



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO RIO PURIFICACIÓN (2806), ESTADO
DE TAMAULIPAS**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES	2
1.	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	FISIOGRAFÍA	5
2.1	Provincia fisiográfica.....	5
2.2	Clima.....	6
2.3	Hidrografía.....	7
3	GEOLOGÍA	8
3.1	Estratigrafía.....	8
3.2	Geofísica.....	10
4	HIDROGEOLOGÍA	11
4.1	Piezometría.....	11
4.1.1	Evolución.....	11
4.1.2	Pruebas de bombeo.....	12
4.2	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	13
5	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	14
6	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	15
6.1	Salidas.....	16
6.1.1	Descargas a corrientes superficiales (Dcs).....	16
6.1.2	Descarga por manantiales (Dm).....	16
6.1.3	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	16
6.1.4	Evapotranspiración (ETR).....	17
6.1.5	Bombeo (b).....	18
6.2	Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	18
7	DISPONIBILIDAD	19
7.1	Recarga total media anual (R).....	20
7.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	20
7.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	20
7.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	21
8	BIBLIOGRAFÍA	22

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 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 Márgenes del Río Purificación definido con la clave 2806 por la Comisión Nacional del Agua, se encuentra localizado en la porción central del estado de Tamaulipas, a 40 km al norte de Ciudad Victoria, Tamaulipas, cubriendo una superficie aproximada de 645.09 km²(figura 1) Físicamente sus límites quedan establecidos al oriente con la presa Vicente Guerrero; el límite norte se establece con la barrera impermeable de rocas arcillosas de la Formación Méndez, la cual se manifiesta casi paralela a la carretera N° 60 que une a las poblaciones del Barretal y Nuevo Padilla con una separación aproximada de 10 km; Al occidente la Sierra Madre Oriental y

Finalmente del lado sur queda representado su límite por la barrera impermeable de rocas arcillosas de la Formación Méndez, misma que se manifiesta a una distancia promedio de 5 km de la carretera N° 60 Barretal - Nuevo Padilla

