



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO HIDALGO-VILLAGRÁN (2803),
ESTADO DE TAMAULIPAS**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	4
3	FISIOGRAFÍA.....	7
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	7
3.3	Hidrografía.....	9
3.4	Geomorfología.....	9
4	GEOLOGÍA	10
4.1	Estratigrafía.....	11
4.2	Geología estructural	15
4.3	Geología del subsuelo	16
5	HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1	Tipo de acuífero	16
5.2	Parámetros hidráulicos.....	17
5.3	Piezometría	17
5.4	Comportamiento hidráulico.....	18
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	18
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	19
5.4.3	Evolución del nivel estático	20
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	21
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	22
7.1	Entradas	22
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	22
7.1.2	Recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh)	23
7.1.3	Recarga inducida (Ri)	24
7.2	Salidas.....	24
7.2.1	Evapotranspiración (ETR).....	25
7.2.2	Bombeo (B)	26
7.2.3	Salidas por flujo horizontal subterráneo (Sh)	26
7.2.4	Descargas a través de manantiales (Dm).....	27
7.3	Cambio de Almacenamiento $\Delta V(S)$	27
8	DISPONIBILIDAD	27
8.1	Recarga total media anual (R).....	28
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	28
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	28
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	29
9	BIBLIOGRAFÍA	30

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

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

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

1.1 Localización

El acuífero Hidalgo-Villagrán, definido con la clave 2803 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-oeste del estado de Tamaulipas, entre los paralelos 24° 03' y 24° 49' de latitud norte y entre los meridianos 99° 04' y 99° 44' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 3801 km². Colinda al este con el acuífero San Carlos, al sur con los acuíferos Márgenes del Río Purificación, Victoria-Guemez y Palmillas Jaumave, del estado de Tamaulipas, al oeste con el acuífero Soto La Marina y al norte con Citrícola Sur, estos últimos del estado de Nuevo León (figura 1).

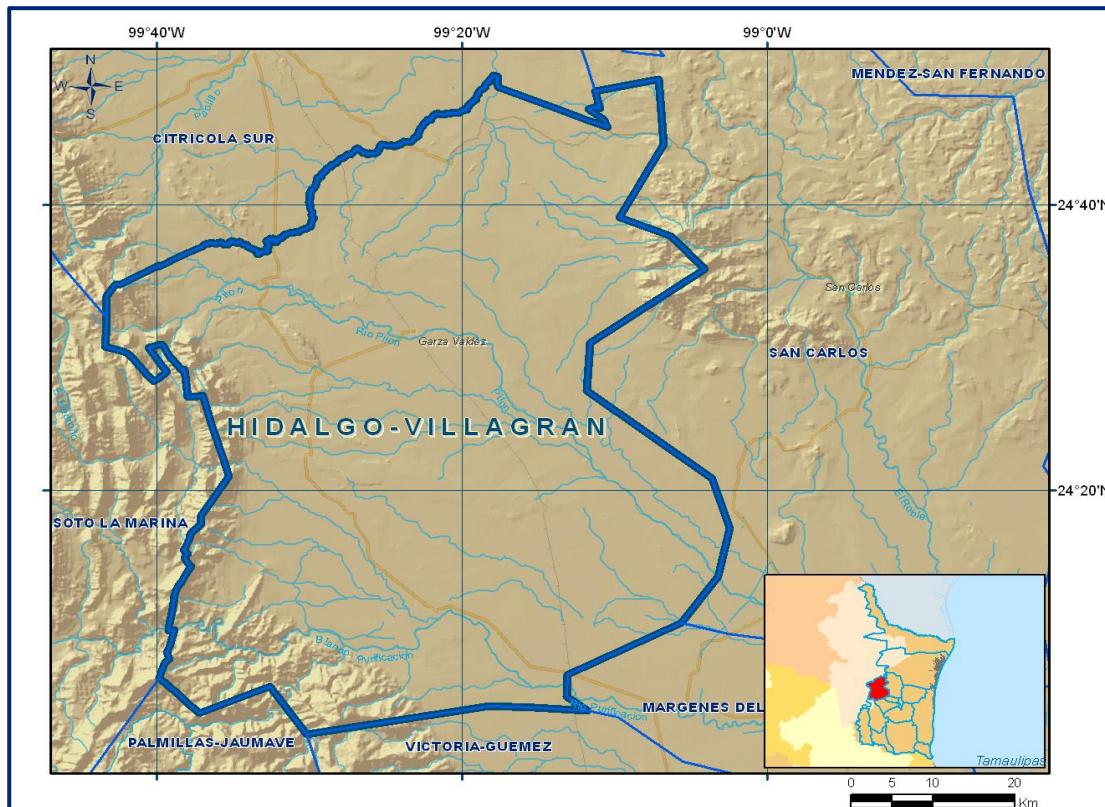


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas que delimitan la poligonal simplificada del acuífero Hidalgo-Villagrán

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	6	49.7	24	44	1.3	
2	99	9	42.3	24	39	7.0	
3	99	6	20.5	24	37	47.2	
4	99	4	8.9	24	35	28.5	
5	99	11	37.3	24	30	19.1	
6	99	11	52.8	24	26	59.3	
7	99	3	38.8	24	20	48.2	
8	99	2	28.3	24	17	217	
9	99	3	14.4	24	13	57.6	
10	99	5	38.3	24	10	43.6	
11	99	13	5.9	24	7	8.8	
12	99	13	10.8	24	5	33.9	
13	99	11	48.7	24	4	36.1	
14	99	15	16.3	24	4	47.8	
15	99	18	15.5	24	4	56.5	
16	99	30	12.4	24	2	58.5	
17	99	32	39.5	24	6	16.9	
18	99	37	14.3	24	4	26.1	DEL 18 AL 19 POR EL LÍMITE ESTATAL
19	99	39	51.7	24	6	53.3	DEL 19 AL 20 POR EL LÍMITE ESTATAL
20	99	43	21.0	24	32	4.2	DEL 20 AL 21 POR EL LÍMITE ESTATAL
21	99	11	19.1	24	47	55.2	
22	99	7	7.2	24	48	45.7	
1	99	6	49.7	24	44	1.3	

Geopolíticamente, el acuífero abarca parcialmente los municipios Hidalgo, Mainero, Villagrán y San Carlos.

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Hidalgo-Villagrán pertenece al Organismo de Cuenca IX “Golfo Norte”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del Decreto de veda tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros, indicando “que se establece por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende los Municipios de Mainero, Villagrán San Carlos y otros del Estado de Tamaulipas”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 10 de febrero de 1964.

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

No existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el territorio que cubre el acuífero y sus alrededores se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación con el objetivo principal de conocer su geometría, disponibilidad, condición de explotación y la calidad del agua subterránea. A continuación se mencionan en orden cronológico los más importantes.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO VICTORIA-GÜÉMEZ, ESTADO DE TAMAULIPAS, 2001; Consorcio de Ingeniería Mexicana, S.A. de C.V., elaborado para la Comisión Nacional del Agua. En la zona destacan dos grandes regiones hidrogeológicas: una perteneciente a la Sierra Madre Oriental (SMO) y la otra corresponde a la Planicie Costera. En la porción de la SMO, las rocas calcáreas del Cretácico Inferior (Formación Tamaulipas) son las que revisten mayor importancia para constituir acuíferos; sin embargo, su continuidad hacia las porciones bajas de la planicie costera se ve limitada por el estilo estructural. En la Planicie Costera se ubica el acuífero principal en los materiales de relleno aluvial, el cual es explotado a través de pozos poco profundos.

