

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO MÉNDEZ SAN FERNANDO (2802),
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	6
3	FISIOGRAFÍA.....	7
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	8
3.3	Hidrografía	8
3.4	Geomorfología.....	9
4	GEOLOGÍA.....	9
4.1	Estratigrafía	10
4.2	Geología estructural.....	13
4.3	Geología del subsuelo.....	13
5	HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1	Tipo de acuífero	15
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.....	20
5.4.3	Evolución del nivel estático	21
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	22
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	24
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	25
7.1	Entradas.....	26
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	26
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	26
7.1.3	Retornos de riego (Rr)	28
7.2	SALIDAS.....	28
7.2.1	Descargas a corrientes superficiales (Dcs)	28
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	28
7.2.3	Evapotranspiración (ETR)	29
7.2.4	Bombeo (B).....	31
7.3	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	31
8	DISPONIBILIDAD	31
8.1	Recarga total media anual (R)	32
8.2	Descarga natural comprometida (DNC)	32
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	32
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	33
9	BIBLIOGRAFÍA	34

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 Méndez-San Fernando, definido con la clave 2802 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la parte centro norte del estado de Tamaulipas, entre los paralelos 24° 20´ y 25° 15´ de latitud norte y entre los meridianos 96° 35´ y 99° 50´ de longitud oeste del meridiano de Greenwich, cubriendo una superficie de 19,064 km². Físicamente sus límites quedan establecidos al norte, con la Región Hidrológica No. 24 Bajo Río Bravo; al oriente por la Laguna Madre; al sur por los límites de los municipios de Soto La Marina, Jiménez y Cruillas y al poniente por los límites de los municipios de Burgos y Méndez donde para delimitar este acuífero se aplicó el criterio hidrográfico y geopolítico. Prácticamente comprende los municipios de San Fernando, Méndez, Burgos y Cruillas (figura 1).

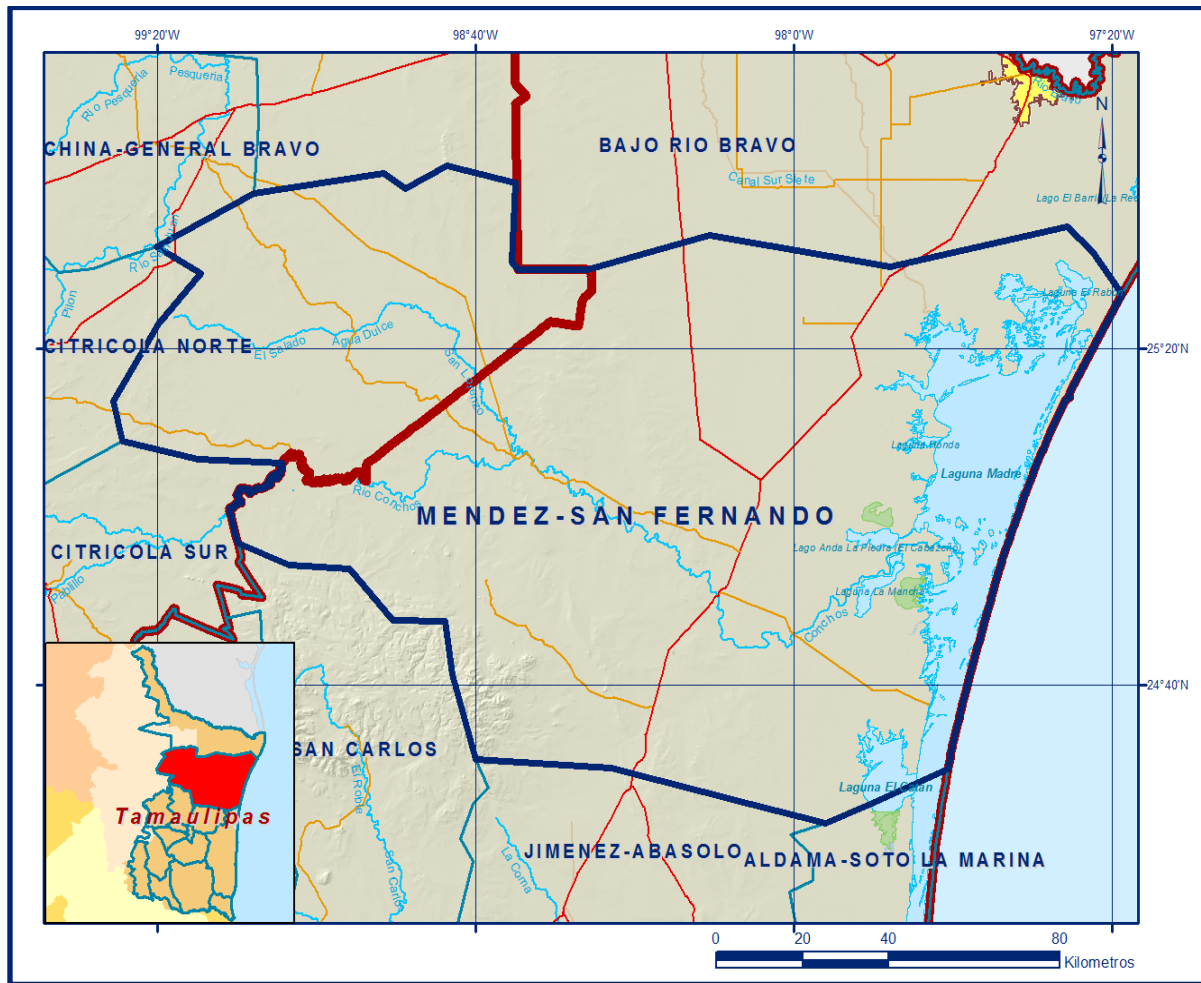


Figura 1. Localización del acuífero.

Las vías de comunicación más importantes en la zona, es la Carretera Federal No. 101 que une las poblaciones de Ciudad Victoria y Matamoros y cruza el área tocando la población de San Fernando; la carretera San Fernando-Méndez-China que comunica a la Ciudad de Monterrey, N. L.; así como la carretera San Fernando-Carboneras; otra vía importante es la carretera estatal No. 97 que une San Fernando con la Ciudad de Reynosa, el resto del área se comunica a través de brechas como la de San Fernando-Méndez-Burgos, la de San Fernando-Cruillas-San Carlos, la de Gonzalez Villarreal, la del Barrancón y la de Rinconada-Lavaderos.

El acuífero Méndez-San Fernando comprende en su totalidad los municipios de San Fernando (035), Méndez (023), Cruillas (010) y Burgos (005). Parcialmente comprende los municipios de Matamoros (022), China (013) y General Terán (022), estos dos últimos en el estado de Nuevo León.

Las coordenadas que definen la poligonal simplificada que delimita al acuífero se presentan en la tabla 1.

Tabla No. 1 Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero Méndez-San Fernando

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	4	214	25	6	19.6	
2	99	14	50.6	25	6	46.4	
3	99	24	26.6	25	8	59.8	
4	99	25	318	25	13	416	
5	99	19	510	25	22	52.2	
6	99	14	32.0	25	28	56.7	
7	99	20	7.7	25	32	5.9	
8	99	7	52.9	25	38	24.4	
9	98	51	32.0	25	40	47.8	
10	98	48	50.0	25	39	0.1	
11	98	43	37.2	25	41	41.3	
12	98	35	0.8	25	39	41.8	
13	98	35	30.4	25	30	16.5	
14	98	34	41.3	25	29	20.3	DEL 14 AL 15 POR EL LIMITE ESTATAL
15	98	25	59.2	25	29	20.0	
16	98	10	40.8	25	33	24.2	
17	97	47	52.9	25	29	42.5	
18	97	25	38.2	25	34	23.6	
19	97	22	30.4	25	31	32.9	
20	97	18	44.4	25	26	22.4	DEL 20 AL 21 POR LA LINEA DE BAJ AMAR A LO LARGO DE LA COSTA
21	97	40	37.4	24	29	57.2	
22	97	50	5.3	24	25	55.7	
23	97	55	59.3	24	23	28.7	
24	98	5	22.8	24	25	44.0	
25	98	23	10	24	30	2.8	
26	98	40	13	24	31	8.2	
27	98	42	54.9	24	41	11.7	
28	98	43	51.8	24	47	33.4	
29	98	50	22.8	24	47	38.3	
30	98	55	52.9	24	53	48.5	
31	99	3	27.2	24	54	13.4	
32	99	9	53.4	24	56	47.4	DEL 32 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	99	4	214	25	6	19.6	

El principal núcleo de población y de mayor actividad económica es el de San Fernando y en menor proporción Méndez, siendo sus principales fuentes de riqueza la agricultura y la ganadería, básicamente de temporal. Con respecto a su desarrollo industrial es incipiente y se reduce a pequeñas maquiladoras así como industrias del ramo pesquero. El crecimiento acelerado de la Ciudad de San Fernando, últimamente con la creación de maquiladoras ha generado una mayor demanda de agua subterránea, ya que en la zona los aprovechamientos superficiales perennes con que se cuentan se localizan demasiado alejados de la cabecera municipal (Laguna La Nacha), por lo que se ha visto la necesidad de localizar nuevas fuentes de abastecimiento de agua subterránea.