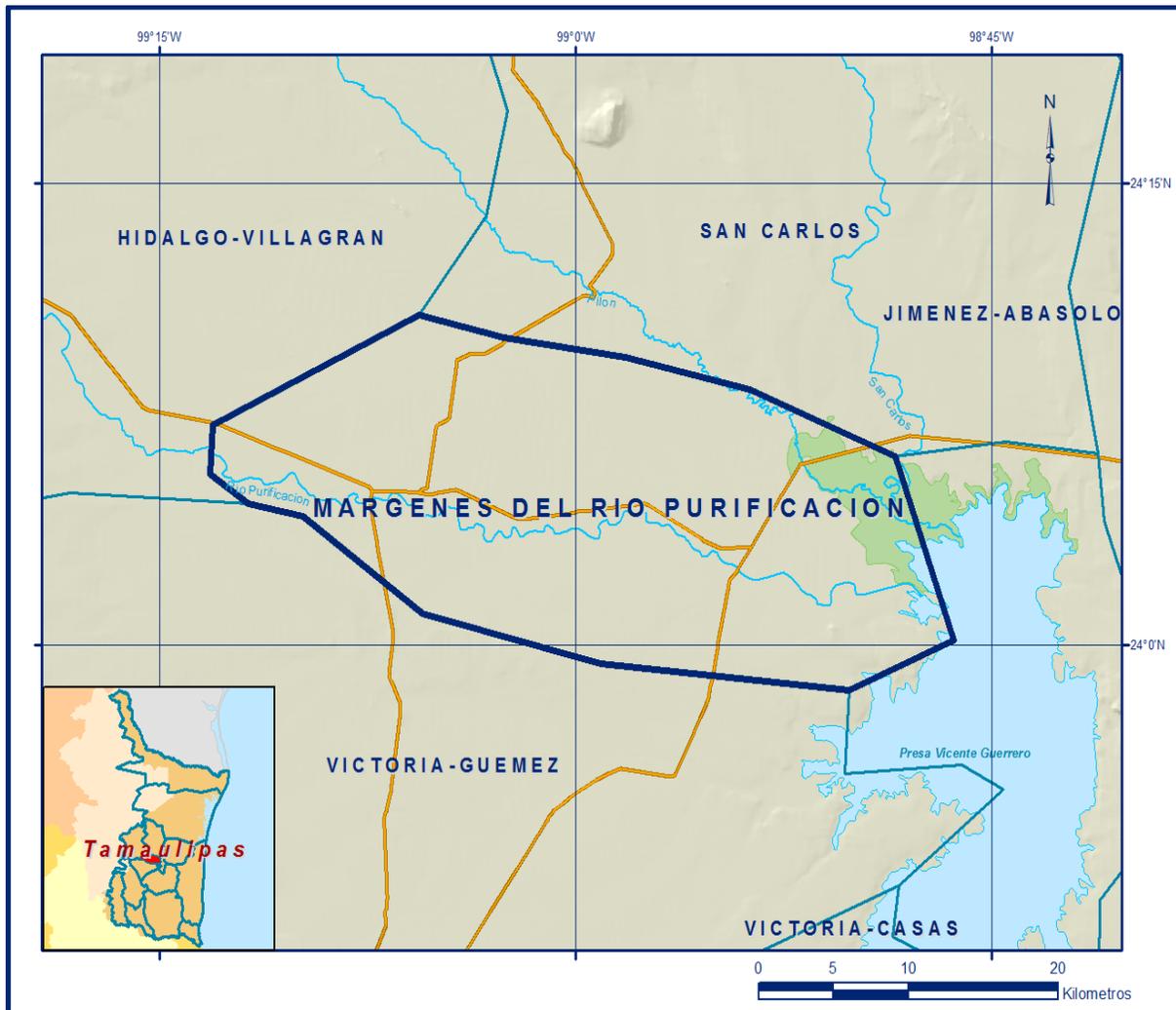


Figura 1. Localización del acuífero

Las vías de comunicación más importantes en la zona son: la carretera federal N° 85 Ciudad Victoria - Monterrey que cruza el área en su parte occidental a la altura del poblado Barretal, y la carretera federal N° 101 que comunica a Ciudad Victoria con la ciudad de Matamoros, Tamps., pasando por Nuevo Padilla. Dentro del área de estudio existe la carretera estatal N° 60 que comunica al Barretal con Nuevo Padilla, con una longitud de 38 km, además de numerosos caminos transitables durante todo el año.

Otra vía importante lo constituye el F.F.C.C. Tampico - Monterrey, que pasa en el extremo occidental de la zona de estudio junto a Estación Cruz. El acuífero se ubica en el municipio de Padilla (030) y parte de los municipios Hidalgo (016) y Güemez (013). Las poblaciones más importantes dentro de esta zona son: el Barretal y Nuevo Padilla, existiendo además numerosas comunidades de menor importancia como son: El Carmen, Cruz y Carmen, Cerrito Nuevo, Marte R. Gómez, La San Juana, El Tablero, Campoamor, San Patricio, Plan de Ayala por mencionar algunas.

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 de la poligonal simplificada del acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	98	50	7.7	23	58	32.8
2	98	59	5.9	23	59	24.5
3	99	5	31.5	24	1	2.4
4	99	9	49.0	24	4	10.9
5	99	11	48.7	24	4	36.1
6	99	13	10.8	24	5	33.9
7	99	13	5.9	24	7	8.8
8	99	5	38.3	24	10	43.6
9	99	2	35.8	24	9	59.7
10	98	58	13.3	24	9	20.9
11	98	53	43.3	24	8	17.5
12	98	48	28.2	24	6	8.8
13	98	46	22.5	24	0	10.5
1	98	50	7.7	23	58	32.8

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Márgenes del Río Purificación pertenece al Organismo de Cuenca IX "Golfo Norte".

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

Actualmente se tiene veda de control para el aprovechamiento de agua del subsuelo desde el año de 1963, mediante decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación de fecha 01 de diciembre de 1963, que señalan que por causa de interés público y para protección de los mantos acuíferos se establece veda por tiempo indefinido, dentro de los municipios de Mainero, Villagran, San Carlos, Hidalgo, Padilla, Guemez; y parte de los municipios de Victoria, Jaumave y Llera.

Dentro de los decretos de reserva o reglamento no existe antecedente de alguna publicación en el Diario Oficial de la Federación, existiendo únicamente a nivel de propuesta ya que en esta zona se tiene una gran concentración de pozos de uso agrícola, y el espesor del acuífero es muy reducido no sobrepasando los 40 m.

A la fecha no existe organización alguna por parte de los usuarios para regular la extracción de aguas subterráneas.

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

El área de estudio queda comprendida en la provincia fisiográfica denominada Llanura Costera del Golfo de México, dentro de las subprovincias Llanuras y Lomeríos, pero que de forma particular queda situada en la subprovincia de la cuenca del Río Purificación (Ing. Manuel Alvarez).

La Llanura Costera del Golfo de México, se caracteriza por ser una superficie suavemente ondulada con pendiente general hacia el oriente. Esta llanura sufrió un rejuvenecimiento por una elevación del continente con relación al mar con el consecuente corte de corrientes y erosión, formándose valles de orientación general norte-sur y dejando remanentes de la antigua planicie entre ellos.

Estos valles quedan interrumpidos por una sierra paralela a la orientación general a la Sierra Madre Oriental con orientación de noreste a sureste formada por un plegamiento anticlinal suave de rocas del Cretácico Superior más resistentes que obligaron al Río Purificación a cortar un cauce mas encañonado.