El modelo conceptual hidrogeológico de la región puede resumirse de la siguiente manera: las calizas de la SMO en su flanco NE son la zona de recarga de los acuíferos de las planicies.

En estas, parte del agua proveniente de la SMO transcurre por la porción fracturada y alterada de las rocas del Cretácico Superior fluye aguas abajo hacia sus zonas de descarga alimentando en su paso a los materiales clásticos de relleno que conforman el acuífero granular: depósitos aluviales y fluviales.

En la zona de estudio los sistemas de flujo de las aguas subterráneas, se pueden desplazar en medios granulares o fracturados. En el caso del comportamiento de la curva tiempo versus abatimiento de las pruebas de bombeo y con el marco geológico del área de estudio, se pudo identificar que el comportamiento hidráulico de todas las pruebas, corresponde al de un acuífero libre.

De acuerdo a los resultados del estudio, los acuíferos de la Zona de Victoria - Güémez presentan diferentes condiciones de explotación dependiendo de la porción de valle de que se trate; las principales afectaciones que se están dando es por la alta concentración de pozos, principalmente profundos en áreas considerables, dando lugar al drenado de los volúmenes existentes en su entorno y por supuesto modificando el patrón de flujo subterráneo e inclusive el de las principales corrientes superficiales.

Las condiciones geohidrológicas que presenta cada uno de los valles define que de hecho actualmente no existe disponibilidad en ninguno de ellos y que de seguirse explotando en la forma intensa en que se está haciendo en las zonas de concentración, traerá mayores problemas a futuro. De acuerdo a los resultados, los acuíferos rebasan ligeramente la condición de equilibrio.

ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS DEL ACUÍFERO ZONA SUR, EDO. DE TAMAULIPAS, 2004; Servicios Integrados de Ingeniería, S.A. de C.V., elaborado para la Comisión Nacional del Agua. De acuerdo con la información obtenida, el acuífero corresponde con un acuífero libre granular, constituido principalmente por arenas, aunque en algunas zonas puede comportarse como de tipo semiconfinado, debido a la presencia de arcillas, en general con buena permeabilidad y niveles estáticos entre 1 y 13 m de profundidad.

El comportamiento de la profundidad al nivel del agua en el acuífero se ve influenciado por el agua que aportan, por un lado la corriente del Estero Barberena en las partes norte y central del área, y por el otro los cuerpos lagunares El Conejo,

El Gringo, Agua Grande y Los Patos, ya que de acuerdo al nivel del agua que manifiesten dichos cuerpos de agua, la profundidad al nivel estático dentro del acuífero aumenta o disminuye.

En general la conformación de curvas piezométricas, reflejan las condiciones de un acuífero costero, en donde las curvas tienden a ser paralelas a la línea de costa, manifestándose los valores más grandes hacia las partes altas y los menores valores en las porciones bajas. Las líneas de flujo son perpendiculares a la línea de costa.

En cuanto al comportamiento piezométrico del acuífero, no se aprecia deformación importante de las isopiezas que permitan definir efectos negativos debidos a la explotación.

ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS DEL ACUÍFERO HIDALGO-VILLAGRÁN, TAMAULIPAS, 2006; Geofísica y Perforaciones del Medio Ambiente, elaborado para la Comisión Nacional del Agua. El acuífero Hidalgo- Villagrán alberga un sistema acuífero de tipo libre, cuya profundidad máxima se encuentra a los 23 m en las cercanías de la sierra.

Este fenómeno tiende a disminuir hacia el este, notándose algunos valores dispares en función a la presencia de conos de abatimiento o al cambio topográfico existente, pero que las hace coincidentes con las cargas hidráulicas correspondientes.

Los materiales en los que se encuentra son predominantemente rocas sedimentarias granulares, que van desde el Cretácico Superior hasta el Reciente; esto implica que el agua se encuentre en materiales pertenecientes a la Formación Méndez es decir, intercalaciones de lutitas con areniscas, así como en otras formaciones de más reciente creación, como lo son los conglomerados del Plioceno y en los materiales granulares formados como aluvión. Las obras que extraen el agua subterránea, tanto pozos como norias, se han construido en general a menos de 80 m de profundidad, con caudales de extracción relativamente pobres, al no exceder los 2 o 3 lps en cada obra. Por contraste, las obras de mayor capacidad se han construido sobre los materiales granulares aluviales que delimitan el cauce del río Purificación.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica Planicie o Llanura Costera del Golfo de acuerdo con la clasificación de INEGI, 1991, la cual en México abarca parte del estado de Tamaulipas; en su extremo norte a lo largo del río Bravo en el tramo que va de Reynosa hasta su desembocadura con el Golfo de México, y en su porción sur, hasta la zona de Nautla, en el Estado de Veracruz.

Esta provincia abarca la mayor parte del estado de Tamaulipas y se caracteriza por la presencia de dos cuencas sedimentarias donde se depositaron rocas del Paleógeno-Neógeno, principalmente lutitas y areniscas, cuyas características litológicas varían de acuerdo al ambiente en que se depositaron que van desde rocas de origen continental (deltas y barras) hasta marino somero.

El rango de altitud de la provincia va de 10 hasta 500 m. La secuencia litológica que aflora está constituida principalmente por sedimentos marinos no consolidados (arcillas, arenas y conglomerados), los cuales presentan una relación directa de edades con respecto a la línea de costa, la cual aumenta en relación con la distancia al litoral.

La planicie se extiende transversalmente, por el estado, hasta la base de la Sierra Madre Oriental y está interceptada por lomeríos, mesetas y planos ligeramente inclinados al oriente. Las rocas poco resistentes, como las margas y lutitas, expuestas ampliamente en la zona, son disectadas rápidamente, generando barrancas moderadamente profundas con laderas verticales y estables.

3.2 Clima

En la zona el clima varía en relación a su relieve, presentándose dos tipos en la región montañosa; de acuerdo con los criterios de Köppen modificados por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana; el primero semi-cálido con temperatura media anual superior a los 18° C, con régimen de lluvias en verano; el otro es extremoso con oscilaciones térmicas entre 7 y 14° C.

Por otra parte, en la Planicie Costera el clima es el menos seco de los esteparios, muy cálido, con temperaturas que oscilan entre 2 y 40° C, con un régimen de lluvias de verano extremoso.

Considerando la relación directa que existe entre las condiciones atmosféricas y la recarga a los acuíferos, la cual responde invariablemente a las condiciones de precipitación, y con el fin de conocer las características climáticas de la zona, se consultó la información hidrológica y datos de estaciones climatológicas existentes de la zona.

A este respecto, dentro de la zona e inmediaciones del área se localizaron tres estaciones climatológicas: La estación Hidalgo, ubicada en el municipio del mismo nombre, identificada con el número 28038; la estación Villa Mainero, localizada en el municipio Mainero, y estación Villagrán con la clave 28118, localizada en el municipio del mismo nombre.

La temperatura promedio anual, considerando las tres estaciones es de 28.2° C, con valores extremos de 19.7 y 35.6° C, esta ultima registrada en la estación Hidalgo; siendo los meses de mayo a agosto los más calurosos, con temperaturas superiores a los 30° C, mientras que diciembre y enero se presentan valores de 19.7 a 22.3° C, descendiendo un poco en la estación Villa Mainero, en la cual la influencia de la topografía más alta es evidente.

