

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Hidalgo (3202), Estado
de Zacatecas***

*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 ZACATECAS							
3202	HIDALGO	7.4	0.0	3.496672	5.1	3.903328	0.000000

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 HIDALGO,
ESTADO DE ZACATECAS.**

	CONTENIDO	PAGINA
I	GENERALIDADES.....	1
	Antecedentes.....	1
1.1	Localización.....	1
1.2.	Situación administrativa del acuífero.....	2
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	3
3	FISIOGRAFÍA.....	4
3.1.	Provincia fisiográfica.....	4
3.2.	Clima.....	5
3.2.1.	Balance hidrometeorológico.....	5
3.3.	Hidrografía.....	6
3.4.	Geomorfología.....	6
4	GEOLOGÍA.....	7
4.1.	Estratigrafía.....	7
4.2.	Geología estructural.....	10
4.3.	Geología del subsuelo.....	10
5.	HIDROGEOLOGÍA.....	10
5.1	Tipo de acuífero.....	10
5.2	Parámetros hidráulicos.....	10
5.3	Piezometría.....	12
5.4.	Comportamiento hidráulico.....	12
5.4.1.	Profundidad al nivel estático.....	12
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	13
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	14
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	15
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	16
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1	Entradas.....	17

7.1.1.	Recarga natural.....	17
7.1.2.	Flujo subterráneo horizontal.....	17
7.2.	Salidas.....	18
7.2.1.	Evapotranspiración.....	18
7.2.2.	Descargas naturales.....	18
7.2.3.	Bombeo.....	19
7.2.4.	Flujo subterráneo horizontal.....	19
7.3.	Cambio de almacenamiento.....	19
8.	DISPONIBILIDAD.....	20
8.1	Recarga total media anual.....	20
8.2.	Descarga natural comprometida.....	20
8.3.	Rendimiento permanente.....	20
8.4.	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	21
8.5.	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	21
9.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	22

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 "Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales".

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPGA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

I.1. Localización.

El acuífero Hidalgo se encuentra ubicado en la porción noroccidental del estado de Zacatecas, entre los paralelos 23° 37' 05" y 24° 04' 39" de latitud norte, y entre los meridianos 103° 27' 41" y 103° 52' 34" de longitud oeste, con una extensión territorial de 1,162 km² (Figura No.1).

Las coordenadas de la poligonal simplificada que delimita al acuífero se presentan en la tabla No. 1.

ACUIFERO 3202 HIDALGO

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	47	5.2	23	40	35.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	103	46	11.9	24	4	24.9	
3	103	39	0.6	23	58	39.8	
4	103	34	54.4	24	0	32.6	
5	103	33	51.4	23	53	30.6	
6	103	30	19.1	23	51	43.1	
7	103	27	58.7	23	48	19.9	
8	103	32	14.3	23	47	22.9	
9	103	34	38.8	23	42	56.5	
10	103	35	3.3	23	40	47.6	
11	103	37	51.7	23	40	38.0	
12	103	39	18.9	23	37	10.9	
13	103	43	44.2	23	39	25.7	
14	103	45	45.1	23	39	24.1	
1	103	47	5.2	23	40	35.7	

Tabla No. 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero.

El acuífero se encuentra incluido en su totalidad dentro del municipio de Sombrerete, en el que destacan la cabecera municipal Sombrerete y las poblaciones San José de Félix, San Francisco de Órganos, Villa Insurgentes, Doroteo Arango, Agua Zarca, Colonia Hidalgo, Charco Blanco, Proaño, Emiliano Zapata, Santiago y San Miguel de la Herradura. Colinda al nor-poniente y nor-orientes con los acuíferos Vicente Guerrero-Poanas (en el estado de Durango) y El Palmar, respectivamente; al sur con los acuíferos Sabinas y Saín Alto, al oriente con el acuífero Saín Alto y al poniente con el acuífero Vicente Guerrero-Poanas (Durango).

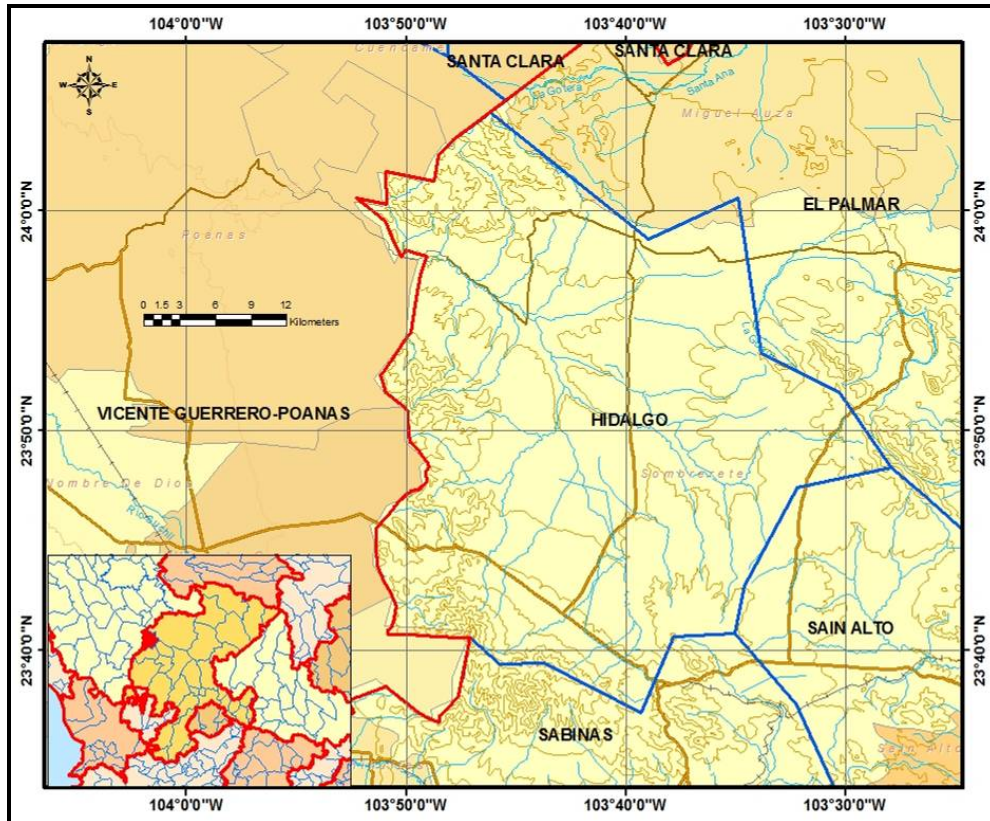


Figura No. 1. Localización del acuífero

I.2. Situación Administrativa

El acuífero Hidalgo pertenece a la Región Hidrológica-Administrativa III Pacífico Norte y está sujeto a las disposiciones del Decreto de Veda tipo III “Resto del Estado”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 5 de agosto de 1988. Por medio de este ordenamiento se declara de interés público por el Ejecutivo Federal, la conservación de las aguas del subsuelo, en las zonas no vedadas de los municipios del estado de Zacatecas, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para uso doméstico, industrial, de riego y otros, y establece que: *“únicamente en los casos en que de los estudios relativos se concluya que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse”*, así mismo: *“excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin contar con la autorización”* de la autoridad del agua.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2007), el municipio de Sombrerete se encuentra en la zona de disponibilidad 7. El principal uso del agua es público urbano para

abastecer a la ciudad de Sombrerete, Industrial (minería) y agrícola; en menor proporción se tiene el uso doméstico-abrevadero.

En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego agrícola y aún no se establece un Comité Técnico de Aguas Subterráneas, COTAS (situación al mes de mayo del 2006).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.

“Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el estado de Zacatecas”. Realizado para la SARH, por Consultec Ingenieros Asociados, S.C. (1977).