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece a la región Hidrológico-Administrativa IX Golfo Norte. No existen antecedentes de alguna publicación en el Diario Oficial de la Federación de decretos de reserva o reglamento, existiendo únicamente a nivel de propuesta ya que en esta zona se tienen los pozos de abastecimiento público para la Ciudad de San Fernando, Tamaulipas. (Santa Catalina, PEMEX y Rinconada). De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. No existe organización alguna por parte de los usuarios para regular la extracción de aguas subterráneas.

En la porción este del acuífero, se localiza el área natural protegida Laguna Madre y Delta del Río Bravo, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de abril de 2005, y cuyo texto menciona lo siguiente: DECRETO por el que se declara área natural protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Laguna Madre y Delta del Río Bravo, ubicada en los municipios de Matamoros, San Fernando y Soto La Marina, en el Estado de Tamaulipas, con una superficie total de 572,808-60-94.22 hectáreas.

Bajo los siguientes considerandos.

Que la región denominada Laguna Madre y Delta del Río Bravo, ubicada en los municipios de Matamoros, San Fernando y Soto La Marina, en el Estado de Tamaulipas, constituye una sola unidad ecológica que comparte el mismo régimen hidrológico de inundaciones que depende del balance entre agua marina que recibe de estrechos pasos (bocas) y agua dulce proveniente de escurrimientos de los ríos. Que en el mundo sólo se reconocen seis ecosistemas de los denominados hipersalinos, de los cuales el de la región conocida como Laguna Madre y Delta del Río Bravo es el más extenso, e incluye importantes ciénegas intermareales que alcanzan las 50,800 hectáreas y una considerable riqueza de humedales.

Que la riqueza y diversidad biológica que posee la región se debe a su ubicación, ya que se encuentra entre dos regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical, que recibe drenaje de dos regiones hidrológicas, la cuenca del Río Bravo y la cuenca de los ríos San Fernando-Soto La Marina, que tiene la influencia de dos provincias marinas, la Carolineana y la Caribeña, lo cual da origen a diversos tipos de suelos, climas y regímenes de precipitación y humedad, aunado a que esta región constituye el límite norte de distribución a lo largo del Golfo de México de la vegetación tropical, como manglares, selvas medianas y selvas bajas.

Que en los humedales de dicha región existen cuatro especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), que se encuentran sujetas a protección especial conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 (Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres).

Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo), las cuales proporcionan refugio en las primeras etapas de desarrollo a crustáceos y peces de importancia económica, así como a especies de aves para la anidación en la época de reproducción.

Que la región funciona como una zona de transición de la fauna neártica ligada a los humedales y constituye una de las rutas migratorias de aves más importantes del Mississippi y centro de Norteamérica; es, además, una de las principales fuentes de agua dulce para la población, y aporta gran cantidad de nutrientes a las lagunas costeras, lo que ayuda a mantener la alta productividad primaria en la zona.

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Actualización de mediciones piezométricas del acuífero Méndez-San Fernando, estado de Tamaulipas, diciembre 2002. FYA Consultores, Ingeniería y Construcción, S.A. de C. V., para la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Golfo Norte, Subdirección Técnica.

Para la realización de la Actualización de las Mediciones Piezométricas se recomienda ampliar el área de estudio al límite del acuífero, que incluye partes de municipios correspondientes al Estado de Nuevo León, y hacer un barrido en las zonas con pocos o ningún aprovechamiento subterráneo detectado, con el fin de enriquecer la red de monitoreo. Continuar sistemáticamente con el monitoreo piezométrico de la red de pozos pilotos.

Del análisis de la información obtenida referente a la elevación y profundidad de los niveles piezométricos se adoptó una red de 56 pozos piloto que reflejara la condición real del acuífero Méndez-San Fernando, por lo que se sugiere que para las actualizaciones futuras del presente estudio se adopte como red de pozos piloto los mismos que fueron utilizados para la elaboración del mismo.

En relación a la profundidad de los niveles estáticos se puede observar una influencia directa de la proximidad del nivel del mar, en los aprovechamientos que se ubican en la porción oriental de la cuenca teniendo como base un eje imaginario Norte-Sur con centro en la ciudad de San Fernando.

Con valores que van desde los 16 m. hasta llegar a 0.0 m al acercarnos a la costa, hacia el sur de San Fernando se percibe un marcado aumento en los valores de los niveles debido a la influencia de la topografía con rangos de los 14.0 m. a los 20.0 m al sur del arroyo de Chorreras. En la porción nor-occidental de la cuenca ubicada entre la carretera San Fernando-Méndez y la San Fernando-Reynosa se detectó otra zona con incrementos en la profundidad de los niveles estáticos con variaciones de los 14.0 m a los 20.0 m teniendo como centro la comunidad de Florida del Norte debido al efecto de la topografía.

Hacia la parte suroeste se detecta un marcado descenso hacia la población de Burgos, con variaciones entre los 12.0 m a 6.0 m. En relación a las elevaciones del nivel estático se percibe una clara tendencia en su disminución del suroeste hacia el este y del noroeste al este, es decir una tendencia franca hacia la costa.

En la porción suroeste debido a la influencia de las estribaciones de la serranía de San Carlos entre las comunidades de Burgos y Cruillas se detectaron elevaciones del nivel estático de 260.0 msnm, y como ya se mencionó descendiendo hasta el nivel del mar por el oriente. Al norte de la comunidad de Méndez se percibe la influencia de la serranía del Anhelito donde se presentan elevaciones de 140.0 msnm y que van descendiendo hacia el este hacia la costa. La presencia del Río Conchos hace notar su presencia con claras disminuciones de las elevaciones de los niveles estáticos, al formar un abanico en las curvas de igual elevación aguas debajo de la población de Méndez y hasta San Fernando.

Por lo anteriormente comentado y en relación a la Red de Flujo Subterráneo se puede deducir que la tendencia general del flujo subterráneo en el Acuífero Méndez-San Fernando es de Oeste hacia el Este. De manera particular se puede decir que en la porción suroeste del acuífero desde sus límites colindando con las estribaciones de la sierra de San Carlos y trazando un eje imaginario que una las localidades de Burgos y Cruillas la dirección del flujo subterráneo es en sentido suroeste-noreste hasta la margen derecha del Río Conchos. Hacia el norte del mismo Río Conchos y hasta los límites superiores del acuífero la dirección del flujo es franco hacia el este o hacia la costa.

En términos generales, no se observa sobreexplotación en el Acuífero Méndez-San Fernando, sin embargo, se recomienda vigilar las distancias recomendadas mínimas entre los aprovechamientos que en lo futuro se autoricen por parte de la Comisión Nacional del Agua, particularmente en las zonas que se han detectado con evolución cero, como se comentó en el punto anterior.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

Fisiográficamente la zona se localiza en la subprovincia de la cuenca del Río Bravo, geológicamente conocida como Cuenca de Burgos, siendo los rasgos topográficos los correspondientes a la Llanura Costera del Golfo de México. La que se presenta como una superficie ondulada con pendiente suave que asciende hacia el occidente, perturbada ocasionalmente por pequeños accidentes topográficos de poca elevación con algunos escarpes en aquellas formaciones más resistentes a la erosión.

3.2 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.

Uno de los factores de mayor importancia para el análisis climatológico es el de la precipitación, que guarda estrecha relación con los procesos geohidrológicos que se desarrollan en el acuífero de la zona.

En el área se localizan las estaciones climatológicas Burgos, Méndez y San Fernando, seleccionando para este análisis el periodo 1970-1995.

El clima imperante en la región es del tipo b si (h1) hw" (e1), que corresponde a un clima seco. Donde la precipitación varía de 700 a 800 mm, considerándose la media anual del orden de **695** mm.; con respecto a la temperatura asciende de 15° C en enero a 27° C en los meses de junio a agosto y desciende paulatinamente en los meses restantes hasta llegar a los 15° C en diciembre, promediando una media anual de **22.8°** C. Para la evaporación potencial se puede considerar un valor medio anual de **1700** mm.

3.3 Hidrografía

Esta unidad queda enmarcada dentro de la Región Hidrológica San Fernando-Soto La Marina y subregión Hidrológica No. 25 b cuenca del Río Soto La Marina, subcuenca del Río San Fernando, a la que confluyen varias corrientes, entre las que destacan:

Río Conchos o San Fernando, es el más importante de la región y cruza la zona de poniente a oriente, cuenta con un área de 17,774 km², de los que el 49% se localizan en el estado de Tamaulipas y el resto en Nuevo León, tiene una longitud en línea recta de 260 km.

Siendo sus afluentes en el estado de Nuevo León los ríos Potosí, Camacho y Pablillo; ya en el estado de Tamaulipas cuenta con los afluentes de los arroyos San José, Burgos, El Salado, Chorreras y el Río San Lorenzo, todos estos de régimen intermitente. Estas corrientes han labrado su curso sobre rocas terciarias constituidas por lutitas y areniscas las que en algunas zonas topográficamente altas están coronadas por el conglomerado Reynosa, originando que en áreas aisladas de sus márgenes se depositen materiales granulares, formando terrazas aluviales.