En cuanto a la precipitación se tiene un promedio mensual en la zona de 121.7 mm, mientras que la lluvia promedio anual es superior a 1,000 mm, medidos en la estación Villa Mainero. En la estación Villagrán se registraron valores del orden de 615 mm anuales. Los valores máximos mensuales en la estación Villa Mainero superan los 200 mm durante el mes de septiembre, asimismo se pueden observar precipitaciones mensuales inferiores a los 20 mm en la estación Villagrán y Villa Mainero durante el primer trimestre del año. La temporada de lluvias ocurre de mayo a septiembre.

El valor de evaporación potencial media mensual es de 128.3 mm, mostrando una relación directa entre la evaporación potencial y el incremento de la temperatura. Durante los meses de marzo a agosto se registran los valores máximos mensuales de 110 mm en las tres estaciones,

Estos valores se incrementan hasta los 150 mm durante los meses de junio a agosto, y descienden durante los meses de noviembre y diciembre. Los valores de evaporación potencial del área varían de 1,200 a 1,400 mm anuales, este último valor obtenido en la estación Villagrán.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica N° 25 San Fernando-Soto La Marina. El área es drenada por el Arroyo Los Anegados, en la porción norte, que forma el límite natural entre los estados de Tamaulipas y Nuevo León.

Este arroyo es afluente del Río Conchos o San Fernando, perteneciente a la cuenca del mismo nombre, que descarga sus aguas a la Laguna Madre; el resto del área que comprende el acuífero, es drenada por los ríos Pilón, Blanco y San Antonio, estos dos últimos forman el Río Purificación, que junto con El Pilón confluyen en la presa Vicente Guerrero, para posteriormente formar el Río Soto-La Marina, mismo que descarga sus aguas al mar. Todos ellos dentro de la cuenca del Río Soto-La Marina. Cabe mencionar que estas corrientes se forman al poniente de la zona a partir del afloramiento de manantiales en las rocas calizas de la Sierra Madre Oriental.

3.4 Geomorfología

La expresión geomorfológica del acuífero, corresponde a un sistema montañoso en su porción occidental donde se alcanzan elevaciones superiores a los 2000 msnm, mientras que hacia su porción oriental las máximas elevaciones son de 1500 m, estas elevaciones topográficas corresponden en esencia a sierras de rocas mesozoicas plegadas, cortadas por drenajes profundos que originan grandes escarpes.

En contraste, la parte central del acuífero, donde se encuentra la mayor parte de los aprovechamientos, presenta una morfología variada, con elevaciones que varían de los 200 a los 300 msnm, con un relieve de superficies planas y onduladas formadas por una erosión diferencial en las capas superficiales.

La planicie se extiende transversalmente hasta la base de la Sierra Madre Oriental y está interceptada por lomeríos, mesetas y planos ligeramente inclinados al oriente. Las rocas poco resistentes, como las margas y lutitas, expuestas ampliamente en la zona, son disectadas rápidamente, generando barrancas moderadamente profundas con laderas verticales.

El frente de montaña consiste de numerosos pliegues angostos y alargados que pueden representar geometría de plegamiento por propagación de falla con deformaciones suaves, formando terrazas estructurales y pequeños anticlinales hacia la Planicie Costera del Golfo.

4 GEOLOGÍA

La historia geológica de la zona está definida por eventos de origen ígneo intrusivo y sedimentario, que van desde el Jurásico hasta el Reciente. De esta forma, la Cuenca Tampico-Misantla, elemento paleo-geográfico al que pertenece la zona, presenta a profundidad Lechos Rojos y conglomerados del Triásico y Jurásico, que dieron origen a las Formaciones Huizachal y La Joya, unidades que integran el denominado "Complejo Basal". Le sobreycen las rocas calcáreas del Cretácico Inferior, carbonatos y terrígenos del Cretácico Superior, así como sedimentos marinos clásticos del Paleógeno-Neógeno y depósitos continentales del Cuaternario (figura 2).

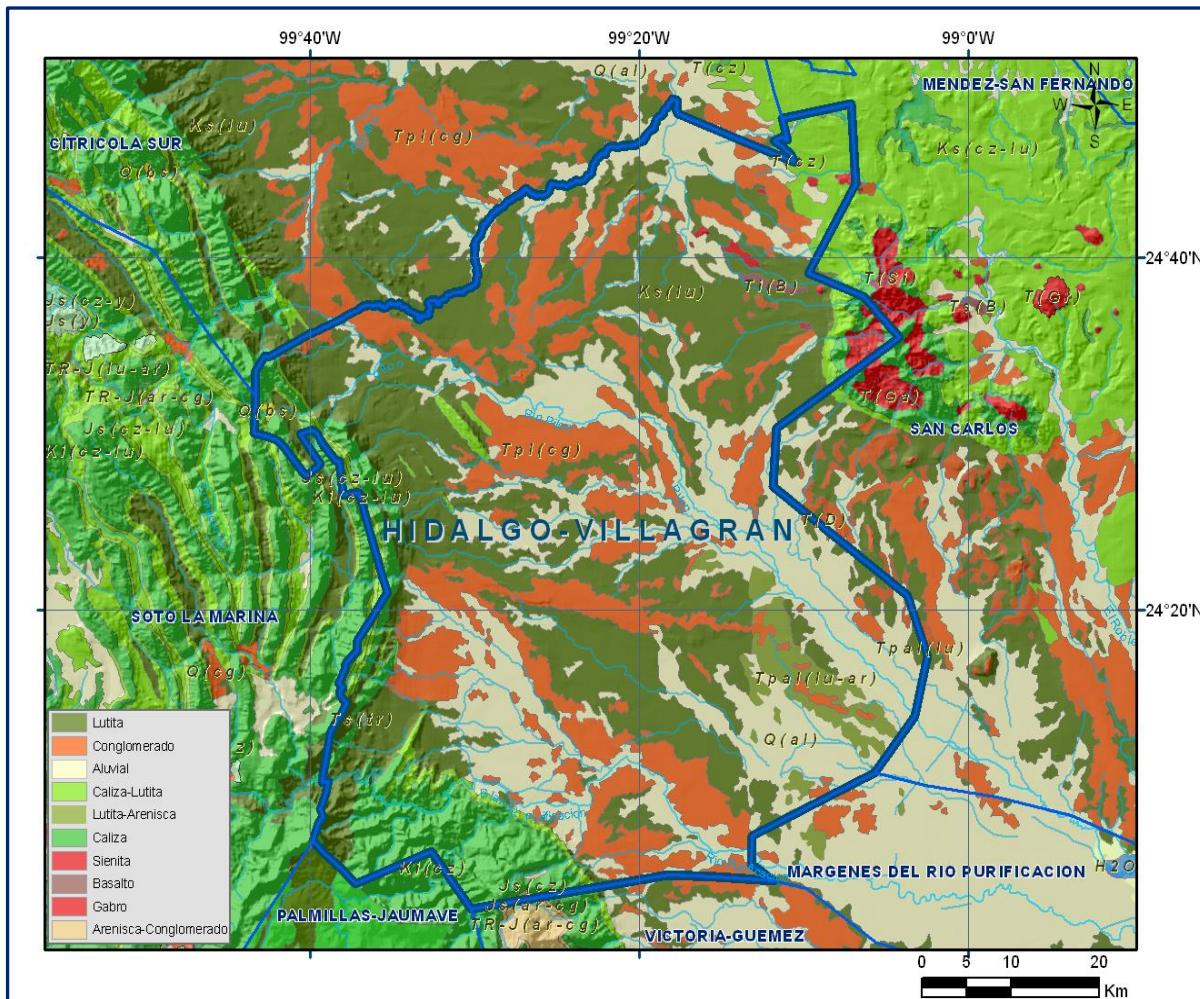


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En la región afloran rocas que varían en edad y litología: los Lechos Rojos del Triásico y los carbonatos del Jurásico Superior, que integran el “Complejo Basal”. Sobre este complejo se encuentran las rocas calcáreas del Cretácico Inferior y carbonatos y terrígenos del Cretácico Superior; sedimentos marinos clásticos del Paleógeno-Neógeno y depósitos continentales del Cuaternario. A continuación, se describe la secuencia estratigráfica presente en el área, de la unidad más antigua a la más reciente.