- En relación al ambiente geológico, las formaciones más antiguas corresponden al Cretácico (Cuesta del Cura, Indidura, Caracol) y las formaciones jóvenes están representadas por los aluviones del cuaternario y basaltos.
- Los acuíferos están constituidos principalmente por las formaciones aluviales del Cuaternario y algunos conglomerados riolíticos del Terciario, las fronteras de estos acuíferos están marcadas por las formaciones sedimentarias del cretácico y los cuerpos ígneos riolíticos que afloran en superficie. Estas formaciones impermeables algunas veces actúan como fronteras laterales, lo cual provoca artesianismo en los aprovechamientos que las atraviesan.
- Sobre los resultados de los análisis fisicoquímicos, el agua subterránea puede considerarse de buena a moderada calidad, con concentraciones máximas de 1400 ppm y mínimas de 238 ppm.

Prospección y Levantamiento geológico y geofísico en la región de Saín Alto, Zacatecas. Realizado para la SARH, por la empresa TACSA (1981).

- Con la exploración geofísica se diferenciaron en el subsuelo cinco unidades geoeléctricas, tres de las cuales corresponden a materiales granulares y las otras dos a rocas volcánicas y sedimentarias marinas, respectivamente.
- Como resultado del recorrido piezométrico se determinó que los niveles someros predominan en la porción oriental, mientras que en la zona poniente (Guanaceví y Calahorra) los niveles alcanzan hasta los 90 m. Con respecto a la configuración de la elevación del nivel estático se determinó que los niveles fluctúan entre los 2340 msnm y los 2050 msnm, indicando una dirección de flujo subterráneo de oeste a sureste, siendo el poblado de Saín Alto la parte más baja.
- En la zona de Saín Alto existen dos acuíferos, uno alojado en los materiales clásticos de los rellenos aluviales del cuaternario y los conglomerados terciarios poco cementados; el otro de permeabilidad secundaria está alojado en tobas riolíticas y las lutitas-areniscas de la Formación Caracol.
- Con respecto al análisis fisicoquímico, la calidad del agua es apropiada para cualquier uso. La concentración de sólidos totales disueltos varía entre 134 y 652 ppm, con predominio de agua cálcica bicarbonatada. Con respecto a la clasificación de Wilcox, se considera que el agua es apta para la agricultura en todo tipo de terreno.

“Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua subterránea en las zonas de El Palmar y Saín Alto, en el estado de Zacatecas”. Realizado por la empresa: Consultores en Agua Subterránea, S.A. (2000).

- En la zona de El Palmar se identificaron como unidades permeables el aluvión y el conglomerado del cuaternario que conforman el acuífero regional, con menor permeabilidad se clasificó al conglomerado del Terciario. Las rocas volcánicas fracturadas actúan como zonas de recarga y unidades acuíferas. Las rocas sedimentarias de edad cretácica por su baja permeabilidad se consideran fronteras al flujo subterráneo.
- En lo que corresponde a la información de las pruebas de bombeo realizadas para las dos zonas (El Palmar, y Saín Alto), se concluyó que la mayoría de los valores de conductividad hidráulica varían entre 0.1 y 1.0 m/día, las cuales definen zonas de permeabilidad media, sin embargo también se tienen conductividades hidráulicas bajas con valores entre 0.015 a 0.045 m/día; solamente en dos pozos se obtuvieron valores altos de 25 y 52 m/día.
- La superficie freática varía entre 10 y 120 m de profundidad, correspondiendo los menores valores a las porciones norte y noroeste, las mayores profundidades se midieron en los pozos ubicados en las elevaciones que limitan el valle, en la porción oriental y central. En la zona de Saín Alto, las profundidades de la superficie freática varían entre algunos metros y 105 de profundidad.
- El historial piezométrico de la zona de El Palmar en el período de 1996 al 2000, reportó evoluciones entre -10 m y +1.0 m, los abatimientos se registraron en los campos de los menonitas, mientras que las recuperaciones en la porción occidental, entre las comunidades Juan Salas y Emilio Carranza. En lo que respecta a la zona de Saín Alto, las variaciones del nivel estático han sido poco significativas.
- Dentro del campo de la Hidrogeoquímica, se concluye que el agua por su bajo contenido de sales es aceptable para consumo humano, sin embargo en algunos parámetros se exceden ligeramente los límites permitidos, como es el caso de flúor en la zona de Saín Alto.

“Estudio para la Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y de Calidad del agua de los Acuíferos Hidalgo y Sabinas, en el estado de Zacatecas”, realizado por la empresa GEOPSA, S.A. de C.V. en el 2006 para la Comisión Nacional del Agua.

Incluye actividades para la obtención de información hidrogeológica que permitió el planteamiento de un balance de aguas subterráneas. Estas actividades fueron: censo, piezometría, nivelación de brocales, hidrometría, pruebas de bombeo y muestreo de agua para análisis fisicoquímicos.

Sus resultados son la base para la elaboración del presente documento, ya que no existe una evaluación previa que considere la superficie total del acuífero. Entre sus conclusiones más importantes destaca que el valor de la recarga media anual que recibe el acuífero es del orden de los 7.4 Mm³ anuales; en tanto que el valor de la extracción se estimó en 5.1 Mm³/año.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

De acuerdo con E. Raisz (1959) la zona se localiza en los límites entre las provincias fisiográficas Meseta Central y la Sierra Madre Occidental, en la subprovincia denominada Sierras y Llanuras de Durango, caracterizada por la presencia de sierras de mediana altura. En ella afloran rocas ígneas intrusivas y extrusivas así como sedimentos marinos y continentales que forman serranías con orientación preferencial NW-SE.

3.2 Clima

Según el sistema de clasificación de Köppen modificado por E. García en 1964, el clima que prevalece en la zona, es templado subhúmedo con verano fresco y largo.

Temperatura Media Anual.

La temperatura media del área varía entre 16 y 18° C, el mes más caluroso es mayo con un promedio de 21° C, y el más frío es enero con 10° C.

Precipitación Media anual.

Los rangos de precipitación media anual varían de 500 a 700 mm, correspondiendo la época de lluvias al periodo de junio a octubre. Las menores precipitaciones ocurren durante los meses de febrero, marzo y abril, con un promedio mensual de 5 mm.

Evaporación potencial media anual.

El valor promedio de la evaporación anual es de 1936 mm, mayo es el mes con mayor evaporación potencial, con un valor de 242.6 mm.

3.2.1. Balance hidrometeorológico.

El balance hidrometeorológico es un método que proporciona una buena estimación de la recarga por lluvia que recibe una determinada región. Para su estimación se utiliza información generalmente disponible o de fácil procesamiento para su obtención como la precipitación, temperatura, tipos y usos del suelo. Para la obtención de información se utilizaron los datos de 5 estaciones climatológicas ubicadas en la región, con registro para el periodo 1979 a 2005.

Mediante la configuración de las estaciones climatológicas ubicadas en la zona de análisis, se realizó la distribución de sus datos mediante polígonos de Thiessen, asignándose una estimación pesada de acuerdo a sus áreas de influencia (Figura No. 2).

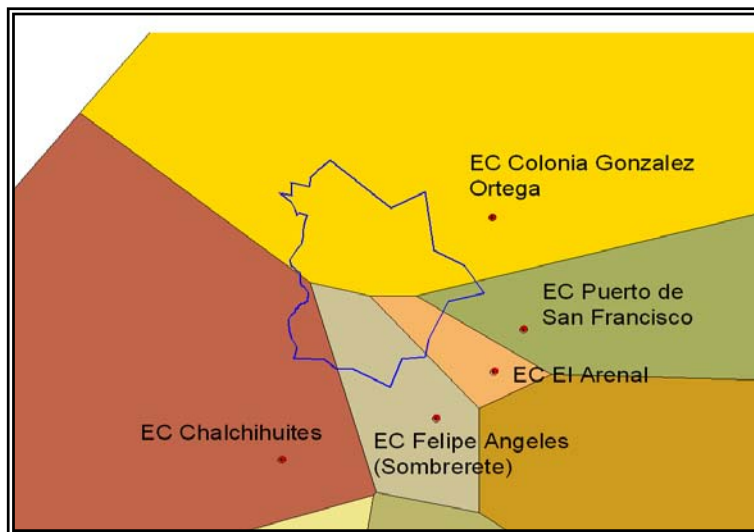


Figura No. 2. Polígonos de Thiessen

Los principales factores que determinan el volumen de agua escurrido en una zona son en su mayoría de carácter agroclimático e involucran la cantidad y distribución de la precipitación respecto al área de análisis, las condiciones de humedad del suelo, la interceptación causada por la cubierta vegetal, así como el valor de la evapotranspiración y la humedad atmosférica.