3.4 Geomorfología

El acuífero queda enclavado en el área en que se asienta la Cuenca de Burgos considerada como una Llanura Costera de levantamiento, originándose los fenómenos orogénicos a fines del Cretácico los que continuaron durante el Cenozoico, mismos que pusieron al descubierto los sedimentos marinos de esta época, quedando a la acción destructiva de los procesos de intemperismo y erosión, modelando la superficie expuesta según la naturaleza petrográfica de los afloramientos hasta alcanzar el rasgo morfológico que presentan en la actualidad.

4 GEOLOGÍA

La Cuenca de Burgos fue originada por el levantamiento de las formaciones mesozoicas, provocado por los efectos de la Revolución Laramide, los cuales al quedar expuestos sufrieron los efectos de los agentes erosivos (figura 2).

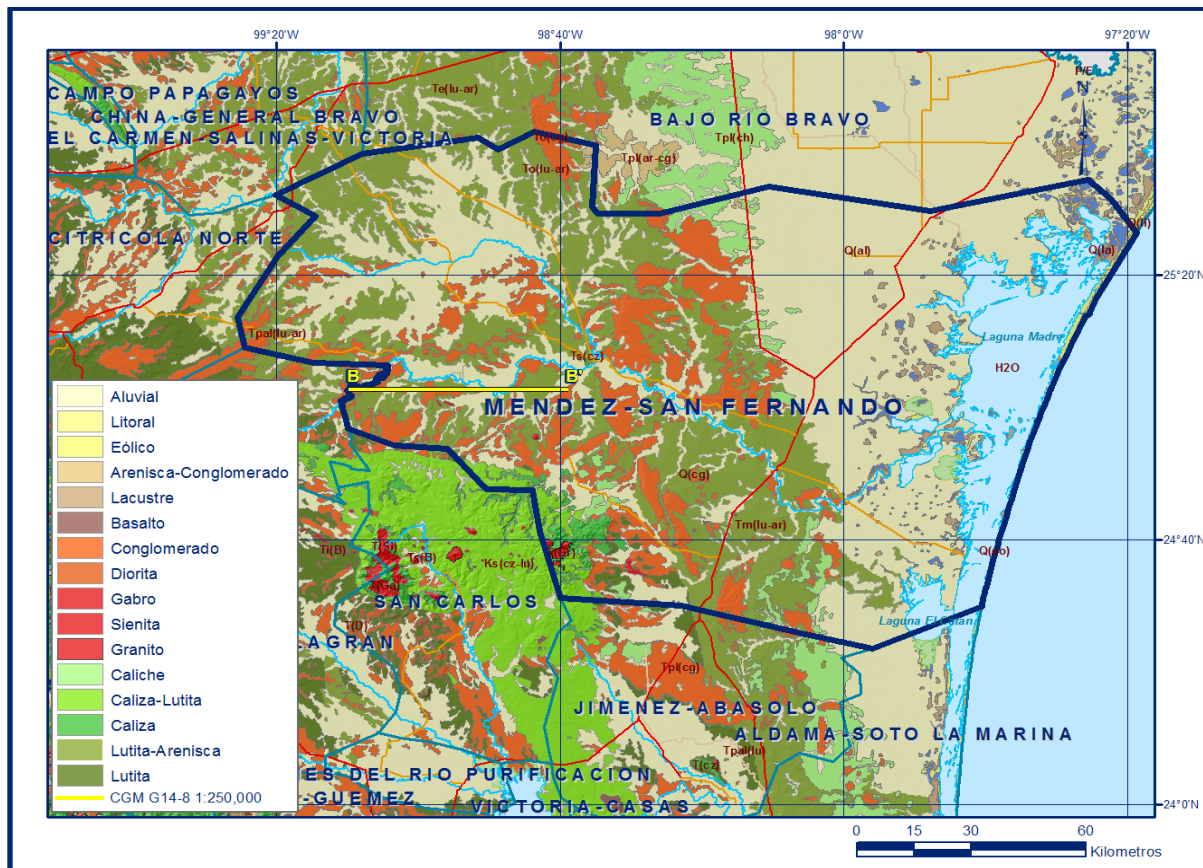


Figura 2. Geología general del acuífero

Los clásticos así originados fueron depositados en las aguas del geosinclinal del Golfo, en ambientes que variaron de continentales a batiales, pasando por los salobres, marginales y neríticos, dando lugar a las distintas formaciones cenozoicas existentes.

Las partes positivas de los que provenían estos sedimentos, eran la sierra del Sistema Tamaulipeco, Madre Oriental, San Carlos - Cruillas y el Arco de San Marcos,

Estratigráficamente estos depósitos reflejan los movimientos finales de la orogenia del cierre del Mesozoico y principios del Cenozoico y son predominantemente arcillo-arenosos.

La historia del Cenozoico es una serie de oscilaciones marinas, las que han sido interpretadas como ciclos marinos, causados por ajustes isostáticos periódicos efectuados en las cuencas, obedeciendo a las cargas pesadas de sedimentos, ocasionando trasgresiones y regresiones marinas, originando discordancias e hiatos,

4.1 Estratigrafía

El conocimiento de la estratigrafía, se logrará refiriéndose a las características petrográficas principales y a las relaciones que guardan entre si las diferentes unidades litoestratigráficas. Aflorando en la zona rocas que de acuerdo a su origen se clasifican en sedimentarias, cuyas edades pertenecen al Cretácico, Terciario y Reciente, teniendo como representantes del Cretácico a las formaciones, Tamaulipas (Ktm), San Felipe (Ksf) y Méndez (Km); del Terciario las formaciones Midway (Pm), del Paleoceno; Wilcox (Ew), Carrizo (Ec), Cook Mountain (Ecm), Yegua (Ey), del Eoceno; conglomerado Norma (Ocn) Anáhuac (Oa) del Oligoceno; Formación Catahoula (Mc), Lagarto y Oakville (Mf) del Mioceno; Formación Goliad (Plg) del Plioceno y Sissi y Beamont (Gl y Gb) del Pleistoceno Reciente. Descripción de estas unidades, iniciando de la más antigua y continuando en orden cronológico.

Formación Tamaulipas (Ktm)

Esta formación ha sido dividida en el área en miembros superior e inferior, los cuales se describen a continuación:

El miembro inferior se encuentra representado por calizas criptocristalinas de color gris crema y gris oscuro a negro en capas de espesor medio a grueso.

El miembro superior se encuentra integrado por calizas criptocristalinas de color gris, gris acero y negro, bandeadas en capas de espesor medio que alternan con estratos de espesor delgado y medio de margas laminares de color gris oscuro, contiene abundantes lentes y bandas delgadas de pedernal negro y hacia su cima algunas capas de bentonita de color blanco y amarillo, presenta una pseudoestratificación típica de esta formación.

Tanto la estratificación ondulante como el contenido de pedernal negro en forma de bandas, son rasgos distintivos de esta unidad, estas rocas fueron depositadas en mares poco profundos, evidenciados por algunos horizontes con cierto contenido de arena y arcilla. Dichos clásticos fueron acompañados por la precipitación silíceas, las cuales dieron origen a la gran cantidad de bandas de pedernal negro, se ha asignado esta formación al Cenomaniano, correlacionándose con la formación Cuesta del Cura

Formación San Felipe (Ksf)

Esta constituida por una alternancia de calizas y lutitas grises que llegan a presentar calizas arcillosas y marga gris y verde. También es común encontrar intercalaciones de bentonita alternando con la secuencia antes mencionada. Los estratos tienen espesores por lo general entre 20 y 40 cm., subyace a la formación Méndez cuyo contacto es transicional y sobreyace a la formación Agua Nueva en forma concordante y también transicional, se le ha asignado una edad Santoniano y se correlaciona con la formación Parras y la parte superior de la formación Indidura.

Formación Méndez (Km)

Es una unidad constituida por una secuencia de lutitas laminares cuya composición varia de lutita calcárea con contenido arenoso, en estratos moderadamente fracturados y en algunos casos rellenos de calcita, con trazas de hierro y concreciones calcáreas.

Esta secuencia se encuentra expuesta ampliamente en la zona o a profundidades que van de 2 a 20 m. Es la roca que forma el basamento en el valle y guarda una estrecha relación con el comportamiento del agua subterránea.

Las lutitas tienen nulas propiedades de permeabilidad primaria, pero adquirieron permeabilidad secundaria por el fracturamiento que les provoco la etapa de plegamiento y erosión. De acuerdo con el grado de erosión y fracturamiento pueden adquirir diferentes grados de permeabilidad en forma lateral y a profundidad.

Formación Midway (Pm)

Es una secuencia marina representada por areniscas, arcillas, lutitas y limolitas, en estratos medianos, en su base afloran litarenitas cementadas por carbonatos y con óxidos de fierro, así como arenisca glauconítica y horizontes delgados de lutita.

La parte media es yesífera y esta caracterizada por la presencia de nódulos de siderita y estructuras cono a cono. Hacia la cima se observan lutitas de color gris oscuro con concreciones calcáreas.