De esta manera el valle aluvial del Río Purificación queda delimitado al occidente por un estrechamiento fisiográfico a la altura del cruce del F.F.C.C. (la estación Cruz) y al oriente por las sierras de Mesa de Solís y de Tamaulipas, en donde se ubica la cortina de la presa Vicente Guerrero. La elevación del valle oscila entre 150 y 200 msnm.

Las formaciones dentro del tramo del valle en cuestión son de menor resistencia a la erosión, por lo que el Río Purificación tuvo posibilidad de divagar ampliamente formando el valle en estudio.

2.2 Clima

El conocimiento detallado de las características climatológicas de una región permite conocer las condiciones hídricas que en ella se desarrollan, a través del análisis cuidadoso de la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración, factores de gran importancia para el estudio del agua subterránea y su relación con las demás componentes del ciclo hidrológico.

Podemos conocer la recarga de los mantos acuíferos, así como su comportamiento a través del tiempo, tomándose en cuenta las aportaciones por lluvias y las posibles pérdidas por el proceso de evapotranspiración. En el análisis climatológico se consideraron las estaciones que contaron con un mayor periodo de registros en la zona de estudio, así como de sus alrededores con el fin de obtener resultados representativos. Uno de los factores de mayor importancia para el análisis climatológico es el de la precipitación, el cual guarda estrecha relación con los procesos geohidrológicos que se desarrollan en el acuífero de la zona.

La precipitación media en el área de estudio se estimó aplicando el método de la media aritmética obteniendo un valor de 765.2 mm, observándose una variación de 670.6 mm en la Estación Padilla III, a 967.7 mm en la Estación Hidalgo con un notable aumento de magnitud en dirección este-oeste.

Para conocer la distribución de la precipitación en el tiempo, se efectuó el análisis mensual en el periodo de 1970 a 1995. En los resultados se aprecia que anualmente la temporada de lluvia se presenta en los meses de mayo a octubre, ocurriendo en estos del 76 % al 83 % de la precipitación total, con un sensible descenso en los meses de julio y agosto.

La temperatura media anual en la zona estudiada es de 23.6° C, presentándose las temperaturas medias mensuales en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, variando la mayor de 27.9° C en la Estación Barretal a 29.6° C en la misma estación. En cuanto a las temperaturas medias mínimas estas se presentan en el mes de enero con valores de 14.8° C en la Estación Hidalgo a 16.3° C en la Estación Barretal. La lámina de evaporación potencial media anual en la zona de estudio es de 1,745.5 mm; los meses de mayor evaporación corresponden a mayo, junio, julio y agosto con valores en el mes que es máxima de 197.9 mm en la Estación Hidalgo, a 246.4 mm en la Estación Corona.

De la comparación de la evaporación media anual (1,745.5 mm) con la precipitación media anual (765.2) se deduce que es casi tres veces mayor la primera. Haciendo esta comparación a nivel mensual para todas las estaciones, se obtiene que prácticamente en todos los meses se tienen deficiencias hídricas, exceptuando el mes de septiembre en la Estación Hidalgo, en que la precipitación es ligeramente mayor a la evaporación.

2.3 Hidrografía

La unidad queda comprendida en la Región Hidrológica N° 25 San Fernando - Soto La Marina, subregión hidrológica N° 25 B Río Soto La Marina, cuenca alta soto la marina y subcuenca del Río Purificación.

El drenaje principal de la zona de estudio la forma el Río Purificación cuya cuenca colinda hacia el norte con el parteaguas del Río Pilón, que tiene un cauce aproximadamente paralelo al del Río Purificación.

El Río Purificación se forma de los escurrimientos que descienden desde una altitud de 1,600 msnm, en la parte noreste del poblado Purificación del cual toma su nombre y entra al área de estudio por las inmediaciones de la sierra San Antonio, atravesándola en una dirección sensiblemente oeste-este hasta el poblado Santa Fe, para posteriormente cambiar rumbo al noreste hasta su confluencia con el Río San Antonio que es su principal tributario, donde vuelve a tomar la dirección oeste-este, conservándola hasta verter sus aguas en la presa Vicente Guerrero.

El Río San Antonio corre en una dirección NW-SE y se origina por los escurrimientos provenientes de la sierra Rincón de Jesús a una altura de 1,100 msnm, siendo sus principales afluentes los Ríos San Juan y Bermejitos. Este río conserva su rumbo hasta su confluencia por la margen izquierda al Río Purificación.

El resto del drenaje lo constituyen algunos arroyos locales de poca capacidad, que fluyen desde el sur en la margen derecha del valle del Río Purificación, en tramos muy cortos en vista de que el parteaguas fisiográfico que delimita este valle con el Río corona está muy cercano.

Dentro del valle aluvial el drenaje no está bien definido, existiendo solamente algunos arroyos locales.

3 GEOLOGÍA

3.1 Estratigrafía

En el área se pueden apreciar diferentes unidades (figura 2), las cuales se describen desde la más antigua hasta la más reciente.