A partir del conocimiento de las variables anteriores, se deriva un coeficiente de escurrimiento para cada área, obtenido éste a partir de características propias generadas para cada condición de vegetación, suelo y superficie por tipo de condición. Una vez obtenido dicho coeficiente, se relaciona con la superficie de la cuenca y la precipitación, para de esta forma estimar el volumen medio escurrido.

El procedimiento se apega a lo recomendado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, en el cual se establece la metodología para determinar el escurrimiento.

Finalmente y con la obtención de los principales parámetros, a saber, Lluvia, Coeficiente de Escurrimiento y Evapotranspiración, el valor de la Infiltración se obtiene por despeje.

De acuerdo con esto, el valor de la infiltración que se obtiene es del orden de los 6.5 hm³ anuales

3.3 Hidrografía

La zona pertenece a la región y cuenca hidrológica RH11 "Río San Pedro". No existen corrientes superficiales de importancia; sin embargo la zona es drenada por un arroyo intermitente en la porción sur del acuífero, a la altura de la comunidad El Rosario, el cual pasa por la zona de Proaño siguiendo su curso hacia las comunidades de Agua Zarca y Luis Moya. A esta corriente drenan los arroyos que descienden de las zonas montañosas de la Sierra de Sombrerete y Órganos, así como los arroyos que escurren de las zonas semi altas de las comunidades de José María Morelos, San Juan del Terrero, Santiago de la Herradura y Charco Blanco, los cuales presentan una dirección preferencial de oriente a poniente.

Salvo los pozos que abastecen a la minería y a los centros de población, no existe infraestructura hidráulica de mayor importancia en la zona.

3.4. Geomorfología.

Las geoformas que constituyen el paisaje del área de interés son el producto de la composición litológica de las rocas existentes, así como de los procesos endógenos y exógenos que han ocurrido a través de los tiempos geológicos. Las zonas de sierras formadas por rocas sedimentarias corresponden a lutitas, areniscas y calizas de edad cretácica. A este tipo de geoformas pertenece la Sierra de Sombrerete, la cual es alargada y plegada en dirección NW-SE, cuyo levantamiento se originó por el empuje de intrusivos graníticos. Cabe mencionar que en esta sierra se alcanza la máxima elevación de la zona, 3100 msnm.

Como elemento representativo de los valles está la zona de Proaño, de dimensiones regulares. Las lutitas y areniscas desarrollan un drenaje de tipo dendrítico con enrejado denso, controlado por la disposición que guardan los estratos y las fracturas. Esta característica del drenaje indica la baja permeabilidad de estas rocas sedimentarias y su baja posibilidad de representar acuíferos. Por otra parte, las erupciones volcánicas explosivas y derrames lávicos de tipo ácido, dieron origen a las mesetas que se tienen en la actualidad, las cuales presentan un basculamiento hacia el suroeste y

están disectadas por la acción erosiva de los arroyos. Los esfuerzos distensivos en el área provocaron cuencas tectónicas que han sido rellenadas con depósitos de sedimentos clásticos.

Considerando el grado de integración del drenaje y la extensión de sus valles, se puede concluir que la zona se encuentra en la etapa de madurez temprana, de acuerdo al ciclo geomorfológico de Davis.

4. GEOLOGÍA

4.1. Estratigrafía

En la zona afloran rocas sedimentarias marinas y continentales, ígneas extrusivas e intrusivas, siendo las rocas marinas de edad cretácica las más antiguas y las más recientes los aluviones y los basaltos de edad cuaternaria (figura No. 3). A continuación se describen las unidades litológicas reconocidas en la zona, de la más joven a la más antigua:

Cuaternario

Aluvión Q(al)

Unidad detrítica no consolidada constituida por depósitos recientes formados por sedimentos que son el producto de erosión de las rocas existentes en el área. Su granulometría es muy variada y está constituida por gravas, arenas, limos y arcillas; los componentes líticos son: calizas, conglomerados, areniscas y rocas volcánicas.

Basalto Q (TptB)

Roca magmática, efusiva, básica, generada a partir de fisuras muy profundas, dispuesta en forma de coladas y filones. Su estructura es compacta con frecuencia vesicular y en ocasiones formado bloques. Cubre a las riolitas y tobas ácidas del Oligoceno-Mioceno y es correlacionable con los eventos volcánicos de carácter básico ocurridos a finales del Terciario Superior o principios del Cuaternario, etapa relacionada con la apertura del Golfo de California.

Terciario

Conglomerado Q (Tncgp)

Roca sedimentaria clástica continental que se presenta en forma de abanicos aluviales. Se compone de clastos subangulosos a subredondeados de calizas, basaltos y riolitas; con diámetros que van desde los 3 a 70 cm, en una matriz compuesta de limos, arcillas y en menor proporción arenas; mal consolidados y clasificados. Se le asigna una edad correspondiente al Holoceno.

Conglomerado Polimíctico (Tpae Cgp)

Roca sedimentaria clástica continental de color variable que aflora en los cauces de los arroyos y que presenta gradación en su estructura. Está compuesta por fragmentos subredondeados a redondeados mal clasificados del tamaño de las arenas, gravas hasta guijarros, de tobas riolíticas, riolitas, ignimbritas, vitrófidos, basaltos, calizas recristalizadas, pedernal, lutitas y cuarzo; embebidos en una matriz de limos y arcillas, cementados por sílice. Su grado de compactación es medio y con presencia de oxidación. Por su posición estratigráfica se le asignó la edad del Oligoceno-Mioceno.

Ígnea Intrusiva Ácida. Granito (Tom-Gr)

Intrusivo de naturaleza ácida, cuya composición mineralógica corresponde a una granodiorita de textura porfídica. Se encuentra intrusionando a rocas del Cretácico Inferior (calizas, areniscas y lutitas), generando metamorfismo de contacto, recristalización y silificación de las rocas adyacentes. Presenta estructura en forma de troncos y diques.

Toba ácida Riolítica (Tom Tr)

Roca volcánica procedente de actividades intensas de vulcanismo explosivo, de composición riolítica y edad correspondiente al Terciario. Por su posición estratigráfica se le asignó una edad del Oligoceno y se correlaciona con las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental.

Riolita - Ignimbrita (Tom R-Ig)

Unidad constituida por una alternancia de tobas ácidas e ignimbritas y algunos afloramientos de riolitas; mineralógicamente está integrada por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas sódicas en una matriz vítrea de composición ácida. Estratigráficamente subyace a los basaltos del Terciario y su edad corresponde al Oligoceno-Mioceno. Debido a las fallas normales que las afectan se observa un basculamiento con dirección norte-sur y con inclinaciones al oeste de 12° en promedio. Los flujos de lava que dieron origen a estas rocas presentan una orientación NW-SE, con inclinación de 10° a 30° al NE.

Riolita (Tm?R)

Roca volcánica de color rosa a pardo, representada por derrames riolíticos de estructura fluidal, compacta y textura porfídica. Se encuentra descansando concordantemente, mientras que su contacto superior es discordante con el conglomerado polimíctico del Oligoceno-Mioceno.

Pórfido Traquítico (To PTq)

Rocas de composición félsica representativas de la actividad volcánica más antigua; corresponden a traquitas y latitas de color gris y tonalidades rojas, con estructura compacta y textura porfídica. Se encuentra afectando discordantemente a las calizas-lutitas del Cretácico Inferior y también a las ignimbritas del Oligoceno. Por su posición estratigráfica que guarda con las demás unidades litológicas que atraviesa, se le asignó una edad del Oligoceno, correlacionable con el grupo volcánico inferior de la Sierra Madre Occidental.

