

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Vicente Guerrero-Poanas
(1004), Estado de Durango***

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

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE DURANGO							
1004	VICENTE GUERRERO-POANAS	95.2	8.1	92.464880	93.2	0.000000	-5.364880

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



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

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

México, D.F., Septiembre de 2013

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	5
3.1.	Provincia fisiográfica	5
3.2.	Clima	6
3.3.	Hidrografía	6
3.4.	Geomorfología	7
4.	GEOLOGÍA	8
4.1.	Estratigrafía	9
4.2.	Geología estructural	17
4.3.	Geología del subsuelo	18
5.	HIDROGEOLOGÍA	19
5.1.	Tipo de acuífero	19
5.2.	Parámetros hidráulicos	19
5.3.	Piezometría	20
5.4.	Comportamiento hidráulico	20
5.4.1.	Profundidad al nivel estático	20
5.4.2.	Elevación del nivel estático	20
5.4.3.	Evolución del nivel estático	27
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	30
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA	30
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS	30
7.1.	Entradas	31
7.1.1.	Recarga vertical (Rv)	31
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	32
7.1.3.	Retornos de riego (Rr)	33
7.2.	Salidas	34
7.2.1.	Bombeo (B)	34
7.2.2.	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	34
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	35
8.	DISPONIBILIDAD	36
8.1.	Recarga total media anual (Rt)	36
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM)	36
8.3.	Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)	36
8.4.	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)	37
9.	BIBLIOGRAFIA	37

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

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

1.1. Localización

El acuífero Vicente Guerrero-Poanas, definido con la clave 1004 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción centro-sureste 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).

Geopolíticamente el área que cubre el acuífero comprende parcialmente a los municipios Poanas y Vicente Guerrero, en menor proporción los municipios Nombre de Dios Durango y Súchil, así como porciones muy pequeñas de los municipios Cuencamé y Guadalupe Victoria.

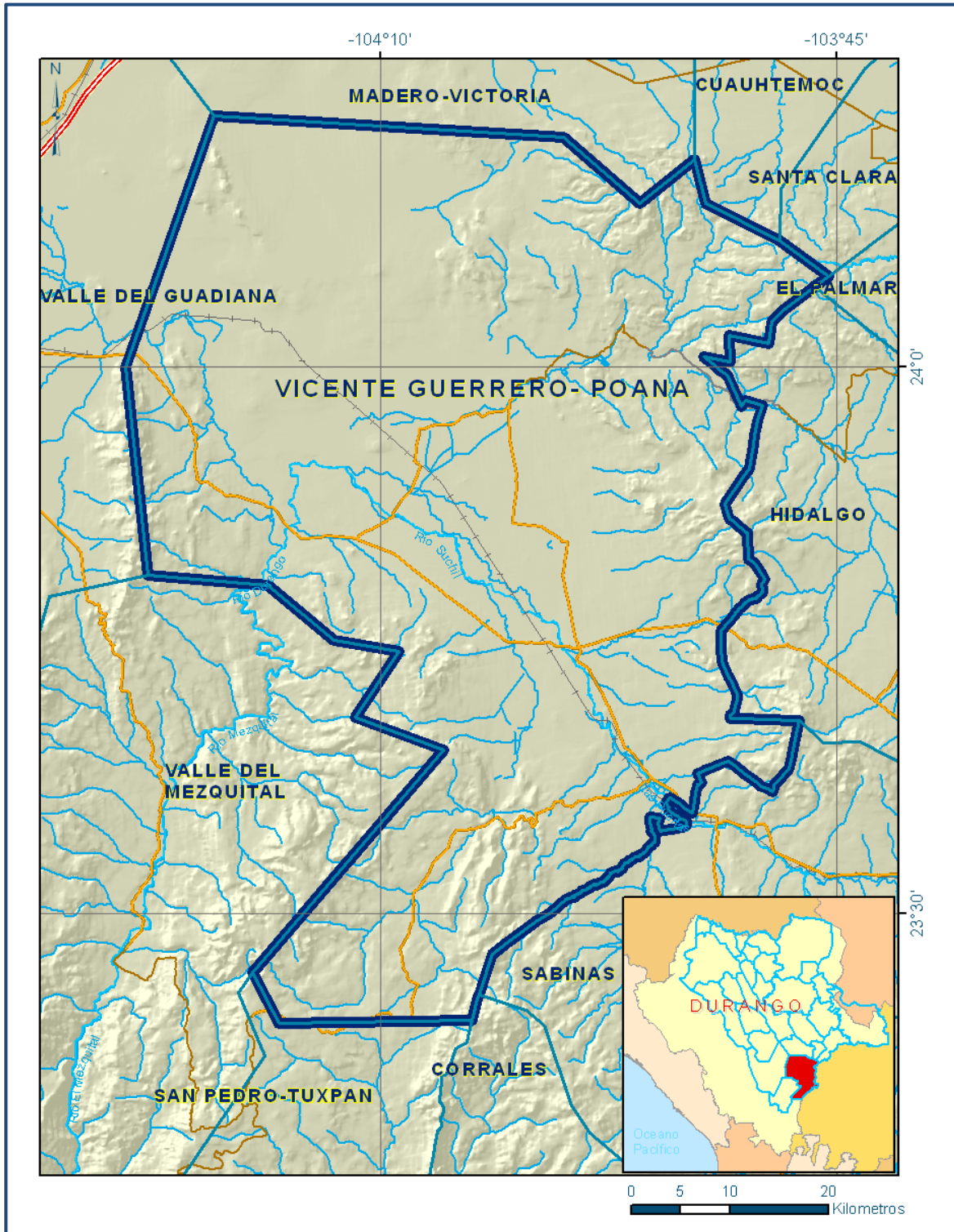


Figura 1. Localización del acuífero

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 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" y es jurisdicción territorial de la Dirección Local 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 2013, el municipio de Durango se clasifica como zona de disponibilidad 4, los municipios Poanas, Nombre de Dios, y Vicente Guerrero se clasifican como zona de disponibilidad 5, los municipios Súchil y Guadalupe Victoria se clasifican como zona de disponibilidad 6 y el municipio Cuencamé como zona de disponibilidad 7.

El uso principal es el agrícola. No existe Distrito o Unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación y otros con fines de prospección minera. El más reciente que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

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; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

Este estudio fue la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizaran 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. El resto 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.

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 parte 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; la precipitación del mes más seco es menor a los 40 mm.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 5 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Hacienda La Pila (Durango), El Saltillo, Narciso Mendoza (Poanas), Vicente Guerrero y Súchil, cuyo registro comprende un periodo de 67 años (1941-2008). Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **235 mm** y **17 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1975 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos periodos 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.

Algunos de los ríos más importantes se mencionan a continuación. El río Durango se localiza en la parte noroeste del acuífero, se origina en la localidad de 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 de 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 y llegar hasta al mar, 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.

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 de Poanas, Súchil, Graceros, Río Viejo y Durango, que reciben aportación de pequeños arroyos intermitentes que provienen de las sierras de la región.

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 3000 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 2000 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 endorréicas 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 1900 msnm, en las que se presentan algunos lomeríos al norte y al sur, constituidos por materiales clásticos terciarios y recientes. Las mesetas y volcanes se localizan en la porción sureste 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. La elevación topográfica varía de 2000 en los valles a 2500 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 macropaleontológico. 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", Durango y Zacatecas. Esc. 1:50,000, SGM 2001).