Triásico – Jurásico

Esta unidad está formada por una secuencia de Lechos Rojos (Ts Lr) en la que se encuentran areniscas conglomeráticas, limolitas y algunos horizontes de lutitas en estratos delgados, medianos, gruesos y masivos. Algunas areniscas presentan estratificación cruzada. Los conglomerados presentan una matriz arcillo-arenosa y fragmentos de cuarzo, de gneis y de rocas ígneas. La secuencia en cuestión representa a la Formación Huizachal (Ts Hu), misma a la que se le ha asignado un espesor de 2000 m.

Jurásico Superior Formación Zuloaga (TJ Zu)

Está constituida por calizas en estratos delgados, medianos y gruesos, con presencia de un conglomerado basal de clásticos de arenisca y fragmentos de rocas ígneas dentro de una matriz areno-arcillosa. Presenta un espesor aproximado de 400 m y aflora en el área de Huizachal-Peregrina.

Formación La Casita (Js Ca)

Descansando sobre la unidad anterior se presenta un espesor que varía entre 70 y 90 m de estratos delgados y medianos de areniscas calcáreas, calizas arcillosas con nódulos y lentes de pedernal, margas arenosas y calizas arcillo-arenosas; algunas de sus areniscas presentan estratificación cruzada.

Cretácico Inferior Formación Taraises (Ki Ta)

Se encuentra formada por calizas criptocristalinas, en capas de espesor medio con estilolitas mal desarrolladas y paralelas al plano de estratificación; las capas de caliza alternan con delgados estratos de lutitas. Al N y SW del valle de Huizachal, se midió un espesor promedio de 26 m; en el cañón de Peregrina es de 55 m de espesor y en el Cañón del Rosario el grosor de la misma formación varía entre 50 y 60 m. El contacto entre la Formación Taraises y La Casita es concordante y con la Tamaulipas Inferior, que le sobre yace, es transicional concordante.

Formación Tamaulipas, (Ki Tm)

Está constituida por calizas criptocristalinas en estratos gruesos, con estilolitas paralelas a los planos de estratificación y nódulos esferoidales y elipsoidales de pedernal; alternando con las calizas anteriores, en ocasiones se observan algunos horizontes de calizas microcristalinas. El espesor de esta formación tiene 214 m, en capas que varían de 10 cm a más de 2 m, se observan horizontes de calizas dolomitizadas que varían de unos centímetros hasta dos metros.

Formación Tamaulipas Inferior (Khap cz-lu)

Consiste de calizas de estratificación mediana a gruesa de color gris claro y gris oscuro con nódulos de pedernal y presencia de dolomitización en su porción basal. Se encuentra aflorando sobre los cañones de Juan Capitán, Ojo Caliente y el Novillo, que cortan la Sierra Madre Oriental, donde está constituida por calizas y dolomitas de color gris a gris oscuro, en estratos que varían de unos centímetros a dos metros de espesor, con pequeños horizontes de óxido de hierro interestratificados.

Formación Tamaulipas Superior (Kace cz)

Sección de calizas criptocristalinas de estratificación media con lentes de pedernal.

Formación Otates, (Ki Ot)

Su localidad tipo se encuentra en el cañón de los Otates, ubicado sobre el flanco occidental de la Sierra de Tamaulipas. Inicialmente se consideró como "horizonte" y posteriormente fue elevado al rango de Formación, debido a su amplia extensión e importancia, conforme a la magnitud del evento geológico-sedimentológico que representa. Está constituida por calizas arcillosas de estructura laminar ligeramente carbonosas de color gris oscuro, su espesor se estima de 6 a 13 m.

Formación Cuesta del Cura (Ki Cu)

Constituida por calizas criptocristalinas en capas de espesor medio que alternan con estratos de espesor delgado a medio de margas laminadas; ambas rocas contienen abundantes lentes y bandas delgadas de pedernal negro. Hacia su cima muestra algunas capas de bentonita. Su espesor promedio es de 150 m y subyace discordantemente a los sedimentos de la Formación Agua Nueva.

Esta formación se presenta como una alternancia de calizas densas y calizas arcillosas con intercalaciones de lutitas calcáreas con bandas y lentes de pedernal negro, en una estratificación ondulante y formando estructuras de "boudinage".

Sus contactos son concordantes y transicionales, subyaciendo a la Formación Agua Nueva y sobreyciendo al miembro inferior de la Formación Tamaulipas Superior. Sus exposiciones se presentan sobre los cañones de la Sierra de Tamaulipas, como el del Moro.

Cretácico Superior

Formación Agua Nueva (Kcet cz-lu)

Consiste de calizas criptocristalinas, calizas arcillosas y calizas arcillo-carbonosas, en capas de espesor delgado a medio que alternan con lutitas en capas de potencia parecida a la de las calizas. En la porción inferior de la formación, las calizas contienen abundantes nódulos de pedernal negro y hematita; casi en el contacto con la Cuesta del Cura se observan capas delgadas de bentonita.

Su contacto es concordante y transicional con la Formación Cuesta del Cura, sobre la que descansa. Se le observa sobre el flanco oriental de la Sierra Madre Oriental, en los flancos del Anticlinorio Huizachal-Peregrina y en el flanco poniente de la sierra de Tamaulipas.

Formación San Felipe (Kcoss lu-cz)

Es una secuencia rítmica de calizas criptocristalinas y calizas arcillosas, dispuestas en estratos de espesor delgado a medio, que alternan con estratos de lutitas bentoníticas y calcáreas. Su localidad tipo se localiza en la ranchería de San Felipe, S.L.P., 6 km al este de Cd. Valles. Los sedimentos de esta formación se encuentran descansando sobre la Formación Agua Nueva y su espesor promedio es de 210 m.

Formación Méndez (Kcm lu-mg)

Corresponde a una serie de intercalaciones de lutitas calcáreas de colores gris azuloso y café con fractura nodular, intercaladas con margas, en capas que varían de 5 cm a más de 2 m de espesor, las cuales en ocasiones alternan con estratos delgados de bentonita. Se le estima una potencia de 550 m. Se encuentra descansando concordantemente, de manera transicional, sobre la Formación San Felipe.

Paleógeno-Neógeno (Formación Velasco, (Ti Ve)

Unidad formada por lutitas calcáreas intercaladas con margas y areniscas calcáreas. La unidad presenta concreciones calcáreas de formas caprichosas hasta de 20 cm de diámetro.