Mesozoico (Cretácico)

Rocas Sedimentarias

Esta secuencia se caracteriza por ser un flysch calcáreo-arenoso, constituido por una alternancia de calizas, lutitas, areniscas, lutitas calcáreas y horizontes tobáceos. Su contacto superior es con los conglomerados polimícticos del Mioceno y las rocas volcánicas del Terciario; en tanto que su relación con los intrusivos es discordante.

Formación Caracol

Calizas y Lutitas (Kis Cz-Lu)

Unidad sedimentaria marina descrita como una secuencia de capas medianas a delgadas de calizas y lutitas, de estratificación ondulante lo que indica una depositación en aguas de profundidad moderada que se encontraban sujetas a cierta agitación en un ambiente infranerítico. Es la principal unidad litológica que integra a la Sierra de Sombrerete; por su posición estratigráfica y sus fósiles, se le asigna una edad que corresponde al Coniaciano -Santoniano.

Formación Cuesta del Cura

Areniscas - Lutitas (Kis Ar-Lu)

Esta unidad consta de calizas y lutitas con estratificación laminar, delgada y mediana, de color gris claro a negro, con intercalaciones de pedernal negro y algunas concreciones de pirita. La principal característica que distingue a esta formación es una estratificación ondulada y abundantes marcas de oleaje. El contenido de fósiles de esta unidad es escaso y se restringe a algunos amonitas. Su edad determinada con base en su posición estratigráfica corresponde al Albiano-Cenomaniano.

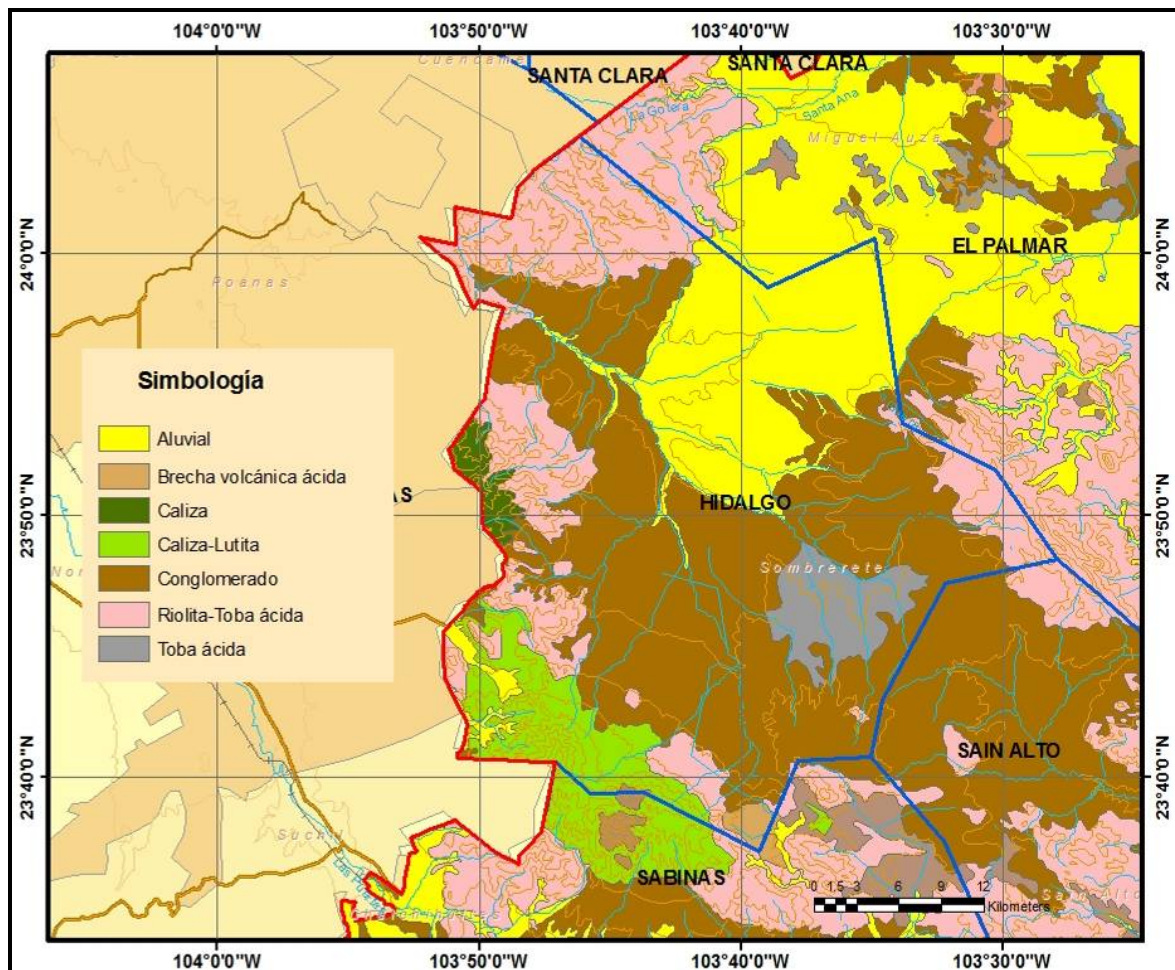


Figura No. 3. Mapa Geológico.

4.2. Geología Estructural

El esquema geológico estructural del área es producto de los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, representados por varios eventos distensivos que se manifestaron en el Cenozoico. Como consecuencia del movimiento tectónico que afectó a las rocas mesozoicas y cenozoicas, se generaron anticlinales y sinclinales orientados al NW-SE y N-S, afectados por fallas laterales y normales, fracturas y cabalgaduras con dirección al noreste; las varias fases de intrusión fueron controladas al N y S por dos zonas de fallas W-NW.

En la imagen de satélite se observan estructuras que corresponden a fallas regionales como la que aparece desde Vicente Guerrero a Orión, con orientación NW-SE, que se manifiesta como un lineamiento que forma parte de una serie de escalonamientos basculados con orientación NW-SE. Las fallas presentes son de tipo normal y las fracturas con orientación predominantemente noroeste-sureste; las primeras forman las fosas tectónicas y son responsables del basculamiento de algunas mesetas volcánicas, mientras que el fracturamiento se puede distinguir en dos direcciones preferenciales, una noroeste-sureste y otra norte-sur.

4.3. Geología del Subsuelo

El conocimiento del basamento en el subsuelo no ha sido explorado mediante estudios de prospección geofísica o con pozos exploratorios que permitan determinar la forma y profundidad del acuífero. Los pozos de explotación más profundos alcanzan los 400 m de profundidad y han cortado basaltos y rocas calizas sin llegar a un basamento impermeable. Se considera que el acuífero está limitado tanto lateral como verticalmente por las rocas riolíticas, los granitos y la secuencia arcillo-calcárea de la Formación Caracol, que constituyen las fronteras y barreras al flujo subterráneo. De acuerdo con la información de los pozos, el espesor saturado en el valle alcanza los 350 m.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de Acuífero

Las unidades susceptibles de permitir el almacenamiento y movimiento del agua subterránea corresponden a depósitos granulares, representados por depósitos aluviales y conglomerados. Debido a la heterogeneidad textural de la matriz, es posible la presencia local de condiciones de semiconfinamiento, pero el comportamiento general es de acuífero libre.

5.2 Parámetros Hidráulicos

Con el fin de evaluar los parámetros hidráulicos (transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento), en el estudio efectuado en el 2006 se realizaron 5 pruebas de bombeo; dos de ellas en la porción norte de la zona, en las localidades de Milpillas y Ejido Zaragoza, y las 3 pruebas restantes en la porción sur-sureste, en las localidades de San José de Félix, Agua Zarca y finalmente en el pozo que abastece a las comunidades de San Miguel y Santiago de la Herradura. Solamente en la prueba de bombeo de la comunidad de San José de Félix se contó con un pozo de observación, localizado a escasos 20 m de distancia.

Dependiendo del tipo de acuífero (libre, confinado o semiconfinado) se utilizaron métodos de interpretación como el de Neuman, Jacob, Theis y Hantush, entre otros, tanto en etapa de

abatimiento como recuperación. Para la interpretación se utilizó el programa de computadora Aquifer Test v.4.0.