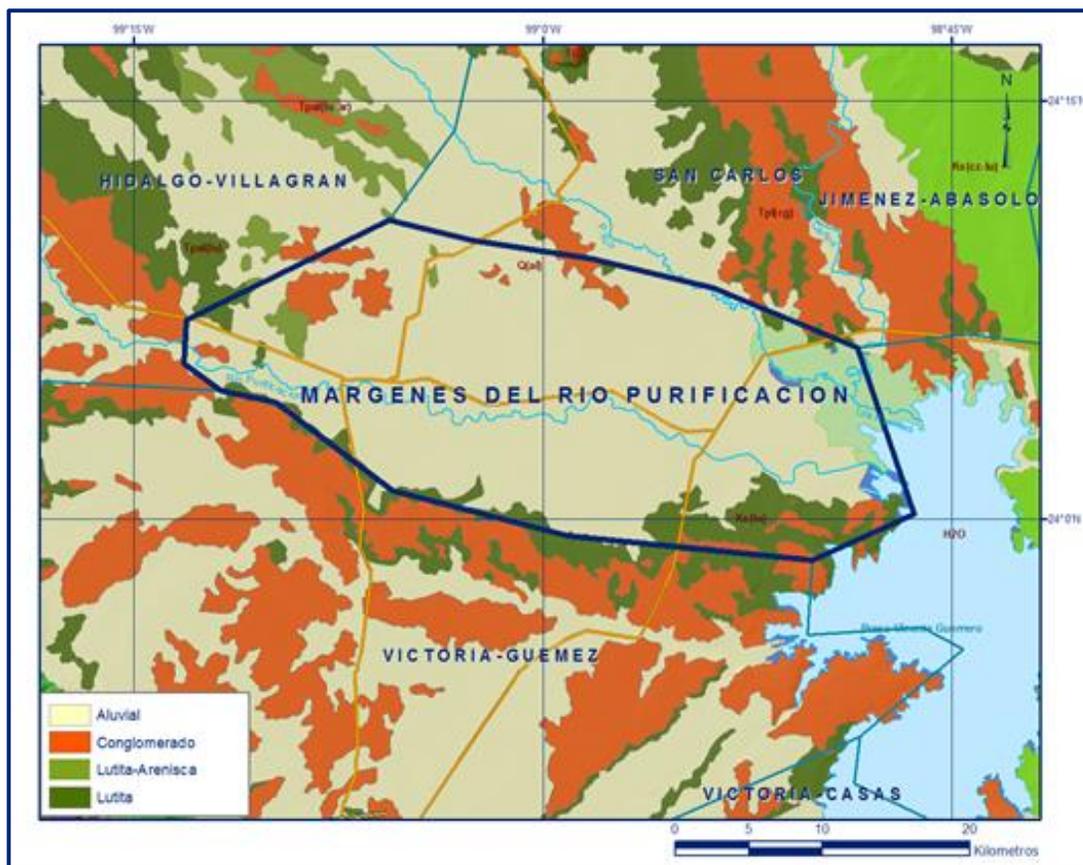


Figura 2. Geología general del acuífero.

Formaciones del Cretácico Superior. Méndez y San Felipe (Ksf-Km)

Consisten de una serie de lutitas calcáreas con algunos horizontes de calizas sumamente plegadas con rumbo general NNW-SSE, que cortan en forma transversal el valle. Estas formaciones se consideran impermeables y constituyen para el caso de los acuíferos de la región, su frontera inferior.

Dentro de esta unidad fue posible diferenciar también algunas zonas locales de las lutitas que quedan cubiertas por una capa muy delgada de suelo residual. Estas zonas presentan superficialmente fragmentos de lutitas alteradas y además su presencia pudo confirmarse por medio de las investigaciones geofísicas. Constituyen fronteras adicionales al flujo subterráneo.

Terciario formación Reynosa (Tcr)

Esta formación se constituye por una serie de gravas redondeadas de fragmentos de caliza parcialmente cementadas y más o menos sueltas, que forman en la región una antigua planicie que corona las partes topográficamente altas.

Este material puede ser localmente bastante permeable, pero sin embargo debido a su posición elevada, generalmente no está comunicado en forma directa con los acuíferos aluviales del valle.

Aluviones reciente (Qal)

Están formados por materiales granulares compuestos desde gravas y arenas hasta arcillas y limos que constituyen el relleno aluvial del Río Purificación. Generalmente se ha observado que presentan en su parte alta horizontes finos de limos y arcillas, mientras que en su parte baja materiales de acarreo más gruesos como gravas y arenas. Estos materiales que forman al acuífero del valle tienen una amplia distribución en ambos márgenes del Río a lo largo de franjas con anchos variables entre 4 y 9 km.

