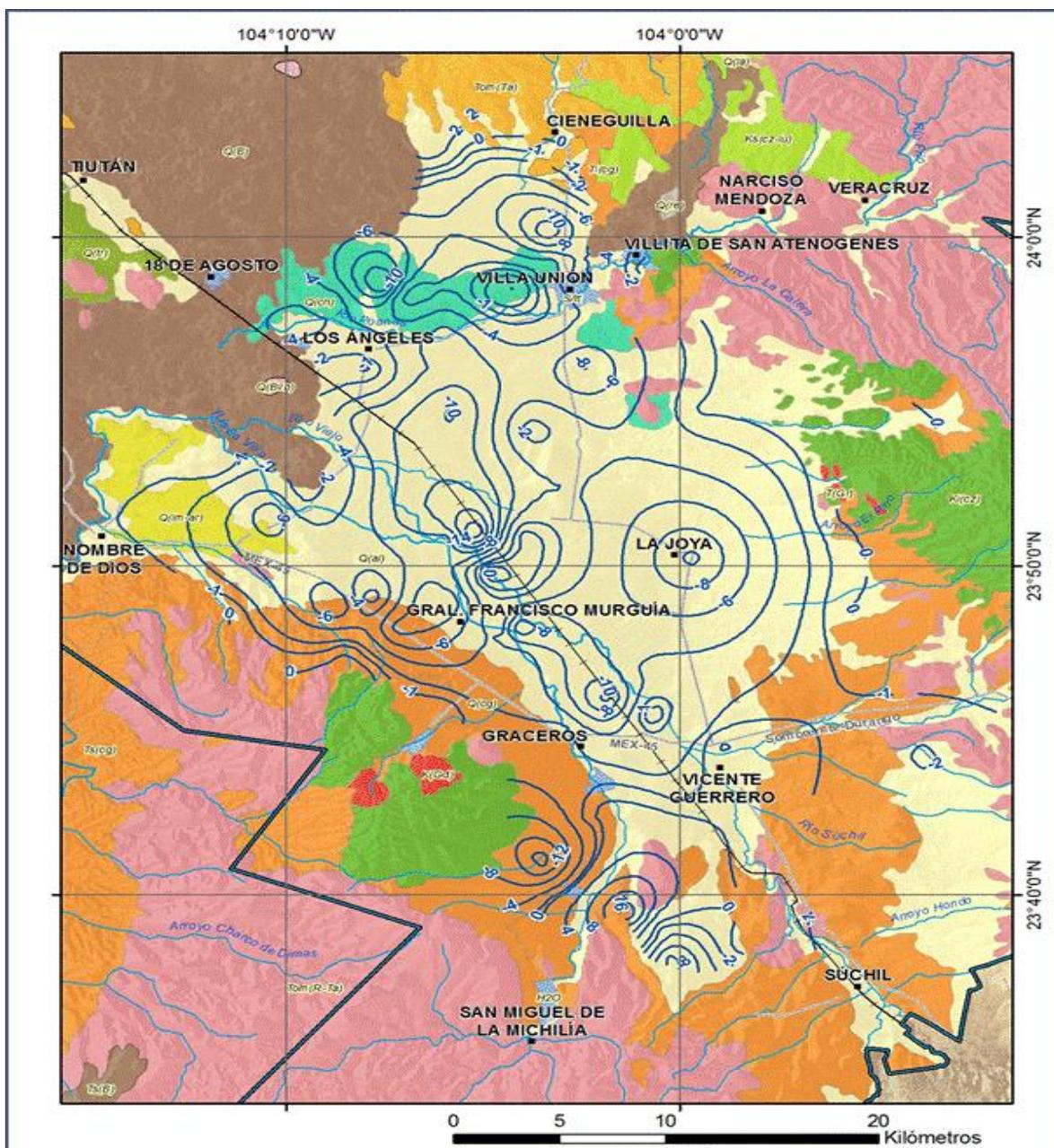


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2010-2014)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2014, se tomaron 5 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente.

Adicionalmente, se cuenta con la información de los análisis de 7 muestras recolectadas en 2010. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones principales, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, etc, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos.

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 214 a 480 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022.