En la tabla No. 3, se presentan los resultados de T y S obtenidos de la interpretación den las pruebas de bombeo.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de bombeo

Pozo	Prof. Total (m)	Espesor Saturado (m)	Nivel Estático (m)	Transmisividad (m ² /día)		S	T promedio (m ² /día)	Observaciones
				Abatimiento	Recuperación			
Ejido Zaragoza (GH-030)	400	245.33	154.67	T= 269	T= 147		189	Pozo de Bombeo
				H= 194	H= 132			
				J= 271	J= 188			
				N= 222	N= 186			
Milpillas (GH-045)	170	116.80	53.20	T= 655	T= 846		614	Pozo de Bombeo
				H= 234	H= 292			
				J= :656	J= 852			
				N= 912	N= N.I.			
San José de Félix (GH-058)	120	103.52	16.48	T= 5.45	T= 4.89		5.99	Pozo de Bombeo
				H= 5.45	H= 4.89			
				J= 7.35	J= 6.42			
				N= 5.73	N= 4.88			
San José de Félix (GH-059)	130	113.74	16.26	T= 5.45	T= N.I.	ABATIMIENTO 0.000148	5.26	Pozo de Observación
				H= 5.45	H= N.I.			
				J= 7.35	J= 1.16	RECUPERACIÓN 0.000483		
				N= 2.79	N= 0.98			
San Miguel y Santiago de la Herradura (GH-094)	500	373.15	126.85	T= 11.4	T= 7.35		12.21	Pozo de Bombeo
				H= 11.4	H= 5.45			
				J= 9.46	J= 8.18			
				N= 16.6	N= 5.27			
Agua Zarca (GH-097)	400	314.70	85.30	T= 5.45	T= 2.8		5.44	Pozo de Bombeo
				H= 4.04	H= 2.22			
				J= 7.35	J= 3.00			
				N= 4.93	N= 2.77			

T= THEIS H= HANTUSH J= THEIS CON CORRECCIÓN DE JACOB N= NEUMAN N.I. NO INTERPRETABLE

Los valores de conductividad hidráulica obtenidos varían de 0.02 a 0.34 m/día, característico de materiales de muy baja permeabilidad; el coeficiente de almacenamiento promedio calculado es de 0.0003.

Es importante destacar que la prueba realizada en Milpillas, ubicada a la salida del sistema, registró un valor de conductividad hidráulica muy alto que no es consistente con el comportamiento general del sistema, especialmente porque al utilizarlo en el cálculo de las salidas subterráneas el valor de éstas sería muy grande y no hay evidencia alguna para explicarlo: flujo base, manantial o un sistema acuífero hacia aguas abajo, toda vez que el valle termina en una cañada. La ubicación del pozo es muy cercana al río por lo que probablemente cortó materiales granulares que tienen mayor permeabilidad, situación muy local que no puede ser representativa del resto del valle. De esta forma,

tratando de obtener un valor representativo de las salidas en la parte baja del valle, se tomaron en cuenta otras consideraciones y se estimó un valor de 1.362 m/día, resultado del promedio aritmético con las otras pruebas; aun así este valor es el más alto de la zona pero con mayor apoyo en la información de los pozos ya que en esta porción del acuífero son de menor profundidad y mayor productividad.

5.3 Piezometría

La información piezométrica en la zona es muy escasa. Para la elaboración de las configuraciones del nivel estático se tomó en cuenta la información piezométrica recabada por la Subgerencia de Ingeniería, de la Gerencia Estatal de Zacatecas (2006) y la obtenida durante el estudio realizado en el 2006. También se revisó la información del estudio de prospección realizado en 1981 en la región de Saín Alto, que abarcó una pequeña porción del acuífero de Hidalgo, entre San José de Félix y Proaño, pero resultó insuficiente para describir el comportamiento piezométrico en la región que cubre el acuífero.

5.4 Comportamiento Hidráulico

El comportamiento hidráulico está básicamente condicionado por la topografía, por la alternancia de material granular, volcánico y conglomerados, y por la cercanía de la zona de recarga representada por la Sierra de Sombrerete. La buena calidad del agua subterránea refleja su cercanía a la zona de recarga.

La presencia de horizontes arcillosos hacia el centro del valle, provoca condiciones de semiconfinamiento en el acuífero, sin embargo esta condición no se mantiene y a medida que el agua transita hacia la salida del valle se comporta como un acuífero libre, la dirección del agua subterránea es similar al flujo del drenaje superficial, por lo que se corrobora que es la topografía el principal factor condicionante del flujo de agua subterránea.

5.4.1 Profundidad al Nivel Estático

Los valores de profundidad al nivel estático varían de 10 a 150 m, con variaciones importantes en distancias pequeñas, como resultado de la presencia de condiciones locales de semiconfinamiento y variaciones significativas de los valores de la conductividad hidráulica vertical.

Hacia las inmediaciones de San Francisco de Órganos se tiene la mayor concentración de pozos y la profundidad del nivel estático fluctúa de 10 a 40 metros, incluso existen pozos brotantes y niveles muy someros, pero la profundidad promedio es de 20 metros (Figura No. 4). Hacia la ciudad de Sombrerete los pocos pozos existentes registran una profundidad media de 80 m y hacia la población de Francisco Murguía se registran valores superiores a los 100 m. Es importante destacar que en la parte central del valle no existen aprovechamientos en operación debido a que la profundidad al nivel estático es del orden de 130 m, como se registra en un pozo exploratorio en el poblado de Charco Blanco. Esto significa que para obtener de 3 a 5 lps los niveles dinámicos serían del orden de 150 a 180 metros de profundidad, que se traduce en mayor costo de extracción y por tanto incosteable para la agricultura, además de que para lograr estos rendimientos se deben perforar pozos a más de 250 m de profundidad.

Hacia la parte baja del valle el comportamiento de los niveles del agua subterránea es más homogéneo y consistente con el comportamiento global del acuífero; la profundidad promedio al nivel estático es de 50 m. Es importante destacar que no se registran niveles freáticos someros por lo que no hay evidencia de salidas por evapotranspiración.