Son el producto de divagaciones sucesivas del cauce del Río, por lo que deben estar constituidos por depósitos en forma lenticular que varían continuamente en su granulometría y grado de permeabilidad lateral y vertical. El espesor de estos materiales varía entre 2 a 30 m como lo demuestran las investigaciones geofísicas.

Depósitos fluviales (Qr)

Esta unidad se diferenció dentro del valle aluvial correspondiendo a materiales más recientes de acarreo del río, que constituyen su cauce. Tiene una forma de franja alargada con ancho variable de 300 a 1,500 m.

Las delimitaciones de estas unidades nos permiten establecer la siguiente descripción:

Debe haber existido una antigua planicie costera sobre la cual se depositaron las gravas calcáreas de la formación Reynosa, que llegaron a formar un antiguo Peniplano cuyos vestigios se pueden observar actualmente en las zonas de afloramientos de la formación Reynosa en las partes altas, en donde quedan coronando las formaciones del Cretácico Superior.

Al reproducirse un rejuvenecimiento por un posible levantamiento continental, se inicio nuevamente el trabajo erosivo del cauce del Río Purificación, cortándolo en las lutitas de la formación Méndez. Es muy probable debido a las amplias divagaciones que sufrió este cauce, que han existido movimientos de basculeo que obligaron a la migración del cauce del Río, por lo que se formo una amplia zona de depósitos aluviales permeables que se encuentran saturados y comunicados con los escurrimientos casi perennes del Río Purificación. Por lo tanto debe existir una comunicación estrecha entre los materiales del aluvión de ambas márgenes y los escurrimientos que se presentan en el Río.

El flujo principal existe en las formaciones más permeables dentro del aluvión del valle, a través de probables franjas localizadas de depósitos lenticulares de arenas y gravas, con una distribución bastante heterogénea en ambas márgenes.

El límite entre las formaciones de las lutitas del Cretácico Superior o bien las zonas de lutitas cubiertas por suelo residual delgado con los materiales del aluvión constituyen las fronteras laterales al flujo subterráneo.

De acuerdo a las características hidrogeológicas del acuífero, este se aloja en materiales de relleno aluvial, constituidos por gravas y arenas con cantidades menores de limos y arcillas. Estos materiales que forman el acuífero del valle se distribuyen aproximadamente en un área de 500 km² en ambas márgenes del río y con espesores máximos de 25 a 35 m los cuales sobreyacen a las lutitas de la formación Méndez, mismas que constituyen el basamento. Por lo anterior se clasifica a este como un acuífero de tipo libre.

3.2 Geofísica

Dentro de la unidad hidrogeológica del Río Purificación se han realizado actividades de exploración geofísica consistente en la ejecución de sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger, distribuidos a lo largo y ancho del valle, trabajos realizados por varias empresas en diferentes años, entre ellas Ingenieros Civiles y Geólogos asociados realizaron el estudio geohidrológico del valle del Río Purificación en el año de 1973, cuyos resultados apoyados en cortes litológicos de pozos construidos en el valle sirvieron para definir el modelo conceptual del acuífero.

Para poder delimitar lateral y verticalmente la zona acuífera se desarrolló un programa de investigaciones de geofísica eléctrica por medio de 69 km de secciones de resistividad y 44 sondeos eléctricos verticales.

La interpretación de las secciones y de los sondeos eléctricos verticales, así como en los cortes litológicos de 4 pozos de calibración en puntos estratégicos, permitió delimitar el espesor total del material acuífero hasta las lutitas impermeables, con profundidades variables entre 2 y 3 m hasta un máximo de 36 m, estableciéndose que el espesor medio del acuífero en la margen derecha es del orden de 6.4 m, mientras que en la margen izquierda es de 12.5 m.

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Piezometría

Con el propósito de conocer la posición y la evolución que presentan los niveles del agua subterránea, a partir del año de 1987 a la fecha se han realizado dos recorridos de medición de niveles; la primera se efectúa en los meses de febrero-marzo y la segunda en los meses de noviembre - diciembre.

De acuerdo a observaciones realizadas en 96 pozos piloto distribuidos en el acuífero y referenciados a la elevación media del mar, se han elaborado los planos de profundidad, elevación y evolución del nivel freático del acuífero.

4.1.1 Evolución

Respecto al comportamiento del acuífero, se han efectuado observaciones semestralmente en 80 pozos piloto distribuidos en el área de estudio y referenciados al nivel del mar, mismos que han sido la base para la elaboración de los planos de profundidad del nivel freático, de elevaciones y de evoluciones, con los cuales se ha determinado que la profundidad del nivel freático varía de 3 a 12.5 m, predominando valores de 8.5 m.

En cuanto a la elevación del nivel freático, las alturas máximas se presentaron en las entradas del acuífero a la altura del poblado de estación Cruz donde se define una elevación con respecto al nivel del mar de 215 m y la elevación mínima al oriente de Nuevo Padilla donde se presenta la cota 130 msnm, por lo que se deduce que la dirección del flujo subterráneo es de poniente a oriente siguiendo la dirección del cauce del Río Purificación.