Formaciones Wilcox, Carrizo, Cook Mountain y Yegua (Te)

Es una unidad constituida por una alternancia de lutitas y areniscas en estratos delgados, medianos y gruesos, las areniscas son litarenitas de grano fino y medio, cementadas por limolitas, algunas son glauconíticas y otras presentan estratificación cruzada, así como capas de lutita carbonosas, arenosas y fosilíferas así mismo presenta horizontes yesíferos y carbonosos y algunos estratos de arenisca con gran contenido de mica en su parte baja. En su parte media concreciones ferruginosas y horizontes de arenisca glauconítica y hacia la cima presenta contenido de material piroclástico.

Formaciones Vicksburg y Frío (To)

Esta unidad está representada por una secuencia de lutitas y areniscas y algunas limolitas en estratos delgados, secuencia que fue depositada en un ambiente marino que vario de aguas someras a salobres. En la unidad predominan los estratos de lutitas con horizontes de bentonita y las areniscas son litarenitas de grano fino poco cementadas.

Conglomerado Norma (Ocn)

Esta formación está constituida por clásticos del tamaño de cantos, gravas gravillas, arenas y arcillas. Las gravas son de calizas, roca ígnea, arenisca y pedernal, se cree que este conglomerado fue depositado por alguna corriente fluvial en forma de abanico y diseminado por el mar posteriormente.

Formación Anáhuac (Oa)

Esta formación no se ha identificado en la superficie; sin embargo, en el subsuelo se ha logrado reconocerla a través de la información que aportan los pozos de PEMEX. Se encuentra constituida por sedimentos marinos, compuestos de lutitas de colores café y rojizo y arenas de grano fino pobremente consolidadas. Esta formación adopta la forma de una gran cuña que se adelgaza hacia el poniente, lo que pone de manifiesto su carácter transgresivo.

Formación Catahoula (Mc)

Constituida por material piroclástico; areniscas, arenas y arcillas, su color varia de blanco a gris claro y verdoso. Se le ha considerado la parte basal del Mioceno por su posición estratigráfica. Sus sedimentos sobreyacen en forma discordante a las formaciones Frío y conglomerado Norma y en forma concordante a la Formación Anáhuac.

Formaciones Oakville y Lagarto (Mf)

Estos sedimentos lo constituyen los depósitos del Grupo Fleming, consistentes en capas arcillosas de color amarillo a verde, arenas grises intercaladas con arcillas café, capas de yesos y lentes arenosos con pequeños nódulos ferruginosos y calcáreos.

Hacia la base de este grupo, en lo que correspondería a la sección de la formación Oakville, las arcillas son verde oscuro a gris veteadas en colores café y gris púrpura.

Formación Goliad (Plg)

Constituida por sedimentos de origen continental, tales como gravas, arenas y arcillas de color blanquecino, se encuentra en forma discordante sobre sedimentos del Mioceno, se supone fueron originados por regímenes fluviales muy fuertes sobre los sedimentos alforantes.

Formaciones Beaumont y Lissie (Gb y Gl)

Por su posición y por sus características petrográficas de origen continental estratigráfica, se les considera equivalentes al depósito conocido como caliche Reynosa. Se les observa aflorando en arroyos y tajos abiertos. Están constituidas por gravas y arenas con estratificación cruzada y arcillas.

Aluvión.: Los depósitos aluviales se encuentran representados por abanicos aluviales, terrazas, gravas y arena suelta, arcillas y suelos residuales, presentándose extensamente distribuidas en la parte oriente de la zona, en las inmediaciones de los cauces de los arroyos tributarios del río Conchos, así como en la de este.

4.2 Geología estructural

Esta área se encuentra profundamente afectada por la presencia de fallas de tipo normal, con su bloque caído al oriente. Debido a las características de esta naturaleza y paralelismo, el área se ve afectada en forma escalonada dando el aspecto de una escalera tectónica, cuya orientación es burdamente norte-sur y descendiendo al oriente.

4.3 Geología del subsuelo

Dentro del acuífero se han realizado actividades de exploración geofísica consistente en la ejecución de sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger, por la empresa consultores en el año de 1979, realizándose 41 sondeos eléctricos verticales, con los que se obtuvo 5 perfiles geoeléctricos, resumiendo lo siguiente:

El perfil 1 tiene una longitud de 27 km y comprende los sondeos 1 al 12, localizados paralelamente a la carretera Victoria - Matamoros, entre el Palomar y San Fernando; el perfil 2 tiene 18 km de longitud y comprende los sondeos 13 al 20 también paralelo a la carretera antes mencionada entre San Fernando y Francisco Villa; el perfil 3 su longitud es de 15 km, y se inicia en el sondeo 12 y comprende los sondeos 21 al 28, se localiza paralelo a la brecha que une Soledad de los Pérez con La Mesa y entronca cerca de San Fernando en la carretera nacional; el perfil 4 se localiza paralelo a la brecha que une La Mesa con Paso Hondo, comprende del sondeo 29 al 36 y su longitud es de 17 km, y el perfil 5 se localiza paralelo a la brecha que une a La Mesa con El Arenal, comprende del sondeo 37 al 40 y tiene 9 km de longitud.

En los perfiles geoelectricos se definen seis capas que se diferenciaron en base a sus valores de resistividad.

La primera capa comprende valores de 10 a 420 ohm/m y es la superficial. Se correlaciona con materiales granulares y se presenta con espesores de 10 a 15 m en los cinco perfiles.

La segunda capa se registro con resistividades de 3 a 7 ohm/m y se correlaciona con materiales arcillo arenosos impermeables con espesores variables de 20 a 200 m.

La tercer capa con resistividades de 15 a 50 ohm/m y se correlaciona con gravas y arenas de permeabilidad media. Con espesores variables de 20 a 140 m.

La cuarta capa comprende resistividades de 2 a 21 ohm/m y se correlaciona con arenas finas y arcillas conteniendo agua salobre con espesores variables de 50 a 400 m.

La quinta capa tiene resistividades de 1 a 2 ohm/m y se correlaciona con areniscas, arenas o arcillas con agua salobre.

Finalmente, la capa 6 solamente se detecto en el perfil 1 con resistividades de 39 a 42 ohm/m.

La capa 3 es la única que presenta interés para el emplazamiento de captaciones de agua subterránea, sin embargo, la salinidad detectada puede ser una limitante para su uso.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las unidades de roca en la zona presentan diferentes características en cuanto a su carácter hidrogeológico o sea respecto a su capacidad para permitir la infiltración, circulación y almacenamiento de agua. Tomando en cuenta lo anterior, las rocas existentes fueron agrupadas en permeables, poco permeables e impermeables.

Unidad permeable, constituida por las siguientes formaciones:

Formación Tamaulipas, constituida por calizas del Cretácico las cuales constituyen gran parte del frente montañoso en la zona de Cruillas y Burgos, estas rocas por su litología presentan una porosidad primaria que a permitido la formación de sumideros y conductos de disolución a través de los cuales el agua de lluvia se infiltra y circula hacia las partes topográficamente bajas, actuando como zona de recarga.

Conglomerado Norma, gravas, gravillas, arenas y arcillas.

Formación Catahoula. Material piroclástico, arenas y arcillas.

Formación Beaumont. Gravas, arenas con estratificación cruzada y arcillas.

Unidad semi-permeable, dentro de esta zona se tiene a la formación Frío marino y continental, constituida por arenas, lutitas y areniscas de grano medio. También se incluyó a los depósitos conglomeráticos constituidos por materiales granulares empacados en una matriz arcillo-arenosa, la que durante los procesos de erosión la matriz se destruye fácilmente y los constituyentes pasan a formar parte de los depósitos aluviales. De acuerdo a su posición estructural y grado de alteración varían sus propiedades de impermeables a semipermeables. Su capacidad para permitir la formación de acuíferos es baja

Unidad impermeable, está representada por las siguientes formaciones:

San Felipe, intercalación de calizas y lutitas

Méndez, margas y lutitas

Anáhuac. Constituida por lutitas de grano fino pobremente consolidadas.

Formaciones Oakville y Lagarto. Constituidas esencialmente de capas arcillosas, arenas, capas de yeso y pequeños nódulos ferruginosos y calcáreos.

Teniendo en consideración la geología del área, se estima que existen acuíferos libres, semiconfinados y confinados, dependiendo del ambiente de depositación de los sedimentos que lo constituyen, ya que las formaciones presentan cambios laterales o de facies, debido a regresiones y trasgresiones marinas.

Tomando en cuenta la capacidad de almacenar y transmitir el agua subterránea, las unidades se clasifican en:

Acuífero: cuando la unidad es capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea que pueda ser extraída para la explotación de los diferentes usos.

Acuicludos: cuando la unidad transmite el agua que almacena muy lentamente.

Acuifugo: cuando no tiene capacidad de almacenar ni transmitir agua.

La formación calcárea del Tamaulipas, se considera que constituye un acuífero, localizándose sus afloramientos hacia Burgos y Cruillas, funcionando como áreas de recarga, no existiendo aprovechamientos construidos en esta formación, principalmente por su posición topográfica, por lo que su descarga debe efectuarse por flujo horizontal. Por otra parte las formaciones terciarias constituidas por clastos cuyos tamaños varían de arenas a gravas, forman acuíferos a diferentes profundidades y horizontalmente presentan discontinuidad.