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, 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 microtextura 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 del 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. Por el método K/Ar se obtuvo una edad de $46.2 \pm$ Ma. Después se emplaza un 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.

4.1. Estratigrafía

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende edades que varían del Cretácico Superior al Cuaternario (figura 2). La sucesión de eventos magmáticos ocurridos se encuentran cubriendo, mediante una discordancia petrológica, a escasos afloramientos de rocas sedimentarias del Cretácico Inferior y Superior. El magmatismo inicia en el Oligoceno y continúa de manera interrumpida hasta el Holoceno. 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.

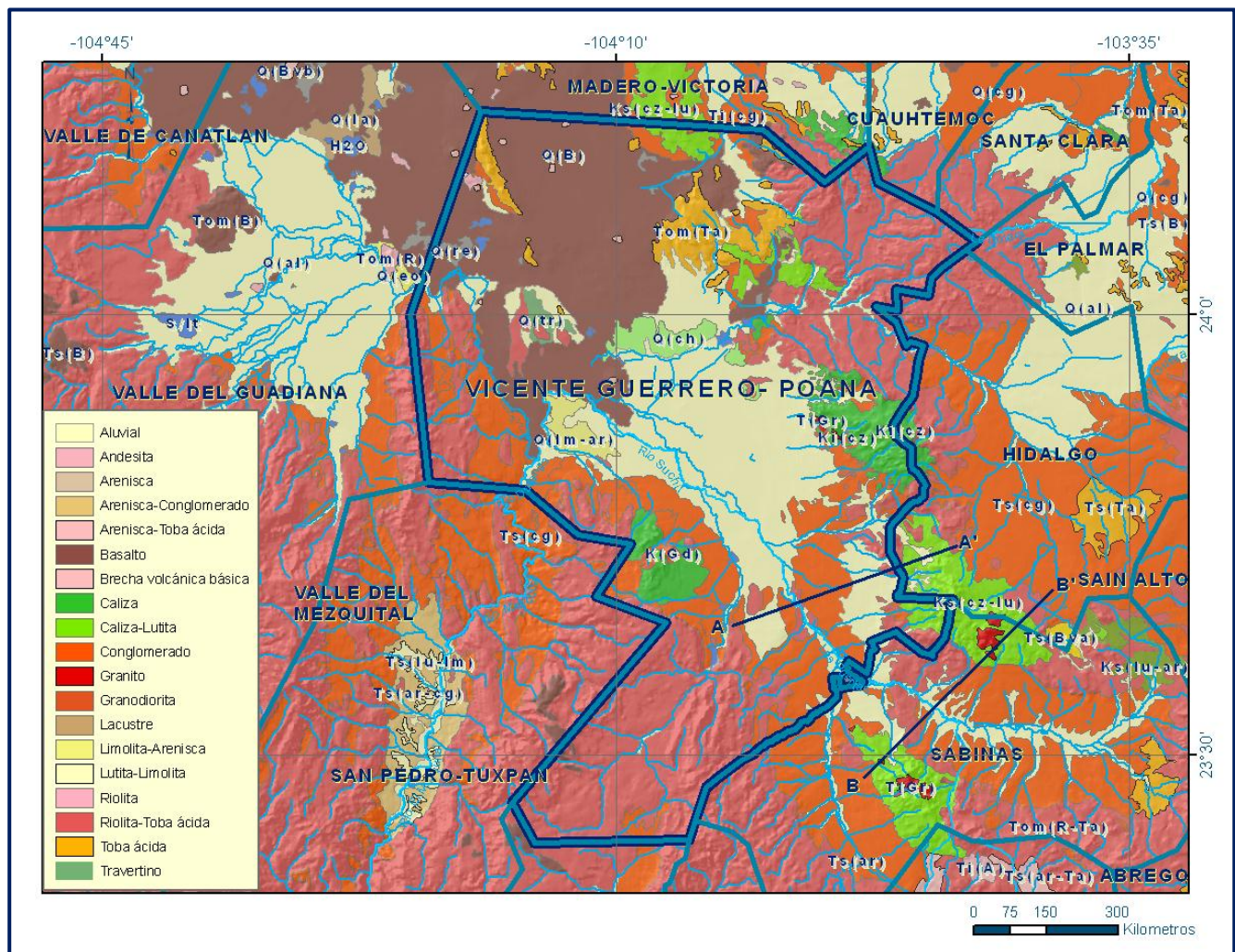


Figura 2. Geología general del acuífero

Formación Aurora

El nombre Formación Aurora 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, está constituida por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos 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. Sus afloramientos se ubican al oriental, al oriente del poblado La Joya (Cerro El Sacrificio), en donde se asocia a la presencia de rocas marinas cretácicas. Condiciones similares se observan bordeando los cerros de calizas expuestos en las inmediaciones de San José de La Parrilla, por lo que se optó por asociarlos a esta formación. Debido a su posición estratigráfica y su origen, el cual se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del continente generada por la Orogenia Laramide, su edad se considera del Eoceno-Oligoceno.

Complejo Volcánico Inferior

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 a 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 1400 m en una alternancia de andesitas y tobas en la Sierra de Registro y Sierra Colorada, al suroeste de la Cd. de Durango. Su 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 a gris claro.

Generalmente esta secuencia tiene la característica especial de presentarse en forma pseudoestratos de 50 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 Tejámén, 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). Se tiene otra datación en la carretera Durango-Mazatlán que 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 Terciario Medio ha sido designada como el “Supergrupo Volcánico Superior” (McDowell y Keize, 1977). Éste es 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 Terciario 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 1200 km de largo, extendiéndose desde la frontera de México con Estados Unidos, hasta su intersección con la provincia de la Faja Volcánica Trans-Mexicana. Las rocas dominantes en esta secuencia son ignimbritas riolíticas 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 volcanismo 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, inducida 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 caldéricos) 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, feldespatos y vidrio los cuales fueron descritas (McDowell y Keizer, 1977), las estructuras tienen un espesor varían 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 de roca 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 gradada 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, la forma de estos clastos es angulosa y subangulosa de tamaño variable, cementados por una matriz arenarcillosa, 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 rellenan estas depresiones.

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 roas 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 presenta características litológicas distintivas en algunas localidades:

En el área de Peñón Blanco-La Concha (ubicada en el acuífero Peñón Blanco), predominan los clásticos gruesos; más hacia el sur cambian gradualmente a tamaños menores, pero todavía en el área de J. Agustín Castro, la facies finas están ausentes. De esta localidad hacia el sur y hasta Guadalupe Victoria, la formación presenta gran cantidad de tobas y cuerpos de lavas basálticas. En el área de la Sierra Los Palotes y en región de La Virgen-La Roca-Cuauhtémoc (en el acuífero Cuauhtémoc), presenta clásticos calcáreos (caliza, calcarenita y calcilutita) que varían de subredondeados a angulosos, pobremente cementadas por arcillas, posiblemente derivadas de la Formación Indidura. Presenta caliches distribuidos irregularmente que aparecen en forma de capas delgadas y onduladas, de espesor variable. Algunos de estos cuerpos muestran características de travertino y se depositaron seguramente en cuerpos de agua.