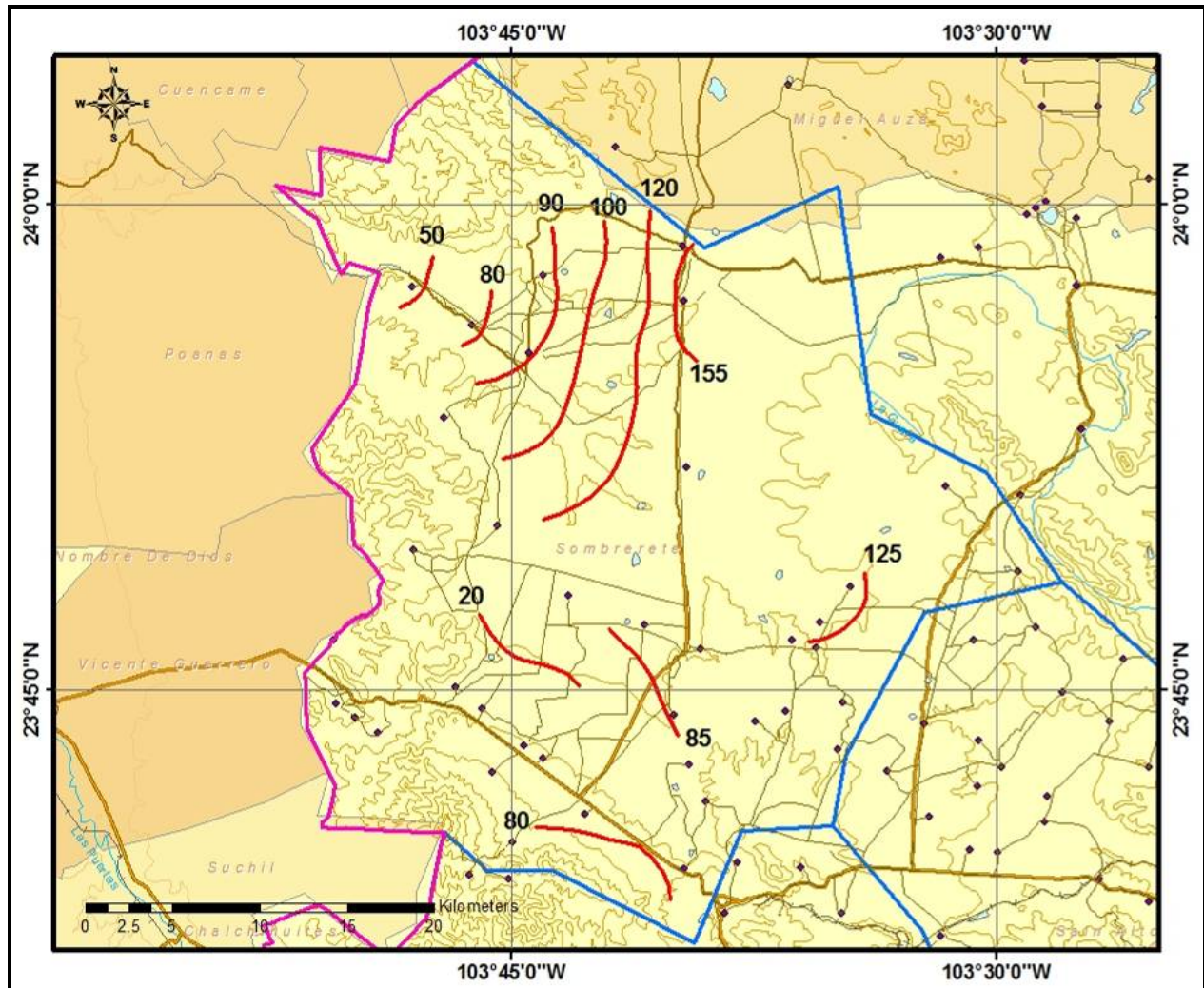


Figura No. 4. Profundidad al nivel estático (2006)

5.4.2 Elevación del Nivel Estático

El acuífero Hidalgo se encuentra alojado en un valle muy amplio en el que el flujo subterráneo tiene una orientación preferencial de sureste a noroeste, en la misma dirección que las corrientes superficiales. Inicia desde la población de Sombrete y San Francisco de Órganos, cuya elevación del nivel estático es de 2400 msnm, para continuar hacia el centro del valle donde la elevación promedio es de 2350 msnm, y concluye al noroeste del poblado Nicolás Fernández Carrillo con una elevación de 2100 msnm (Figura No. 5). En esta última zona no se registran niveles someros, ni salidas naturales a través de manantial o flujo base por lo que se considera exclusivamente como salida el caudal de agua subterránea que transita por ese punto.

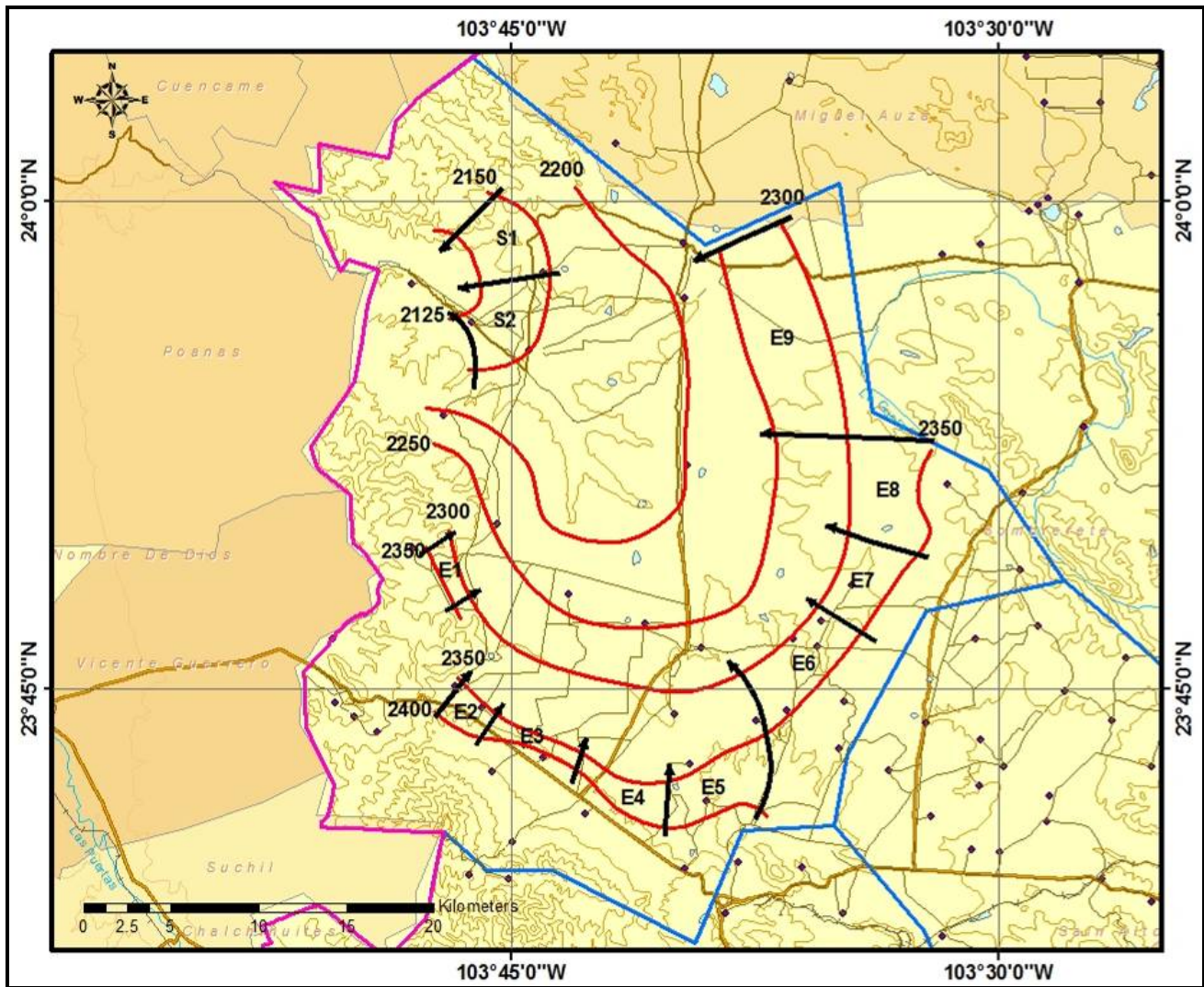


Figura No. 5. Elevación del nivel estático (2006)

5.4.3 Evolución del Nivel Estático

Debido a la falta de información piezométrica para diferentes años, no es posible obtener una evolución de los niveles que permita hacer una estimación del cambio de almacenamiento del acuífero. Sin embargo, dada la evidencia de pozos brotantes y/o de niveles someros así como la evidencia de que la configuración de la elevación del nivel estático no presenta deformaciones debido a la existencia de concentración de aprovechamientos o del bombeo, se infiere que la posición de los niveles del agua subterránea no ha registrado variaciones significativas, por lo que es de esperar que el cambio de almacenamiento tienda a ser nulo. Las variaciones más importantes pueden deberse a la influencia de lluvias extraordinarias o a la presencia de temporadas de estiaje prolongadas.

5.5 Hidrogeoquímica y Calidad del Agua Subterránea

Durante la realización del estudio del 2006 se recolectaron 15 muestras de agua subterránea para análisis químicos. El muestreo del agua subterránea se realizó de acuerdo al protocolo descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993.

Los análisis químicos incluyeron Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , $(\text{HCO}_3)^-$ y $(\text{SO}_4)^{2-}$ y se midieron las propiedades físicas y químicas en campo tales como temperatura, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad. Además se determinó en cada una de las muestras la concentración de 9 metales: Níquel, Mercurio, Manganeso, Fierro, Cromo Total, Cadmio, Arsénico, Zinc y Plomo

A partir del análisis hidrogeoquímico utilizando el diagrama de Piper, se deduce que la familia química de agua en el acuífero es del tipo Ca-Mg- HCO_3 .