La recarga de estos ocurre en las áreas en que estas formaciones afloran y su descarga se efectúa en forma artificial (bombeo). Finalmente los depósitos aluviales y del cuaternario constituidos por arcillas, arenas y gravas constituyen un acuífero libre de baja permeabilidad, su recarga ocurre por la infiltración de lluvia que acontece en el área y por las aportaciones de los arroyos y ríos que drenan la zona; su descarga se realiza por la extracción que se efectúa en norias y pozos someros y en forma natural por flujo horizontal. Esta zona es considerada por las formaciones geológicas existentes un área que aparentemente no constituye un acuífero de gran potencialidad, sin embargo existen zonas en las que se puede extraer un buen gasto.

La primer zona es la de Rinconada-Lavaderos: donde el acuífero esta emplazado en gravas, arenas y areniscas existiendo pozos con profundidades de 50 a 120 m y gastos del orden de 5.0 a 40.0 lps. Con respecto a los sólidos totales disueltos (S.T.D.) estos varían en el rango de 1,000 a 2,000 ppm; estas obras son utilizadas principalmente para el riego de auxilio agrícola. Hacia esta zona se prolongo el acueducto para el abastecimiento público urbano de la Ciudad de San Fernando, con la integración de tres pozos.

La segunda zona se localiza al sur y oriente del ejido Nuevo Tlaxcala (Racho Santa Catalina y campo PEMEX): donde se localiza la primera batería de pozos de abastecimiento publico de la Ciudad de San Fernando los cuales están a profundidades de 80 y 150 m. Con gastos de 5.0 a 20.0 lps, estando emplazadas las obras en sedimentos terciarios (areniscas y lutitas).

La tercer zona es la que abarca de la "Y" Reynosa-Matamoros hasta la población de González Villarreal: donde los pozos son mas profundos del orden de 140.0 a 300.0 m, estando constituido el acuífero por arenas y areniscas mal cementadas con pequeños nódulos ferruginosos, asignándose a la formación Lagarto (Grupo Fleming) y arenas, areniscas y gravillas de la formación Catahoula, ambas del Mioceno. Este acuífero se considera confinado. Extrayéndose gastos de 5.0 a 30.0 lps, principalmente para el uso público urbano y uno que otro agrícola, variando la calidad del agua de 1,200 a 2,500 ppm.

En lo que respecta al resto de la zona: el emplazamiento de los aprovechamientos subterráneos por lo general se encuentran en las formaciones terciarias que van desde el Oligoceno al Pleistoceno en sedimentos compuestos por lutitas, areniscas, arenas y conglomerados en una complejo forma de depositación ya que presentan gran discontinuidad debido a los cambios de facies originados por las transgresiones y regresiones marinas que acontecieron durante el Terciario.

La profundidad de los aprovechamientos varía de 40.0 a 150.0 m. Con gastos de 0.5 a 3.0 lps, existiendo algunos puntos aislados donde se llega a encontrar gastos de 5.0 a 10.0 lps. En esta zona el acuífero esta considerado como libre, confinado y semiconfinado y con respecto a la calidad del agua esta varia de 1,500 a 6,000 ppm de sólidos totales disueltos.

5.2 Parámetros hidráulicos

El conocimiento de los parámetros hidráulicos y su distribución espacial son indispensables para conocer el comportamiento hidrodinámico del acuífero. No se han realizado pruebas de bombeo en el acuífero, ni en acuíferos cercanos para poder correlacionar los datos.

El valor de transmisividad se tomó como un valor promedio de la conductividad hidráulica de los datos reportados por la literatura para el tipo de material que conforma al acuífero, multiplicado por el espesor saturado. Dando como resultado $T = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

5.3 Piezometría

Con el propósito de contar con una red de pozos piloto bien definida, se programo realizar un recorrido a todo lo largo y ancho de este acuífero en agosto de 2001, donde se visitaron 183 aprovechamientos subterráneos, seleccionando 168 aprovechamientos para integrar la red piezométrica; de estos 147 son pozos, 18 norias y 3 manantial.

Con respecto al uso que se les da a estos aprovechamientos 10 son para uso agrícola; 23 de uso doméstico; 2 doméstico - pecuario; 50 pecuarios, 68 de servicio público urbano; 4 de servicios y 11 sin definir su uso.

Con respecto a la profundidad de las obras, 15 esta en el rango de 5 a 20 m, 20 obras de 20 - 50 m, 50 aprovechamientos de 50 - 100 m, 20 obras en el rango de 100 - 150 m; 9 con profundidades de 150 - 200 m; 7 pozos con profundidad de 200 - 300 m y 47 sin información. La profundidad de las obras por municipios varía en los rangos siguientes. En el de Burgos de 5.0 a 60.0 m; en el de Cruillas de 7.0 a 100.0 m; en Méndez de 45 a 200.0 m y en San Fernando de 8.0 a 300.0 m.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel del agua en los aprovechamientos subterráneos en el acuífero Méndez-San Fernando se distribuye en los siguientes rangos; en 39 obras varía de 0 - 5 m; en 21 obras de 5 - 10 m; en 31 aprovechamientos de 10 - 15 m de profundidad; en 19 obras de 15 - 20 m; 19 obras en el rango de 20 a 30 m de profundidad; 15 obras están en el rango de 30 a 40 m de profundidad; 8 de 40 a 50 m y 16 no se pudieron sondear (figura 3).

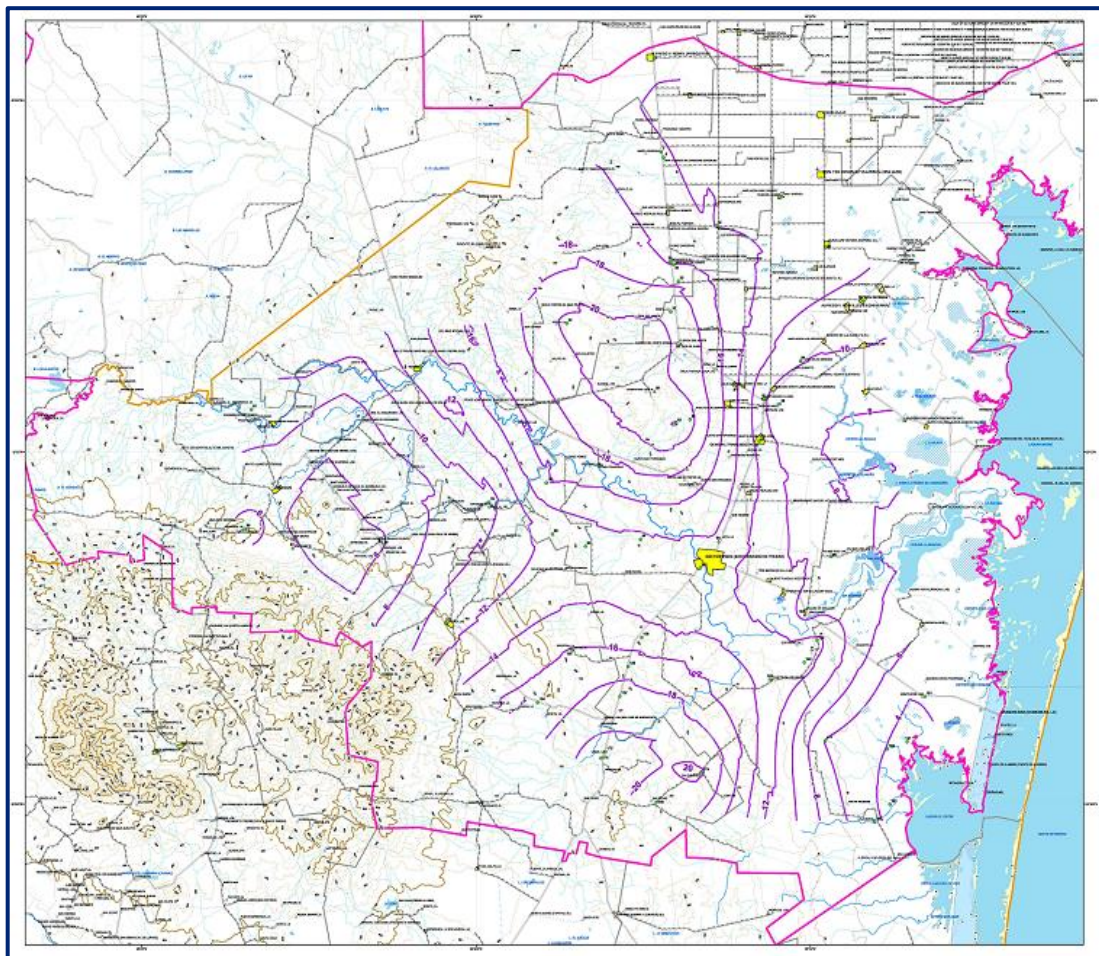


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (Septiembre de 2002)

La profundidad del nivel freático por municipios varía en los rangos siguientes. En el de Burgos de 1.83 a 10.0 m; en el de Cruillas de 1.32 a 50.0 m; en Méndez de 6.32 a 43.0 m y en San Fernando de brotantes a 50.0 m. Basado en lo anteriormente expuesto, la red de pozos piloto quedo conformada por 168 aprovechamientos subterráneos, distribuidos en acuífero Méndez - San Fernando, Tamaulipas.