Rocas Intrusivas del Oligoceno-Mioceno (Tm Gd-D, Tm Gd-Si)

Rocas intrusivas generadas durante el Paleógeno, de composición variable, desde el gábrico hasta la granodiorita. De esta forma, pueden coexistir granodioritas y dioritas (Tm Gd-D) hasta granodioritas con sienitas (Tm Gd-Si).

Conglomerados del Plioceno (Tpl Cgp)

Corresponde a conglomerados en estratos masivos constituidos por clásticos de caliza, caliza arcillosa, pedernal, calcedonia y cuarcita, en tamaños que varían desde las gravas hasta las arenas, cementados por carbonatos en matriz calcáreo-arcillosa. Se encuentra expuesta formando terrazas, en ocasiones, cubierta por una capa delgada de caliche. Se ha asignado a estos depósitos con diversas edades (desde el Eoceno hasta el Plioceno y Pleistoceno); sin embargo, la falta de una definición y delimitación claras sólo permite asignarle una edad relativa correspondiente al Pleistoceno Temprano.

Cuaternario

Pleistoceno, (Cpli Cg)

Conglomerados en estratos masivos constituidos por clastos de caliza, caliza arcillosa, pedernal, calcedonia y cuarcita. Presentan matriz arenosa ocasionalmente con arcilla; están cementados por carbonatos. Los fragmentos tienen tamaños que cubren un amplio rango granulométrico. El grado de cementación varía desde pobremente cementados hasta bien cementados; se encuentran expuestos formando terrazas, en ocasiones, cubiertos por una capa delgada de caliche.

Se ha asignado a estos depósitos que afloran en la Planicie Costera con diversas edades (desde el Eoceno, Plioceno y Pleistoceno) y correlacionado con las gravas cementadas con caliche de la Formación Reynosa; sin embargo, debido a la falta de una definición y delimitación claras, así como por su correlación probable con la "Formación Reynosa", diversos autores prefieren el término Conglomerados del Cuaternario asignándole una edad relativa del Pleistoceno Temprano; mientras se aclara su edad absoluta.

Holoceno Reciente

Depósitos Aluviales y Fluviales

El aluvión está constituido por un conjunto de materiales clásticos que varían desde gravas hasta arcillas; forman depósitos lenticulares con alto grado de heterogeneidad, tanto lateral como vertical, debido a las posiciones sucesivas de las principales corrientes superficiales.

Estos materiales descansan indistintamente sobre las rocas más viejas, su espesor es variable, desde unos cuantos metros hasta un máximo de 36 m en el Valle del río Purificación.

Los depósitos fluviales holocénicos están constituidos por gravas, arenas y limos, presentan poco espesor y se ubican predominantemente hacia los cauces principales; aunque en algunas zonas se encuentran en los paleocauces de las antiguas corrientes.

Rocas ígneas

Dioritas: Dentro de la zona, se encuentran algunos afloramientos de rocas ígneas intrusivas (dioritas) de probable edad Paleógeno-Neógena, se ubican en al noreste del anticinal Huizachal-Peregrina y al norte del poblado Camacho Nuevo, en la margen derecha del río Purificación.

Basalto: Unidad constituida por basaltos de olivino. Presentan estructura vesicular y amigdaloides con relleno de calcita; se les puede encontrar desde inalterados hasta muy intemperizados. Los derrames se encuentran localizados en el valle de Ciudad Victoria, que descansan sobre los conglomerados cuaternarios.

4.2 Geología estructural

Al iniciarse el Paleógeno los movimientos provocados por la Orogenia Laramide, pliegan los sedimentos cretácicos, causando pliegues recostados; derivando fallas inversas que en ocasiones ponen en contacto rocas del Cretácico Inferior (Formación Cupido) con rocas del Cretácico Superior (Formación Agua Nueva).

Los movimientos tectónicos del Cretácico Tardío, pliegan y emergen estructuras anticlinales y sinclinales de las rocas sedimentarias del área, tanto cretácicas como paleógenas, anteriores al Oligoceno, con orientación noroeste-sureste.

En la Sierra Madre Oriental, los plegamientos se presentan muy cerrados, algunos recubiertos hacia el noreste, desplazados por una falla inversa frontal. Por otra parte, las rocas del Paleógeno-Neógeno presentan una inclinación suave al oriente, generada por un sistema de fallas normales con bloque caído, por lo general al este. Durante el Paleógeno se depositaron en toda la región sedimentos terrígenos, - Conglomerado Reynosa-, provenientes de la porción occidental de México, que sufrió anomalías al principio de esta época y un posterior levantamiento.

4.3 Geología del subsuelo

La interpretación de la geología del subsuelo de la zona que ocupa el acuífero quedó limitada por falta de información de cortes litológicos y registros eléctricos de pozos, así como de estudios geofísicos realizados con anterioridad. Sin embargo, de la estratigrafía de la región se infiere que el espesor de los depósitos que rellenan los valles es muy variable, pudiendo alcanzar un valor máximo de 60 m.

La mayor parte del espesor de relleno es ocupado por el Conglomerado Reynosa, los Depósitos Aluviales en general tienen poco espesor. Por otra parte, en función de las características de los sistemas de fracturamiento que existen en la zona y la presencia de pliegues isoclinales ligeramente recostados, se deduce que la presencia de fracturamiento en la Formación Méndez puede alcanzar una profundidad de hasta de 70 m.

En la figura 3, se presenta una sección esquemática de la zona, donde se puede observar que parte de las formaciones arcillosas no fracturadas constituyen el basamento de la región, lateralmente el flujo subterráneo es controlado por la presencia de altos topográficos hacia sus extremos oriental y occidental de donde desciende el agua subterránea hacia la parte central del valle, donde predomina la secuencia arcillosa.

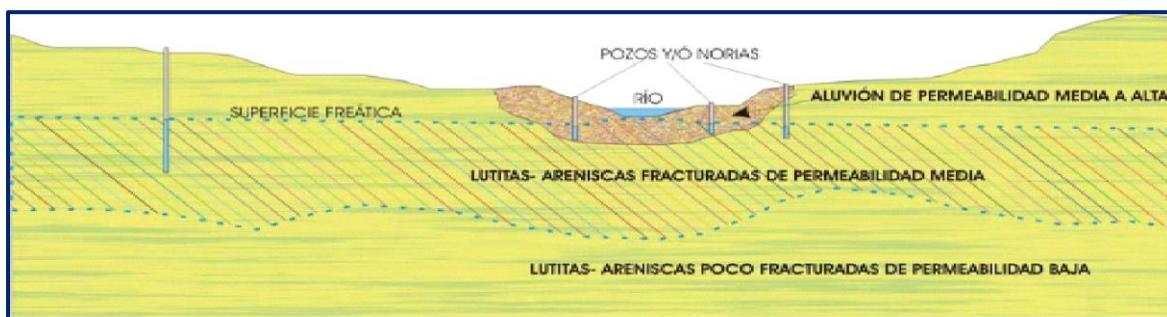


Figura 3. Sección Hidrogeológica

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo **libre** en su mayor extensión, mostrando condiciones locales de semiconfinamiento en la porción noroeste. Con base en los registros geológicos de pozos, el acuífero se encuentra alojado principalmente en rocas sedimentarias arcillosas intercaladas con carbonatos débilmente cementados (lutitas-margas), generadas durante el Cretácico.

En menor proporción, por materiales sedimentarios (conglomerados y arenas) formados durante el Neógeno y Holoceno correspondiente a depósitos aluviales y al conglomerado Reynosa, que rellenan el valle. La cima fracturada y alterada de la Formación Méndez que subyace a los depósitos de relleno, también forma parte del acuífero que se extiende en el valle.