La Formación Los Llanos descansa tanto sobre las rocas mesozoicas como sobre las formaciones terciarias 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 terciarias (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. En el acuífero Vicente Guerrero-Poanas 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 gris rojizo. Aflora en la Sierra de Santa Lucía ubicada al noreste de Villa Unión y al suroeste de poblado Corralito. 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 basaltos 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. Estos basaltos son cubiertos por depósitos aluviales y lacustres del Reciente.

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 plagioclasa sódica (andesina–labradorita) (Labradorita-bytownita), 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 Guadalupe Victoria, 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 Terciario: 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. Eguiluz, 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 Lucia), 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 (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 terciarios 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 que 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 y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por sedimentos aluviales, fluviales y de pie de monte, de granulometría variada, producto del intemperismo de rocas preexistentes y los 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 como son los 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 su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas. Esta secuencia de rocas calcáreas y arcillosas está intrusionada por cuerpos granodioríticos y pórfidos traquíticos y riolíticos (figura 3).

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, además de datos históricos de 1996 y 2002.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el año de 1996, se observan valores que varían de 5 m, en el centro del valle, hasta 80 m, hacia las estribaciones de las sierras que delimitan al acuífero (figura 4). La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2002 no varía de forma significativa, prácticamente se mantiene igual que para el año 1996, los niveles estáticos oscilan entre 10 y 90 m (figura 5).

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2010 reporta valores que varían de 10 a 90 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 presentan entre los poblados de Graceros, San Francisco Javier y Revolución Social, en tanto que los más profundos se registran en el poblado de San Pedro Alcántara. Hacia el este de los Poblados de La Joya y Noria de Pilares se registraron profundidades entre 60.0 y 80.0 m; en tanto que en el poblado Cieneguilla, al norte del área de explotación, las profundidades varían entre 50.0 y 60.0 m (figura 6).

5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración para el año 1996, se observa una clara tendencia del flujo subterráneo con dirección preferencial hacia el oeste. El valor mínimo de la elevación del nivel estático es de 1720 msnm y se registra a la altura del poblado Nombre de Dios; hacia las lagunas Los Lobos y El Rodeo el valor mínimo de la elevación es de 1840 msnm (figura 7). En esta zona descargan los escurrimientos subterráneos provenientes de las zonas de Cieneguilla, Villa Unión, Orizaba, El Potosí y Los Ángeles.

La configuración para el año 2002 muestra un comportamiento del flujo subterráneo similar al que se presentaba para 1996, manifestando sólo algunos descensos. La zona del valle donde se encuentra la principal área de explotación, presenta elevaciones del nivel estático de entre 1850 a 1870 msnm (figura 8).

De acuerdo con la configuración de elevación para 2010, se observa que los valores varían de 1710 a 2070 msnm, decreciendo desde la zona sur del área de explotación, donde se encuentran los poblados San Isidro de Los Murillos, San Pedro Alcántara y San Martín. La dirección del flujo es de norte a sur y de sureste a noroeste en San José del Molino y Vicente Guerrero. La zona centro es la principal área de explotación, presenta elevaciones del nivel estático entre 1830 a 1870 msnm. Esta zona abarca los poblados de Noria de Pilares, Rojas, La Joya, General Gabriel Hernández, Francisco Murguía y Ejido de San José de La Parrilla (figura 9).

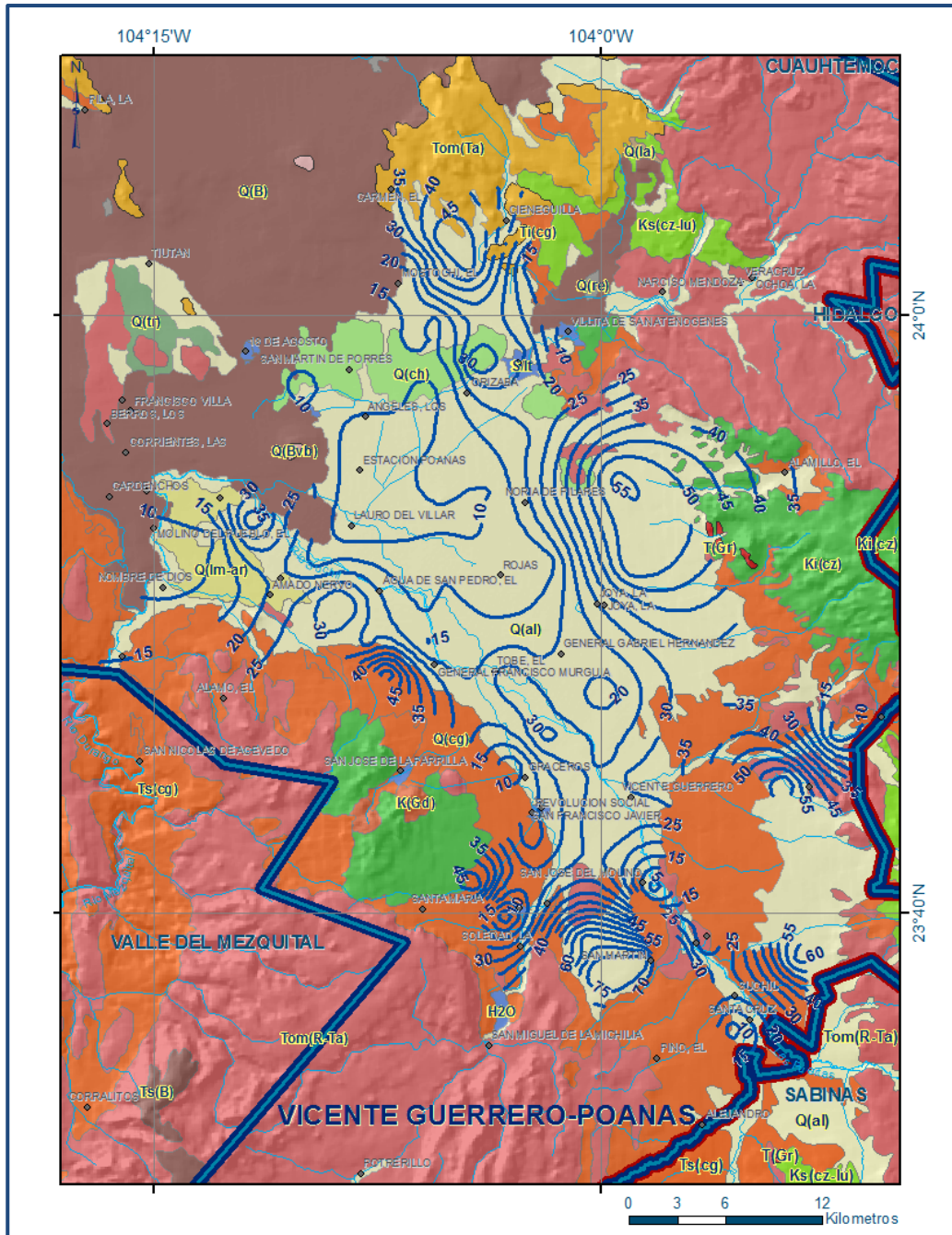


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (1996)