Sin embargo, en tres aprovechamientos muestreados en 2014 se registraron concentraciones de flúor de 1.6 y 3.7 mg/l, y uno más presentó concentración de arsénico de 0.037 mg/l, superiores al límite máximo permisible que establece la mencionada norma. La presencia de estos elementos se asocia a rocas volcánicas fracturadas que constituyen la unidad inferior del acuífero. Con respecto a las familias del agua por ion dominante, las que predominan son bicarbonatada sódica, que representa agua de reciente infiltración que ha circulado a través de rocas volcánicas, y sulfatada-sódica, que representa aguas más evolucionadas, que tuvieron intercambio iónico con las rocas que conforman el medio geológico.

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 12 muestras de agua, 10 se clasifican como C_2S_1 , que representa contenido medio de sales y baja concentración de sodio intercambiable. Las dos muestras restantes se clasifican como C_2S_2 , que representan contenido medio de sales y concentración media de sodio intercambiable. Ambas clasificaciones recomiendan la aplicación de una fracción de lavado durante la aplicación del riego, para prevenir problemas de salinización.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el 2010, complementado con los aprovechamientos registrados en el Registro Público de Derechos de Agua al 2014; dentro de la superficie comprendida por el acuífero se tiene un total de 814 aprovechamientos, 750 pozos, 62 norias, 1 manantial y 1 tajo; todas ellas activas. De acuerdo con su clasificación por usos, 411 se utilizan en la agricultura, 127 para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, 10 para uso doméstico, 142 para uso pecuario, 5 para uso industrial y 119 para usos múltiples.

El volumen de extracción asciende a **111.1 hm³ anuales**, de los cuales 94.2 hm³ (84.8 %) se destinan al uso agrícola, 9.7 hm³ (8.7 %) son para uso público-urbano y 7.2 hm³ (6.5 %) para uso doméstico-pecuario y otros.

Adicionalmente, a través del **manantial** se descarga un caudal de 80 lps, que representa un volumen anual de **2.5 hm³**, destinados principalmente a los usos doméstico-pecuario y múltiple

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2010-2014 en una superficie de **830 km²**, que corresponde a la zona en la que 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 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 de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del 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, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (Ri). Para este caso, debido a que el volumen para uso público-urbano es pequeño, sólo se considera la recarga incidental por el retorno de riego agrícola (Rr).

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$) tiende a ser nulo y se cuenta con información para calcular las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

Rv = Recarga vertical;

Eh = Entradas por flujo subterráneo horizontal

B = Bombeo

Rr = Recarga incidental por retorno agrícola

Sh = Salidas por flujo subterráneo horizontal

Dm = Descarga de Manantiales

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

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

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

7.1.2. 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 del pie de monte, 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. Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2014, mostrada en la figura 5. Con base en ellas 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:

$$Q = T * B * i$$

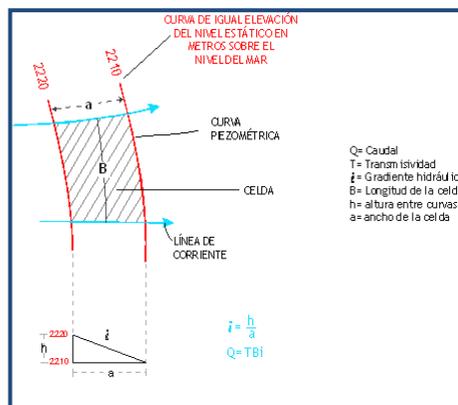
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

T = Transmisividad (m²/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **53.6 hm³/año**, como se observa en la tabla 2.

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

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	2135	670	10	0.0149	0.0020	0.0637	2.0
E2	2865	570	10	0.0175	0.0020	0.1005	3.2
E3	4100	490	10	0.0204	0.0020	0.1673	5.3
E4	1930	670	10	0.0149	0.0020	0.0576	1.8
E5	8080	710	10	0.0141	0.0050	0.5690	17.9
E6	10645	620	10	0.0161	0.0003	0.0515	1.6
E7	10830	755	10	0.0132	0.0003	0.0430	1.4
E8	5030	780	10	0.0128	0.0050	0.3224	10.2
E9	4625	1030	10	0.0097	0.0020	0.0898	2.8
E10	4355	800	10	0.0125	0.0012	0.0653	2.1
E11	3870	1220	20	0.0164	0.0012	0.0761	2.4
E12	3680	1180	10	0.0085	0.0015	0.0468	1.5
E13	2410	630	10	0.0159	0.0012	0.0459	1.4
TOTAL							53.6

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 de la región donde se localizan las celdas.