Temperatura. En la configuración de valores de temperatura, se aprecian dos grupos de agua, uno relacionado con aguas de reciente infiltración con temperaturas entre 19 y 24° C, que se presentan en la porción occidental del acuífero, en las inmediaciones de la Sierra de Sombrerete que funciona como zona de recarga. También existe la presencia de un grupo termal (28-39° C) asociado a fallas geológicas, ocupando la porción centro-oriental del acuífero, en una franja orientada en dirección noroeste-sureste, que pasa por las comunidades de Emiliano Zapata, Luis Moya, Charco Blanco y Ejido Zaragoza.

Potencial Hidrógeno. El pH del agua subterránea de los pozos muestreados presenta un rango de 6.0 a 7.4, el valor mínimo se obtuvo en el pozo GH-093 y el máximo en el pozo GH-082. En esta distribución se resaltan los pH bajos que se presentan en el acuífero Hidalgo.

Conductividad Eléctrica. Los valores más altos se presentan entre la zona de la Sierra de Sombrerete, al SW del acuífero, particularmente en los pozos GH-108 y GH-013, con valores de 570 y 700 μS respectivamente. Los valores de conductividad eléctrica disminuyen al oriente y norte del acuífero.

Sólidos Totales Disueltos (STD). Los valores de STD no superan las 600 ppm, los más altos se registran al sur del acuífero, hacia la Sierra de Sombrerete, coincidiendo con los pozos en donde se registraron las conductividades eléctricas más altas (GH-108 y GH-013).

Cloruros. Los valores más altos de cloruros se localizan al sur del acuífero de Hidalgo. Los valores más bajos se midieron en la porción central.

Diagramas de Stiff. Con el propósito de establecer gráficamente la relación entre la composición del agua subterránea y la de las unidades litológicas por donde esta circula, se superpusieron los diagramas de Stiff en el plano geológico de la zona. En dicho plano se puede observar que las muestras cercanas a la Sierra de Sombrerete, constituida en gran parte por calizas y lutitas, tienen las concentraciones más elevadas de los iones calcio y el magnesio, y se distribuyen al surponiente del acuífero.

Hacia el centro y norte del valle disminuye ligeramente el ión calcio y el decremento del magnesio es notorio. Lo contrario ocurre con el sodio que tiene una presencia ligeramente mayor, por la influencia de rocas volcánicas de composición ácida y conglomerados.

Para el área del acuífero se utilizó un Índice de Calidad del Agua Subterránea (ICA) el cual fue desarrollado por Bascaran, en 1979 (Conesa, 1993). La importancia de este índice es que considera la mayor cantidad de componentes con los que se dispone. La evaluación se puede efectuar con los componentes fisicoquímicos de un análisis de agua normal. Un menor ICA representa una menor calidad del recurso y un mayor ICA es indicativo de mejor calidad del agua subterránea. Los índices que considera el ICA varían de 0 a 100. Para el caso del Acuífero Hidalgo, los valores registrados de 90 a 100 representan buena calidad química del agua, apta para el consumo humano.

RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS).

Para conocer la calidad del agua para riego, se utilizó la clasificación de Richard (1954) en la cual, por medio de la conductividad eléctrica (CE) y la relación de absorción de sodio (RAS), se obtiene la clase de agua. Las muestras de agua para el acuífero se sitúan en S1 que indican concentraciones bajas de sodio (entre 0.1 y 2.5 meq/l), y C2 que representa salinidad media (250 $\mu\text{s/cm}$).

Con relación a los análisis fisicoquímicos y de metales, se confirma que el agua subterránea es de buena calidad, tanto para el consumo humano como para las actividades agrícolas; sin embargo, se percibe la influencia de procesos termales en el agua hacia el centro y noroeste del valle, por la presencia del flúor que sobrepasa en un rango de 0.3 y 1.6 mg/l el límite establecido para aguas destinadas al consumo humano.

El contenido de nitratos del agua muestreada en los pozos GH-013 y GH-118, también sobrepasa ligeramente (entre 4 y 8 mg/l) la norma establecida.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Se inventarió un total de **107** aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales **99** son **pozos** (92.5%), **6 norias** (5.6%) y **2 manantiales** (1.9%). Del total de obras, 25 se encuentran inactivas.

Para la determinación de los volúmenes de extracción se utilizaron los equipos o dispositivos instalados en cada aprovechamiento (medidor de flujo y totalizador). En otros casos fue necesario recurrir a otros métodos de aforo como son: método de la escuadra, volumen-tiempo y sección-velocidad. Adicionalmente a la medición del caudal instantáneo, fue necesario investigar el régimen de operación en cada aprovechamiento, diámetro de la descarga, dotación para los diferentes usos, etc.

La mayor concentración de comunidades se presenta al sur-oriente y sur-poniente del área; en esta zona se han construido baterías de pozos pertenecientes a organismos operadores, como es el caso del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Sombrerete (SAPAS) con 5 obras hidráulicas. Todos estos aprovechamientos trabajan los 365 días del año durante las 24 horas al día, el volumen de extracción anual es cercano a los **2.6 hm³/año**.

Los aprovechamientos visitados que aportan agua al sector Industrial son 3, los cuales se localizan en la zona de Proaño y son explotados por la empresa Industrial Minera México (IMMSA) ubicada en las inmediaciones de la comunidad de San Martín. Con base en los datos proporcionados por la empresa, se calculó un volumen de extracción anual de **1.1 hm³/año**.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **5.1 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales). Los usos con mayor demanda de agua corresponden en primer lugar al público-urbano con un volumen de 3.5 hm³/año, extraídos por medio de 37 obras que suministran agua a diversas comunidades; el segundo lugar lo ocupa el uso industrial con un volumen de 1.1 hm³/año aprovechado mediante la operación de 3 pozos y, finalmente, el tercer lugar en importancia corresponde al uso agrícola con la operación de 6 aprovechamientos que extraen 0.5 hm³/año

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1. Entradas

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 definido.

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

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

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

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

7.1.1. Recarga Natural

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle, por las limitadas infiltraciones a lo largo del cauce de los arroyos intermitentes y por la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta a través de las zonas de pie de monte.

La Recarga Vertical (Rv) es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Si se tiene información para evaluar el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance.

$$E_h + R_v - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad \text{----- (1)}$$

De esta manera:

$$R_v = S_h + B + ETR - \Delta V(S) - E_h \quad \text{----- (2)}$$

7.1.2 Flujo Subterráneo Horizontal

La configuración de elevación de nivel estático para el 2006 permite identificar las entradas y salidas de aguas subterráneas. Las celdas de flujo definidas (Figura No. 5) representan entradas subterráneas de volúmenes de aguas generados por cuenca propia dentro de los límites del acuífero; esto significa que no recibe aportes de otros acuíferos.

El gradiente hidráulico es del orden de 0.019 a 0.042; si bien la transmisividad hidráulica es baja, el gradiente es alto, por lo tanto el agua está en constante movimiento y no tiene mucho tiempo de residencia.

Para cada celda se obtiene el gasto mediante la ecuación:

$$Q = B k b i = B T i$$

Donde

B: Ancho del canal de flujo (m).

i: Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / L$); h y l son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

T: Transmisividad en el canal de flujo (m²/día).

Los resultados de los cálculos realizados en el periodo de análisis, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Cálculo de entradas subterráneas horizontales

Celda	h1	h2	L	i=(h1-h2)/L	B	K	b	Gasto	Vol. Anual
	(m)	(m)	(m)		(m)	(m/día)	(m)	(m ³ /día)	(m ³ /año)
E1	2350	2300	2300	0.022	3300	0.020	300	430	157,109
E2	2400	2350	1200	0.042	3000	0.052	350	2275	830,375
E3	2400	2350	1500	0.033	5500	0.052	400	3813	1,391,867
E4	2400	2350	2100	0.024	4500	0.052	400	2229	813,429
E5	2400	2350	2700	0.019	9000	0.052	400	3467	1,265,333
E6	2350	2300	4400	0.011	7000	0.052	300	1241	452,932
E7	2350	2300	4000	0.013	3700	0.030	300	416	151,931
E8	2350	2300	3500	0.014	8000	0.030	300	1029	375,429
E9	2300	2250	3700	0.014	12500	0.030	300	1520	554,899
								SUMA	5,438,404

La suma de los valores calculados para cada celda arroja un valor total de **5.4 hm³/año**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y las salidas subterráneas hacia el acuífero de Vicente Guerrero-Poanas (Sh). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del arroyo.