La litología de la Formación Méndez constituida esencialmente por lutitas y margas, le confiere baja permeabilidad, la cual es notablemente aumentada en las zonas en donde se presentan sistemas de fallas y fracturas. La permeabilidad secundaria de esta formación, es frecuente en toda la unidad, siendo mayor en las zonas en donde las fracturas se concentran. Forma parte del acuífero en las porciones bajas y capta una parte del agua de lluvia que se precipita sobre sus afloramientos.

5.2 Parámetros hidráulicos

En el estudio de Consorcio de Ingeniería Mexicana (2001) se reporta un valor promedio de la transmisividad igual a **$5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** en los límites con el Acuífero Citrícola Sur, obtenido de pruebas de bombeo. Así mismo, se reportan valores de transmisividad que varían entre **0.03×10^{-3} y $13.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , obtenidos de pruebas de bombeo. Se debe señalar que durante las pruebas se observaron abatimientos del nivel estático de 5 a 6 m en un periodo de 12 horas. Los valores de la transmisividad reportados, revelan que se trata de un acuífero de capacidad transmisora de media a baja, derivada de la baja permeabilidad y poco espesor de los materiales granulares y aluviales que lo constituyen. Debido a que las pruebas de bombeo no contaron con pozo de observación, no fue posible la estimación del coeficiente de almacenamiento.

Con base en la estratigrafía de la zona, se estima que para tiempos largos el acuífero se comporta como libre en los depósitos aluviales del relleno del valle; por tanto, su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico, que puede variar en el rango de 0.1 a 0.2, dependiendo de la granulometría de los materiales.

El acuífero en las lutitas fracturadas de la Formación Méndez es semiconfinado, por lo que el coeficiente de almacenamiento puede variar entre **0.0001 y 0.005**.

5.3 Piezometría

Para la descripción del comportamiento del los niveles del agua subterránea, se referirán las configuraciones del 2005.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En el año 2005 se midieron las profundidades al nivel estático en 103 aprovechamientos. Los resultados obtenidos muestran que la profundidad del agua subterránea varía en el acuífero desde niveles someros hasta los 23 m (figura 4), la cual es controlada fundamentalmente por la configuración topográfica y por la formación de conos de abatimiento causados por la concentración del bombeo.

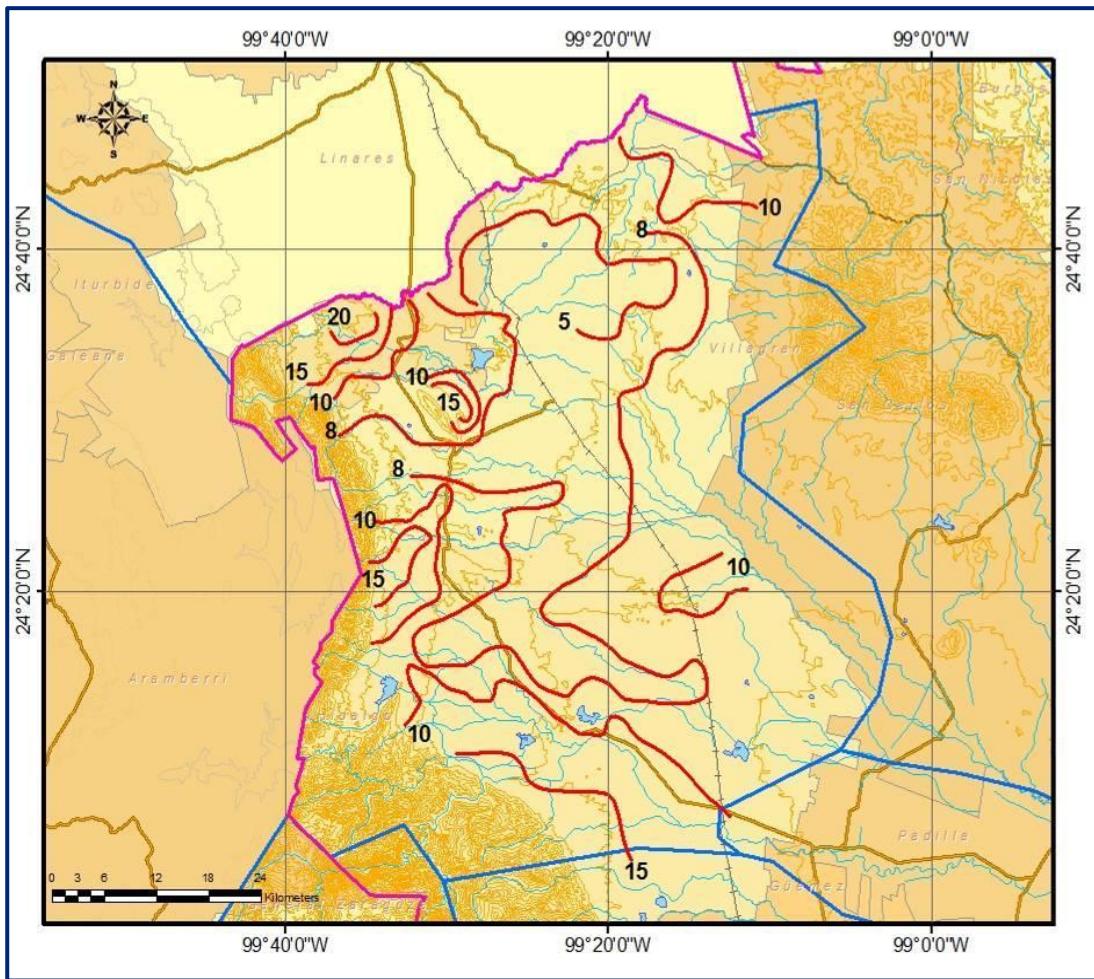


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m), 2005

Por otra parte, en la porción septentrional del valle, se registran valores entre 0.5 y 16.0 m de profundidad, con una tendencia creciente hacia el oriente donde se encuentra el poblado Las Margaritas. Hacia la parte central del valle se aprecian profundidades máximas de 17 m en las inmediaciones de la presa Alberto Carrera Torres, definiendo una depresión que cubre más de la mitad de la parte central del valle, mientras que hacia la zona oriental la profundidad se encuentra a 1 m.

Al occidente del poblado Hidalgo y la presa Guadalupe Victoria se identificaron profundidades máximas de 15 m y profundidades mínimas de 4 en el poblado Barbosa.

En la porción más meridional del valle, donde se localiza el poblado Ejido Vicente Guerrero, los valores de profundidad se encuentran a 19 m, disminuyendo con dirección sur hasta alcanzar el poblado Redención del Campesino, hasta escasos metros del río Las Charquerias, manifestándose las curvas de igual profundidad de forma casi paralela al trazo de dicha corriente.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración del flujo del agua subterránea correspondiente al mes de septiembre del 2005, se ilustran en la figura 5, en ella se puede observar que en la porción occidental del valle, las elevaciones varían entre 450 y 500 msnm; mostrando de forma general un decremento de la vertiente oriental de la Sierra Madre hacia el valle. Las mayores cargas hidráulicas identificadas se localizan en las proximidades del poblado de Villagrán con valores de 390 y 380 msnm.

Este rango de valores continúa de forma paralela al trazo de la Sierra Madre Oriental, cubriendo parte de los poblados de Miguel Hidalgo, Mariano Escobedo, San Antonio e Independencia.