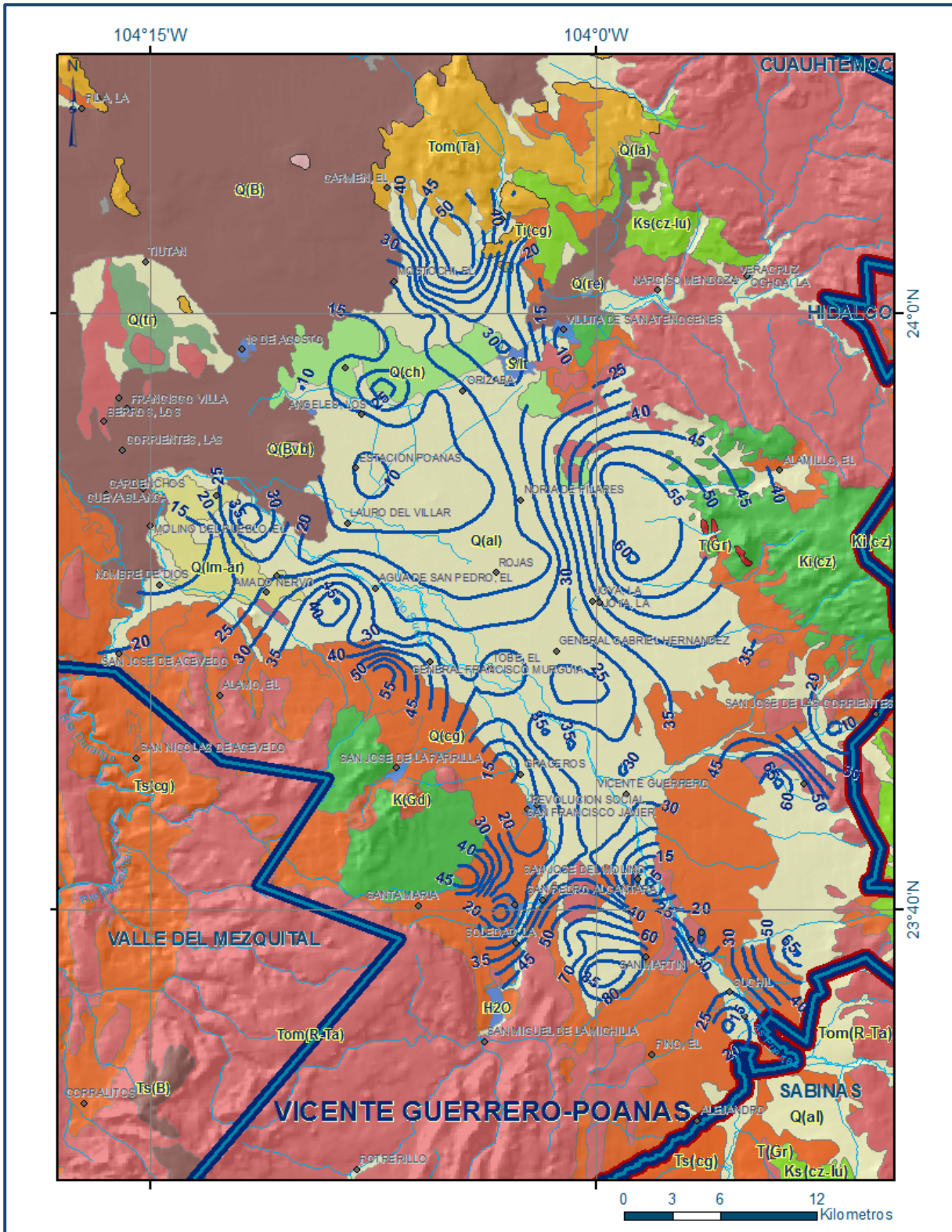


Figura 5. Profundidad al nivel estático en m (2002)

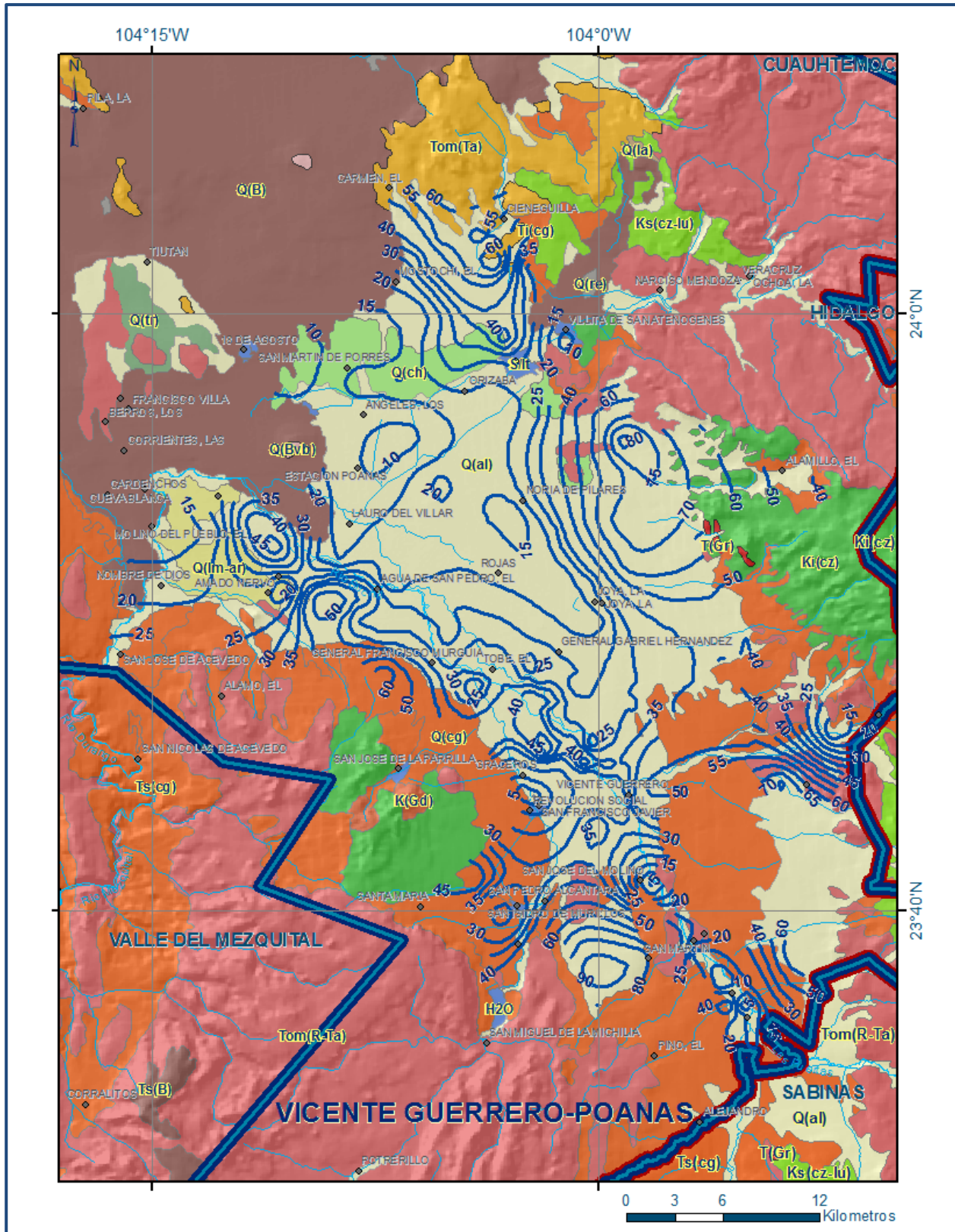


Figura 6. Profundidad al nivel estático en m (2010)