En lo concerniente a la evolución del acuífero para el periodo analizado de junio de 1987 a noviembre de 1999, se han presentado descensos de - 0.5 a - 4.0 m, estos últimos se localizan al norte del ejido Conrado Castillo, al sur del ejido Nuevo Plan de Ayala y al oriente del poblado de Padilla. Recuperaciones muy puntuales se presentan al sur del ejido San Patricio y en el ejido Corpus Cristhy; asimismo las áreas en que la evolución es cero se presentan en la zona del ejido Cerrito Nuevo, rancho el 24 y Corpus Cristhy.

4.1.2 Pruebas de bombeo

De acuerdo a la información del estudio geohidrológico el valle del Río Purificación, se determinaron las propiedades físicas del acuífero a través de la interpretación de 12 pruebas de bombeo, de las que únicamente en tres se pudieron hacer observaciones simultaneas en pozos testigo, contando con 12 valores de coeficiente de transmisividad y con tres del coeficiente de almacenamiento.

Tabla 2. Resultados de la prueba de bombeo

Pozo	Prof	Caudal (lps)	N.E. (m)	Abatim (m)	Q esp.	Trans. (m ² /s)	Cond. Hdca. (mm/cm)	Fecha
13 b	13	78	8.3	1.70	45.88	28.9	3.85	dic.1973
15-o	11	52	7.8	-	-	88.7	8.87	dic.1973
16-b	12	52	6.8	0.25	208.0	56.9	5.69	dic.1973
65-b	28	51	8.3	1.25	40.88	36.4	2.14	dic.1973
99-b	28	102	5.5	1.90	53.95	82.2	5.14	dic.1973
117-b	7	38	2.8	1.30	29.85	17.8	1.78	dic.1973
118-o	30	38	5.5	-	-	41.1	4.11	dic.1973
119-b	6	37	3.8	0.9	41.11	9.9	1.32	dic.1973
131-b	30	19	5.9	1.0	19.8	57.1	4.39	dic.1973
133-b	10	71	4.6	0.5	142.0	38.9	2.78	dic.1973
162-b	30	35	4.7	1.25	27.92	46.9	2.84	dic.1973
165-o	30	42	5.3	-	-	58.1	3.42	dic.1973
167-b	16	42	4.9	1.50	27.93	55.1	3.24	dic.1973
218-b	24	52	10.0	1.60	32.50	26.1	3.26	dic.1973
250-b	60	52	5.2	0.73	71.23	106.1	6.24	dic.1973

b - pozo de bombeo o - pozo de observación

La interpretación de estas pruebas de bombeo se llevó a cabo haciendo uso de las condiciones de no equilibrio que se establecen en la vecindad de un pozo, durante su etapa de abatimiento o de recuperación, cuando el acuífero es completamente atravesado por el pozo.

Bajo estas condiciones hidráulicas, es posible determinar tanto las características físicas del acuífero, como las condiciones del confinamiento del mismo en las zonas aledañas al lugar de observación. Para esta interpretación se hizo uso de las teorías de C.E. Jacob, M.S. Hantush y N.S. Boulton,

De la interpretación de estas pruebas 5 resultaron con características de acuífero semiconfinado y 7 de acuífero libre.

Los resultados de estas pruebas de bombeo se consignan en la tabla 2, donde aparecen los valores de transmisividad, la profundidad de los pozos, el espesor saturado, la conductividad hidráulica, el coeficiente de almacenamiento de las tres pruebas que tuvieron pozos de observación el cual varió de 0.05 a 0.1, seleccionando el valor de 0.075, siendo conservador para el tipo de material del valle.

4.2 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Los resultados de la calidad del agua que a continuación se mencionan corresponden al estudio geohidrológico del acuífero del valle del Río Purificación, realizado en el año 1973.

Este estudio se efectuó muestreando 73 sitios correspondientes a 24 pozos, 47 norias y 2 manantiales, se determinó que el agua es poca salina y con poco sodio (C2 S1), útil para cualquier tipo de riego, sobre la margen derecha del Río Purificación, entre los poblados el Carmen y Cerrito Nuevo; la zona con agua de salinidad media o elevado con bajo contenido de sodio (C3 S1) se localiza en el resto del área de estudio, con excepción de la parte oriental de la carretera federal 101 (Cd. Victoria - Matamoros).

Respecto a la distribución espacial de los iones analizados, el contenido de sólidos totales disueltos mostraron un aumento con una orientación general de occidente a oriente, siguiendo el curso del Río Purificación, con 2 componentes característicos; sobre la margen izquierda con una dirección hacia el norte y noreste, y sobre la margen derecha con una dirección hacia el sureste y oriente.