Regionalmente, se puede observar que las líneas equipotenciales se presentan de forma semi paralela a la región montañosa, manifestando claramente que la zona de recarga del acuífero proviene básicamente de la porción occidental del valle donde se encuentra la Sierra Madre Oriental.

Presentando variaciones en sus gradientes hidráulicos de 0.016, en las inmediaciones del poblado Independencia, al sur de la Sierra Madre Oriental, a 0.008 en la zona definida por los poblados Villa Mainero a Los Magueyes y de 0.02 al poniente de Villagrán.

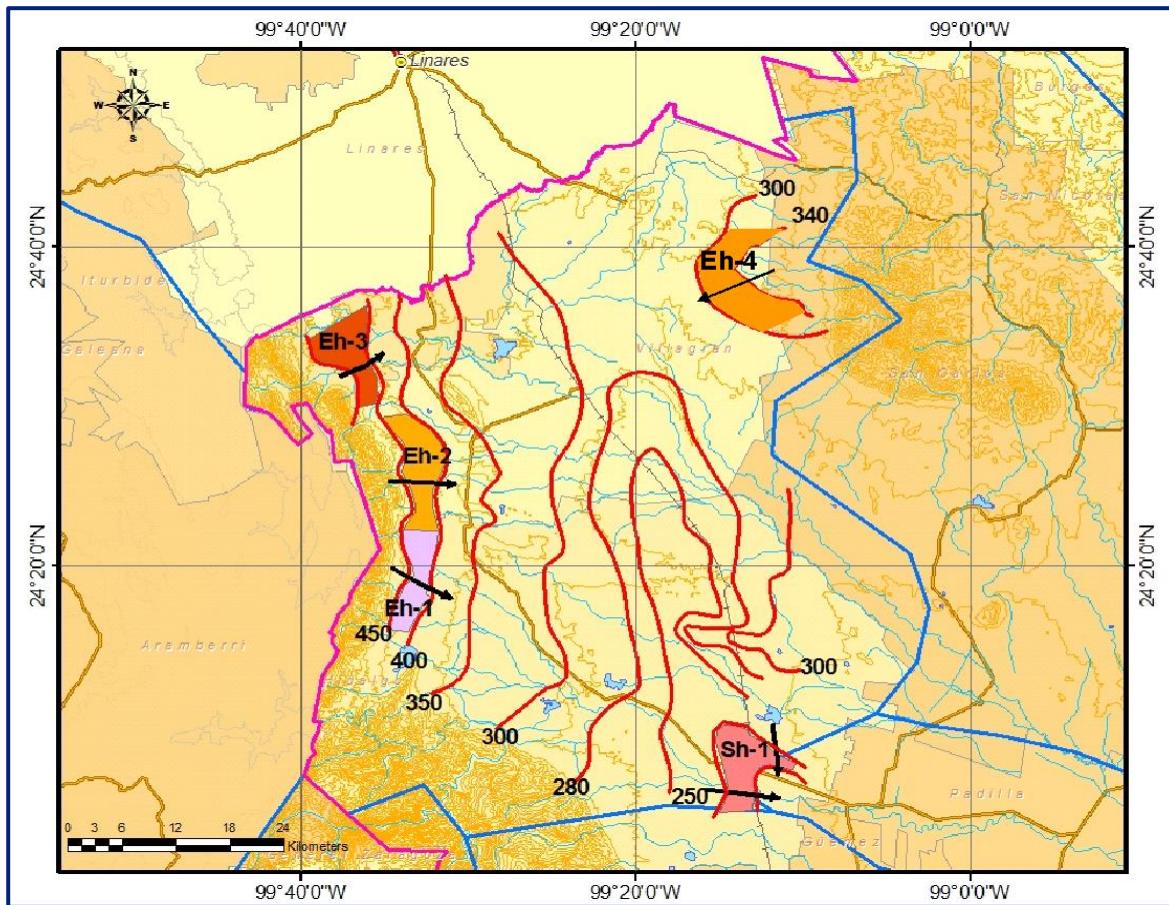


Figura 5. Elevación del nivel estático (msnm), 2005

A partir del área definida por los poblados Garza Valdez y Santa Rosa, las curvas equipotenciales tienden a descender hacia el sur hasta alcanzar la presa El Sauz, donde se presentan cargas hidráulicas de 200 msnm, en el límite meridional del acuífero. En esta zona se ha calculado un gradiente hidráulico promedio de 0.003, sin embargo, existe una zona delimitada por los poblados Carrizos y Puerto del Aire, donde se aprecia una disminución considerable del gradiente hasta 0.001.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No se cuenta con información hidrogeoquímica reciente derivada de análisis fisicoquímicos de muestras de agua subterránea. En cuanto a la calidad el agua subterránea, definida en función de la concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD), durante la piezometría realizada en el año 2005, se tomaron lecturas in situ para su determinación. Con base en ella se pudo determinar que, de manera general, la concentración de STD no rebasa las 1000 ppm que establecen la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. Localmente se registran valores superiores que reflejan la influencia de focos puntuales de contaminación.

El incremento en la concentración de STD se registra de las partes topográficamente más altas hacia la planicie, en dirección de los cuerpos superficiales de agua, evidenciando de esta manera la trayectoria preferencial del flujo subterráneo.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo realizado en el 2005, el número de aprovechamientos visitados, fue de 103; de estos, 79 son pozos y 24 norias; 98 de ellos se encuentran activos y los restantes 5 se reportaron como inactivos.

En cuanto a los usos, 56 aprovechamientos se utilizan para uso público-urbano, 18 para doméstico, 17 para uso pecuario y 5 para agrícola. De los seis restantes, dos no se usan y 4 más sin datos de uso. Un gran porcentaje de los aprovechamientos presentan bombas sumergibles con diámetros de succión y descarga de 2 y 2 ½ pulgadas. En este sentido no se cuenta con información del volumen de extracción de los aprovechamientos visitados, ni tiempo de operación por lo que carece de información confiable que permita estimar un volumen de extracción. Se considera que el valor de la extracción es muy similar al volumen total que el Registro Público de Derechos del Agua de la CONAGUA tiene actualmente inscrito en este acuífero. Su valor, con fecha de corte al 30 de junio de 2008 es de **18.1 hm³ anuales**.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea, se planteó para una superficie 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:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio en almacenamiento } \Delta V(S)$$

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 del acuífero:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (Rv) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, así como las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

$$Eh + Rv + Ri - B - Sh - ETR - Dm = \pm \Delta V(S)$$

Donde:

Eh: Recarga por flujo horizontal subterráneo

Rv: Recarga vertical

Ri: Recarga inducida

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo horizontal subterráneo

ETR: Evapotranspiración

Dm: Descargas a través de manantiales

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

De esta manera:

$$Rv = Sh + B + ETR + Dm \pm \Delta V(S) - Eh - Ri$$

7.1.2 Recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación localizada en la planicie.

Las entradas al acuífero, tienen su origen en las zonas de recarga localizadas en las sierras que rodean al valle.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy (tabla 2), partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2006 (figuras 5) mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

Dónde:

Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;

T = transmisividad;