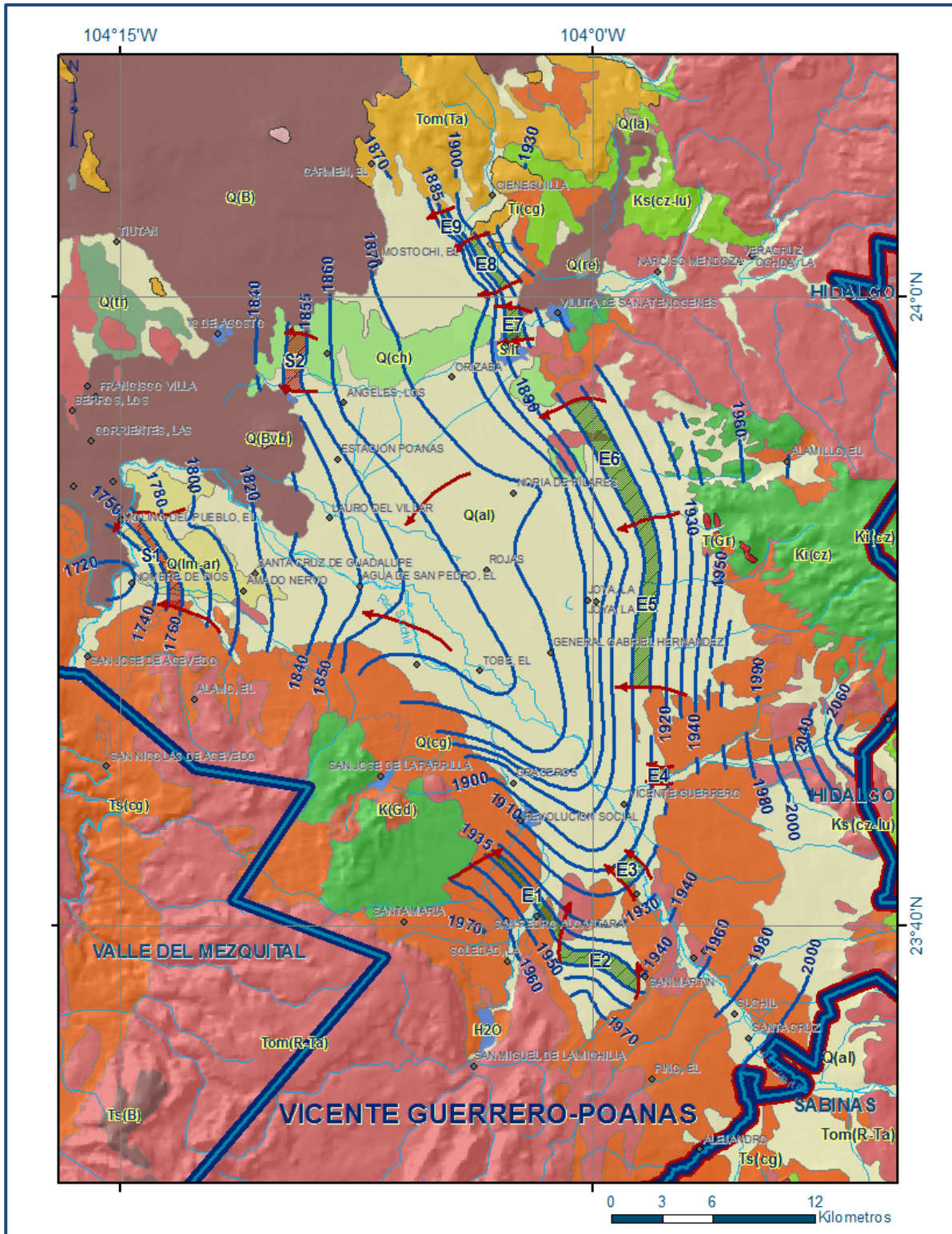


Figura 7. Elevación del nivel estático en msnm (1996)

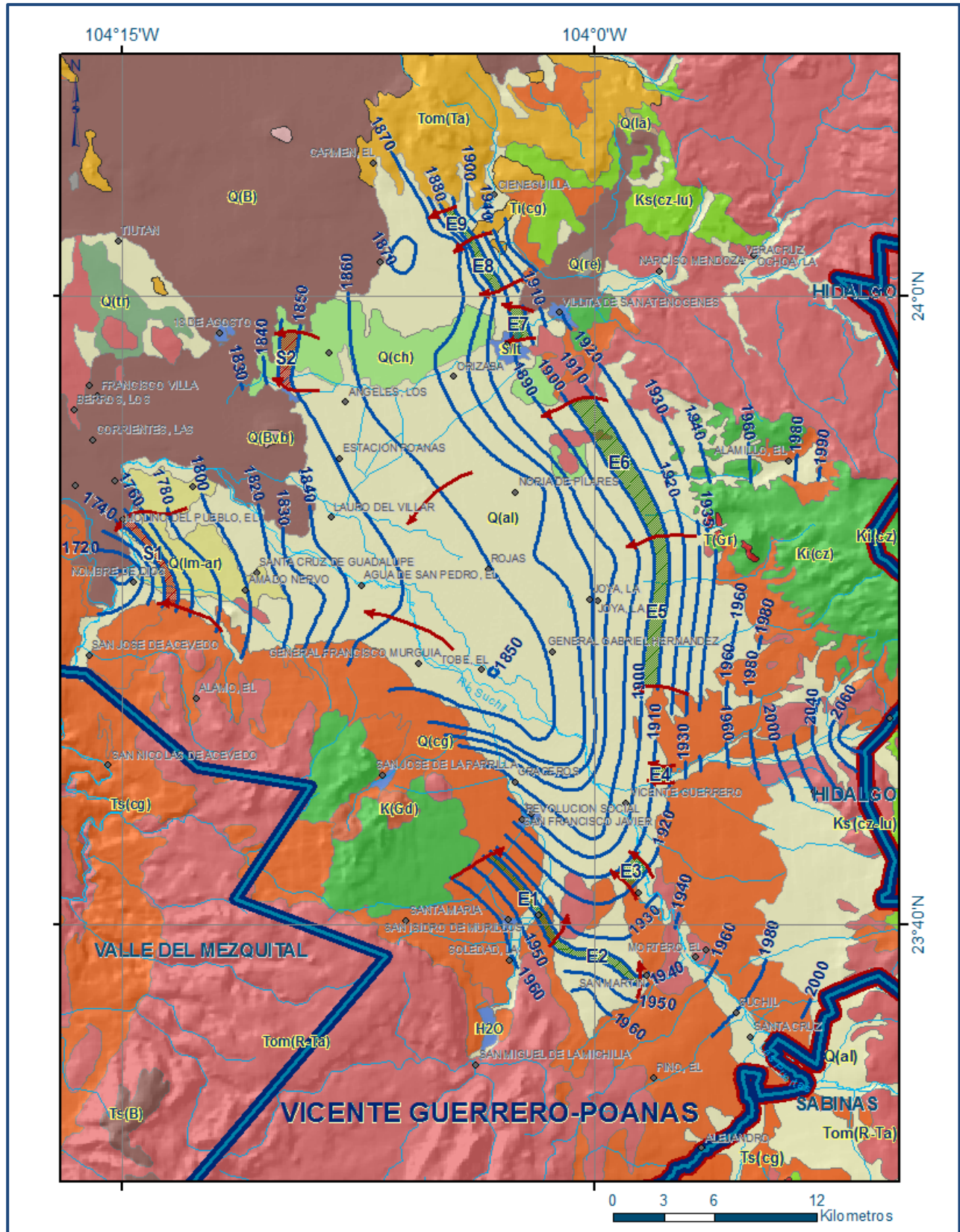


Figura 8. Elevación del nivel estático en msnm (2002)