7.2.1 Evapotranspiración

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del suelo. No se registran niveles someros, de tal manera que se considera que no ocurren salidas por evapotranspiración.

7.2.2 Descargas Naturales

No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del arroyo.

7.2.3 Bombeo

El bombeo calculado a partir de la información de campo recopilada en el 2006, es del orden de 5.1 hm³/año.

7.2.4 Flujo Subterráneo Horizontal

Las salidas por flujo subterráneo fueron obtenidas con base en las celdas identificadas como S1 y S2 en el plano de elevación del nivel estático 2006, de la misma manera en que se calcularon las entradas subterráneas. El valor obtenido es de **2.3 hm³/año** y se presenta en la tabla No. 5:

Tabla 5. Cálculo de salidas subterráneas horizontales

Celda	h1	h2	L	i=(h1-h2)/L	B	K	b	Gasto	Vol. Anual
	(m)	(m)	(m)		(m)	(m/día)	(m)	(m ³ /día)	(m ³ /año)
S1	2150	2125	1800	0.014	4500	0.0344	150	323	117,713
S2	2150	2125	3000	0.008	3500	1.362	150	5959	2,174,944
								SUMA	2,292,656

7.3 Cambio de Almacenamiento

El cambio de almacenamientos calcula a partir de la configuración de evolución de nivel estático; dicho valor afectado por el coeficiente de almacenamiento, o del rendimiento específico (Sy) en acuíferos libres, permite conocer el valor de pérdida o ganancia de agua subterránea en el sistema.

Debido a la falta de información piezométrica para diferentes años, no fue posible obtener una evolución de los niveles que permita evaluar el cambio de almacenamiento del acuífero. Sin embargo, como se explicó anteriormente, la presencia de otros indicadores hace suponer que la posición de los niveles estáticos no ha sufrido cambios significativos en el transcurso del tiempo. Por esta razón se considera que el cambio de almacenamiento es nulo

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia y por las infiltraciones a lo largo del cauce del río, mediante la expresión (2):

$$R_v = Sh + B + ETR - \Delta V(Sy) - E_h \quad \text{---- (2)}$$

- Donde:
- E_h = Entradas por flujo subterráneo.
 - Sh = Salidas por flujo subterráneo
 - R_v = Recarga vertical por precipitación directa, infiltración de cuerpos superficiales y Retornos de riego.
 - B = Extracción por bombeo.
 - ETR= Evapotranspiración real
 - (ΔV) = Cambio de volumen del acuífero.
 - Sy = Rendimiento específico.

Considerando que el cambio de almacenamiento y la evapotranspiración son iguales a cero, la ecuación se reduce a:

$$R_v = 0 - E_h + B + Sh$$

Sustituyendo valores en metros cúbicos anuales se obtiene:

$$Rv = 0 - 5.4 + 5.1 + 2.3$$

$$Rv = 2.0 \text{ Mm}^3/\text{año.}$$

De esta manera la recarga total (Rt) anual es la suma de Rv + Eh

Rt = 7.4 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8. DISPONIBILIDAD

El cálculo de la disponibilidad del agua subterránea se realizó de conformidad con la Norma Oficial Mexicana NOM- 011-CNA-2000 “Conservación del recurso agua que establece especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”, publicada en el DOF el 17 abril de 2002, a efecto de tener un valor de volumen de agua subterránea renovable con el fin de aprovecharse en condiciones de sostenibilidad.

En dicha norma se establece que la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea en una unidad hidrogeológica se determina mediante la siguiente expresión:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL (DAS)	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL (Rt)	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA (DCOM)	-	VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUA SUBTERRANEA (VCAS)
--	---	--------------------------------------	---	--	---	--

8.1. Recarga Total Media Anual

La recarga total media anual (Rt), como se mencionó anteriormente, para este caso es la suma de la recarga vertical y las entradas subterráneas calculadas **Rt = 7.4 hm³/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2. Descarga Natural Comprometida (DCOM)

La descarga natural comprometida se determina, de acuerdo con la NOM-011-CNA-2000, sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para este caso particular, aunque existe un volumen de 2.3 hm³/año que salen del área de balance, la zona se localiza a más de 8 km del límite con el acuífero vecino Vicente Guerrero-Poanas, en el estado de Durango, hacia la cañada del arroyo Grande donde no existen aprovechamientos del agua subterránea.

Por tal motivo, se considera que no existen descargas naturales comprometidas

Es indispensable estudiar la factibilidad de interceptar este flujo ya que no existen evidencias de que alimente a manantiales o flujo base.

8.3. Rendimiento Permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para este caso, el rendimiento permanente es de **7.4 hm³** anuales.

8.4. Volumen Concesionado de Agua Subterránea (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 30 de abril del 2007 es de **741,298 m³/año**.

8.5. Disponibilidad de Aguas Subterráneas (DAS)

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

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión:
 $DAS = Rt - DCOM - VCAS$

Disponibilidad media anual = $7.4 - 0 - 0.741298 = 6.658702 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Millones de metros cúbicos anuales).

El resultado de la aplicación de la norma indica que existe actualmente un volumen de **6'658,702 m³** anuales disponibles para otorgar nuevas concesiones. Sin embargo, es necesario hacer una revisión técnica-administrativa-legal de los registros del REPGA ya que existe una gran cantidad de aprovechamientos dentro del acuífero Hidalgo que están adscritos al acuífero vecino Sabinas, por lo que la suma de sus volúmenes concesionados (aproximadamente 4.0 hm³/año) no están incluidos en el cálculo oficial de la disponibilidad en el acuífero Hidalgo.

Por otra parte, el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero y, por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica consistente para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que el valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento extender el balance a una superficie mayor del valle. Conforme se genere mayor información hidrogeológica, en cantidad y calidad, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2006 “Estudio para la Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y de Calidad del agua de los Acuíferos Hidalgo y Sabinas, en el estado de Zacatecas”, realizado por la empresa GEOPSA, S.A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (Subdirección de Geohidrología y zonas Áridas), 1981. TACSA (Técnicos, asesores y constructores, S.A.), Referente: Prospección y Levantamiento geológico y geofísico en la región de Saín Alto, Zacatecas.

Secretaría de Fomento Agropecuario del estado de Zacatecas, Unión Agrícola Regional de Productores de Fríjol y Granos Básicos “Francisco Villa”, 2000. Referente: “Estudio de Evaluación de la Disponibilidad de Agua Subterránea en las zonas de El Palmar y Saín Alto, en el estado de Zacatecas”, realizado por la empresa: Consultores en Agua Subterránea, S.A.

Estudio realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica), de la Dirección General de Irrigación y Dirección de Geohidrología y de Zonas áridas, 1977. Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el estado de Zacatecas”, realizado por la empresa Consultec Ingenieros Asociados, S.C.

Consejo de Recursos Minerales (Subdirección de Cartografía Geológico-Minera), Gerencia de Geología y Geoquímica (Informe de la Carta Geológico-Minero de Vicente Guerrero), Clave F13-B24, Escala 1:50,000: Mayo del 2001.

Consejo de Recursos Minerales (Subdirección de Cartografía Geológico-Minera), Gerencia de Geología y Geoquímica (Informe de la Carta Geológico-Minero de Sombrerete), Clave F13-B25, Escala 1:50,000: Mayo del 2001.

Araña Saavedra, Vicente, Ortiz Ramos, Ramón. 1984. Vulcanología, Ed. Rueda.

Comisión Federal de Electricidad: Manual de Diseño de Obras Civiles.

López Ramos, Ernesto: 1980. Geología de México, 2da. Ed.

Palacio de Minería, U.N.A.M: 1998. Hidráulica y Diseño de Pozos, Facultad de Ingeniería.