En septiembre de 2002 se contrato la medición piezométrica de este acuífero, donde de manera general puede decirse que la profundidad al nivel estático en la zona tiene una tendencia a incrementarse de oriente a poniente con variaciones del nivel estático del orden de 4 a 12 m, por el efecto de la topografía que va descendiendo gradualmente en sentido inverso es decir de poniente a oriente, hasta llegar al nivel del mar en la zona costera de la Laguna Madre, esta tendencia se manifiesta desde la Costa del Golfo de México hasta el eje que forma la Carretera Federal 101 Ciudad Victoria - Matamoros.

El polígono que se forma teniendo como vértice la ciudad de San Fernando siendo una de sus lados hacia el norte el eje de la carretera federal 101 y el otro la carretera estatal San Fernando-Méndez-China cerrándose este polígono en el límite estatal con Nuevo León, en él se tienen profundidades de 12 m y 20 m. En un eje con dirección noroeste que se forma del ejido Florida del norte hacia el rancho El Anhelito; hacia el sur de la carretera estatal San Fernando-Méndez-China la profundidad de los niveles piezométricos son de 12 m.

Cerrándose en valores de 6 m en las poblaciones de Cruillas y Burgos en las estribaciones de la sierra de San Carlos. Hacia el sur de la ciudad de San Fernando la profundidad al nivel estático se incrementa de valores de 14 m llegando a valores de 20 m en la zona del poblado Las Norias. De manera particular puede señalarse que los pozos que abastecen a las poblaciones de Cruillas y Méndez tienen profundidades de nivel estático de 12 a 13 m, y los pozos que abastecen a la ciudad de San Fernando tienen profundidades del orden de 2 m. En la batería de pozos de la carbonera y los que se encuentran cerca de la ciudad sus niveles de ubican en el orden de los 11.00 m. Se percibe una influencia de las aguas superficiales del río Conchos en el comportamiento de la profundidad al nivel estático teniendo como referencia la ciudad de Méndez, Tamaulipas. Hacia el oriente y en 10 km aproximadamente de ambas márgenes del río Conchos y en la formación del abanico aluvial de la ciudad de San Fernando hacia la costa en donde se abate considerablemente la profundidad al nivel estático en niveles que varían entre 12 a 4 m, en el resto del área no se percibe una influencia directa de las aguas superficiales del río Conchos en la profundidad al nivel estático.

5.4.2 Elevación del nivel estático

En septiembre de 2002 se contrató la medición de brocales de este acuífero, donde de manera general puede decirse que la elevación sobre el nivel del mar de los niveles piezométricos de los pozos de la red se observa una clara tendencia que tiene una relación directa con las condiciones topográficas de la zona (figura 4.

Las elevaciones de los niveles descienden de poniente a oriente teniendo como punto de partida las estribaciones de la sierra de San Carlos-Cruillas-Burgos con valores de 260.00 msnm hasta las cercanías de la costa de la Laguna Madre con valores de 10.0 msnm y menores. La dirección del flujo de manera general es de oeste a este, salvo las condiciones que de manera particular se den en algunos sitios por las condiciones topográficas y geológicas y en particular debido a la influencia del colector principal el río Conchos o San Fernando.

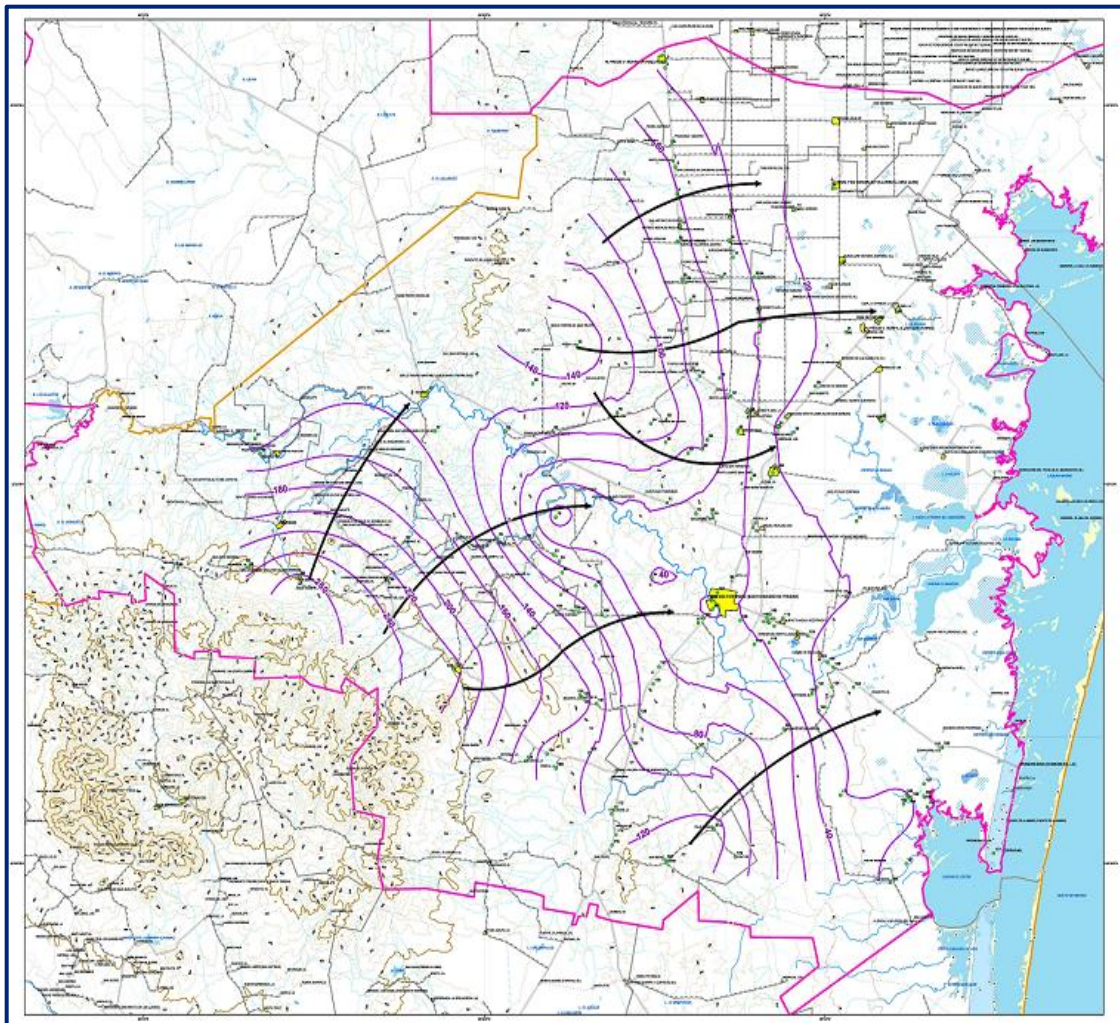


Figura 4. Elevación del nivel estático y red de flujo en msnm (Septiembre del 2002)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Comparando los niveles estáticos del estudio realizado por la dependencia durante el mes de agosto del 2001, con los obtenidos en el estudio realizado durante el mes de septiembre de 2002 se observa una evolución favorable de 3.0 m, hacia el sur de San Fernando, hasta el límite sur del acuífero.

Hacia el noroeste del eje que se forma entre las poblaciones de Burgos y Francisco González Villarreal, se observa una franca evolución de 2.0 m. Teniendo los valores más elevados hacia el límite noroeste del acuífero.

También se detecta una curva de evolución cero hacia el oriente de la población de San Fernando, teniendo como eje las comunidades de Palmas uno y Palmas dos, otra curva equidistante de nivel cero de evolución se presenta al norte de la "Y" de la carretera Matamoros - Reynosa entre las comunidades del Ejido Enrique Cárdenas González y la carreta uno.

Evolución negativa: En la zona comprendida al norte de la Ciudad de San Fernando, de los 73 aprovechamientos que conforman la red de pozos piloto en esta área, en solo 12 se presenta un ligero descenso del nivel estático de estos pozos, de los cuales 6 están en el rango de -0.02 a - 0.27m; en 3 pozos de -0.78 a - 0.98m; en 2 pozos de -1.20 a -1.55m y solo 1 pozo -2.33 m de descenso.

En lo que respecta a la zona occidente de la Ciudad de San Fernando, Tamaulipas, se tiene 25 pozos piloto de los que solo 5 presentan algún descenso; 2 pozos en la zona de Lázaro Cárdenas - El Ébano de -0.18 a -0.29 m, un pozo con descenso de - 0.65 m en Candido Aguilar y el área que presenta mayor descenso en 3 pozos es la de las Lomas - La Unión en un rango de -2.60 a -4.80 m.