B = ancho de la celda;

i = gradiente hidráulico

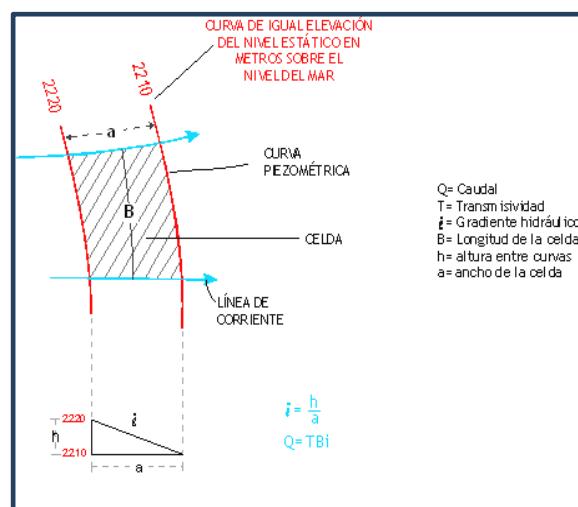


Tabla 2. Cálculo de las entradas horizontales subterráneas

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradient e i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUME N (hm ³ /año)
E1	7300	4167	50	0.012	0.003	0.2628	8.3
E2	6500	5556	50	0.009	0.003	0.1755	5.5
E3	5000	5556	50	0.009	0.003	0.1350	4.3
E4	9600	6667	40	0.006	0.003	0.1728	5.4
TOTAL							23.5

Donde: T = transmisividad; i = gradiente hidráulico; B = ancho de flujo; Q = gasto.

Al elevar el valor obtenido (0.746 m³/s), a un año resulta que el acuífero recibe una aportación por flujo subterráneo de **23.5 hm³**.

7.1.3 Recarga inducida (R_i)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración que se producen por concepto de los excedentes del agua utilizada para el riego en las zonas agrícolas, principalmente, ya que el volumen destinado al uso público-urbano es muy pequeño y por lo tanto el volumen de las fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado es muy bajo en comparación con los retornos del riego.

Aún en sistemas de riego eficientes, un cierto volumen del agua aplicada no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. De acuerdo a los materiales que se tienen en la zona, se trata de lutitas y aluviones con gran contenido de arcillas, para los que consideramos un coeficiente de infiltración de un 2 %.

Para este caso particular, considerando que para el uso agrícola se utiliza un volumen de 199.4 hm³ anuales (13.0 de aguas subterráneas y 186.4 de aguas superficiales provenientes de la presa Pedro José Méndez y La Escondida) y un % y un coeficiente de infiltración del 2 % como recarga efectiva, el valor de la recarga por retornos del riego se estima en **4.0 hm³ anuales**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas (Sh), evapotranspiración (ETR) y descargas naturales a través de manantiales (Dm).

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

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 sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración.

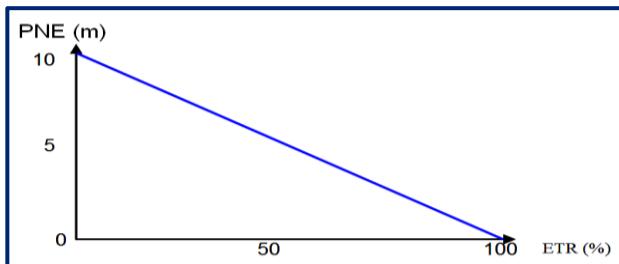
En la porción central del área de balance se presenta una zona de niveles freáticos someros, inferiores a los 10 m que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas. Se aplicó la fórmula de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración real es de 894.2 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 28.2° C y precipitación promedio anual de 935 mm.

Fórmula de Turc:	$ETR \text{ (mm)} = \frac{P \text{ (mm)}}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2 \text{ (mm)}}{L^2} \right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$
	$T \text{ (°C)} = 28.2$
	$P \text{ (mm)} = 935$
	$L = 2126.2884$
	$P^2 = 874225$
	$L^2 = 4521102.36$
	$ETR \text{ (mm)} = 894.2$

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR.

Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



El resultado de este proceso se presenta en la tabla 3, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de **15.9 hm³ anuales**.

Tabla 3. Cálculo de la Evapotranspiración

RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	ÁREA (km ²)	LÁMINA ETR (m)	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EXTINCIÓN DE LA ETR	% ETR	VOLUMEN ETR (hm ³ /año)
0	5	19.5	0.8940	0	0.5	8.7
0	8	40.0	0.8940	0	0.2	7.2
	Total	59.5				15.9

7.2.2 Bombeo (B)

En el apartado de censo y piezometría se mencionó que en el estudio más reciente de la zona se recorrieron 103 aprovechamientos, sin embargo, no se realizaron mediciones hidrométricas de los aprovechamientos, por lo que se carece de información confiable que permita realizar una estimación del volumen extraído. En este sentido, considerando que dentro de los registros del REPDA se tiene un número de aprovechamientos, se optó por tomar el valor reportado de extracción con corte al 30 de junio de 2008, que asciende a **18.1 hm³/año**.

7.2.3 Salidas por flujo horizontal subterráneo (Sh)

El volumen de las salidas por flujo subterráneo se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, utilizando la configuración de elevación del nivel estático para el año 2006 (figura 6), aplicando la ley de Darcy a las secciones de salida, localizadas al sur, como lo demuestran las curvas equipotenciales (tabla 4). El cálculo arroja un caudal de 0.084 m³/s, cifra que representa un volumen de **2.6 hm³ anuales**.

Tabla 4. Cálculo de las salidas horizontales subterráneas

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradient e i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUME N (hm ³ /año)
S1	4200	12700	50	0.004	0.0050	0.0827	2.6
TOTAL							2.607

7.2.4 Descargas a través de manantiales (Dm)

La descarga del acuífero a través de los manantiales “Ojo de Agua” y “San Antonio”, localizados al nor-noroeste de la cabecera municipal de Hidalgo, con un caudal estimado de 50 l/s cada uno. Por lo tanto, el volumen de descarga de éstos asciende a un volumen de **3.1 hm³/año**.

7.3 Cambio de Almacenamiento $\Delta V(S)$

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los escasos registros existentes se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento. Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento se considera nulo; es decir, **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución de la ecuación de balance

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

$$\begin{aligned} Rv &= Sh + B + ETR + Dm - \Delta V(S) - Eh - Ri \\ Rv &= 2.6 + 18.1 + 15.9 + 3.1 - 0 - 23.5 - 4.0 \\ Rv &= 12.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

De esta manera la recarga total media anual:

$$\begin{aligned} R &= Rv + Eh + Ri \\ R &= 12.2 + 23.5 + 4.0 \\ R &= 39.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso, su valor es de **39.7 hm^{3/año}**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para este caso, su valor es de **5.7 hm³ anuales**, que corresponde a las salidas subterráneas que presenta el acuífero.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **36,389,939 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\mathbf{DMA = R - DNC - VEAS}$$

$$\mathbf{DMA = 39.7 - 5.7 - 36.389939}$$

$$\mathbf{DMA = -2.389939 \text{ hm}^3/\text{año}.}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,389,939 m³ anuales**

9 BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2001. Estudio Geohidrológico del Acuífero Victoria-Güémez, Estado de Tamaulipas; realizado por la empresa Consorcio de Ingeniería Mexicana, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2004. Actualización de Mediciones Piezométricas del Acuífero Zona Sur, Edo. de Tamaulipas; realizado por la empresa Servicios Integrados de Ingeniería, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2006. Actualización de Mediciones Piezométricas del Acuífero Hidalgo- Villagrán, Tamaulipas, realizado por la Compañía Geofísica y Perforaciones del Medio Ambiente

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1992, Síntesis Geográfica del Estado de Tamaulipas.