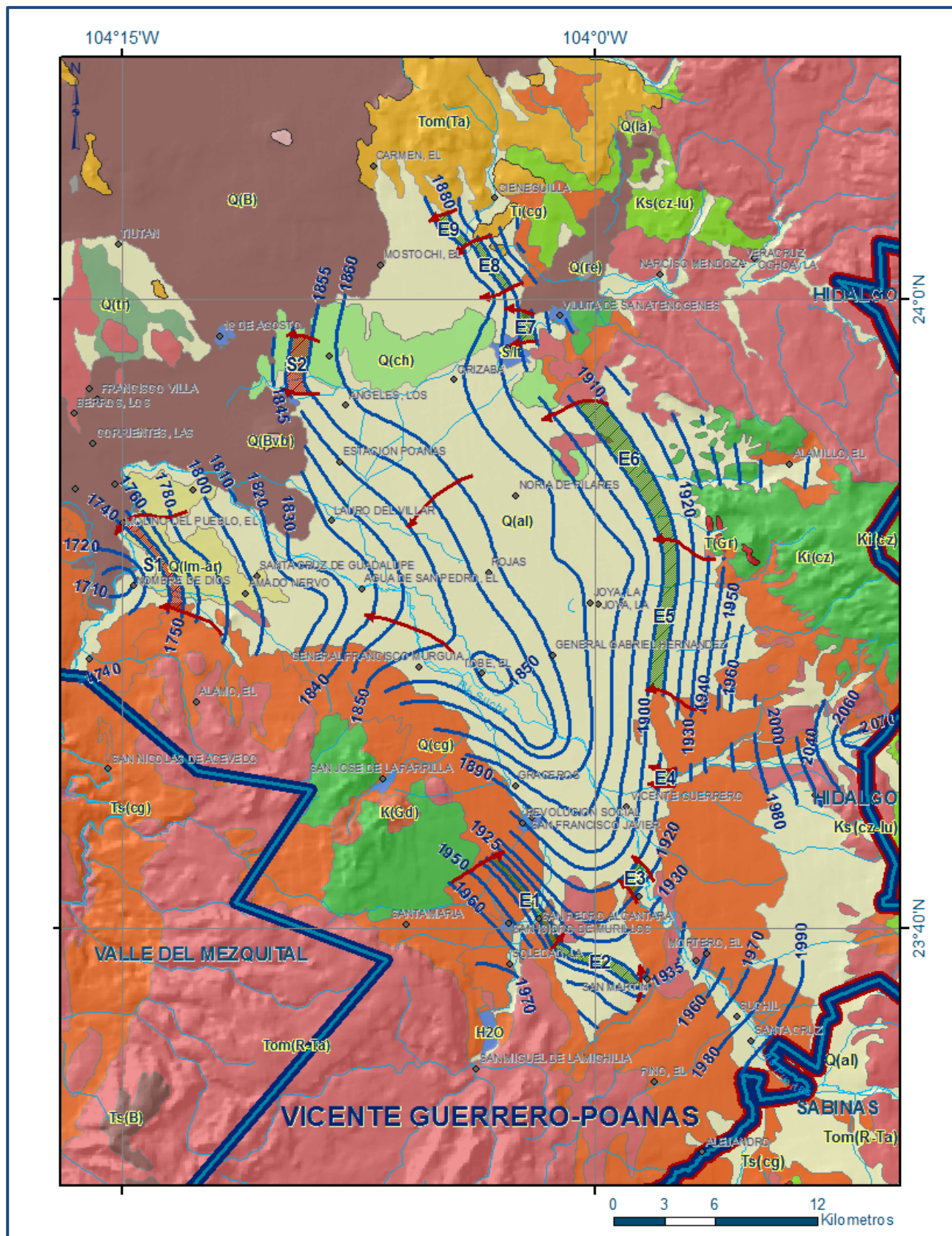


Figura 9. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

5.4.3. Evolución del nivel estático

En cuanto a la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 1996-2002, se observa que en la zona sur del área de explotación, a la altura de los poblados San Pedro Alcántara, San Isidro de Los Murillos y San Martín, se presentan abatimientos de 1.0 a 2.0 m. Hacia el sureste, en la zona de Súchil, las evoluciones son de -3.0 a -5.0 m. Toda la zona que abarca el municipio Vicente Guerrero, tiene también abatimientos de 1.0 a 4.0 m, al igual que la mayoría de los aprovechamientos que se encuentran en Noria de Pilares. La zona del valle donde se encuentra la principal zona de explotación presenta abatimientos de 5 a 10 m (figura 10).

En la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2002-2010 se observa que la mayor parte del acuífero, presenta abatimientos. En la zona sur donde se ubican los poblados San Isidro de Los Murillos, San Pedro Alcántara y San Martín, las evoluciones fueron de -2.0 a -4.0 m. En la zona de Vicente Guerrero, los niveles se abatieron entre 3.0 y 4.0 m. Localmente se registraron abatimientos de 8 a 12 m en los poblados Graceros, Amado Nervo y Villa Unión (figura 11).

En la zona del poblado de General Gabriel Hernández (Mancinas), se registraron abatimientos de 2 a 5 m. En la zona perteneciente al Ejido San José de La Parrilla, Francisco Murguía y El Tobe, los niveles disminuyeron entre 2.0 y 8.0 m.