Los contenidos variaron en la margen izquierda de 473 ppm hasta 2,773 ppm, para luego descender y aumentar junto al vaso de la presa Vicente Guerrero, hasta un valor máximo de 10,600 ppm.

El más reciente muestreo que se realizó en este acuífero, se llevó a cabo en el año de 1995, recopilándose 49 muestras para igual número de análisis, donde el contenido de sólidos totales disueltos variaron de 517 a 5,779 ppm, predominando valores de 1,200 ppm (anexo hp/c:SIGMAS/B.2.4.1-ZG06-95)

La zona localizada hacia el sureste de Nuevo Padilla y sobre la margen derecha del Río, se tienen concentraciones de sólidos totales disueltos por encima de los 3,000 ppm.

5 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al inventario de aprovechamientos subterráneos que se tiene en esta jefatura de proyecto, existe en el área de estudio 805 aprovechamientos distribuidos y clasificados como sigue: 440 en la margen derecha, de los cuales 161 corresponden a pozos y 279 a norias; 365 en la margen izquierda, correspondiendo 172 a pozos y 193 a norias, para un total de 333 pozos y 472 norias. De las 823 obras, 53 se encuentran inactivas y las restantes 752 activas, 421 son utilizadas para uso doméstico y pecuario, y 331 para uso agrícola.

Ahora bien el registro público de derechos de agua (REPDA) consigna un total de 843 aprovechamientos, como se muestra en la tabla 3. Como se aprecia en el cuadro anterior existen 531 aprovechamientos destinados al uso agrícola, con los que se extrae el 97.6 % del volumen total de extracción, además existen 200 aprovechamientos más destinados a este uso que los consignados en el censo, por lo que para efectos de balance se tomará el volumen de extracción reportado al mes de diciembre de 1999 y que es de 92'981,205.30 m³

Tabla 3. Registro público de aprovechamientos de acuerdo al uso

Uso	Volumen	Nº Aprov.
Agua potable	1'587,773.94	48
Doméstico	83,397.5	213
Pecuario	,787.0	36
Agrícola	91'091,380.86	531
Servicios	4,000	1
Industrial	3,700	1
Múltiple	128,914.0	10
Acuicultura	37,230.0	3
Total	92'981,205.30	843

6 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 como sigue:

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

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 el acuífero:

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

De la cual se dejó como incógnita la Recarga total (R), por lo que se calculó los otros dos elementos de la ecuación.

Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV) así como las salidas, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

$$R = D_{cs} + D_m + S_h + ETR + B \pm \Delta V(S)$$

Donde:

B: Bombeo

S_h: Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR: Evapotranspiración

D_{cs}: Descargas a corrientes superficiales

D_m: Descarga de manantiales

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

6.1 Salidas

6.1.1 Descargas a corrientes superficiales (Dcs)

Constituye el volumen de agua que integra el gasto base de una corriente. Basados en el plano de elevaciones se determinaron tres salidas hacia el Río Purificación, localizadas a la altura de los ejidos San Patricio, Quince de Febrero y Campoamor, Mpio. de Padilla, las cuales se determinaron por la expresión de Darcy:

$$Q = B * i * T$$

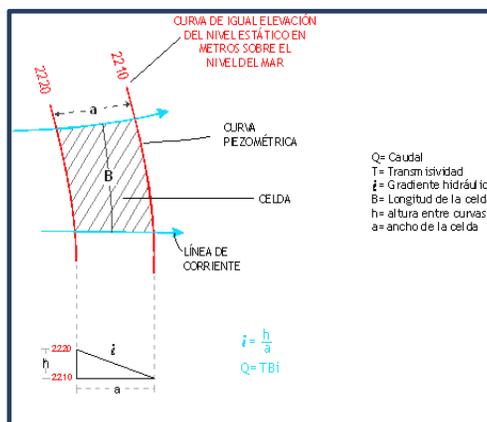
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



La transmisividad T, se tomó del plano de transmisividades del estudio geohidrológico del valle del Río Purificación, realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos S.A. en 1973, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 4.

6.1.2 Descarga por manantiales (Dm)

Es el volumen de agua que brota a la superficie del terreno proveniente del acuífero, y dentro de la zona que se está analizando, no existen manantiales, por lo que no se consideran.

Tabla 4. Descarga a corrientes superficiales

Celda	h1	h2	Dh	DI	i	b	t	q
	m	m	M	M		m	m ² /s	m ³ /s
1	180	185	5	1,500	0.0033	1,500	15 x 10 ⁻³	7.42 x 10 ⁻²
2	175	172	3	600	0.0046	1,100	15 x 10 ⁻³	7.59 x 10 ⁻²
3	160	165	5	2,000	0.0025	800	50 x 10 ⁻³	1.0 x 10 ⁻¹
							total	7.88mm ³ /a

6.1.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Corresponde a los volúmenes de agua que en forma subterránea circulan hacia zonas contiguas del acuífero o bien descarga hacia el mar.