En la zona sur de la Ciudad. San Fernando, se cuenta con 32 pozos piloto, de los cuales solo 6 presentan descenso, dos pozos de -1.10 -1.22 m al noroeste de las norias, en el área de La Becerra - El Limonal; de -1.65 al oriente de las norias, en El Paredaño; de -1.75 m en la zona de la mesa de San Martín; y de -2.20 al norte de las norias y -2.30 en el área de Puerto de Los Ébanos.

Al oriente de la Ciudad de San Fernando se cuenta con 37 pozos piloto, en los que solo en 9 presentan descenso, 6 pozos de -0.04 a -0.50 m, en Laguna de San Juan, Charco del Moro, Chapotal y Cavazos; de -1.28 en el Rancho Los Galván y de -2.04 a -2.09 en Ojo de Agua - Lavaderos. En el acuífero Méndez - San Fernando se cuenta con 167 pozos piloto distribuidos estratégicamente, los que se monitorean para conocer la posición y evolución del nivel freático del acuífero.

De estos 167 aprovechamientos, solo 32 presentan descenso, de los cuales 14 pozos están en el rango de -0.02 a -0.50 m; 5 pozos de -0.50 a -1.0 m; 8 pozos de -1.0 a -2.0 m y solo 5 de -2.0 a -4.0 m. Los restantes 135 aprovechamientos piloto, presentan cierta recuperación o se encuentran en equilibrio, por lo que podemos decir que el acuífero se encuentra en la condición de subexplotado.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Respecto a la calidad del agua subterránea, se han realizado dos monitoreos representativos del acuífero. El primero se realizó en diciembre de 1979 por la empresa Consultores, los que realizaron el estudio de Prospección y Evaluación Geohidrológica de la parte centro de la zona. Donde se tomaron 62 muestras de agua subterránea y 5 de aguas superficiales, determinando los parámetros siguientes:

Sólidos Totales Disueltos: en esta zona, se presentan sales evaporíticas de fácil disolución lo que incrementa el contenido salino. Dentro de las muestras analizadas se encontraron concentraciones que varían de 342 a 11,122 ppm de Sólidos Totales Disueltos

Calcio: En esta zona el calcio proviene principalmente de la disolución de rocas calcáreas, areniscas y lutitas calcáreas, así como de horizontes de anhidrita. Se encontró a este elemento en concentraciones que varían de 32 a 700 ppm.

Magnesio: Este proviene principalmente de las dolomías. Y de acuerdo a las muestras analizadas este varía de 9 a 850 ppm.

Sodio: Este se encuentra influenciado notablemente por sales de origen marino, las cuales deben de haberse depositado o impregnado a las rocas, ya que los principales componentes del agua de mar son el sodio, cloruro y magnesio. Este se presentó en concentraciones mínimas de 1 y máximas de 964 ppm.

Bicarbonatos: Este elemento es una consecuencia de reacciones químicas producidas por la interacción entre el agua, gases y rocas. Una de las fuentes más comunes del bicarbonato lo constituye la incorporación de bióxido de carbono, lo cual forma ácido carbónico que a su vez se disocia en bicarbonato e hidrógeno, esta concentración de bicarbonato está sujeta a cambios de temperatura y presión así como a procesos biológicos y a la concentración total de sales en solución. En las muestras que se analizaron se encontró en concentraciones que varían de 146 a 585 ppm.

Sulfatos: Este se encontró en concentraciones mínimas de 2 y máximas de 6212 ppm.

Cloruros: Este es un elemento principal en el agua de mar o de sus productos, presentándose en concentraciones de 21 a 6212 ppm.

Las relaciones iónicas indican que el agua de los aprovechamientos subterráneos mayores de 50 m ha tenido contacto con depósitos evaporíticos. Con respecto a los aprovechamientos someros estos indican contacto del agua con los depósitos de caliche, muy común en la zona. Y en los aprovechamientos someros localizados hacia el poniente de la zona cercanos a la sierra este indica el contacto del agua con sedimentos calcáreos.

Con respecto al agua superficial se obtuvieron 2 muestras sobre el río San Fernando y 3 en arroyos (afluentes), donde las características químicas son similares a las encontradas en el acuífero, deduciéndose que el agua superficial circula por afloramientos de sedimentos que subterráneamente constituyen el acuífero.

El segundo monitoreo realizado en el acuífero Méndez-San Fernando se realizó con apoyo de la jefatura de calidad del agua de esta GRGN en el mes de julio de 2003, muestreando 50 aprovechamientos distribuidos estratégicamente en la zona; 41 de estos correspondieron a pozos, 8 a norias y 1 a un manantial, la profundidad de los pozos fluctúa de 50 a los 250 metros la profundidad el nivel del agua de estos pozos, desde brotantes a 50 metros, siendo utilizados principalmente para el servicio Público-Urbano, Doméstico y Pecuario.

Con respecto a las norias éstas tienen profundidades que van de los 10 a los 22 metros y el nivel estático fluctúa de 5 a 14 metros.

Sólidos Disueltos Totales: En cuanto a la calidad del agua subterránea de sólidos disueltos totales en todo el acuífero, varía de 500 a 9000 mg/l.

En 7 aprovechamientos de 500 a 1000 mg/l.; en 24 aprovechamientos de 1000 a 2000 mg/l.; en 10 aprovechamientos de 2000 a 3000 mg/l. Y en 9 aprovechamientos subterráneos mayor de 3000 mg/l.

En el municipio de Burgos, estos varían de 1396 a 2366 mg/l.; en el de Cruillas de 479 a 3463 mg/l.; en el municipio de Méndez de 1494 a 8943 mg/l.; y en el de San Fernando de 839 a 7654 mg/l.

Cloruros: En cuanto a la calidad del agua subterránea de cloruros en todo el acuífero varia de 36 a 3459 mg/l.

En 7 aprovechamientos de 36 a 247 mg/l.; en 14 aprovechamientos de 253 a 488 mg/l; en 17 aprovechamientos de 506 a 952 mg/l; en 9 aprovechamientos de 1025 a 1947 mg/ y en 3 aprovechamientos subterráneos mayor de 2000 mg/l.

En el municipio de Burgos, estos varían de 446 a 952 mg/l; en el de Cruillas de 36 a 1350 mg/l; en el municipio de Méndez de 548 a 693 mg/l; y en el de San Fernando de 133 a 3459 mg/l.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Para conocer el número de aprovechamientos subterráneos del acuífero, es necesario contar con un inventario de los pozos y norias existentes en la zona, donde deben consignarse preferentemente los datos constructivos, georeferenciación, de uso y de operación, en este último debe señalarse las características del equipo de bombeo y los volúmenes extraídos anualmente, el cual puede obtenerse a través de lecturas realizadas en los medidores de volúmenes de agua; estimando el gasto con aforos multiplicado por el promedio de horas al año o estimando el volumen a través de pagos de energía eléctrica.

Para el uso del agua potable se estima a través del número de habitantes y dotación; para el uso agrícola en base a la lámina de riego y número de hectáreas, también se podrá estimar los volúmenes anuales en base a los permisos y concesiones otorgadas, así como en los datos declarados por los usuarios. Al no contar con un inventario actualizado de los pozos y norias existentes en la zona, se optó por utilizar la información con que cuenta el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa) de la Gerencia Regional, la cual al 20 de marzo de 2003 se tienen **833 aprovechamientos subterráneos** con los cuales se extrae un volumen de **15,144,585 m³/año**, distribuidas de la siguiente manera (tabla 2).

Tabla 2. Número de aprovechamientos

Uso	Número de aprovechamientos
Agrícola	43
Doméstico	215
Industrial	3
Múltiples	15
Pecuario	295
Público urbano	258
Servicios	4
Total	833

En la figura 5 se observa un gráfico del porcentaje de aprovechamientos de acuerdo al uso, y en la tabla 3 se muestra el volumen de agua extraído para cada uso, además, en la figura 6 se muestra un gráfico del porcentaje de volumen de extracción de acuerdo al uso.

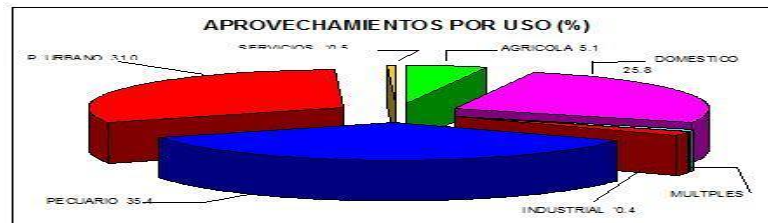


Figura 5. Porcentaje de aprovechamientos por uso

Tabla 3. Volumen de extracción

Uso	Volumen m ³
Agrícola	8,682,492
Domestico	313,863
Industrial	14,060
Múltiples	15,954
Pecuario	414,370
Publico urbano	5,612,482
Servicios	91,364
Total	15,144,585



Figura 6. Porcentaje de volumen de extracción por uso

7 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 la siguiente:

Entradas (E) – Salidas (S) = 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:

Recarga total – Descarga total = Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se cuenta con información para calcular el cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$), así como las entradas por flujo subterráneo, este valor es la incógnita a despejar en la ecuación de balance.

$$R_v + E_h + R_r - D_{cs} - S_h - ETR - B = \pm \Delta V(S)$$

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Entradas subterráneas por flujo horizontal

Rr: Retornos de riego

Dcs: Descargas a corrientes superficiales

Sh: Salidas subterráneas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración

B: Bombeo

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = D_{cs} + S_h + ETR + B \pm \Delta V(S) - E_h - R_r$$

Este término de la ecuación de balance que contempla la infiltración por lluvia en el área de balance se considerará como la incógnita, al despejar los valores de los demás componentes en la ecuación de balance nos da un valor de **47.66 hm³/año**.