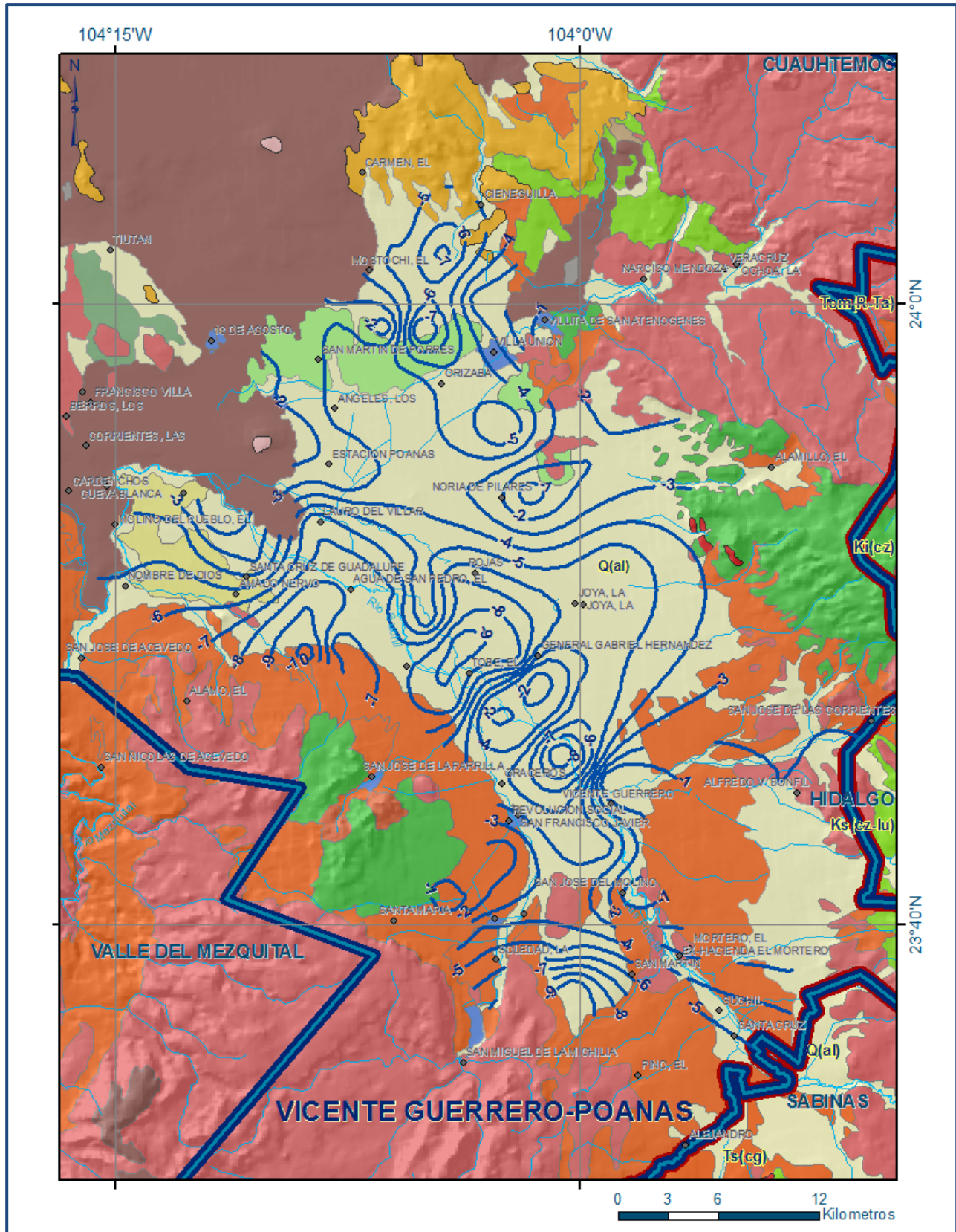


Figura 10. Evolución del nivel estático en m (1996-2002)

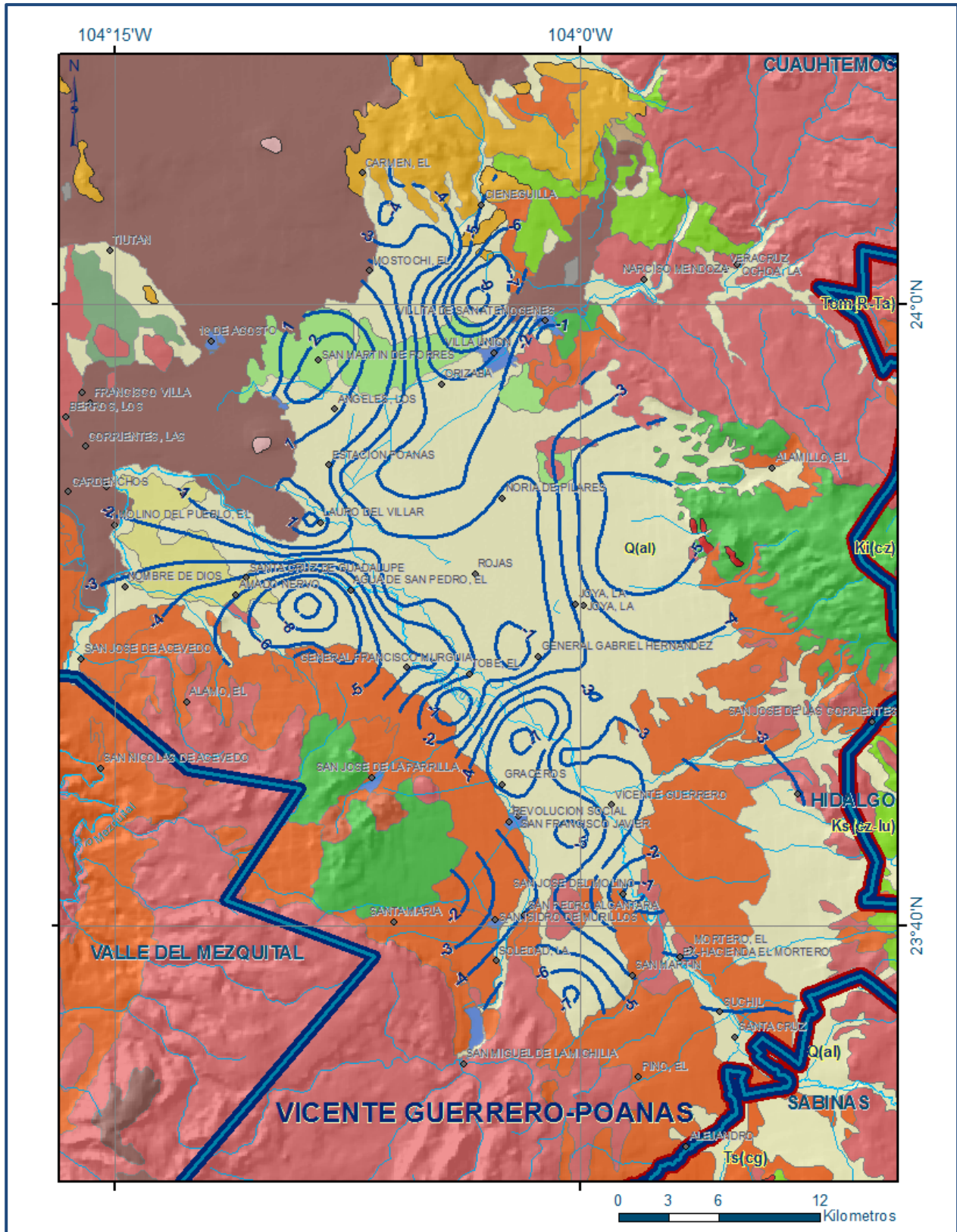


Figura 11. Evolución del nivel estático en m (2002-2010)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 7 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones principales, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, coliformes fecales y totales, 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 240 a 480 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano

Con respecto a las familias del agua por ion dominante, las que predominan son sulfatada-sódica, sulfatada-magnésica y bicarbonatada sódica, que representan 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 7 muestras de agua, 6 se clasifican como C_2S_1 , que representa contenido medio de sales y baja concentración de sodio, apta para el uso agrícola.

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, se registraron un total de 476 aprovechamientos, 443 pozos, 32 norias y 1 manantial, del total de obras, 403 están activas y las restantes 73 inactivas.

El volumen de extracción asciende a **93.2 hm³ anuales**, de los cuales 77.3 hm³ (82.9 %) se destinan al uso agrícola, 9.5 hm³ (10.2 %) se utilizan para uso público-urbano y 6.4 hm³ (6.9 %) son destinados a las necesidades de los demás usos. El manantial no es perenne.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para los periodos 1996- 2002 y 2002-2010, en una superficie de **842 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 la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R_t) 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 (R_v), y por flujo subterráneo horizontal (E_h).

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, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, sólo se considera la recarga inducida por el retorno de riego agrícola (R_r).