Por lo que basado en las curvas piezométricas de elevación y líneas de flujo, así como a las condiciones geológicas, se determinó una sola salida subterránea del acuífero, la cual descarga hacia la presa "Vicente Guerrero". la cual se determinó por la expresión de Darcy. Aplicando el mismo criterio para determinar las descargas a corrientes superficiales se tiene el resultado indicado en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de las salidas por flujo horizontal

CELDA	LONGITU D 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	5030	1724	5	0.0029	0.0150	0.2188	6.9
TOTAL							6.9002

6.1.4 Evapotranspiración (ETR)

Es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, existiendo en acuíferos someros una disminución de los niveles freáticos debido a este fenómeno.

Este proceso se presenta en acuíferos someros, y de acuerdo al plano de profundidades del nivel freático a noviembre de 1999, este varía de 3.0 a 14.0 m, por lo que apoyados en la curva de incidencia de evapotranspiración real, la cual se construyó en función de la profundidad del nivel freático, en la que se determina que este fenómeno se efectúa hasta la profundidad de los 10.0 m, se procedió a determinar las áreas de las profundidades del nivel freático, de los 3.0 m hasta los 9.0 m, así mismo se calculó la evapotranspiración potencial media en la zona del acuífero, utilizando el método de Turc,. Para ello se calculó la precipitación media y la temperatura media en la zona, contando para ello con los registros de las estaciones climatológicas Nuevo Padilla, Barretal, Hidalgo y Corona, las dos primeras dentro del acuífero y las otras en las cercanías del acuífero, todas con un periodo común de 1970 - 1995, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Valores de precipitación media y temperatura

Año: 1970-1995	Temp. ° C	Precipitación (mm)	I	Evtl (mm)
media	23.6	765.2	1,745.5	704.2 mm

Por lo que tendremos:

$$Evtr = (\%) (a) (Evt)$$

Donde:

Evtr: evapotranspiración real

%: por ciento de incidencia

a: área

Evt: evapotranspiración

Tabla 7. Cálculo de 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	3	2.0	0.7042	0	0.55	0.8
0	4	13.2	0.7042	0	0.3	2.7
0	5	65.5	0.7042	0	0.132	6.1
0	6	68.5	0.7042	0	0.054	2.6
0	7	93.2	0.7042	0	0.0216	1.4
0	7.5	20.7	0.7042	0	0.0135	0.2
0	8	58.3	0.7042	0	0.0073	0.3
0	8.5	26.2	0.7042	0	0.0059	0.1
0	9	28.3	0.7042	0	0.0054	0.1
	Total	375.8				14.3

6.1.5 Bombeo (b)

Normalmente es el volumen mayoritario de los acuíferos en explotación y se encuentra constituido por los volúmenes extraídos del subsuelo para satisfacer diversos usos y demandas de los usuarios establecidos en la zona. De acuerdo a lo mencionado en el inciso 5.- censo de aprovechamientos, para efecto de balance se tomará la información de extracción de agua subterránea proporcionada por el registro público de derechos de agua (REPDA), en el acuífero Márgenes del Río Purificación, donde se extrae un volumen de **93.0 Mm³**.

6.2 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Es el incremento o decremento de volumen de agua almacenada en el acuífero, y se determina a partir de la evolución de los niveles de agua subterránea correspondientes al mismo intervalo y de los valores representativos del coeficiente de almacenamiento del acuífero, multiplicados por el área; y está dado por la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

Basados en el plano de evolución del nivel freático de julio de 1987 a noviembre de 1999, se determinaron las áreas de la variación de la carga hidráulica para este periodo, y tomando el valor de 0.075 para el coeficiente de almacenamiento determinado en el estudio geohidrológico del valle del Río Purificación, realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos, S.A, se calculó el cambio de almacenamiento en la zona de estudio.

$$\begin{aligned}\Delta VS &= -52.058 / 13 \text{ años} = \\ \Delta VS &= -4.338 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\ \Delta VS &= -4.338 \text{ Mm}^3\end{aligned}$$

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procede a calcular la recarga total:

$$\begin{aligned}R &= Dcs + Dm + Sh + ETR + B \pm \Delta V(S) \\ R &= 7.9 + 6.9 + 14.3 + 93 - 4.4 \\ R &= 117.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

7 DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

- 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

7.1 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 **117.7 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural

7.2 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 **14.7 hm³ anuales**, que corresponde a las salidas subterráneas que presenta el acuífero.

7.3 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 **105,011,565 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**.

7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 117.7 - 14.7 - 105.011565 \\ \text{DMA} &= -2.011565 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,011,565 m³ anuales**.

8 BIBLIOGRAFÍA

Manual de Diseño de agua potable y alcantarillado y saneamiento, pruebas de bombeo libro V. Comisión Nacional del Agua 1994.

Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos. Comisión Nacional del Agua 1994.