7.1.3 Retornos de riego (Rr)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Debido a la falta de información confiable de láminas de riego por cultivo, por correlación con acuíferos vecinos, se considera un 10% del volumen aplicado al uso agrícola que retorna al acuífero en forma de recarga incidental, considerando la profundidad al nivel del agua subterránea mayor a los 50 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de baja permeabilidad en el subsuelo. De esta manera, tomando en cuenta que el uso agrícola utiliza un volumen promedio anual de 136.2 hm³, de los cuales 94.2 hm³ corresponden a agua subterránea y 42.0 hm³ de agua superficial, al aplicar el 10% de retornos de riego como recarga efectiva al acuífero, se obtiene un volumen promedio anual de 13.6 hm³. **Rr = 13.6 hm³ anuales.**

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), por salidas subterráneas horizontales (Sh) y descarga de manantiales (Dm).

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción actual por bombeo asciende a **111.1 hm³ anuales.**

7.2.2. 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 para el año 2014, mostrada en la figura 5.

Su valor estimado es de **10.8 hm³/año**, como se muestra en la tabla 3

Tabla 3. Calculo de salidas por flujo subterráneo horizontal (2014)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	3870	1635	5	0.00306	0.0030	0.0355	1.1
S2	6500	1270	20	0.01575	0.0030	0.3071	9.7
TOTAL							10.8

7.2.3. Descarga por manantiales (Dm)

La descarga a través de manantiales se estimó en 80 lps, que representa un volumen anual de 2.5 hm³. **Dm = 2.5 hm³ anuales.**

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

El cálculo del cambio de almacenamiento se realizó a partir de las configuraciones de evolución del nivel estático para el periodo 2010-2014 que se muestra en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico $S_y = 0.03$, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta VS = A * h * S$$

Donde:

ΔVS = Cambio de almacenamiento en el período analizado

A= Área entre curvas de igual evolución del nivel estático

h= Valor medio de la variación piezométrica en el período

S= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

Para el periodo 2010-2014 en la superficie de balance de 830 km², se obtuvo un abatimiento promedio de 4.5 m, que representa 1.1 m anuales, y un cambio de almacenamiento de -3735 hm³, que afectado por el rendimiento específico de 0.03 resulta: $\Delta V(S) = -3735 (0.03) = -112.1 \text{ hm}^3$.

Por lo tanto, el promedio es **$\Delta V(S) = - 28.0$ anuales.**

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:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh + D_m - R_r - E_h \pm \Delta V_S \\ R_v &= 111.1 + 10.8 + 2.5 - 13.6 - 53.6 - 28.0 \\ R_v &= 29.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_r \\ R &= 29.2 + 53.6 + 13.6 \\ R &= 96.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

- DMS = 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 incidental.

Para este caso su valor es **96.4 hm³/año**, de los cuales 82.8 hm³ son recarga natural y 13.6 hm³ recarga incidental.

8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Vicente Guerrero-Poanas, se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de 13.3 hm³ anuales, de los cuales 10.8 hm³ que corresponden a las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el acuífero vecino Valle del Mezquital y 2.5 hm³ a la descarga a través de manantiales.

DNC = 13.3 hm³ anuales.

8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), 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 **121,920,760 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNCOM} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 96.4 - 13.3 - 121.920760 \\ \text{DMA} &= -38.820760 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **38,820,760 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFIA

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio de Actualización Hidrogeológica de los Acuíferos Madero-Victoria y Vicente Guerrero-Poanas, en el estado de Durango. Elaborado por SANX Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2014. Estudio Geohidrológico para la Elaboración del Reglamento Específico de los Acuíferos Valle de Santiago, Valle de Canatlán, Valle del Guadiana, Madero-Victoria y Vicente Guerrero-Poanas, en el estado de Durango. Elaborado por SANX Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1984. Estudio Geohidrológico de la Zona Vicente Guerrero-Poanas. Elaborado por Ingeniería Técnica de Estudios y Proyectos, S.A. ITEPSA.