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña. 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:

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

Donde:

R_v = Recarga vertical;

E_h = Entradas por flujo subterráneo horizontal

B = Bombeo;

R_r = Retorno por riego agrícola;

S_h = Salidas por flujo subterráneo horizontal;

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

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

$$R_v = B + Sh - R_r - Eh \pm \Delta VS \quad (2)$$

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 a los años 1996, 2002 y 2010, mostrada en las figuras 7, 8 y 9. Con base en esta configuración 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:

$$Q = T * B * i$$

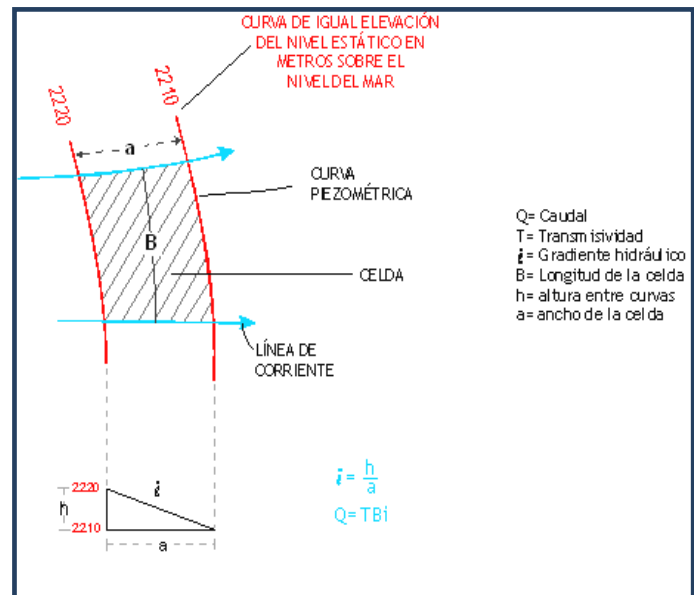
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

T = Transmisividad (m²/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)



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.

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.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (m)	i (m/m)	Q (m^3/s)	VOL. ANUAL (hm^3)
ENTRADAS HORIZONTALES, AÑO 1996					
E ₁	5.100	6004	0.0068	0.207	6.528
E ₂	5.100	4835	0.0094	0.233	7.348
E ₃	1.900	1419	0.0074	0.02	0.631
E ₄	2.915	989	0.0112	0.032	1.009
E ₅	2.915	9801	0.0100	0.286	9.019
E ₆	6.415	7866	0.0082	0.415	13.087
E ₇	1.578	1995	0.0099	0.031	0.978
E ₈	1.578	3349	0.0181	0.096	3.027
E ₉	1.578	2192	0.0161	0.055	1.734
TOTAL					43.36
ENTRADAS HORIZONTALES, AÑO 2002					
E ₁	5.100	6186	0.0094	0.298	9.398
E ₂	5.100	5372	0.0089	0.243	7.663
E ₃	1.900	1565	0.0079	0.024	0.757
E ₄	2.915	989	0.0110	0.032	1.009
E ₅	2.915	8851	0.0111	0.286	9.019
E ₆	6.415	9058	0.0086	0.502	15.831
E ₇	1.578	1954	0.0106	0.033	1.041
E ₈	1.578	3339	0.0180	0.095	2.996
E ₉	1.578	2161	0.0172	0.059	1.861
TOTAL					49.58
ENTRADAS HORIZONTALES, AÑO 2010					
E ₁	5.100	6145	0.0105	0.33	10.407
E ₂	5.100	5303	0.0092	0.25	7.884
E ₃	1.900	1556	0.0087	0.026	0.82
E ₄	2.915	988	0.0113	0.032	1.009
E ₅	2.915	8854	0.0110	0.285	8.988
E ₆	6.415	9158	0.0078	0.461	14.538
E ₇	1.578	1803	0.0122	0.035	1.104
E ₈	1.578	3346	0.0188	0.099	3.122
E ₉	1.578	2268	0.0149	0.053	1.671
TOTAL					49.54

El volumen promedio total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **47.5 $\text{hm}^3/\text{año}$** .

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 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 inducida, 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 la extracción para uso agrícola en el periodo 1996-2010 fue de 77.3 hm³ anuales y que adicionalmente se utilizan 51.0 hm³ de agua superficial proveniente de presas, el volumen total destinado a este uso es de 128.3 hm³ anuales. Adoptando un factor de infiltración del 10%, se obtiene una recarga por los excedentes del riego agrícola **Rr = 12.8 hm³ anuales.**

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y por salidas subterráneas horizontales (Sh). No existen descargas por evapotranspiración (ETR) ni descarga de manantiales (Dm).

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **93.2 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 NE de los años 1996, 2002 y 2010, mostrada en la figura 7, 8 y 9. El cálculo de las salidas se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Calculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	T	B	i	Q	VOL. ANUAL
	(10 ⁻³ m ² /s)	(m)	(m/m)	(m ³ /s)	(hm ³)
SALIDAS HORIZONTALES, AÑO 1996					
S₁	2.734	6049	0.0134	0.2210	6.969
S₂	2.485	3393	0.0045	0.0380	1.198
				TOTAL	8.17
SALIDAS HORIZONTALES, AÑO 2002					
S₁	2.734	5804	0.0131	0.207	6.528
S₂	2.485	3172	0.0055	0.043	1.356
				TOTAL	7.88
SALIDAS HORIZONTALES, AÑO 2010					
S₁	2.734	6614	0.0127	0.230	7.253
S₂	2.485	2992	0.0041	0.031	0.978
				TOTAL	8.23

El volumen promedio total de salidas por flujo subterráneo horizontal asciende a **8.1 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 los periodos de 1996-2002 y 2002-2010 que se muestran en las figuras 10 y 11, respectivamente. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico $S_y = 0.015$, 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 de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km²);

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

S= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

Este cambio de almacenamiento anual es de -466.4 y de -348.2 hm³, para los periodos de 1996-2002 y 2002-2010, respectivamente, cuyo promedio es de -407.3 hm³. Con este valor y un rendimiento específico de 0.015 se obtiene: $\Delta V(S) = (-407.3) (0.015) = -6.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$.

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:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh - Eh - R_r \pm \Delta VS \\ R_v &= 93.2 + 8.1 - 47.5 - 12.8 - 6.1 \\ R_v &= 34.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + Eh + R_r \\ R_t &= 34.9 + 47.5 + 12.8 \\ R_t &= 95.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

Donde:

DAS= Disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero;

Rt= Recarga total media anual;

DNCOM= Descarga natural comprometida;

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

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **95.2 hm³/año**, de los cuales 82.4 hm³ son recarga natural y 12.8 hm³ recarga inducida.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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

Para el caso del acuífero Vicente Guerrero-Poanas, se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **DNCOM = 8.1 hm³ anuales**, que corresponden a las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el acuífero vecino Valle del Mezquital

8.3. Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA (VCAS)

De acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero al **31 de marzo de 2013 es de 93'005,999 m³/año**.

8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DAS)

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

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

$$\begin{aligned} \text{DAS} &= R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \\ \text{DAS} &= 95.2 - 8.1 - 93.005999 \\ \text{DAS} &= - 5.905999 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones, por el contrario, el **déficit** asciende a **5'905,999 m³ anuales**, que se están extrayendo del almacenamiento no renovable del acuífero.

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.

Servicio Geológico Mexicano, 2001, Carta Geológica-Minera F13-B24 "Vicente Guerrero", Durango y Zacatecas, escala 1:50,000.