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Son los volúmenes que en forma subterránea circulan hacia la zona en las que se plantea el balance correspondiente, y su cuantificación se puede obtener a partir de la información de pozos piloto, localizados en el área, siendo la información a

recopilar: ubicación de pozos, altitud de brocales, piezometría, configuración piezométrica y transmisividad de materiales localizados en la entrada del acuífero. El cálculo se basa en los planos de configuraciones piezométricas donde se trazan las líneas de flujo, identificando las zonas por donde se presentan las entradas de agua subterránea.

Con base en la configuración se seleccionaron los canales y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

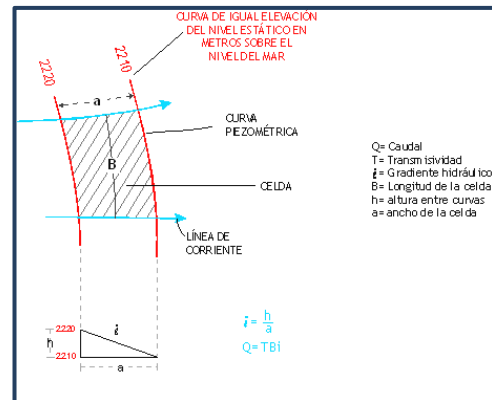
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



Para la selección el coeficiente de permeabilidad, y por no contar con pruebas de bombeo, se considero el que nos indica el manual de difusión y divulgación sobre temas selectos de agua subterránea (conceptos básicas de hidrogeología) editado por la Comision Nacional del Agua en noviembre de 2000, donde consigna los valores típicos de la conductividad hidráulica, y de acuerdo a los materiales que constituyen el espesor saturado ((arenas y areniscas de grano medio) se le asignó un valor de 5×10^{-5} m/s, y tomando como base los cortes litológicos de algunos pozos ubicados en las celdas de entradas se estimó el espesor del acuífero saturado en 3 m.

En la tabla 4 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **1.9 hm³ anuales**.

Tabla 4. cálculo de entradas por flujo subterráneo

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	30000	3000	20	0.0067	0.00015	0.0290	0.9
E2	25000	4000	20	0.0050	0.00015	0.0181	0.6
E3	10000	2000	20	0.0100	0.00015	0.0145	0.5
TOTAL							1.9

7.1.3 Retornos de riego (Rr)

Corresponde al volumen de agua que recibe el acuífero derivado de prácticas de riego, es decir el volumen infiltrado por riego será igual a un coeficiente de infiltración el cual estará en función del tipo de material donde se aplica el riego, multiplicado por el volumen de agua aplicado en riego, $I_r = \text{vol. r (ci)}$.

En esta zona de acuerdo el Registro Público de Derechos de Agua, el volumen utilizado de agua subterránea para este uso es de 8.68 hm^3 que sumándose a los 15.87 hm^3 provenientes de aguas superficiales que se utilizan en riego nos da un volumen de 24.55 hm^3 . Por lo tanto, tomando el coeficiente de infiltración de 2%. $I_r = (24.55) (0.02) = \mathbf{0.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$.

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por Salidas a corrientes superficiales (Dc), Salidas subterráneas hacia el mar (Sh), la Evapotranspiración (ETR) y el Bombeo (B).

7.2.1 Descargas a corrientes superficiales (Dcs)

Constituye el volumen de agua que integra el gasto base de una corriente. Con base en el plano de elevaciones del nivel estático, se determinaron dos salidas hacia el Río Conchos, una localizada a la altura de las comunidades Santa Rita - Méndez – Jesús María de Solís y la otra al noroeste - oeste de San Fernando, mismas que se determinaron aplicando la ley de Darcy.

Para la selección el coeficiente de permeabilidad, y por no contar con pruebas de bombeo, se considero el que nos indica el manual de Difusión y divulgación sobre temas selectos de agua subterránea (conceptos básicos de hidrogeología) editado por la Comisión Nacional del Agua en noviembre de 2000, donde consigna los valores típicos de la conductividad hidráulica, y que de acuerdo a los materiales que drena el acuífero (arenas de grano medio) se le asignó un valor de $5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ y tomando como base los cortes litológicos de algunos pozos ubicados en las celdas de descarga hacia el río, se estima que el espesor del acuífero que drena a este es de solo 0.5 m. El volumen total estimado es de **$0.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$** .

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Son los volúmenes de agua que en forma subterráneo circulan hacia zonas continuas 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 de la zona, se determinaron dos salidas hacia la línea de costa, una localizada a la altura de las comunidades de San Lorenzo - Ampliación San Germán y la otra de Santa Gertrudis - Lavaderos.

Las salidas por flujo subterráneo se calcularon de la misma manera que las entradas subterráneas, como se muestra en la tabla 5, el volumen estimado es de **4.53 hm³ anuales**.

Tabla 5. Cálculo de salidas por flujo subterráneo

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	35000	5000	20	0.0040	0.0005	0.0686	2.2
S2	25000	3000	20	0.0067	0.0005	0.0750	2.4
TOTAL							4.5

Para la selección el coeficiente de permeabilidad, y por no contar con pruebas de bombeo, se considero el que nos indica el manual de difusión y divulgación sobre temas selectos de agua subterránea (conceptos básicos de hidrogeología) editado por la Comisión Nacional del Agua en noviembre de 2000, donde consigna los valores típicos de la conductividad hidráulica, y que de acuerdo a los materiales que drena el acuífero en esta zona (arenas de grano fino) se le asigno un valor de 5×10^{-5} m/s y tomando como base los cortes litológicos de algunos pozos ubicados en las celdas de salida hacia la costa, se estima que el espesor del acuífero que drena a este es de 10.0 m. Aplicando la ecuación de Darcy los resultados de 4.53 hm³año.

7.2.3 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 toda el área de balance los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m de profundidad, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración.

Se aplicó el método de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración real es de 655.4 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 22.8° C y precipitación de 695 mm.

De la ecuación de Turc:

Determinación de $L = 300 + 25 (T) + 0.05 (T)^3$

$$L = 300 + 25 (22.8) + 0.05 (22.8)^3 = 300 + 570 + 592.6 = \underline{1462.6}$$

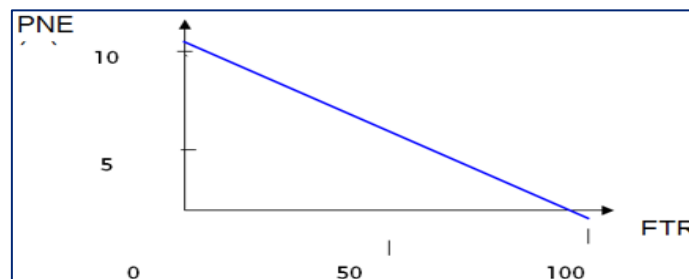
P = Precipitación

$$EVT_L = \frac{0.9 + P^2}{L^2} = \frac{0.9 + 695^2}{1.13} = \underline{655.4 \text{ mm}}$$

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 6, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de **28.84 hm³ anuales**.

Tabla 6 . Cálculo de la Evapotranspiración real

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	6	80.0	0.6554	0	0.4	21.0
0	8	60.0	0.6554	0	0.2	7.9
Total		140.0				28.8

7.2.4 Bombeo (B)

Al no contar con un inventario actualizado de los pozos y norias existentes en la zona, se optó por utilizar la información con que cuenta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), de acuerdo a la cual se extrae un volumen de **15.83 hm³/año**.

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

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la evolución del nivel estático, no observándose una variación significativa en el nivel.

Por esas razones, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir, **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución a la ecuación de balance

De esta manera, el único parámetro de los que intervienen en la ecuación de balance que queda por determinar es la infiltración por lluvia (R_v), por lo que, despejando este término en la ecuación de balance, se tiene:

$$\begin{aligned} R_v &= D_{cs} + S_h + ETR + B \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \\ R_v &= 0.9 + 4.53 + 28.84 + 15.83 + 0 - 1.94 - 0.5 \\ R_v &= 47.66 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total es la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_r \\ R &= 47.66 + 1.94 + 0.5 \\ R &= 50.1 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

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

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 **50.1 hm³/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 **14.1 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 **23,189,382 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 50.1 - 14.1 - 23.189382 \\ \text{DMA} &= 12.810618 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **12,810,618 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Pruebas de Bombeo (Segunda Edición). 1996. Comisión Nacional del Agua. Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Geotecnia.

Manuales de Difusión y Divulgación sobre temas selectos de agua subterránea. “Conceptos Básicos de Hidrogeología” (I Parte). 2000. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas.