

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Bajo Río Bravo (2801),
Estado de Tamaulipas***

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

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CCCLVII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					

ESTADO DE TAMAULIPAS

2801	BAJO RÍO BRAVO	198.5	9.7	59.098202	25.8	129.701798	0.000000
------	----------------	-------	-----	-----------	------	------------	----------

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



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO
BAJO RIO BRAVO, ESTADO DE TAMAULIPAS***

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO BAJO RÍO BRAVO, ESTADO DE TAMAULIPAS

CONTENIDO

	Página
1. GENERALIDADES.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	5
3. FISIOGRAFÍA.....	8
3.1. Provincia fisiográfica.....	8
3.2. Clima.....	8
3.3. Hidrografía.....	10
3.4. Geomorfología.....	11
4. GEOLOGÍA.....	11
4.1. Estratigrafía.....	12
4.2. Geología estructural.....	16
4.3. Geología del subsuelo.....	17
5. HIDROGEOLOGÍA.....	18
5.1. Tipo de acuífero.....	18
5.2. Parámetros hidráulicos.....	20
5.3. Piezometría.....	21
5.4. Comportamiento hidráulico.....	22
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	22
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	23
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	24
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	26
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	27
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	27
7.1. Entradas.....	28
7.1.1. Recarga natural.....	28
7.1.2. Flujo subterráneo horizontal.....	28
7.2. Salidas.....	31
7.2.1. Flujo subterráneo horizontal.....	31
7.2.2. Bombeo.....	32
7.2.3. Evapotranspiración.....	32
7.3. Cambio de almacenamiento.....	34
7.4. Solución de la ecuación de balance y cálculo de la recarga vertical.....	35
8. DISPONIBILIDAD.....	36
8.1. Recarga total media anual.....	38
8.2. Descarga natural comprometida.....	38
8.3. Rendimiento permanente.....	39
8.4. Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	39
8.5. Disponibilidad de aguas subterráneas.....	39
9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	40

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

1.1 Localización

El área de estudio se localiza al noroeste de la República Mexicana, dentro de la Región Hidrológica No. 24 “Río Bravo”; comprende la parte norte del Estado de Tamaulipas y una pequeña parte del Estado de Nuevo León (figura 1); abarcando una superficie aproximada de 17,500 km².

Dicha zona comprende totalmente a 10 municipios de Tamaulipas, que de noroeste a sureste son: Nuevo Laredo, Guerrero, Mier, Miguel Alemán, Gustavo Díaz Ordaz, Reynosa, Río Bravo, Valle Hermoso y Matamoros; así como a 5 del estado de Nuevo León que son: Agualeguas, General Treviño, Los Aldamas, Doctor Coss y General Bravo.

La zona en estudio, concentra la población de 10 municipios del estado de Tamaulipas, en los cuales, de acuerdo al censo del 2000, había un total de 1’382,212 habitantes; también incluye de forma parcial a la población de siete municipios del estado de Nuevo León.

En relación con el municipio de Reynosa, su posición geográfica ha determinado en gran medida una migración importante de la población hacia EUA; aunque en la ciudad de Reynosa existen aproximadamente 111 maquiladoras, las cuales dan empleo a 61,387 personas, no han sido las suficientes para cubrir las necesidades de una población que aumenta con la migración de otras entidades del país.

De acuerdo con la información del censo de población del 2000, la población del municipio de Reynosa a febrero del 2000 era de 419,776 habitantes, con un crecimiento poblacional del orden del 5.7% anual, sin embargo de acuerdo a datos de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (COMAPA), la población es del orden del millón de habitantes, razón por la cual es la ciudad más grande del estado.

En la zona en estudio, en el sector económico primario destacan la agricultura, ganadería, comercio y energéticos.

El comercio organizado en la ciudad de Matamoros es fuerte y competitivo y en el ramo de la industria, la maquiladora ha cobrado auge debido a la vecindad con EUA y al apoyo de programas industriales. En tanto, la ciudad de Nuevo Laredo, segunda ciudad fronteriza con mayor cantidad de población extranjera de México, ha sido pionera en maquiladoras a nivel nacional.

En cuanto a la explotación petrolera, existen campos de Petróleos Mexicanos en los municipios de Camargo, Matamoros, Reynosa y Valle Hermoso, donde se tienen pozos productores de gas. En Reynosa la planta de refinación produce gas natural, gas licuado, gasolina, diesel, keroseno y etileno y polietileno de alta presión (SOPDUE, 2005).

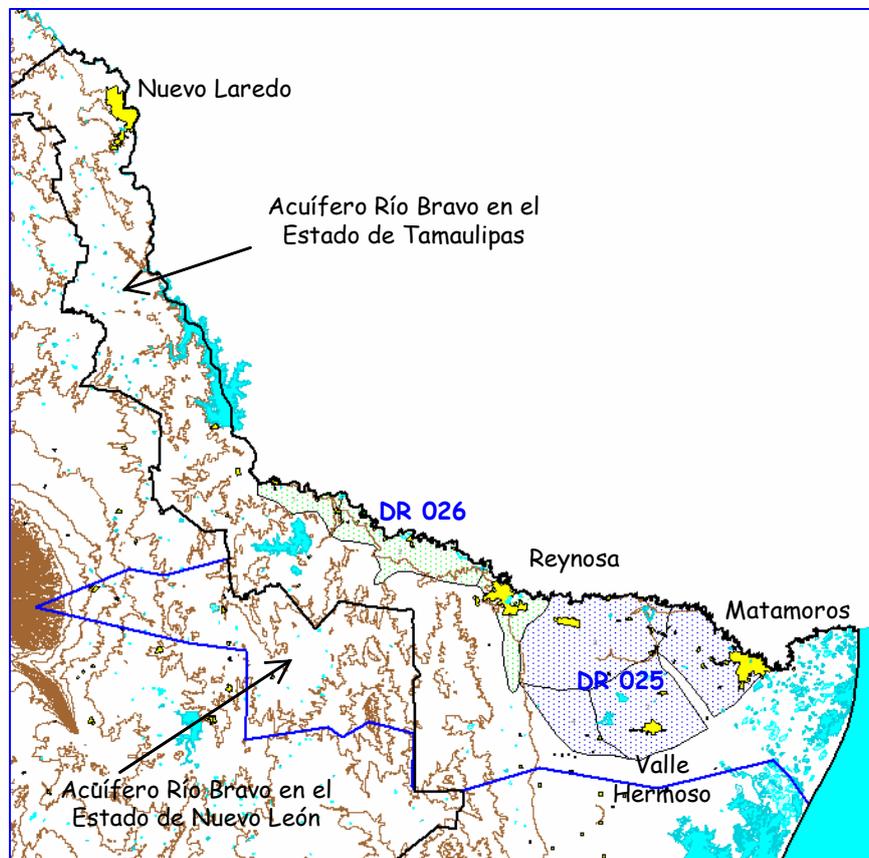


Figura 1. Localización del área de estudio

Las coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero se presentan en la siguiente tabla:

ACUIFERO 2801 BAJO RIO BRAVO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	23	35.0	26	7	33.3	
2	99	10	58.9	26	10	23.4	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	99	26	14.4	26	25	55.0	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	99	42	17.9	26	54	14.5	DEL 4 AL 5 POR EL LIMITE ESTATAL
5	99	43	40.2	27	40	44.1	DEL 5 AL 6 POR EL LIMITE INTERNACIONAL
6	97	8	42.8	25	57	12.5	DEL 6 AL 7 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
7	97	18	44.4	25	26	22.4	
8	97	22	30.4	25	31	32.9	
9	97	25	38.2	25	34	23.6	
10	97	47	52.9	25	29	42.5	
11	98	10	40.8	25	33	24.2	
12	98	25	59.2	25	29	20.0	DEL 12 AL 13 POR EL LIMITE ESTATAL
13	98	34	41.3	25	29	20.3	
14	98	35	30.4	25	30	16.5	
15	98	35	0.8	25	39	41.8	
16	98	43	37.2	25	41	41.3	
17	98	48	50.0	25	39	0.1	
18	98	51	32.0	25	40	47.8	
19	99	7	52.9	25	38	24.4	
20	99	7	17.4	25	46	42.9	
21	99	7	32.9	25	54	21.4	
22	99	18	46.7	25	55	30.3	
23	99	48	24.4	26	1	41.0	
24	99	30	18.5	26	8	39.0	
1	99	23	35.0	26	7	33.3	

Tabla 1. Coordenadas que definen al área del acuífero

1.2 Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero Bajo Río Bravo pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo. Su porción noreste, donde se localiza el Distrito de Riego 025, se encuentra sujeto a las disposiciones del Decreto de Veda (sin clasificación) “Distrito de Riego Bajo Río Bravo” publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de febrero de 1955; el cual establece que *excepto cuando se trate de alumbramientos de aguas para usos domésticos, a partir de la fecha de publicación del presente acuerdo en el “Diario Oficial” de la Federación, nadie podrá efectuar obras de alumbramiento, para el aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la zona vedada, ni modificar las existentes, sin previo permiso por escrito, concedido por la Autoridad del Agua, la que solo lo expedirá en los casos en que de los estudios correspondientes, se deduzca que no se causarán perjuicios a terceros.*

El resto del área del acuífero se encuentra en zona de libre alumbramiento.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2007), tanto los 10 municipios de Tamaulipas (Nuevo Laredo, Guerrero, Mier, Miguel Alemán, Gustavo Díaz Ordaz, Reynosa, Río Bravo, Valle Hermoso y Matamoros), como los 5 del estado de Nuevo León (Agualeguas, General Treviño, Los Aldamas, Doctor Coss y General Bravo) que conforman el acuífero, se localizan en Zona de Disponibilidad 6. Asimismo, el acuífero pertenece al Consejo de Cuenca del Río Bravo, sin embargo, aún no se establece un Comité Técnico de Aguas Subterráneas, COTAS (situación al mes de mayo de 2006).

Dentro de la superficie del acuífero, se encuentran asentados los Distritos de Riego 025 “Bajo Río Bravo” y 026 “Bajo Río San Juan”. El DR025 está situado entre los poblados de Río

Bravo y Matamoros. En el año de 1970 el área total que abarcaba era de 2,480 km² y era operado a través de cuatro unidades (HIDROTEC, 1970). El agua que emplea este distrito proviene de la presa Falcón, de acuerdo con el Tratado Internacional de 1943 entre México y USA y con base en el plan de riego que se elabora cada año. El volumen se transporta por el cauce del río Bravo hasta la presa Anzaldúas, de donde son derivados por el canal del mismo nombre hacia los terrenos del distrito. Actualmente, en el Distrito de Riego 025 hay cerca de 15 mil usuarios (que manejan una superficie física de alrededor de 248,000 hectáreas).

El DR-026 está ubicado al oeste de la ciudad de Reynosa y en 1969-70 contaba con una superficie de 794 km², divididas en tres unidades (HIDROTEC, 1970). Los volúmenes de agua que se utilizan para el riego proceden de la presa Marte R. Gómez, construida para riego y control de las avenidas del Río San Juan.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

La zona de estudio conforma una región que ha sido poco estudiada; sin embargo, existen algunos informes técnicos de carácter geohidrológico muy espaciados en el tiempo. Los tres primeros los realizó la extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). El primero en 1970; posteriormente y después de 11 años se llevó a cabo el segundo; el tercero se realizó 14 años después y a partir del 2001 se tienen los estudios más recientes, dos en el año 2005.

Estudio geohidrológico completo de la zona del Bajo Río Bravo, Edo. de Tamaulipas. SRH, Dirección de Aguas Subterráneas. HIDROTEC, S.A., Noviembre de 1970.

En este estudio se presentan los trabajos efectuados en la región del acuífero Bajo Río Bravo; comprende un análisis de la química del agua subterránea que incluye configuraciones de sólidos totales disueltos (STD). Los trabajos se llevaron a cabo entre los años de 1967 y 1970; los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

- ✓ Reinterpretación de 51 registros eléctricos de pozos de PEMEX.
- ✓ Interpretación de la química del agua
- ✓ Verificación de la geología en campo
- ✓ Análisis de 130 muestras de agua tomadas a diferentes profundidades en 25 pozos de exploración perforados por la SARH (entre 1968 y 1969); los resultados establecieron que el contenido de STD varía entre 640 y 16,000 ppm
- ✓ El acuífero contenido en depósitos aluviales y lacustres se comporta como semiconfinado.
- ✓ De acuerdo con 29 pruebas de bombeo, este acuífero tiene una transmisividad que varía entre 0.08×10^{-2} a 7.60×10^{-2} m²/s; mientras que el coeficiente de almacenamiento oscila entre 2.80×10^{-4} y 12.80×10^{-4} .
- ✓ Se comenta que el Conglomerado Reynosa es un acuífero de muy baja productividad; en tanto que a las lutitas y areniscas del Mioceno no se les considera acuíferos en la región.

Estudio geohidrológico de actualización en la zona de Bajo Río Bravo – Reynosa, Tamps. SARH – SGZA. Servicios Geológicos S.A. 1981.

Para la realización de este estudio se llevó a cabo un censo de pozos que incluye a la zona que involucra este trabajo, aunque vale la pena comentar que se puso más detalle en la zona en

donde se ubica el Distrito de Riego 025; los resultados que obtuvieron permitieron concluir que para esa fecha (1981) en la zona existían 77 pozos y 172 norias. En su análisis hidrológico define que la precipitación promedio, durante el periodo 1971-1980 es de 740 mm; mientras que la temperatura media es de 22.6°C. A partir de mediciones del nivel del agua determinaron que la profundidad del nivel estático variaba entre 1 y 5 m, con un flujo preferencial de oeste a este, en dirección al Golfo de México.

En el ámbito de la calidad del agua, mediante el muestreo vertical en 99 pozos, determinaron que la concentración mínima de STD es de 600 mg/l y la mayor de 15,000 mg/l, con un valor promedio de 3,159 mg/l y una desviación estándar de 2,554 mg/l.

Estudio Geofísico y Geohidrológico para determinar Zonas Adecuadas de Explotación de la Cuenca Baja del Río Bravo, en los estados de Tamaulipas y Coahuila. Tomo 1. Estado de Tamaulipas. CNA, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. SEISMOCONTROL S.A. DE C.V. 1995.

Se realizó un estudio geofísico e hidrogeológico a través de 268 sondeos eléctricos verticales realizados en una superficie de 4,200 km², se estableció que la secuencia litológica está conformada por una alternancia de arcillas, arcillas y arenas y en menor proporción gravillas y gravas.

Asimismo, destacaron la existencia en la mayor parte de la región estudiada, de un paquete de arcilla saturada con alto contenido de sales, que aproximadamente se sitúa entre los 5 y los 50 m de profundidad.

Estudio de Prefactibilidad Geohidrológica para la Ubicación de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua Subterránea. COMAPA Reynosa, Tamaulipas. SCHLUMBERGER Integrated Water Solutions, 2001.

Este estudio establece una visión general del recurso del agua en la región de Reynosa, e identifica zonas con posibilidades para la explotación de agua subterránea.

Se realizó un censo a 48 aprovechamientos, dando prioridad a los pozos destinados a uso agrícola, se midieron niveles estáticos o dinámicos y se obtuvieron 5 muestras de agua subterránea y una más del Río Bravo, a fin de conocer las características físicas y químicas del agua subterránea y superficial.

En el estudio se concluyó que la zona más favorable para la ocurrencia de agua subterránea se ubica entre los poblados de La Retama y El Guerreño, en donde existe una cantidad no cuantificada de pozos profundos que proporcionan caudales de 60 lps, con profundidades del orden de los 200 m. De igual forma se determinó que el área de Reynosa y su entorno, presenta problemas de salinidad debido principalmente a las condiciones geológicas de la zona.

Estudio de Evaluación Hidrogeológica del Acuífero Localizado en la Región 24-G Bajo Río Bravo, particularmente la Zona Conurbada de las ciudades de Reynosa y Matamoros y Estudio de Factibilidad para la Potabilización de Aguas Subterráneas. COMAPA – JAD, Reynosa – Matamoros. MULTIESTUDIOS GRUPO ASOCIADO S.A. DE C.V. 2005.

Este estudio se llevó a cabo con la finalidad de actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas en el acuífero que corresponde a la zona entre las ciudades de Reynosa y Matamoros.

Se realizó un censo en Reynosa en donde se visitaron 70 aprovechamientos; la información piezométrica reveló que los niveles al agua subterránea variaban de 1 hasta 50 m de profundidad. En cuanto a la calidad de agua, la conductividad eléctrica observada varió de 320 hasta 9,500 microsiemens/cm. De igual manera, se llevó a cabo el censo en la región de Matamoros, en donde se visitaron el mismo número de aprovechamientos; en esta zona el nivel estático variaba de 1 hasta 22 m de profundidad y la conductividad eléctrica del agua de 284 hasta 15,500 microsiemens/cm.

En este estudio se determinó que existen posibilidades de extraer agua del subsuelo en las zonas aledañas de las ciudades de Reynosa y Matamoros.

Caracterización Hidrogeoquímica del Acuífero Bajo Río Bravo. CNA-Banco de América del Norte. INGENIERÍA DE EVALUACIÓN Y PROSPECCIÓN S.A. DE C.V. 2005.

El estudio tuvo como objetivo la caracterización hidrogeoquímica del acuífero Bajo Río Bravo, con la finalidad de conocer la distribución espacial de la composición química del agua subterránea, así como identificar zonas de distinta calidad del recurso hídrico subterráneo y entender los procesos que la controlan.

Para elaborar el estudio se tomaron 120 muestras de agua subterránea y 5 de aguas superficiales, que se distribuyeron de la siguiente forma: 104 muestras en pozos, 16 en norias y 5 en canales.

Se reporta que la salinidad tiene valores mínimos de 650 mg/l y máximos de 17,000 mg/l de STD. En general los canales presentaron la menor salinidad (1,583 mg/l en promedio), predominando el sulfato y el cloruro en la composición. Para el caso de las norias el promedio de salinidad fue mucho mayor (3,473 mg/l), en este caso el cloruro es el ión predominante. El agua extraída de pozos tuvo una salinidad promedio un poco menor que la identificada para las norias (3,034 mg/l), predominando el sulfato y el cloruro en la composición global.

En términos generales la salinidad del agua subterránea en la zona que estudiaron varía de 2,000-2,500 mg/l.

Estudio de Actualización de Mediciones Piezométricas para la Disponibilidad del Agua Subterránea en el Acuífero Bajo Río Bravo, Tamaulipas. Realizado para la CONAGUA por la empresa MORO, Ingeniería, S.C., 2006.

Este estudio tuvo como objetivos definir las condiciones de explotación del acuífero y determinar los parámetros hidráulicos del mismo; efectuar el inventario de aprovechamientos hidráulicos de uso agrícola e industrial; entender el funcionamiento del o los sistemas de flujo en el acuífero dándole mayor importancia a la zona comprendida dentro del Distrito de Riego 025 e identificar las áreas de mayor interconexión entre los canales de riego y el acuífero.

Como parte de sus actividades principales llevadas a cabo para cumplir con estos objetivos, se llevaron a cabo las siguientes actividades: reinterpretación geofísica sondeos eléctricos o registros de pozos, censo de aprovechamientos de agua subterránea de uso agrícola e

industrial y cálculo del volumen de extracción, piezometría, nivelación topográfica, análisis físicoquímico a muestras de agua y pruebas de bombeo.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de Raisz (1959), la zona de estudio queda comprendida dentro de la provincia fisiográfica denominada “Llanura Costera del Golfo Norte” en la subprovincia de la Llanura Costera Tamaulipeca.

La zona de estudio presenta una morfología prácticamente llana, se caracteriza por presentar una elevación topográfica entre 30 y 130 msnm, con bajas pendientes, lo que origina que el río Bravo presente zonas con meandros.

Geológicamente la zona de estudio está ubicada en la Subprovincia de la Cuenca de Burgos, adscrita en la Provincia Geológica del Noreste de México (López-Ramos, 1979). Constituye el extremo sur del Miogeosinclinal Terciario del Golfo de México, cuya máxima expresión se presenta en los estados de Texas y Louisiana en la Unión Americana (Ortega *et al.*, 1992).

3.2. Clima

En el estado de Tamaulipas, el clima responde fundamentalmente a la influencia de tres condiciones geográficas que son: la latitud a la que se encuentra la entidad, su cercanía al Golfo de México y la altitud de sus tierras.

Por su ubicación geográfica, el área de estudio recibe humedad del Golfo de México por la influencia de los vientos del Este, misma que está condicionada por la oscilación del anticiclón del Atlántico. De igual forma el Trópico de Cáncer divide al estado en dos zonas: su parte sur, en la que predominan los climas cálidos y relativamente húmedos, y su centro y norte más calurosos, con lluvias más escasas distribuidas en el año.

La influencia marina se deja sentir de distintas maneras a lo largo del año: durante los meses de verano los vientos húmedos penetran en el continente y dejan caer buena parte de la precipitación anual, como huracanes, los cuales son muy frecuentes y llegan a causar, junto con intensas lluvias, daños de importancia. Durante los meses invernales llegan a Tamaulipas, desde el golfo, masas de aire polar o “nortes”, que provocan precipitaciones y condiciones de alta humedad atmosférica, que tienen influencia sobre todo en la parte central y norte de la entidad.

En esta región, a partir de la costa en dirección noroeste, se presentan tres tipos de climas cuyo comportamiento va desde los climas semicálido-subhúmedo a seco-cálido.

El clima semicálido subhúmedo (A)Cx, se localiza desde la costa hasta altitudes de aproximadamente 100 msnm, presenta lluvias escasas todo el año; abarca a las ciudades de Matamoros, Valle Hermoso y Río Bravo, región en donde su máxima precipitación se

presenta en el mes de septiembre con 140 mm y su máxima temperatura media en el mes de agosto con 29° C; la precipitación invernal es de más del 18% de la total anual.

El clima *seco cálido Bs0(h')hx*, se localiza en la zona noreste de la región, al sur del cauce del río Bravo, a una altitud entre 100 y 200 msnm con lluvias escasas a lo largo del año. Presenta su máxima precipitación en el mes de septiembre con 100 mm y su máxima temperatura media en el mes de agosto con 29° C.

Con base en la información disponible obtenida a partir de 17 estaciones climatológicas ubicadas en la región, (tabla No. 2) se determinaron las condiciones de precipitación, temperatura y evaporación dentro del área de estudio.

Precipitación media anual

La precipitación media anual, tomada del mapa de Isoyetas del *Diagnóstico de la Región VI (CNA, Frontera Norte, 1998)*, varía de 450 mm a 600 mm, la mayoría de la lluvia se presenta en la primavera (abril a junio) y al término del verano (agosto a octubre).

Tabla No.2 Relación de estaciones climatológicas ubicadas dentro del área de estudio

Estación	Nombre	Lluvia media anual (mm)	Temperatura media anual (°c)	Evaporación media anual (mm)
28014	S.J.2-11 Camargo, Camargo	566.2	22.7	1837.6
28065	Nvo. Laredo, Nvo. Laredo	525.9	22.8	2123.7
28067	Nva. Cd. Gro. A P. Falcón	625.4	19.6	1663.2
28082	S.J. 3, Río Bravo, R. Bravo	646.6	22.6	1998.7
28093	S.J. 2-18 San Miguel	562.1	20.4	1969.3
28095	S.J. 1-2 San Pedro	506.1	18.2	2097.1
28099	S.J. 2-9 Comales, Camargo	601.4	19.3	1714.5
28100	S.J. 2-29, Gustavo Díaz O	543.6	22.8	1890.3
28101	S.J. 2-33, Reynosa	574.0	23.0	1776.4
28102	S.J. 2-38, Gustavo Díaz	611.0	22.8	1778.4
28103	S.J. 3-42, Reynosa	586.3	23.0	1662.9
28104	S.J. 3-47, Río Bravo	581.2	22.7	1707.8
28105	S.J. 3-55, Reynosa	617.9	22.8	1769.3
28106	S.J. 3-58 Reynosa	629.4	23.0	1826.6
28107	S.J. 3-60, Reynosa	609.4	23.0	1546.7
28108	S.J. 3-63, Tapón, Río Bravo	627.4	22.8	1857.8
28121	S.J. 2-23, Valadeces	548.9	23.0	

Temperatura media anual

De la misma manera que en el caso de la precipitación, el periodo de datos es muy variable para cada estación. Con base en lo anterior y de acuerdo con la información disponible de las estaciones consideradas, en la región que comprende el acuífero Bajo Río Bravo la temperatura media anual es de 22° C.

Evaporación potencial media anual

La evaporación media anual en el área de estudio es de 1,826 mm, valor muy superior a la lámina de precipitación que se presenta en esta zona, por lo cual se considera a este valor como representativo de la evaporación potencial; es decir aquella evaporación que se presentaría si hubiera una disponibilidad continua de agua.

3.3. Hidrografía

La zona de estudio se ubica en la Región Hidrológica del Río Bravo (No. 24), que se localiza en el extremo norte de la República Mexicana; limita al oeste con: Región N° 34 (Cuencas Cerradas del Norte), Región No. 9 (Cuenca del río Yaqui) y Región No. 10 (Cuenca del río Fuerte). Al sur limita con la Región No. 35 (Cuencas Cerradas del Bolsón de Mapimí), la Región No. 36 (Cuenca de los Ríos Nazas y Aguanaval), la Región No. 37 (El Salado) y la Región No. 25 (San Fernando-Soto la Marina); al norte limita con los Estados Unidos y al este con el Golfo de México, donde el colector principal vierte sus aguas. La cuenca del río Bravo está integrada básicamente por las cuencas del río Conchos, río Salado y el río San Juan; se estima que del lado mexicano se generan 6,383 Mm³ de escurrimiento medio anual, de los cuales el río Conchos aporta 2,346 Mm³, el río Salado 1,053 Mm³, el río San Juan 1,336 Mm³, el colector principal 1,082 Mm³ y el resto son aportes de otros ríos de menores dimensiones.

El río Bravo inicia su recorrido en territorio nacional en la Mesa del Norte, a poco más de 1,000 msnm y desciende sobre la Llanura Costera del Golfo hasta su desembocadura en el Golfo de México. En su recorrido, el río Bravo recibe los aportes del río Pecos por el lado americano y los ríos Conchos, Salado y San Juan por el lado mexicano, además de otros afluentes de menor importancia.

Aguas abajo de la presa Falcón, el Río Bravo sigue su curso con dirección sureste, rumbo al Golfo de México, sobre la suave pendiente de la llanura costera; en este último tramo, el Río Bravo recibe los aportes de pequeños afluentes, tanto del lado de los Estados Unidos como del lado de México, aunque por esta margen destacan el río Álamo y el río San Juan, éste último es uno de los más importantes afluentes del lado mexicano. En la última etapa de su recorrido, el Río Bravo tiene un cauce sinuoso debido a la escasa pendiente y sus aguas son usadas para el riego de terrenos agrícolas desde Nuevo Laredo hasta su desembocadura en el Golfo de México.

La mayor parte del Valle del Bajo Río Bravo (Río Grande, en Texas) consiste de una amplia planicie que se extiende desde el Golfo de México hasta las inmediaciones de las localidades de Reynosa, Tamaulipas y Río Grande Texas, en donde alcanzan los 150 msnm. El río en su porción aguas arriba tiene un gradiente menor a la pendiente natural del terreno y su planicie de inundación está más de 30 m abajo que la adyacente más elevada. En la zona media, del lado americano, área de Weslaco (norte de Reynosa) se tiene una amplitud de 15 km (9 millas).

La Subregión 24-G Bajo Río Bravo, comprende desde la localidad de Nuevo Laredo, Tamaulipas y Laredo, Texas, pasa por la presa Internacional Falcón hasta llegar a la desembocadura del Golfo de México; en este tramo sólo hay pequeños arroyos que fluyen hacia el río Bravo, el colector general recibe los aportes del río Salado, que es el segundo afluente importante del río Bravo del lado mexicano.

En la parte final del recorrido del río Bravo, sólo hay un afluente más del lado mexicano llamado Santa Gertrudis, después del cual la corriente principal sigue su curso hasta que desemboca en el Golfo de México.

En cuanto a infraestructura hidráulica, una de las principales obras es la presa Falcón que se localiza a 136 km aguas abajo de Nuevo Laredo, Tamps.; tiene por objeto aprovechar las aguas del Río Bravo para riego, generación de energía eléctrica y otros usos, pero sobre todo para el control de avenidas.

En esta Subcuenca destacan además las presas derivadoras Anzaldúas y El Retamal, ambas localizadas en el Río Bravo. Las dos presas cumplen con una doble función, la de regulación de los escurrimientos de avenidas del Río Bravo y el almacenamiento de los escurrimientos excedentes para su uso en el Distrito de Riego 025 Bajo Río Bravo

3.4. Geomorfología

La mayor parte del valle del Bajo Río Bravo consiste de una amplia planicie que se extiende desde el Golfo de México hasta las inmediaciones de las localidades de Reynosa, Tamaulipas, en donde alcanzan los 150 msnm. El río en su porción aguas arriba tiene un gradiente menor a la pendiente natural del terreno y su planicie de inundación está más de 30 m abajo que la adyacente más elevada. En la zona media, norte de Reynosa, se tiene una amplitud de 15 km.

Se distinguen tres principales áreas (Hidrotec, 1970; Lugo y Córdova, 1992):

1. La zona montañosa con sierras de 70 a 275 m, formadas por depósitos del Plioceno y areniscas marinas del Mioceno. Aquí se encuentra la sierra de Pamoranés, ubicada al sur de la zona.
2. La zona conformada por sedimentos no consolidados del Pleistoceno al Reciente que forman una llanura con poco relieve con alturas que oscilan entre los 5 y 70 m.
3. La zona con extensas lagunas costeras con alturas que van de 0 a 5 m.

4. GEOLOGÍA

La zona en estudio se ubica en la Subprovincia de la Cuenca de Burgos, adscrita en la Provincia Geológica del Noreste de México (López-Ramos, 1979). Constituye el extremo sur del Miogeosinclinal Terciario del Golfo de México, cuya máxima expresión se presenta en los estados de Texas y Louisiana en la Unión Americana (Ortega *et al.*, 1992). En el área del acuífero afloran rocas sedimentarias cuya edad varía del Cretácico al Reciente (Figura No.2).

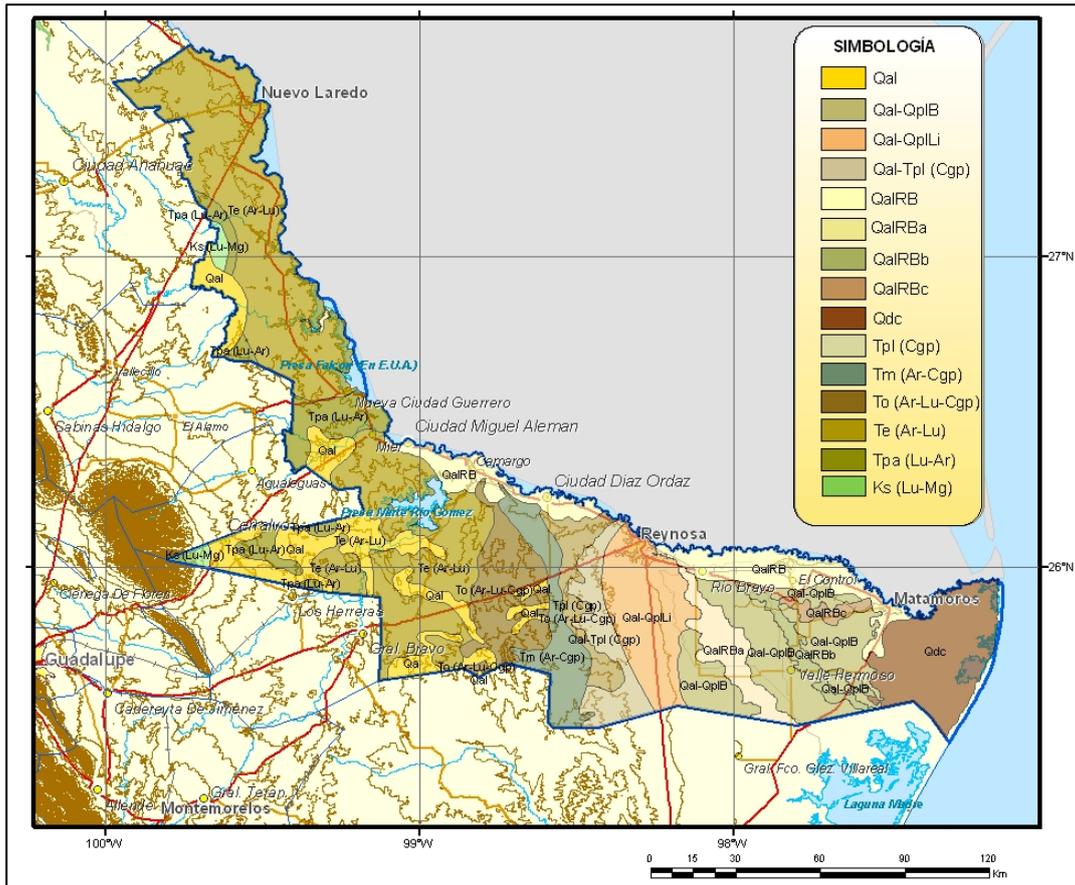


Figura 2. Geología General del acuífero

4.1 Estratigrafía

El modelo estratigráfico de la zona costera del Golfo en la Unión Americana, no obstante la infinidad de datos del subsuelo provenientes de los pozos, es compleja y controversial, con desacuerdos entre las unidades aflorantes y las reportadas en el subsuelo, esto principalmente es propiciado por la heterogeneidad de los sedimentos, también por una general ausencia de fósiles índices y pocos registros eléctricos determinativos; sin embargo, se reconocen varias unidades litoestratigráficas que se correlacionan con las identificadas en la parte mexicana, ver tabla de correlación estratigráfica.

El depósito en la cuenca del Golfo de México fue afectado por subsidencia de la corteza, dispersión de los sedimentos desde áreas lejanas como “Trans-Pecos Texas” (al oeste de la planicie costera del Golfo), así como por cambios eustáticos del nivel del mar. La mayoría de los episodios deposicionales del Cenozoico Temprano *Paleoceno–Oligoceno*, fueron derivados por erosión de las zonas cretácicas y jurásicas levantadas por la Orogenia Laramide (la porción de las Montañas Rocallosas en Estados Unidos y la Sierra Madre Oriental en México).

El medio ambiente de depósito a partir del **Mioceno** en el Golfo de México fue esencialmente regresivo; los cambios intermitentes del nivel del mar generaron menores ciclos transgresivos resultando un complejo de interestratificaciones de arenas, limos y arcillas, entremezclados con material volcanoclástico y tobas.

Los sedimentos de edad **Plioceno** son muy similares a los sedimentos miocénicos, sin embargo, estos son más arenosos e interestratificados; las arcillas son menos calcáreas y las arenas más ligníticas.

El depósito durante el **Pleistoceno** se llevó a cabo en ciclos de *erosión-depósito*, asociado con periodos de glaciación y variaciones coincidentales del nivel del mar generando depósitos graduados típicos de terrazas costeras.

El sistema aluvial de edad **Holocénica** (Cuaternario-Reciente) es de ámbito local, en él se incluyen los Depósitos fluviales y de Planicie de inundación (Aluvial) de las principales corrientes de la zona, en este caso la cuenca aluvial del río Bravo (río Grande); consiste de terrazas de gravas, depósitos de arenas y barras areno- arcillosas. Las planicies se integran de arenas y gravas en las partes bajas y limos y arcillas en las zonas altas.

En la zona de estudio se tienen rocas desde el Cretácico Superior al Reciente, ver plano geológico y columna estratigráfica en la tabla 4.1. Los materiales representativos del Cretácico afloran en una pequeña porción al occidente del área geohidrológica administrativa denominada “Acuífero Bajo Río Bravo”.

A continuación se hace una descripción de las principales formaciones geológicas, iniciando por las más antiguas.

Cretácico Superior

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

Paleoceno

Formación Velasco. Representa una facies de aguas profundas equivalente a la parte inferior de la Formación Midway. Está constituida por una serie de margas y lutitas de color gris, con algunos lechos delgados de arenisca calcárea. Tiene un espesor que varía entre 250 y 800 m.

Formación Midway. La parte inferior de la formación está representada por sedimentos de litoral tales como arenas y areniscas con foraminíferos del Cretácico. Los estratos superiores consisten de sedimentos marinos de aguas profundas representados por lutitas con abundante fauna marina. El espesor de la formación varía de 400 a los 1 000 m.

Eoceno

Formación Wilcox. Los sedimentos de esta formación descansan discordantemente sobre la Fm. Midway. Están constituidos por capas delgadas de lutita y de arenisca arcillosa dispuestos en alternancia. Ocasionalmente se encuentran intercalados bancos gruesos de arenisca con micas, con estratificación cruzada y capas gruesas de arcilla. El espesor de esta formación varía entre 800 y 1 300 m.

Formación Carrizo. Está conformada por arenas y areniscas de grano fino que alternan con estratos arcillosos de 2 a 15 m de espesor. El espesor de esta formación oscila entre los 300 y 800 m. Se considera parte del Grupo Clairborne.

Tabla No. 3 Columna estratigráfica de la zona de estudio

PERIODO	EDAD	FORMACIÓN	LITOLÓGIA	
Q	HOLOCENO	Depósitos Aluviales	Representados por gravas, gravillas, arenas y arcillas.	
	PLEISTOCENO	Beaumont	Consiste en arcillas que van de color rojo a azul.	
		Lissie	Gravas, gravillas, arenas y arcillas, de origen continental	
Terciario	PLIOCENO	Reynosa (Goliad)	Conglomerado mal clasificado con intercalaciones de arenosas y arcillas	
	MIOCENO	Lagarto	No separadas hacia el subsuelo. Están conformadas por arenas y	
		Oakville	Arenosas, así como gravas y arcillas.	
	OLIGOCENO	Catahoula	Lutitas y arenas con abundancia de material tobáceo.	
		Anáhuac	Lutitas y arenas de grano fino.	
		Conglomerado Norma	Gujarros grandes provenientes de las calizas y arenosas.	
		Frío	No Marino: lutitas, fragmentos de anhidrita y yeso.	
			Marino: lutitas con abundancia de foraminíferos.	
	Vicksburg	Arcillas y arenas de grano fino a medio que alternan con lechos de ceniza volcánica.		
	EOCENO	Jackson	Arenas y arenosas, lutitas arenosas y capas de ceniza volcánica.	
		Grup. Clairborne	Yegua	Arcillas con intercalaciones de lutitas carbonosas.
			Cook Mountain	Arenosas glauconíticas con arcillas.
			Mount Selman	Miembro Weches: Arenas y lutitas.
				Miembro Queen City: Arenas de Cuarzo con lutitas y arcillas.
				Miembro Recklaw: Arenas con lutitas y arcillas, con yeso y azufre.
Carrizo	Arenas y arenosas con estratos arcillosos.			
WILCOX	Lutita y arenosa.			
PALEOCENO	Midway	Arenas y arenosas con foraminíferos, así como lutitas.		
	Velasco	Margas y lutitas con algunos lechos de arenosa calcárea.		
	Méndez	Secuencia de lutitas laminadas.		
CRETÁCICO	CRETÁCICO SUPERIOR	San Felipe	Alternancia de calizas, lutitas y calizas arcillosas y marga.	
		Agua Nueva	Calizas arcillosas estructura laminar que alternan con lutitas y margas laminadas.	
		Tamaulipas superior	Calizas criptocristalinas en capas de espesor medio a grueso.	
		Tamaulipas Inferior	Potentes bancos de calizas compactas de grano fino.	
		CRETÁCICO INFERIOR	Taraises	Calizas en capas delgadas, en parte arcillosas y nodulares.

Formación Mount Selman. Cuenta con un espesor de 250 a 1 200 m. Está constituida por tres miembros: i) Recklaw, representado por arenas interestratificadas con lutitas y arcillas, a veces con yeso y trazas de azufre, que sugieren el origen subcontinental; ii) miembro Queen City, se compone de arenas de cuarzo de grano fino a medio, interestratificadas con lechos de lutitas y arcillas, y iii) Weches, conformado por arenas y lutitas con abundantes foraminíferos. Se considera parte del Grupo Clairborne.

Formación Cook Mountain. Consiste de una serie de areniscas glauconíticas de color gris verdoso que alternan con capas delgadas de arcillas.

Formación Yegua. Consiste de una potente serie de arcillas con intercalaciones de lutitas carbonosas, dispuesta entre dos cuerpos de areniscas, cuyos nombres son: el superior, Areniscas Álamo y el inferior, Areniscas Mier.

Formación Jackson. Consiste de arenas y areniscas interestratificadas con lutitas arenosas, con capas de ceniza volcánica y madera silicificada en la parte media y superior.

Oligoceno

Formación Vicksburg. Con un espesor de hasta 3000 m, está constituida por sedimentos marinos y salobres, arcillas y arenas de grano fino a medio que alternan con lechos de ceniza volcánica.

Formación Frío. Está formada esencialmente por lutitas bentoníticas, con escasos lentes arenosos. A través de la perforación de pozos se han podido distinguir a dos miembros:

- i) Frío marino, con un espesor de 30 a 1 000 m, conformado por lutitas con abundancia de foraminíferos y,
- ii) Frío no marino, formado por lutitas, fragmentos de anhidrita y yeso, así como cuerpos arenosos lenticulares; con un espesor de hasta de 2 000 m.

Conglomerado Norma. Consiste de gravillas y guijarros grandes provenientes de las calizas y areniscas. Muestra un espesor de 75 a 300 m.

Formación Anáhuac. Está representada por lutitas y arenas de grano fino que se acuñan hacia el occidente. Cuenta con un espesor hacia la parte oriental de entre 150 y 160 m.

Formación Catahoula. Se compone de lutitas y arenas con abundancia de material tobáceo.

Mioceno

Con un espesor que va de los 20 a los 3 000 m, está representado por las formaciones Oakville y Lagarto. Se les ha clasificado por separado en los afloramientos, pero no hacia el subsuelo; ya que ambas están conformadas por arenas y areniscas, así como gravas y arcillas con estratificación cruzada.

Plioceno

Formación Goliad. La forman sedimentos de origen continental como gravas, arenas, arcillas con trazas de material yesífero; estos materiales probablemente fueron depositados por arroyos y ríos caudalosos sobre la superficie del terreno en forma de abanicos deltáicos. Hacia su base está constituida por conglomerados, que cambian en su porción media a horizontes arcillosos; hacia su cima se compone principalmente por areniscas con lentes de conglomerado. Se le estima un espesor de 60 a 150 m y buza (se encuentra inclinada) al oriente, con 4 a 6 m por km.

Pleistoceno

Formación Lissie. Está representada por sedimentos de origen continental que se depositaron en un ambiente fluvial, también está formada por algunos depósitos costeros y deltáicos.

Se encuentra contenida entre las Arenas de la Formación. Goliad y la Arcilla Beaumont (Fm. Beaumont en México, PEMEX, 1999) aflora en una franja angosta paralela a la costa entre Reynosa y Río Bravo. Los sedimentos que afloran son parcialmente depósitos continentales que descansan sobre antiguas planicies costeras y deltas arenosos, limosos y arcillosos típicos de la “Boca de ríos”, su espesor varía de 120 a 480 m.

Sus afloramientos presentan una topografía ondulante y la inclinación de sus capas es menor que las arenas de la Fm. Goliad. Se encuentran arenas de grano grueso a fino con estratificación cruzada, a menudo las bandas de caliche marcan la base de la formación.

A las formaciones Goliad y Lissie en el norte de México se les asocia con el Conglomerado Reynosa.

Formación Beaumont (Arcilla Beaumont). Se encuentra sobre la Fm. Lissie y está cubierta parcialmente por los depósitos fluviales del Holoceno. Aflora al oriente de la Localidad de Río Bravo. Litológicamente presenta margas arcillosas pobremente estratificadas con intercalaciones de lentes de arenas. Los materiales fueron depositados por ríos a manera de deltas coalescentes y “Bocas de río” a lo largo de zonas costeras en los límites de ambientes lacustres.

En la porción media de la planicie costera su espesor varía de 150 a 450 m. Se encuentra pobremente estratificada e interestratificada con lentes arenosos y arcillas calcáreas.

Holoceno (Reciente)

Está representado por depósitos aluviales compuestos generalmente de limos y arcillas, con capas importantes de arenas y gravas; estos materiales se ubican preferentemente en la porción más cercana al cauce actual del río Bravo, asimismo se han reportado en antiguos cauces abandonados.

De estas formaciones, la que predomina en la superficie de la zona de estudio son la Lissie y los sedimentos del Reciente; a profundidad es factible encontrar a la Fm. Goliad.

4.2 Geología Estructural

El rasgo estructural más notable que caracteriza a la cuenca de Burgos, es una depresión de gran extensión, que produjo un sistema de fallamiento normal muy intenso, que en superficie no se observa claramente, debido a que las rocas se encuentran cubiertas por sedimentos recientes.

Las numerosas fallas normales presentes en la cuenca de Burgos, tanto de carácter post-depositacional (posteriores a la acumulación de sedimentos), como de crecimiento (fallas que se forman y crecen durante el depósito de los sedimentos), conforman una serie de bloques sub-paralelos de orientación general norte-sur, en donde el bloque de techo de la falla, generalmente al oriente, baja en dirección al centro de la cuenca.

Al igual que la distribución superficial de los depósitos sedimentarios cenozoicos, las fallas son más jóvenes hacia el este, indicando una estrecha relación espacial y temporal de la actividad tectónica y sedimentaria en el desarrollo del área.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información de los pozos de PEMEX y de la SARH, se puede establecer que por su inclinación, las formaciones geológicas se profundizan de poniente a oriente, con una pendiente de 0.5% a 0.6%; asimismo, éstas tienden a engrosarse en dirección a la línea de costa; por ejemplo se tiene que la base de la Formación. Goliad se encuentra a la altura de Reynosa a una profundidad de 100 m y con un espesor de 150 m y en Matamoros a una profundidad de 550 m y 140 m e espesor.

En la figura No.3 se muestra una sección geológica esquemática orientada en el sentido W-E, desde la sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León hasta el Golfo de México, en la que se muestra la disposición de las unidades litológicas en el subsuelo.

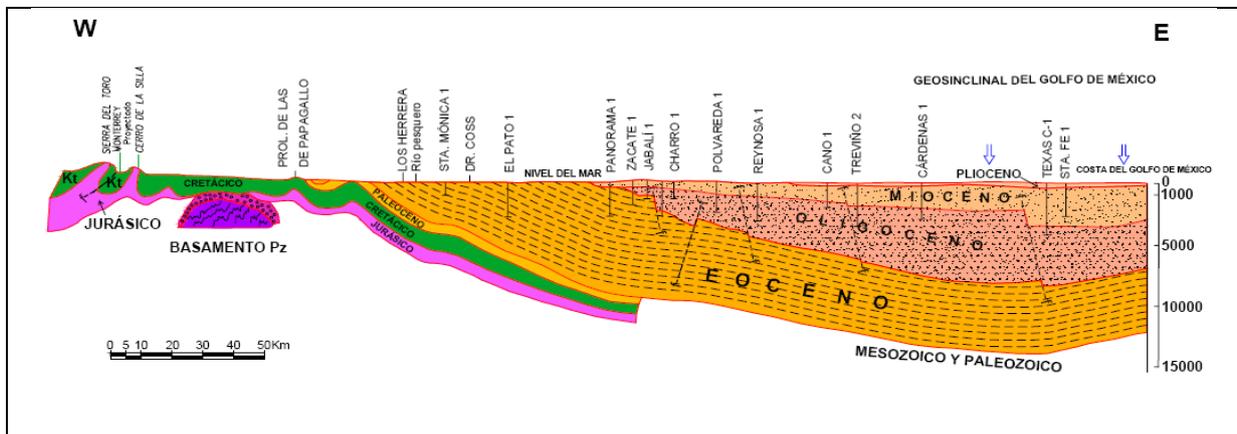


Figura No. 3. Sección Geológica esquemática

En los pozos de la SARH se identificó la variabilidad litológica de la zona de estudio, determinándose que las formaciones Goliad y Lissie tienen un carácter arenoso, siendo más acentuado en esta última. Por el contrario las formaciones Lagarto y Beaumont presentan una predominancia de arcillas.

Por otro lado, la gran distancia entre ellos no permite hacer una correlación litológica a detalle, además que las unidades presentan cambios de facies y ambientes sedimentarios (marinos y continentales). No obstante es posible diferenciar los siguientes elementos geológicos importantes: destacan los depósitos fluvio-deltáicos del río Bravo con lentes de gravas de mediano espesor, intercalados hasta los 150 m de profundidad, en los pozos cercanos al cauce principal (pozo 6); en los pozos sobre los paleo cauces (pozo 17), las gravas se encuentran por encima de los 75 m; en los pozos ubicados sobre las planicies aluviales antiguas (pozo 14), los horizontes de gravas no se presentan.

Estos pozos permiten además establecer que las variaciones litológicas por debajo de los depósitos aluviales deben correlacionarse con la Formación Beaumont. De esta manera es posible establecer que las perforaciones por debajo de los 100 m de profundidad generalmente encontrarán una secuencia de intercalación de arenas, arcillas y limos.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

En esta región los materiales del subsuelo son derivados de amplias planicies de inundación y antiguos deltas y consisten de una compleja inter-estratificación de capas y lentes de arcillas, limo, arenas y gravas. Se tienen cambios litológicos en cortas distancias, tanto horizontales como verticalmente. Esta inter-estratificación ha generado un sistema acuífero semiconfinado (leaky artesian system).

Se han reconocido y clasificado algunas zonas de producción de agua subterránea, sin embargo las fuentes principales, en cantidad y calidad se encuentran emplazadas en los depósitos aluviales y fluviales del río Bravo; otras se encuentran localizadas en antiguos cauces abandonados del mismo río y el resto se ubican en porciones arenosas de las formaciones geológicas terciarias de la región.

No obstante lo anterior, tradicionalmente se había considerado como una sola entidad acuífera a todos los materiales asociados con la franja fronteriza del río Bravo; aunque se reconocen algunas diferencias hidrogeológicas, estas se atribuyen a condiciones locales, tanto en productividad del acuífero como en la calidad del agua que contiene; sin embargo, estas diferencias más bien son una generalidad que una excepción.

En trabajos recientes CONAGUA (2006) realizó una zonificación basada en las características litológicas de las unidades descritas en el capítulo de geología, así como en la calidad del agua que contienen, de esta forma definieron las unidades hidrogeológicas que a continuación se describen siguiendo la secuencia estratigráfica e iniciando por la más antigua (figura No. 4).

- Unidad I. Acuífero pobre a muy pobre con agua subterránea de mala calidad; esta unidad incluye a las formaciones del Terciario que van del Mioceno a más antiguas; estas unidades litológicas se caracterizan por estar inclinadas de forma suave hacia el oriente, por lo que en la zona de Valle Hermoso se localizan ya por debajo de los 700 m de profundidad: Afloran en la porción centro y occidental del acuífero administrativo denominado Bajo Río Bravo (ABRB).
- Unidad II. Acuífero de potencialidad media, con agua subterránea de buena a regular calidad; está integrado por las formaciones Goliad y Lissie, ubicadas al centro-este del ABRB. Al igual que la unidad anterior estas formaciones están inclinadas hacia el este, por lo que en la zona de Valle Hermoso se ubican a una profundidad del orden de 300 m.
- Unidad III. Acuitardo con algunos horizontes acuíferos de baja potencialidad; contiene agua subterránea de muy mala calidad; está conformado por la Formación Beaumont y se localiza al este del ABRB.
- Unidad IV. Acuífero de potencialidad media a baja, espesor reducido, que contiene agua subterránea de mala calidad; está formado por los sedimentos acumulados en los antiguos cauces del río Bravo; se localizan en la porción este del ABRB.

- Unidad V. Acuífero de potencialidad media, con agua de buena calidad; está constituido por los sedimentos aluviales recientes del río Bravo; su principal área de exposición está entre las poblaciones de Reynosa y Matamoros, donde su espesor es muy irregular y varía de 200 a menos de 15 m.
- Unidad VI. Acuífero pobre a muy pobre con agua de regular a mala calidad, constituida por sedimentos aluviales de poco espesor; se localizan en la porción centro-sur y suroeste del ABRB.
- Unidad VII. Acuitardo con agua de mala a muy mala calidad; está emplazado en los sedimentos costeros que se ubican en el extremo oriente del ABRB.

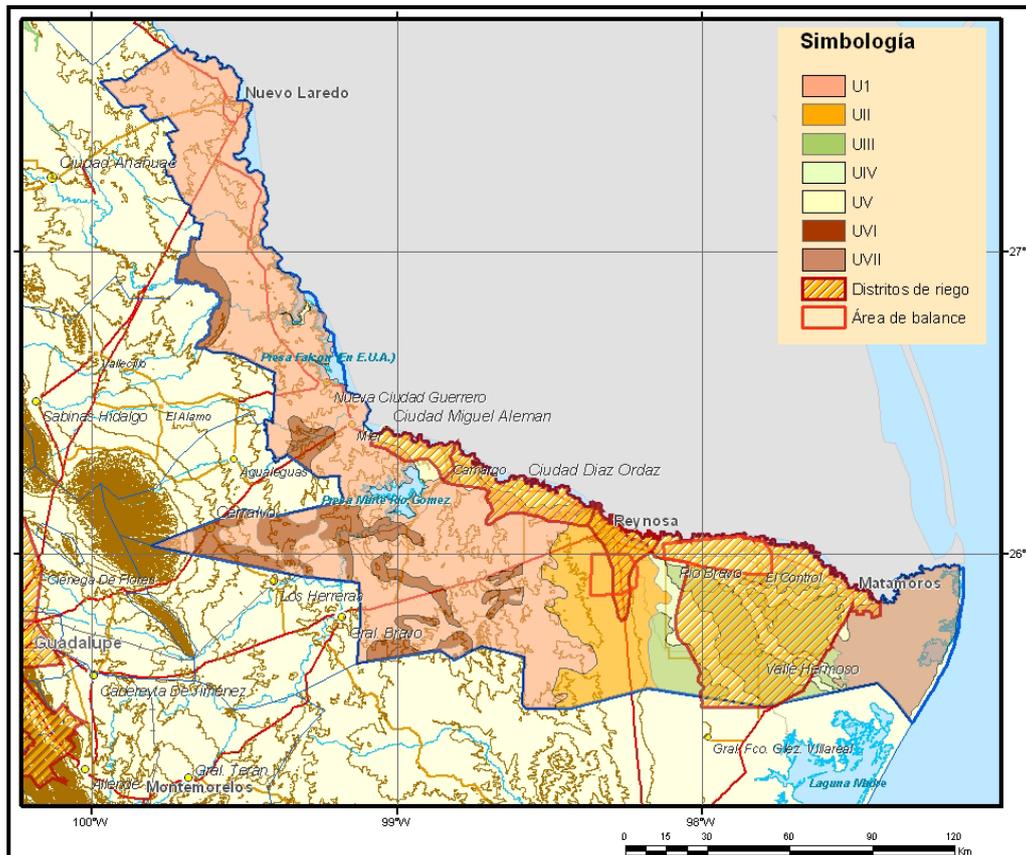


Figura No. 4. Unidades Hidrogeológicas

De estas unidades hidrogeológicas las más importantes, por la cantidad y calidad del agua que contienen, son la II y la V, las cuales contienen a los dos sistemas acuíferos principales del ABRB; al primero de estos sistemas se le denomina “Acuífero Sur de Reynosa” y al segundo “Acuífero Reynosa–Matamoros”.

Estos dos sistemas desde la población de Río Bravo hasta la costa están separados por la unidad hidrogeológica III (materiales semiconsolidados de predominancia arcillosa de la Formación Beaumont), que como se ha dicho constituye un acuitardo y sólo en sus horizontes más arenosos se forman acuíferos de baja productividad, con agua de alta salinidad. A este sistema hidrogeológico se le denomina como “Acuitardo Beaumont”.

Las zonas permeables en el Acuífero Reynosa–Matamoros están hidráulicamente conectadas con las porciones permeables de las capas adyacentes a profundidad, de poniente a oriente: “Arena” Goliad; Formación Lissie y la “Arcilla” Beaumont. Las zonas de sedimentos aluviales acumulados por el río Bravo presentan variación en sus espesores, cerca de la ciudad de Camargo apenas llega a unos 15 m, a la altura de Reynosa llega a tener entre 25 a 30 m y hacia las zonas entre Río Bravo y Matamoros llega a los 75 y 90 m.

El acuífero en las Formaciones Goliad y Lissie Acuífero Sur de Reynosa, está delimitado en su parte superior (al oriente) por la Formación Beaumont y en su parte inferior (al poniente) por la Formación Lagarto. La recarga que reciben estos acuíferos es producto de la precipitación que se registra en sus zonas de afloramiento localizadas al occidente de Reynosa.

Como se ha comentado, las zonas permeables se encuentran limitadas por las intercalaciones de lentes arcillosos generando de esta manera un sistema acuífero semiconfinado. Esta condición propicia que exista poca o nula interconexión en sentido lateral (horizontal) entre los diferentes sistemas acuíferos, como se demuestra por la diferencias de salinidad que se encuentran entre las diversas unidades adyacentes. Asimismo, se comprueba que en la medida que se aleja de la zona de afloramiento de estas unidades, la salinidad tiende a incrementarse; sin embargo en la zona sur de Reynosa, el agua presenta concentraciones ligeramente mayores a 1,000 mg/l de STD (en zonas cercanas a las zonas de afloramiento se tienen salinidades menores (800 a 1,000 mg/l) y en zonas puntuales más alejadas de estas o de extracción profunda se llega a registrar salinidades del orden de 3,000 a 5,000 mg/l.

5.2 Parámetros hidráulicos

Las unidades acuíferas del valle del Bajo Río Bravo son los materiales aluviales del cauce del río Bravo, Acuífero Reynosa-Matamoros y los depósitos continentales de las formaciones Lissie y Goliad, Acuífero Sur de Reynosa; estas unidades tienen diferencias en sus propiedades hidráulicas, generalmente dadas por la heterogeneidad de sus componentes. Sin embargo, los valores que se reportan de pruebas de bombeo y capacidades específicas de algunos pozos, permiten distinguir los rangos de los principales parámetros: Transmisividad (T), Conductividad Hidráulica (K) y Coeficiente de Almacenamiento.

En los estudios recopilados se han utilizado técnicas (Theis, 1963) para estimar la transmisividad (T), utilizando la capacidad específica de los pozos y complementadas con algunas pruebas de bombeo; sin embargo sus resultados se han querido extrapolar sobre una mayor extensión de terreno que implica diferentes materiales en cobertura. De esta manera, el análisis de sensibilidad indica por otro lado, que existe una muy pobre correlación espacial entre los valores de los diferentes materiales, esto significa que no hay continuidad entre los valores espacialmente cercanos con aquellos más alejados; es decir, la heterogeneidad entre los materiales propicia una diversidad de valores de T, sin embargo se aprecia que los mayores valores se encuentran en los materiales aluviales de los cauces del río Bravo.

De los resultados de la interpretación de la prueba de bombeo realizadas en el 2006 (tabla No. 4), se puede observar que los valores de Transmisividad (T) varían de 0.3 a 17.1×10^{-3} m²/s; en tanto que los valores de la Conductividad Hidráulica (K) oscilan entre 0.17 y 12.0 m/día. Para el caso del coeficiente de almacenamiento, los valores reportados varían de 1.0×10^{-3} a 12.8×10^{-4} .

Tabla No. 4. Resultados de la Interpretación de Pruebas de Bombeo realizadas en el 2006

POZO MORO (2006)	PNE	PTO	b	T abatimiento (m ² /día)	T recuperación (m ² /día)	K (m/día)
M3-9	20.18	130.00	109.82	91.11	125.28	1.14
M3-10	21.79	130.00	108.21	41.04	54.95	0.51
M3-29	25.16	120.00	94.84	176.26	132.19	1.39
M3-37	30.24	210.00	179.76	52.53	30.59	0.17
M1-9	7.36	100.00	92.64	298.08	274.98	2.97
M1-39	8.20	74.00	65.80	958.00	789.70	12.00
M1-40	5.41	80.00	74.59	402.00	401.87	5.39
M1-72	2.92	80.00	77.08	247.10	153.79	2.00
M2-16	4.70	80.00	75.30	443.23	194.05	2.58
PBRB-1	8.90	400.00	391.10	1,150	1,165.03	2.98
PBRB-6	4.98	250.00	245.02	1,590	1,475.71	6.02
301-A	11.36	73.00	61.64	900	713.76	11.58
244	11.31	70.00	58.69	698	602.33	10.28

Notas: PNE = Profundidad del nivel estático; PTO = Profundidad total de la obra

5.3 Piezometría

Tradicionalmente la Gerencia Estatal de la CONAGUA ha venido realizando, desde 1978 mediciones anuales de los niveles del agua en una red piezométrica establecida en la zona del Distrito de Riego Bajo Río Bravo. Sin embargo, aunque la red está integrada por aprovechamientos espacialmente distribuidos, su localización presenta algunos problemas. Por un lado, al encontrarse a diferentes profundidades no representan a la misma unidad; y, por otro, su ubicación se decidió tomando en cuenta que se trataba de una sola unidad acuífera.

La información disponible no permite diferenciar de forma detallada las profundidades en los aprovechamientos, sólo se diferencian por el tipo de obra ya que hay norias poca profundas (menores a 15 m); norias y pozos de diámetro pequeño equipados con aeromotores (papalotes) de mediana profundidad (20 a 50 m) y pozos de diámetro grande con profundidades variables que llegan a alcanzar los 200 m. Tampoco se conocen las características constructivas de las obras, por lo que sólo se supone que las norias y pozos pequeños someros están abiertos en toda su extensión; sin embargo hay pozos más profundos que tienen ademes lisos y ademes ranurados (rejillas) en diferentes tramos.

De esta manera se establece que los valores obtenidos pudieran representar condiciones piezométricas de diferentes acuíferos, con la posibilidad de que entre mayor sea la profundidad de la obra se puedan cortar equipotenciales de acuíferos con mayor carga hidráulica, ya que la disposición por franjas paralelas superpuestas de las unidades acuíferas posibilitaría esta condición.

Asimismo, los aprovechamientos someros pueden representar niveles de acuíferos aislados que no tienen relación directa con el resto de las unidades, esto puede darse en los horizontes de relleno aluvial y fluvial, así como entre las porciones arenosas permeables separadas por las capas arcillosas.

No obstante lo anterior, en el estudio del 2006 fue posible identificar los aprovechamientos representativos de la unidad hidrogeológica constituida por depósitos aluviales del cauce del Río Bravo y los horizontes arenosos superiores de la Formación Beaumont. De esta manera, se discriminaron aquellos que presentaban datos fuera del consenso general con el propósito de elaborar configuraciones para el año 2006 para aquellas zonas que presentaban información consistente. Como resultado de lo anterior, se identificaron dos zonas: *Reynosa-Matamoros* y *Sur de Reynosa*

5.4 Comportamiento Hidráulico

Por lo tanto, las zonas en donde se tiene la información mínima necesaria para elaborar las configuraciones del nivel estático y para realizar balances de aguas subterráneas, son las localizadas al sur de la ciudad de Reynosa y la ubicada entre las poblaciones de Reynosa y Matamoros, ver figura No. 5. En estas áreas existe la posibilidad de realizar configuraciones de igual elevación del nivel piezométrico de forma confiable, con pozos seleccionados en los que se conoce su profundidad total, la posición del nivel piezométrico para distintas fechas, su cota y establecer la variación de su extracción.

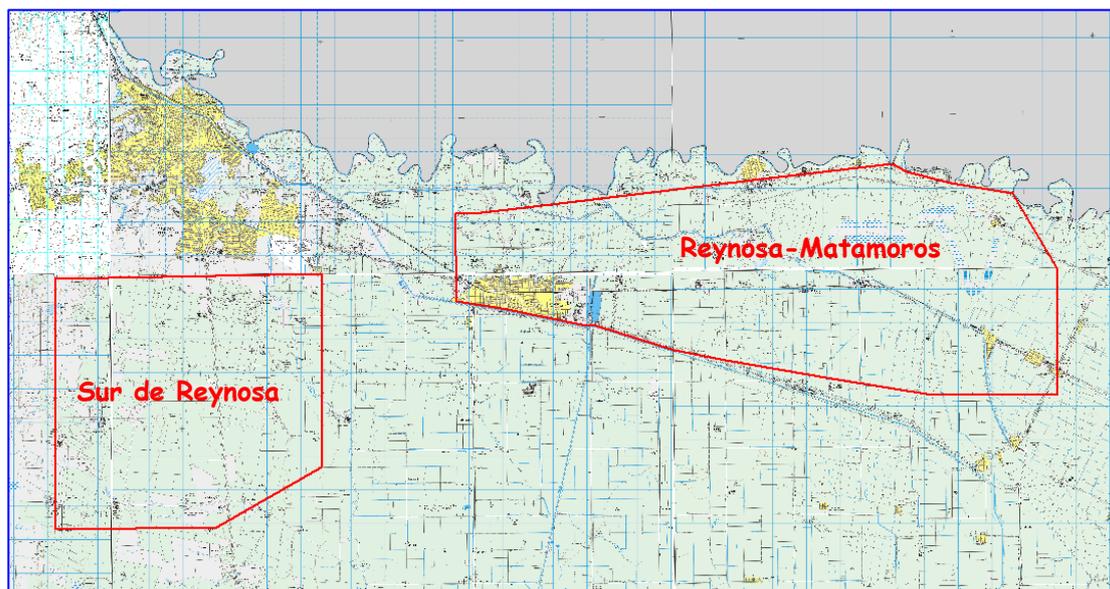


Figura No. 5. Áreas seleccionadas para elaborar las configuraciones del NE y realizar el balance

5.4.1 Profundidad al nivel estático 2006

Los datos corresponden a los meses de agosto-septiembre.

Zona Reynosa-Matamoros. Prácticamente todos los valores de profundidad al nivel estático son someros, por debajo de los 10 m; las mayores profundidades (ligeramente mayores de 8 m) se observan en las inmediaciones del cauce del Río Bravo, controlados por la leve topografía que generan las terrazas fluviales y los bordos de protección del río (figura No. 6).

Las menores profundidades (menores a 4 m) se ubican al noroeste de la población de Río Bravo y al sureste de Nuevo Progreso; en general los valores disminuyen hasta encontrarse en un rango entre 5 a 6 m, hacia la porción interna en la zona de la planicie del Distrito de Riego 025 Bajo Río Bravo.

Par la *zona Sur de Reynosa*, el agua subterránea se encuentra a profundidades que oscilan entre 15 y 50 m, los valores mayores se ubicaban al poniente de la región, en las inmediaciones de las localidades “Nueva Libertad” y “División del Norte”. Se observa que la distribución de valores depende de la conformación topográfica. En la zona sur, más cercana a Reynosa, se registran profundidades entre los 22 y 25 m. Los niveles menos profundos se localizan en las cercanías del canal Rodhe. En la porción sur se observa una distorsión, en donde se tienen mayores profundidades (40 a 45 m), esto quizás provocado por el incremento de la extracción en esa zona.

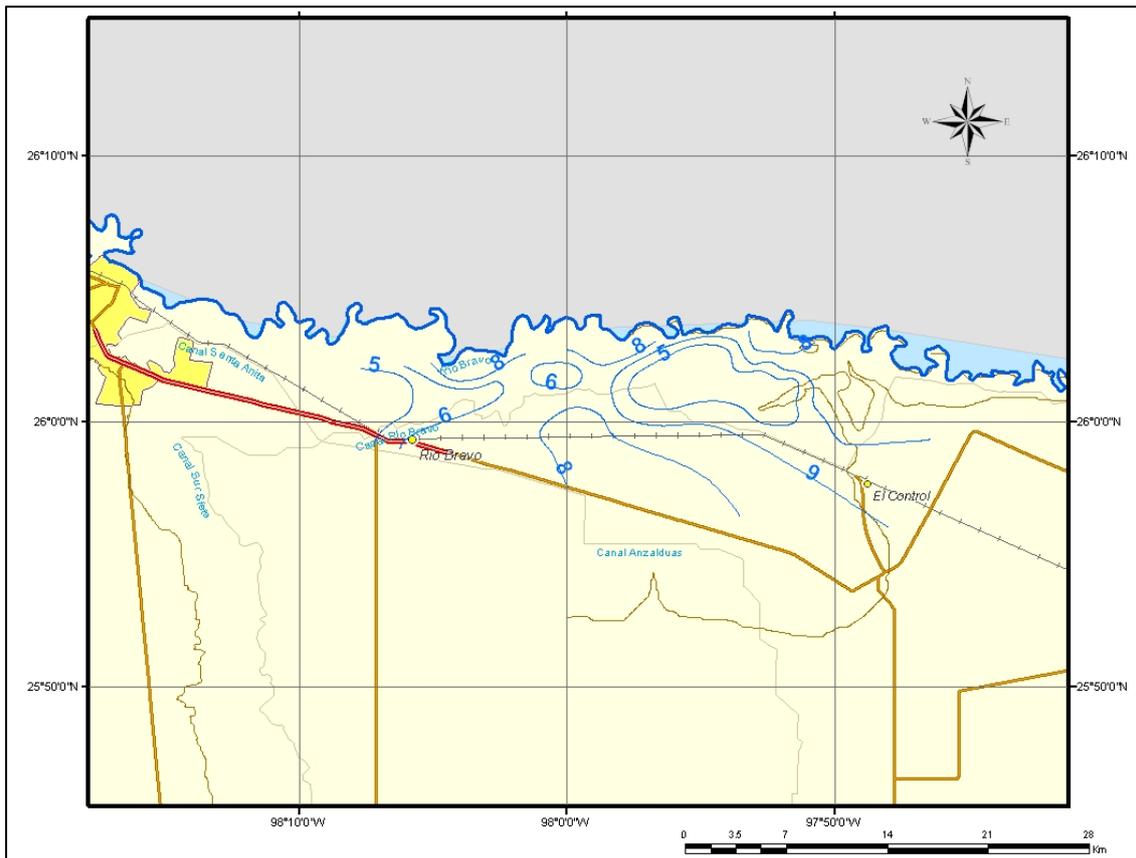


Figura No 6. Profundidad al nivel Estático 2006 (valores en m)

5.4.2. Elevación del nivel estático 2006

La distribución de las equipotenciales en la *zona Reynosa–Matamoros*, muestra una dirección de flujo proveniente del sur y poniente al noreste; el flujo parte de la porción sur de Río Bravo en donde se tienen las mayores elevaciones (25 msnm); en general la tendencia en el movimiento del agua es hacia el noreste y solamente al este de Nuevo Progreso se presenta una dirección franca al norte (figura No. 7).

Los gradientes se mantienen en la zona oriental, alrededor de 5.0×10^{-4} ; sin embargo, aumentan ligeramente al norte de Río Bravo alcanzando 1.23×10^{-3} , esto generado aparentemente por el incremento en la extracción del lado norteamericano, lo que afecta a las equipotenciales en la zona de Nuevo Progreso.

Para la *zona Sur de Reynosa* se presenta un esquema general de flujo en dirección de poniente a oriente en la que el agua proviene del poniente de las zonas de afloramiento de las

formaciones que constituyen el acuífero. Las elevaciones varían de 60 msnm, en la región de “Los Realitos”, hasta ser ligeramente menores a los 20 msnm en las planicies de la zona de riego (canal Rodhe). Los gradientes hidráulicos son mayores en la porción norte que en la porción sur, lo cual puede deberse a cambios en la permeabilidad.

Es notable la distorsión en la dirección del flujo generada por la extracción en la zona sureste, específicamente en las proximidades de las rancherías de San Isidro y Santa Teresa, en donde se tiene la equipotencial cerrada de 10 msnm que limita la zona más profunda del cono de abatimiento. En general se observa que la envolvente de 20 msnm delimita la zona de afectación al flujo original.

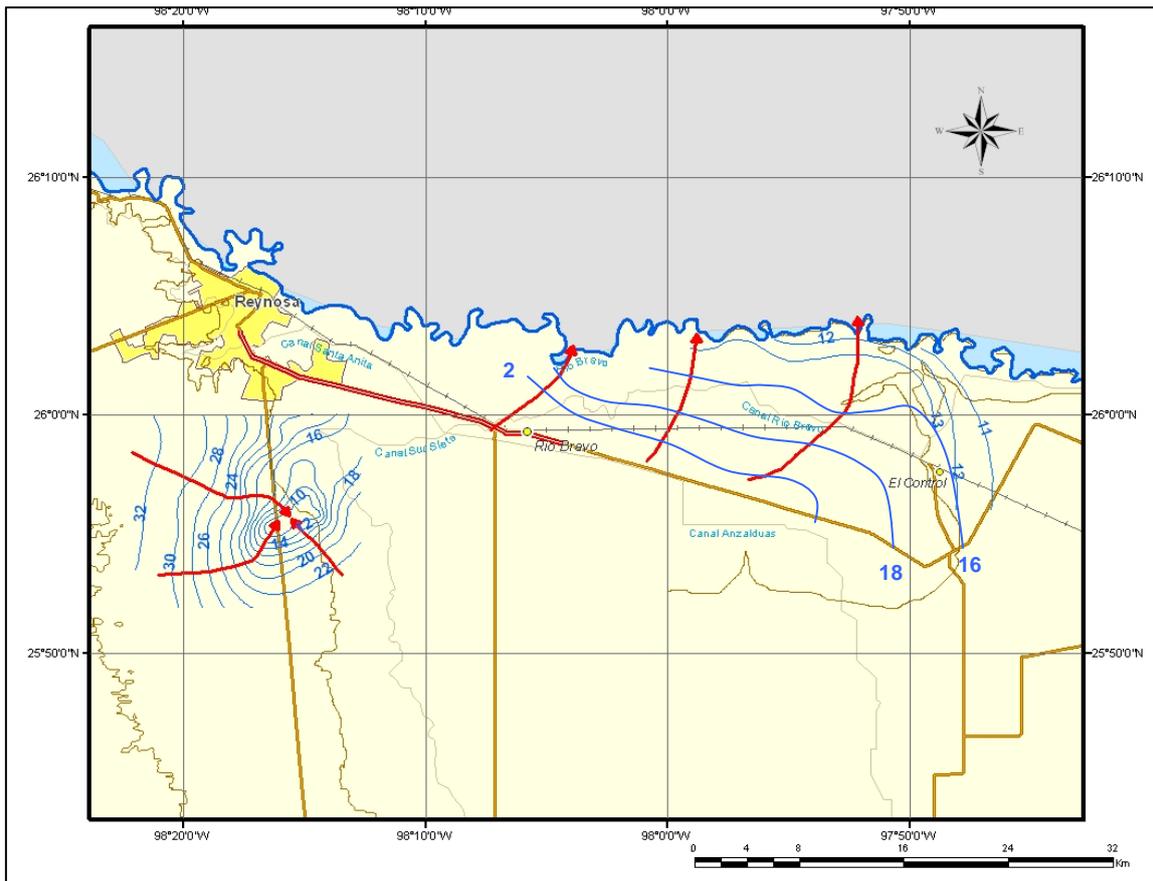


Figura No. 7. Elevación del Nivel Estático 2006 (msnm)

5.4.3. Evolución del nivel estático

Zona Reynosa-Matamoros

Evolución del Nivel Estático 1978–2004

En el estudio de CONAGUA-BANDAN (2005), se presenta la configuración de la evolución del nivel del agua en los pozos del acuífero Bajo Río Bravo, para el periodo 1978-2004 (26 años); en esta se aprecian abatimientos de entre 1 y 5 m. El mayor abatimiento se registra hacia el NE de la población Río Bravo; menores abatimientos se localizan hacia las ciudades de Reynosa y Matamoros. También se observan recuperaciones del nivel estático con valores de 1 a 3 m, hacia el NW del poblado de Matamoros, entre las unidades operativas 1 y 3 del Distrito de Riego 025.

Evolución del Nivel Estático 1982 – 2006

La configuración muestra que en general se registran valores negativos. Se destacan dos zonas con abatimientos mayores a los 5 m que se ubican al oriente y noreste de la población Río Bravo y al sur de Nuevo Progreso (Figura No. 8)

Zona Sur de Reynosa

Evolución del Nivel Estático 1982 – 2006

En esta configuración se observan zonas de fuertes abatimientos, como los presentes en la porción noroeste, en donde el agua subterránea se está explotando a costa del almacenamiento del acuífero. También existe otra región con abatimientos importantes que se localiza al centro-sureste. Los valores con evolución positiva se ubican al suroeste y sureste. Debido a la pobre cobertura de pozos los valores positivos y negativos superiores 10 m deben ser tomados con reservas.

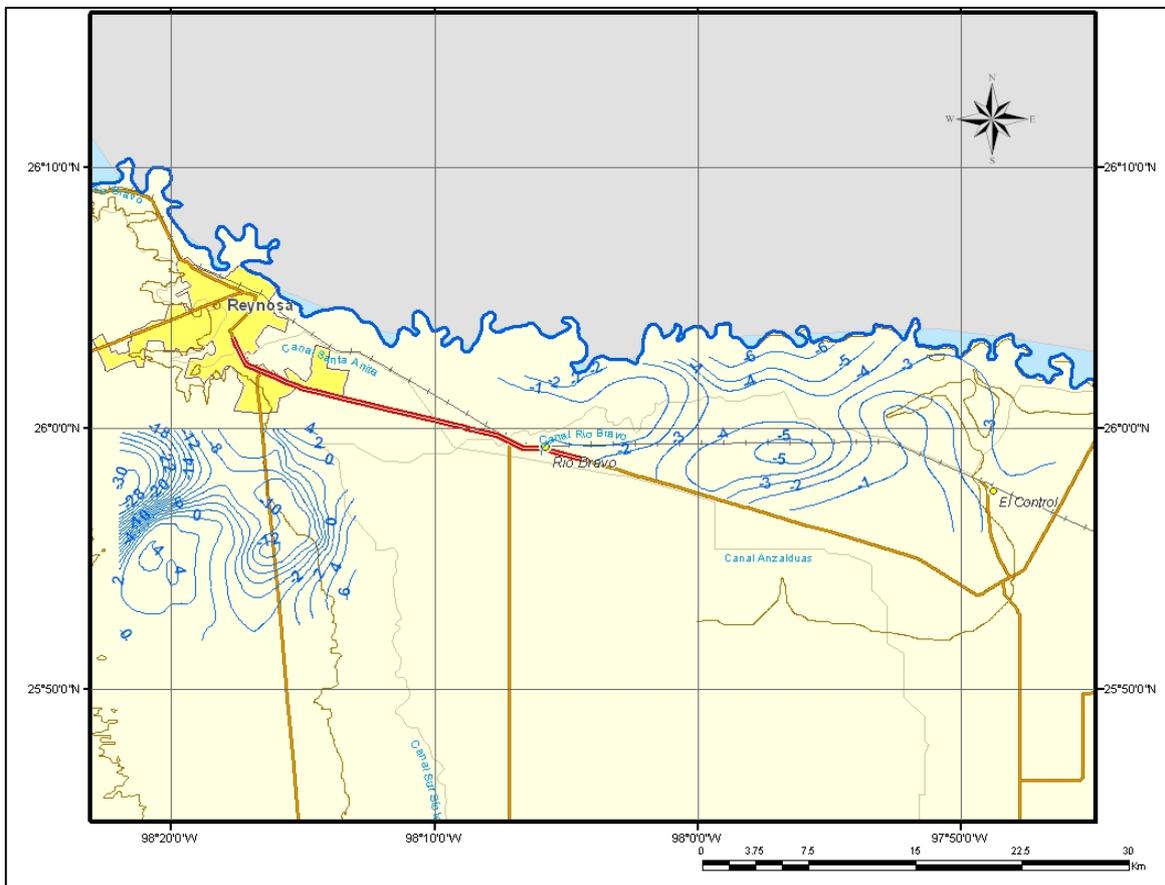


Figura No. 8. Evolución del nivel Estático 1982-2006 (m)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Los estudios realizados desde las décadas de los setenta, coinciden en que la mejor agua se ubica a lo largo del cauce actual del Río Bravo, sin registrar cambios importantes en cuanto a su salinidad a lo largo del tiempo. No obstante, lejos de la influencia del río, se ha notado un

progresivo deterioro de la calidad del agua subterránea. Las aguas más salinas se encuentran por lo general por debajo de los 150 m de profundidad, sin embargo no se ha definido una ocurrencia preferencial excepto para algunas muestras de agua poco profundas, lo que podría indicar afectaciones por retornos de riego o ascensos de aguas salinas más profundas. También se aprecia que las aguas dulces o moderadamente salinas se ubican por encima de los 30 m. En cuanto a su distribución, se destacan las zonas de agua “dulce” ubicadas a lo largo del cauce del río Bravo y tierra adentro en zonas de acuíferos someros, principalmente de las formaciones Goliad y Lissie.

Por otro lado, las evidencias de los registros eléctricos sugieren también que la salinidad del agua cambia lateral y verticalmente en el acuífero Beaumont, se ha reportado que este deterioro en la calidad se incrementa conforme se aleja del Río Bravo a mayor profundidad. Esta variación también se encuentra relacionada con la productividad de los materiales y es marcada la asociación de baja productividad de los pozos en la medida que se alejan de la zona ribereña. Como una evidencia de lo anterior, los mejores pozos en cuanto a su productividad y con agua de menor salinidad se encuentran explotando a los depósitos aluviales y fluviales del cauce actual del Río Bravo. Fuera de este ámbito, así como a profundidad, la productividad y la calidad del agua decrecen en la medida que se alcanzan los depósitos de las formaciones del Terciario Superior (Formación Goliad) y del Pleistoceno (formaciones Lissie y Beaumont).

Estudios recientes (CFE, 2001) han demostrado la existencia de cauces antiguos del Río Bravo, con mejores condiciones de permeabilidad; sin embargo, al estar desconectados del cauce actual, su renovación con agua dulce está limitada solamente a la lluvia local, que genera un lente somero de poco espesor. Aunque muchas veces también la cercanía del mar genera que el agua precipitada por las tormentas tenga una mayor salinidad que el agua de lluvia que ocurre continente adentro. El incremento de salinidad con la profundidad está asociado a procesos de disolución de minerales locales, y evaporación de las aguas de riego agrícola; en algunas zonas además se pueden esperar aguas antiguas provenientes de salmueras, que han migrado desde las profundidades por fracturas y fallas en los depósitos terciarios subyacentes (no olvidar que la zona se ubica en la “Cuenca de Burgos”, región productora de petróleo).

Los estudios previos (SRH, HIDROTEC, 1969; SARH, Servicios Geológicos, 1981; CONAGUA, IEPSA, 2005) han demostrado que la salinidad del agua subterránea en la región del área administrativa del acuífero del Bajo Río Bravo, varía desde 600 mg/l hasta más de 11,000 mg/l, por lo que gran parte del acuífero presenta valores altos de salinidad. Los principales iones que favorecen el incremento de STD son el sodio y los cloruros.

En cuanto a la calidad del agua para riego, la mayoría de las muestras de agua provenientes de los pozos se clasifican como C4-S2 y C4-S3, que corresponden a agua con muy alto contenido de sales con contenido medio y alto de sodio; por lo que no se consideran apropiadas para la agricultura. En menor proporción se presentan agua C3-S1, salinidad alta y bajo contenido de sodio, y C4-S4 que representa muy altos contenidos de sales y de sodio.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con las cifras reportadas en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), existen más de 2400 aprovechamientos, pero la gran mayoría de ellos son norias de bajo rendimiento que extraen de manera manual caudales muy pequeños destinados al abastecimiento de las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

Durante los trabajos de campo realizados durante la segunda mitad del 2006, se censaron un total de 346 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 341 son pozos y solo 5 norias, que en conjunto extraen más del 90% del volumen total de extracción del acuífero; de los cuales 181 están activos (52.3%), 78 inactivas de forma temporal (22.5%) y los 87 aprovechamientos restantes se encuentran inactivos de manera permanente (25.2%).

Es importante comentar que las obras clasificadas como inactivas de forma temporal, son aquellas en las que el equipo de bombeo estaba descompuesto o en reparación, pero que ha operado en los últimos dos años; cuando la obra llevaba más de este tiempo fuera de operación se clasificó como inactiva permanente.

De acuerdo con dicho censo, el volumen total de extracción de agua del acuífero es de aproximadamente **25.8 Millones de m³ al año** (Mm³año), de los cuales 18.6 Mm³/año (72%) se destinan al uso agrícola, 3.0 más (11.6 %) para abastecimiento de agua potable a los centros de población, 3.8 (14.7 %) más para uso industrial, y los 0.4 Mm³año restantes (1.7 %) para uso doméstico-abrevadero y otros.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El período seleccionado para la realización del balance para las dos zonas de balance fue 1982-2006, debido a que para estos años existe información piezométrica confiable. Con objeto de complementar la información, se incluyeron otros pozos utilizados en estudios anteriores y los pozos de la red piloto actual. En ese sentido, se planteó la ecuación de balance de aguas subterráneas para cada una de las dos áreas de balance elegidas, cubriendo una superficie de 205 km² para la zona *Sur de Reynosa*, y 335 km² para la zona *Reynosa-Matamoros*.

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

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

Que de acuerdo al modelo conceptual de la zona puede representarse por los términos siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Eh} + \text{Rv} - \text{Sh} - \text{B} &= \Delta V(S) && \text{Para la zona Sur de Reynosa} \\ \text{Eh} + \text{Rv} - \text{Sh} - \text{ERT} - \text{B} &= \Delta V(S) && \text{Para la zona Reynosa-Matamoros} \end{aligned}$$

Donde:

- Eh: Recarga por flujo horizontal de zonas de recarga
- Rv: Infiltración por lluvia y retornos de riego
- Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal
- ERT: Evapotranspiración real
- B: Bombeo

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

7.1 Entradas

La recarga total (R_t) al acuífero Bajo Río Bravo está integrada básicamente por las entradas subterráneas (E_h) y la recarga vertical por lluvia (R_v) que se origina en la zona.

7.1.1 Recarga natural

Recarga vertical y retornos de riego (R_v)

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

7.1.2. Entradas por flujo horizontal subterráneo (E_h)

El cálculo de entradas por flujo horizontal, producto de la precipitación que se infiltra en las zonas de recarga, se realizó basándose en la red de flujo establecida para los años que comprende el periodo de balance (Figura No.9). De esta manera, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = Tbi$$

Donde:

Q = Caudal instantáneo que pasa por el canal de flujo (m^3/seg)

T = Transmisividad (m^2/seg); ($T = Kb$, donde K es la conductividad hidráulica en m/s y b es el espesor del acuífero en m)

b = Ancho del canal de flujo (m)

i = Gradiente hidráulico $\Delta h/L$ (adimensional)

Zona Sur de Reynosa

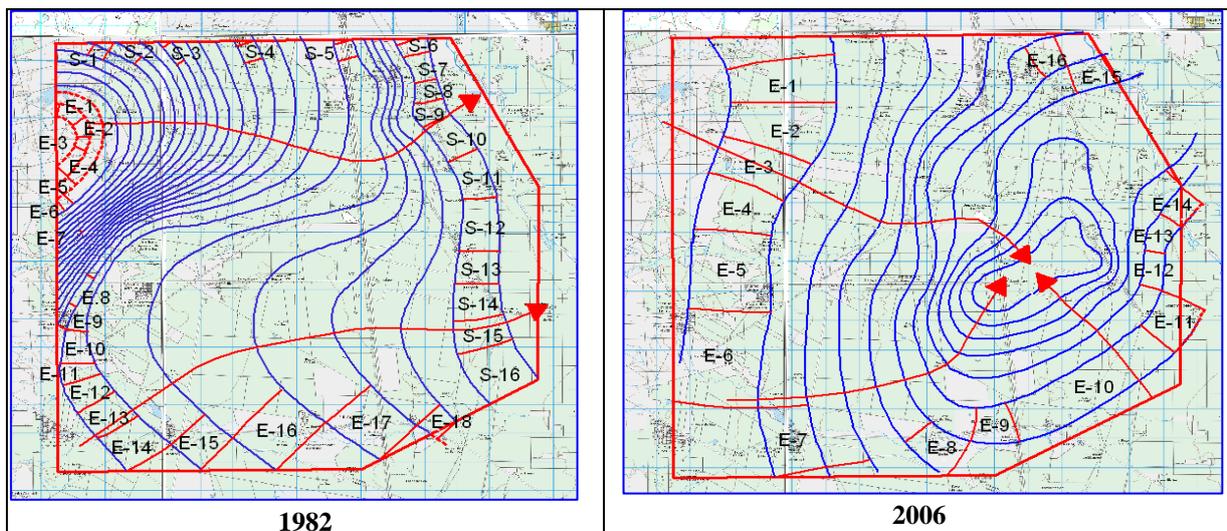


Figura No. 9. Red del flujo Subterráneo. Zona Sur de Reynosa

De acuerdo con las celdas de flujo definidas, se realizó el cálculo de las entradas subterráneas para cada año, obteniéndose 4.2 Mm³ para 1982 y 2.6 para el 2006 (tabla No.5). De esta manera, el promedio para el periodo de balance es de **3.4 Mm³ anuales**

1982											
Tubo de flujo	PNE (m)	PTB (m)	b (m)	K (m/d)	a (m)	T (m ² /d)	AL (m)	Ah (m)	i	Q (m ³ /d)	Q (Mm ³ /año)
E-1	21.92	250	228.1	0.80	806.45	182.46	451.61	2.00	4.43E-03	651.66	0.24
E-2	21.92	250	228.1	0.80	580.65	182.46	467.74	2.00	4.28E-03	453.01	0.16
E-3	21.92	250	228.1	0.80	370.97	182.46	435.48	2.00	4.59E-03	310.86	0.11
E-4	21.92	250	228.1	0.80	935.48	182.46	435.48	2.00	4.59E-03	783.92	0.29
E-5	21.92	250	228.1	0.80	580.65	182.46	467.74	2.00	4.28E-03	453.01	0.16
E-6	21.92	250	228.1	0.80	354.84	182.46	435.48	2.00	4.59E-03	297.35	0.11
E-7	52.81	250	197.2	0.80	1000.00	157.75	145.16	2.00	1.38E-02	2173.47	0.79
E-8	52.81	250	197.2	0.80	1112.90	157.75	177.42	2.00	1.13E-02	1979.07	0.72
E-9	52.81	250	197.2	0.80	1112.90	157.75	258.06	2.00	7.75E-03	1360.61	0.50
E-10	59.46	250	190.5	0.80	1016.13	152.43	532.26	2.00	3.76E-03	582.01	0.21
E-11	42.73	250	207.3	0.80	612.90	165.82	677.42	2.00	2.95E-03	300.05	0.11
E-12	42.73	250	207.3	0.80	919.35	165.82	854.84	2.00	2.34E-03	356.66	0.13
E-13	42.73	250	207.3	0.80	1032.26	165.82	1032.26	2.00	1.94E-03	331.63	0.12
E-14	42.73	250	207.3	0.80	1419.35	165.82	1177.42	2.00	1.70E-03	399.78	0.15
E-15	36.49	250	213.5	0.80	983.87	170.81	1854.84	2.00	1.08E-03	181.21	0.07
E-16	36.49	250	213.5	0.80	1838.71	170.81	2338.71	2.00	8.55E-04	268.58	0.10
E-17	41.80	250	208.2	0.80	2112.90	166.56	1822.58	2.00	1.10E-03	386.18	0.14
E-18	41.80	250	208.2	0.80	838.71	166.56	903.23	2.00	2.21E-03	309.33	0.11
Suma total de entradas										11,578.40	4.2

Notas para ambas tablas: PNE = Profundidad del nivel estático; PTB = Profundidad total de balance; b = Espesor de balance; a = Sección del tubo de flujo; Q = Caudal que fluye por el tubo de flujo

2006											
Tubo de flujo	PNE (m)	PTB (m)	b (m)	K (m/d)	a (m)	T (m ² /d)	AL (m)	Ah (m)	i	Q (m ³ /d)	Q (Mm ³ /año)
E-1	42.74	250	207.3	0.80	1387.10	165.81	3161.29	2.00	6.33E-04	145.50	0.05
E-2	40.33	250	209.7	0.80	1645.16	167.74	2951.61	2.00	6.78E-04	186.98	0.07
E-3	40.33	250	209.7	0.80	1435.48	167.74	2580.65	2.00	7.75E-04	186.61	0.07
E-4	40.33	250	209.7	0.80	1580.65	167.74	2354.84	2.00	8.49E-04	225.18	0.08
E-5	40.33	250	209.7	0.80	2612.90	167.74	2338.71	2.00	8.55E-04	374.80	0.14
E-6	40.33	250	209.7	0.80	3225.81	167.74	2387.10	2.00	8.38E-04	453.34	0.16
E-7	40.33	250	209.7	0.80	2290.32	167.74	1500.00	2.00	1.33E-03	512.23	0.19
E-8	23.36	250	226.6	0.80	1500.00	181.31	1209.68	2.00	1.65E-03	449.65	0.16
E-9	23.36	250	226.6	0.80	1161.29	181.31	1241.94	2.00	1.61E-03	339.08	0.12
E-10	30.00	250	220	0.80	5209.68	176	1370.97	2.00	1.46E-03	1337.60	0.50
E-11	30.00	250	220	0.80	1403.23	176	1419.35	2.00	1.41E-03	348.00	0.13
E-12	21.00	250	229	0.80	1241.94	183.2	645.16	2.00	3.10E-03	705.32	0.26
E-13	21.00	250	229	0.80	1080.65	183.2	709.68	2.00	2.82E-03	557.93	0.20
E-14	21.00	250	229	0.80	1225.81	183.2	806.45	2.00	2.48E-03	556.93	0.20
E-15	23.16	250	226.8	0.80	1435.48	181.47	1000.00	2.00	2.00E-03	521.00	0.19
E-16	23.16	250	226.8	0.80	822.58	181.47	1177.42	2.00	1.70E-03	253.56	0.09
Suma total de Entradas										9,048.82	2.6

Tabla No. 5. Cálculo de Entradas subterráneas para 1982 y 2006. Zona Sur de Reynosa

Zona Reynosa-Matamoros

Para el caso de la zona Reynosa-Matamoros, de acuerdo con las celdas de flujo definidas en la figura No. 10, se realizó el cálculo de las entradas subterráneas para 1982 y 2006, obteniéndose 4.1 y 2.7 Mm³, respectivamente (tabla No.6). De esta manera, el promedio para el periodo de balance es de **3.4 Mm³ anuales**.

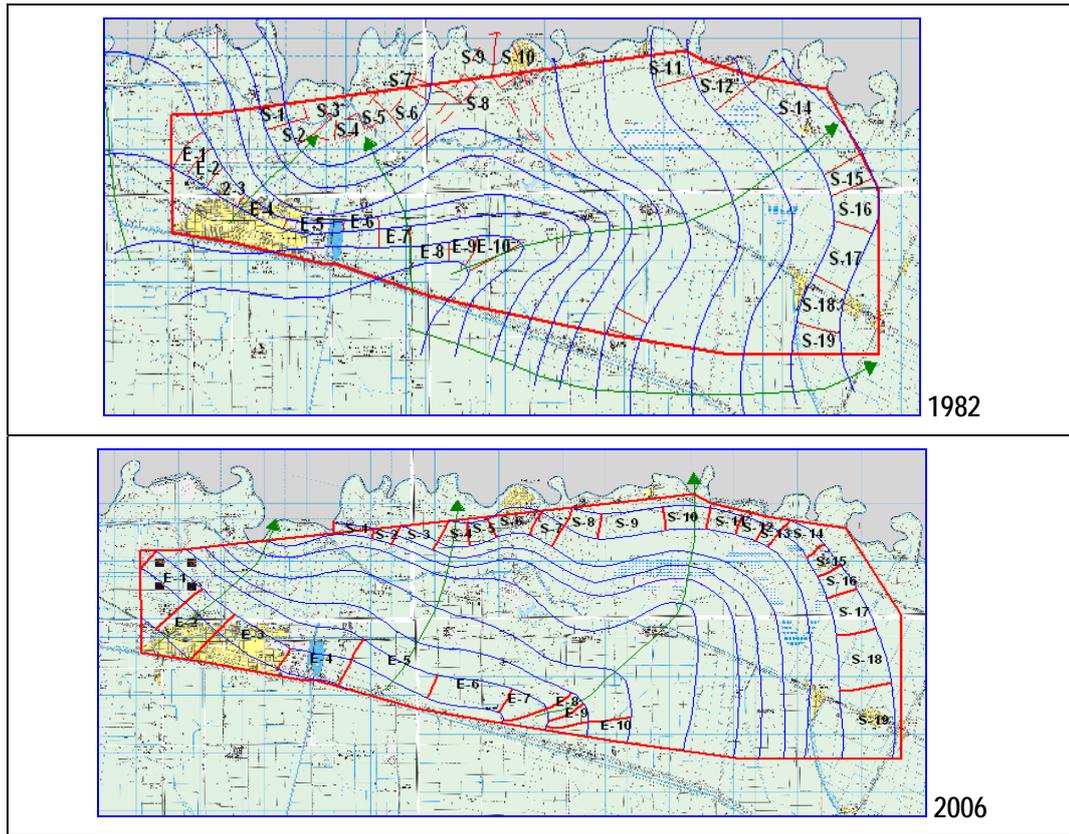


Figura No. 10. Red del flujo Subterráneo. Zona Reynosa-Matamoros.

Tubo de flujo	PNE (m)	PTB (m)	b (m)	K (m/d)	a (m)	T (m ² /d)	AL (m)	Ah (m)	i	Q (m ³ /d)	Q (Mm ³ /año)
E-1	4.59	100	95.41	6.00	807.69	572.46	2000.00	1	5.00E-04	231.19	0.1
E-2	4.59	100	95.41	6.00	730.77	572.46	1576.92	1	6.34E-04	265.29	0.1
E-3	4.59	100	95.41	6.00	1730.77	572.46	2153.85	1	4.64E-04	460.01	0.2
E-4	4.59	100	95.41	6.00	2615.38	572.46	615.38	1	1.63E-03	2432.96	0.9
E-5	7.50	100	92.50	6.00	4884.62	555.00	615.38	1	1.63E-03	4405.31	1.6
E-6	7.50	100	92.50	6.00	1500.00	555.00	884.62	1	1.13E-03	941.09	0.3
E-7	7.50	100	92.50	6.00	2000.00	555.00	961.54	1	1.04E-03	1154.40	0.4
E-8	7.50	100	92.50	6.00	1269.23	555.00	1230.77	1	8.13E-04	572.34	0.2
E-9	7.50	100	92.50	6.00	1961.54	555.00	2269.23	1	4.41E-04	479.75	0.2
E-10	7.50	100	92.50	6.00	1384.62	555.00	2038.46	1	4.91E-04	376.98	0.1
Suma total de entradas										11319.31	4.1

1982

Tubo de flujo	PNE (m)	PTB (m)	b (m)	K (m/d)	a (m)	T (m ² /d)	AL (m)	Ah (m)	i	Q (m ³ /d)	Q (Mm ³ /año)
E-1	4.17	100	95.83	5.00	3000.00	479.15	2461.54	1	4.06E-04	583.96	0.2
E-2	4.17	100	95.83	8.00	2192.31	766.64	2076.92	1	4.81E-04	809.23	0.3
E-3	4.17	100	95.83	5.00	3461.54	479.15	1346.15	1	7.43E-04	1232.10	0.4
E-4	5.21	100	94.79	5.00	3457.69	473.95	1461.54	1	6.84E-04	1121.27	0.4
E-5	7.50	100	92.50	5.00	4153.85	462.50	1307.69	1	7.65E-04	1469.12	0.5
E-6	7.50	100	92.50	5.00	3807.69	462.50	1384.62	1	7.22E-04	1271.88	0.5
E-7	4.25	100	95.75	5.00	1230.77	478.75	1769.23	1	5.65E-04	333.04	0.1
E-8	4.25	100	95.75	5.00	1115.38	478.75	1769.23	1	5.65E-04	301.82	0.1
E-9	4.25	100	95.75	5.00	538.46	478.75	2076.92	1	4.81E-04	124.12	0.1
E-10	4.25	100	95.75	5.00	1192.31	478.75	1923.08	1	5.20E-04	296.83	0.1
Suma total de entradas										7,543.36	2.7

2006

Tabla No. 6. Cálculo de Entradas subterráneas para 1982 y 2006. Zona Reynosa-Matamoros

7.2. Salidas

7.2.1 Salidas por flujo subterráneo (Sh)

Zona Sur de Reynosa

Para el cálculo de las salidas por flujo subterráneo, se procedió de la misma manera que para la estimación de las entradas. De acuerdo con la red de flujo mostrada en la figura No. 8., se estimó un volumen de 2.6 Mm³ para el año 1982, mientras que para el 2006 ya no existían estas salidas. Por lo tanto el promedio para el periodo de balance es de **1.3 Mm³** anuales.

Tubo de flujo	FNE (m)	FTB (m)	b (m)	K (m/d)	a (m)	T (m ² /d)	AL (m)	Ah (m)	i	Q (m ³ /d)	Q (Mm ³ /año)
S-1	21.92	250	228.1	0.80	532.26	182.46	322.58	2.00	6.20E-03	602.13	0.22
S-2	21.92	250	228.1	0.80	935.48	182.46	403.23	2.00	4.96E-03	846.63	0.31
S-3	21.92	250	228.1	0.80	774.19	182.46	322.58	2.00	6.20E-03	875.83	0.32
S-4	38.84	250	211.2	0.80	693.55	168.93	612.90	2.00	3.26E-03	382.31	0.14
S-5	21.42	250	228.6	0.80	500.00	182.86	564.52	2.00	3.54E-03	323.93	0.12
S-6	22.73	250	227.3	0.80	516.13	181.82	951.61	2.00	2.10E-03	197.22	0.07
S-7	22.73	250	227.3	0.80	935.48	181.82	822.58	2.00	2.43E-03	413.54	0.15
S-8	21.42	250	228.6	0.80	758.06	182.86	854.84	2.00	2.34E-03	324.32	0.12
S-9	21.42	250	228.6	0.80	822.58	182.86	1000.00	2.00	2.00E-03	300.84	0.11
S-10	21.42	250	228.6	0.80	1419.35	182.86	1016.13	2.00	1.97E-03	510.86	0.19
S-11	29.14	250	220.9	0.80	1451.61	176.69	1000.00	2.00	2.00E-03	512.97	0.19
S-12	29.14	250	220.9	0.80	1241.94	176.69	1080.65	2.00	1.85E-03	406.12	0.15
S-13	29.14	250	220.9	0.80	1790.32	176.69	1274.19	2.00	1.57E-03	496.52	0.18
S-14	29.14	250	220.9	0.80	1209.68	176.69	1467.74	2.00	1.36E-03	291.24	0.11
S-15	29.14	250	220.9	0.80	1241.94	176.69	1677.42	2.00	1.19E-03	261.63	0.09
S-16	29.14	250	220.9	0.80	1967.74	176.69	1596.77	2.00	1.25E-03	435.47	0.16
Suma total de salidas										7,181.57	2.6

Tabla No. 6. Cálculo de Entradas subterráneas para 1982. Zona Sur de Reynosa

Zona Reynosa-Matamoros

De igual manera, las salidas subterráneas para esta zona fueron evaluadas a partir de la configuración de la elevación del nivel estático mostrada en la figura No. 9. El valor de esta componente resultó de 2.0 y 8.0 Mm³ para los años 1982 y 2006, respectivamente (tablas No. 7 y 8), por lo que el promedio es de **5.0 Mm³** anuales.

Tubo de flujo	PNE (m)	PTB (m)	b (m)	K (m/d)	a (m)	T (m ² /d)	AL (m)	Ah (m)	i	Q (m ³ /d)	Q (Mm ³ /año)
S-1	5.23	100	94.77	2.97	961.54	281.47	1192.31	1.00	8.39E-04	226.99	0.08
S-2	5.23	100	94.77	2.97	1384.62	281.47	1153.85	1.00	8.67E-04	337.76	0.12
S-3	5.23	100	94.77	2.97	807.69	281.47	923.08	1.00	1.08E-03	246.28	0.09
S-4	5.23	100	94.77	2.97	884.62	281.47	923.08	1.00	1.08E-03	269.74	0.10
S-5	5.23	100	94.77	2.97	1000.00	281.47	1076.92	1.00	9.29E-04	261.36	0.10
S-6	5.23	100	94.77	2.97	1461.54	281.47	1192.31	1.00	8.39E-04	345.02	0.13
S-7	5.23	100	94.77	2.97	730.77	281.47	1192.31	1.00	8.39E-04	172.51	0.06
S-8	10.46	100	89.54	2.97	1230.77	265.93	807.69	0.25	3.10E-04	101.31	0.04
S-9	10.46	100	89.54	2.97	1615.38	265.93	1538.46	0.25	1.63E-04	69.81	0.02
S-10	10.46	100	89.54	2.97	1615.38	265.93	1692.31	0.25	1.48E-04	63.46	0.02
S-11	7.25	100	92.75	4.10	1230.77	380.28	2000.00	1.00	5.00E-04	234.02	0.09
S-12	7.25	100	92.75	4.10	1538.46	380.28	2192.31	1.00	4.56E-04	266.86	0.10
S-13	7.25	100	92.75	4.10	5000.00	380.28	2230.77	1.00	4.48E-04	852.34	0.31
S-14	7.25	100	92.75	4.10	1923.08	380.28	2269.23	1.00	4.41E-04	322.27	0.12
S-15	7.25	100	92.75	4.10	1307.69	380.28	2307.69	1.00	4.33E-04	215.49	0.08
S-16	7.25	100	92.75	4.10	3307.69	380.28	2076.92	1.00	4.81E-04	605.62	0.22
S-17	7.25	100	92.75	4.10	2230.77	380.28	2076.92	1.00	4.81E-04	408.44	0.15
S-18	7.25	100	92.75	4.10	1230.77	380.28	2500.00	1.00	4.00E-04	187.21	0.07
S-19	7.25	100	92.75	4.10	1153.85	380.28	1730.77	1.00	5.78E-04	253.52	0.09
Suma total de salidas										5440.01	2.0

Tabla No. 7. Cálculo de Entradas Subterráneas para 1982. Zona Reynosa-Matamoros

Tubo de flujo	PNE (m)	PTB (m)	b (m)	K (m/d)	a (m)	T (m ² /d)	AL (m)	Ah (m)	i	Q (m ³ /d)	Q (Mm ³ /año)
S-1	5.23	100	94.77	4.18	1615.38	396.14	384.62	1	2.60E-03	1663.78	0.61
S-2	5.23	100	94.77	4.18	1423.08	396.14	461.54	1	2.17E-03	1221.43	0.45
S-3	5.23	100	94.77	4.18	2038.46	396.14	538.46	1	1.86E-03	1499.67	0.55
S-4	8.50	100	91.50	4.18	1192.31	382.47	1307.69	1	7.65E-04	348.72	0.13
S-5	8.50	100	91.50	4.18	1153.85	382.47	1269.23	1	7.88E-04	347.70	0.13
S-6	8.50	100	91.50	4.18	2192.31	382.47	1307.69	1	7.65E-04	641.20	0.23
S-7	8.50	100	91.50	4.18	1269.23	382.47	1307.69	1	7.65E-04	371.22	0.14
S-8	6.40	100	93.60	4.18	1538.46	391.25	1153.85	3	2.60E-03	1564.99	0.57
S-9	6.40	100	93.60	4.18	3423.08	391.25	1076.92	3	2.79E-03	3730.83	1.36
S-10	6.40	100	93.60	4.18	2192.31	391.25	1230.77	3	2.44E-03	2090.73	0.76
S-11	6.00	100	94.00	4.18	1461.54	392.92	1192.31	3	2.52E-03	1444.93	0.53
S-12	6.00	100	94.00	4.18	1000.00	392.92	1076.92	3	2.79E-03	1094.56	0.40
S-13	6.00	100	94.00	4.18	1153.85	392.92	961.54	3	3.12E-03	1414.51	0.52
S-14	6.00	100	94.00	5.00	2000.00	470.00	846.15	1	1.18E-03	1110.91	0.41
S-15	6.50	100	93.50	5.00	1307.69	467.50	1076.92	1	9.29E-04	567.68	0.21
S-16	6.50	100	93.50	5.00	1230.77	467.50	1346.15	1	7.43E-04	427.43	0.16
S-17	6.45	100	93.55	5.00	2423.08	467.75	1769.23	1	5.65E-04	640.61	0.23
S-18	5.50	100	94.50	8.00	2961.54	756.00	2730.77	1	3.66E-04	819.89	0.30
S-19	2.50	100	97.50	8.00	3961.54	780.00	3576.92	1	2.80E-04	863.87	0.32
Suma total de salidas										21,864.67	8.0

Tabla No. 8. Cálculo de Entradas Subterráneas para 2006. Zona Reynosa-Matamoros

7.2.2 Extracción por Bombeo (B)

El valor de la extracción por bombeo, como se mencionó en el apartado de censo y Piezometría, fue estimado en **25.8 Mm³** para toda la región considerada en el censo. Sin embargo, para el caso de las zonas de balance definidas, su valor es de **5.2 y 14.0 Mm³** anuales para Reynosa Sur y Reynosa-Matamoros, respectivamente. El volumen restante, **6.6 Mm³** anuales, se extraen fuera de estas dos zonas.

7.2.3 Evapotranspiración Real (ETR)

Para calcular la evapotranspiración real, a partir del método de Turc, se utilizaron los datos de la estación climatológica 28082 “S. J. 3. Río Bravo, Río Bravo”, localiza al sur de la población de Río Bravo, para cada uno de los 24 años que integran el periodo de balance, obteniéndose una lámina promedio de 646.6 mm anuales. Es necesario mencionar que el cálculo de la ETR sólo se efectuó en los 335 km² de la zona Reynosa-Matamoros, debido a que es en esta superficie donde existen niveles freáticos someros

Ecuación de Turc:

$$ETR (mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Para establecer la fracción de la evapotranspiración real, se tomaron en cuenta las investigaciones realizadas en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Río Bravo, en el sentido de que la profundidad a la que se produce este proceso en las zonas agrícolas está estrechamente relacionado con la profundidad a la que penetra la red radicular de los cultivos y que esta red tiene dimensiones similares a las de la

altura de la planta; proponiendo una altura media de dos metros. Adicionalmente, como es conocido, también intervienen aspectos como la textura de los suelos y la profundidad al nivel estático. Con base en lo anterior se preparó la tabla No. 9 en la que se establece una relación lineal, inversa entre el valor de la profundidad al nivel estático y el % de la evapotranspiración:

Tabla No. 9. Factores a aplicar para evaluar la lámina de evapotranspiración

Profundidad del nivel estático (m)	Factor a aplicar (%)
1	90
2	70
3	50
4	30
5	10

De esta forma se considera que entre los 5 y los 6 m de profundidad hay un 5% de evapotranspiración y debajo de esta última profundidad la evapotranspiración es cero.

Par la estimación de ETR, se utilizaron los planos de configuración de la profundidad al nivel estático para los años 1982 y 2006 que se muestran en la figura No.11.

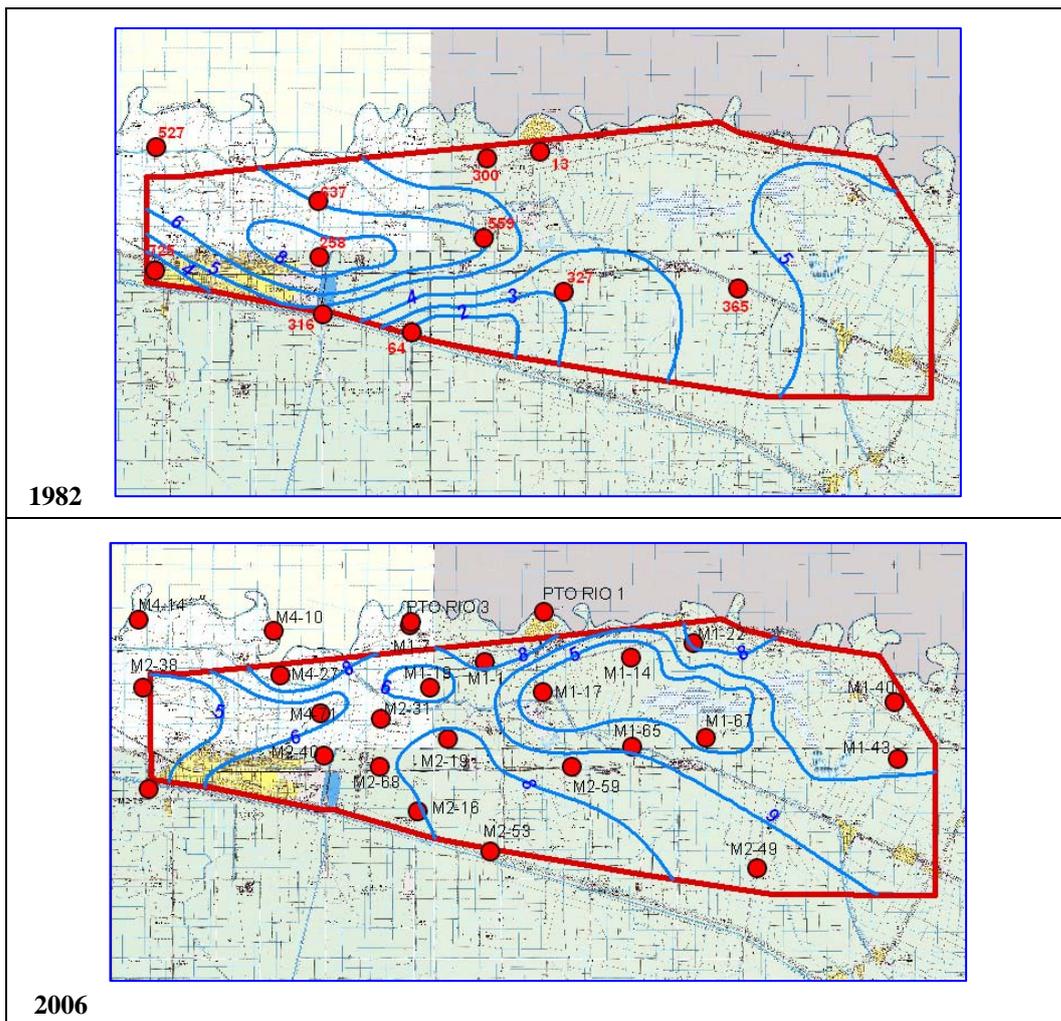


Figura No. 11. Profundidad al nivel estático 1982 y 2006. Zona Reynosa-Matamoros.

Una vez calculadas las superficies entre curvas de igual profundidad del nivel estático y la lámina promedio de evapotranspiración real que representa a la zona, se procedió a calcular el volumen de evapotranspiración para 1982 y 2006, para cada área, aplicando el factor correspondiente. Los resultados se muestran en la tabla No. 10 y son del orden de los 30.3 y 7.1 Mm³ para 1982 y 2006, respectivamente; de tal manera que el promedio es de 18.7 Mm³ anuales. **ETR = 18.7 Mm³ anuales.**

Zona	Área (km ²)	ETR (mm)	Volumen Mm ²	Rango de profundidad del NE (m)	Factor a aplicar	Volumen final Mm ³ /año
(A ₁)	70.59	527.57	37.24	Entre 5 y 6	0.05	1.9
(A ₂)	127.32	527.57	67.17	Entre 4 y 5	0.20	13.4
(A ₃)	36.61	527.57	19.31	Entre 3 y 4	0.40	7.7
(A ₄)	10.45	527.57	5.51	Entre 2 y 3	0.60	3.3
(A ₅)	6.19	527.57	3.27	Entre 1 y 2	0.80	2.6
(A ₆)	32.38	527.57	17.08	Entre 5 y 6	0.05	0.9
(A ₇)	37.93	527.57	20.01	Entre 6 y 8	0.00	0.0
(A ₈)	11.77	527.57	6.21	Entre 8 y 9	0.00	0.0
(A ₉)	2.23	527.57	1.18	Entre 3 y 4	0.40	0.5
Suma	335.47		176.98			30.3

1982

Zona	Área (km ²)	ETR (mm)	Volumen Mm ³	Rango de profundidad del NE (m)	Factor a aplicar	Volumen final Mm ³ /año
(A ₁)	148.03	527.57	78.10	Entre 6 y 8	0.00	0.0
(A ₂)	70.46	527.57	37.17	Entre 5 y 6	0.05	1.9
(A ₃)	32.81	527.57	17.31	Entre 4 y 5	0.20	3.5
(A ₄)	4.67	527.57	2.46	Entre 8 y 9	0.00	0.0
(A ₅)	4.34	527.57	2.29	Entre 8 y 9	0.00	0.0
(A ₆)	37.29	527.57	19.67	Entre 8 y 9	0.00	0.0
(A ₇)	4.45	527.57	2.35	Entre 5 y 6	0.05	0.1
(A ₈)	5.31	527.57	2.80	Entre 8 y 9	0.00	0.0
(A ₉)	16.64	527.57	8.78	Entre 5 y 6	0.05	0.4
(A ₁₀)	11.47	527.57	6.05	Entre 4 y 5	0.20	1.2
Suma	335.47		176.98			7.1

2006

Tabla 10. Estimación del volumen de Evapotranspiración Real (ETR) para 1982 y 2006.

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

Este parámetro se estimó con base en la evolución de los niveles estáticos del agua subterránea para el período 1982-2006 mostrada en la figura No.7., para cada una de las dos zonas de balance.

Para el caso de la zona *Sur de Reynosa*, el valor de la variación en el volumen almacenado fue de -1,070.45 Mm³ para el período, que al ser multiplicado por el valor considerado del coeficiente de almacenamiento (1×10^{-3}), resulta una variación negativa en el volumen de agua almacenado en el acuífero de 1.07 Mm³ y de 0.04 Mm³ anuales

Para la zona *Reynosa-Matamoros*, el valor de la variación en el volumen almacenado fue de -907.03 Mm³ para el período, que al ser multiplicado por el valor considerado del coeficiente de almacenamiento (1×10^{-3}), resulta una variación negativa en el volumen de agua almacenado en el acuífero de 0.97 Mm³ y de 0.04 Mm³ anuales.

De esta manera se considera que, para fines prácticos, el valor del cambio de almacenamiento en ambas zonas es nulo. $\Delta V(S) = 0$

Solución de la Ecuación de Balance

De acuerdo con las ecuaciones de balance planteadas para cada una de las dos zonas de balance, se procedió a despejar el valor de la recarga vertical R_v que incluye la infiltración de la lluvia, los retornos por los excedentes del riego y la infiltración en los canales de los distritos de riego.

Zona Sur de Reynosa

$$E_h + R_v - S_h - B = \Delta V(S)$$

$$R_v + 3.4 - 1.3 - 5.2 = 0$$

$$R_v = 3.1 \text{ Mm}^3 \text{ anuales}$$

Este valor de recarga, para el área de balance de 205 km^2 , representa una lámina de 15 mm.

Zona Reynosa-Matamoros

$$E_h + R_v - S_h - ETR - B = \Delta V(S)$$

$$R_v + 3.4 - 5.0 - 18.7 - 14.0 = 0$$

$$R_v = 34.3 \text{ Mm}^3 \text{ anuales}$$

Este valor de recarga, para el área de balance de 335 km^2 , representa una lámina de 102 mm, que incluye infiltración del agua de lluvia, de los retornos por excedentes de riego y de la infiltración a lo largo de los canales no revestidos del Distrito de Riego 025.

Cálculo de la recarga vertical

Las láminas de recarga calculadas anteriormente se aplicarán a toda la superficie de la unidad hidrogeológica dentro de la cual está incluida cada una de las dos áreas de balance definidas. Adicionalmente, con el propósito de considerar a toda la superficie del acuífero, se tomó en cuenta la información referente a la estimación de las láminas de infiltración, deducidas por diferentes autores, para las distintas formaciones geológicas que afloran el territorio de los Estados Unidos de América, correlacionables con las restantes 5 de las 7 unidades hidrogeológicas en fue dividido el acuífero Bajo Río Bravo (ver figura No. 4).

De esta manera, la estimación de la recarga total para cada una de las diferentes unidades hidrogeológicas definidas es la siguiente:

Unidad hidrogeológica “Acuífero pobre a muy pobre en rocas del Terciario Inferior (Unidad Hidrogeológica I)” (R_{rt})

Par su determinación se consideró la lámina de recarga de la unidad hidrogeológica “Evangeline”, esta unidad acuífera está definida para las rocas más antiguas que la Formación. Goliad, en la zona fronteriza de los Estados Unidos de América. Groschen (1985) establece una lámina promedio de 1.5 mm/año.

Esta lámina se aplicó a las formaciones del Terciario Inferior que se encuentran aflorando en la franja al oeste de la unidad administrativa “Bajo Río Bravo”, que tienen una superficie de 7987 km^2 , por lo que su volumen de recarga anual es de **12.0 Mm³**.

Unidad hidrogeológica “Acuífero semiconfinado de las formaciones Lissie y Goliad (unidad hidrogeológica II)” (Rlg);

Para este caso, se aplicó la lámina de recarga de 15 mm deducida del balance de aguas subterráneas aplicado en la “Zona Sur de Reynosa”. Esta lámina de recarga promedio anual multiplicada por 2395 km² que corresponde al área de afloramiento de estas formaciones, arroja un volumen de recarga de **35.9 Mm³/año**.

Unidad hidrogeológica “Acuitardo en la Formación Beaumont” (Rrb)

Incluye a la Formación Beaumont (unidad hidrogeológica III), a los paleocauces del río Bravo (unidad hidrogeológica IV), así como a los depósitos aluviales de la porción centro-sur y suroeste (unidad hidrogeológica VI).

Para esta unidad se aplicó la lámina de recarga de la unidad hidrogeológica “Chicot”, establecida en 2.5 mm/año (Dutton, 1990), con lo que se estima un volumen de recarga anual de **11.0 Mm³** para una superficie de 4,425 km².

Unidad hidrogeológica “Acuífero semiconfinado en los depósitos aluviales del Río Bravo (unidad hidrogeológica V)” (Rb)

Para este caso, se aplicó la lámina de recarga de 102 mm deducida del balance de aguas subterráneas aplicado en la “Reynosa-Matamoros”. Esta lámina de recarga promedio anual multiplicada por 1,335 km² de área de exposición de esta unidad hidrogeológica, dentro de la cual se localiza en Distrito de Riego 025, proporciona un valor de recarga de **136.2 Mm³/año**.

Unidad hidrogeológica “Acuitardo en los Depósitos Costeros (unidad hidrogeológica VII)” (Rdc)

Para esta unidad se aplicó la misma lámina de recarga de la unidad hidrogeológica “Chicot” establecida en 2.5 mm/año (Dutton, 1990), con lo que se estima un volumen de recarga anual de **3.4 Mm³** para una superficie de 1,390 Km².

Con base en lo anterior, la recarga total media anual (Rt) que recibe el acuífero Bajo Río Bravo, es la suma de la recarga de cada una de las unidades:

$$Rt = 12.0 + 35.9 + 11.0 + 136.2 + 3.4 = 198.5$$

$$Rt = 198.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

8. DISPONIBILIDAD

Con base en lo anterior, tomando en cuenta tanto los resultados del balance de aguas subterráneas como las consideraciones antes descritas, se procede a estimar la disponibilidad en el acuífero apegiándose a la normatividad existente

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece la metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su

fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS}$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.

Rt = Recarga total media anual.

DNCOM = Descarga natural comprometida.

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

Disponibilidad publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2007

Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida.

$$\mathbf{Rt = 45.1 \text{ Mm}^3/\text{año}}$$

Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante la medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes.

Para el caso de este acuífero, no existen descargas naturales comprometidas.

$$\mathbf{DNCOM = 0.0 \text{ Mm}^3/\text{año}}$$

Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Bajo Río Bravo, el rendimiento permanente equivale a **45.1 Mm³ anuales**.

Volumen concesionado de aguas subterráneas

En el acuífero Bajo Río Bravo, el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 31 de mayo de 2005 es de 45,762,657 metros cúbicos por año (m³/año).

Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga media anual total, el valor de la descarga

natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA
-0.662657	=	45.1	-	0.0	-	45.762657

La cifra indica que no existen volúmenes adicionales para otorgar nuevas concesiones, si no que, por el contrario, se tiene un déficit de **-0,662,657 m³** anuales, que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero Bajo Río Bravo.

Actualización Técnica y Administrativa de la Disponibilidad al 31 de diciembre de 2007

8.1 Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida. Para este caso, la recarga total corresponde a la suma de las recargas estimadas para cada una de las unidades hidrogeológicas en que fue dividido el acuífero.

$$Rt = 198.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

8.2 Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante la medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes.

Para el caso de este acuífero, no existen descargas naturales de manantiales ni flujo base, pero sí se presentan salidas por flujo subterráneo identificadas en la configuración de la elevación del nivel estático 2006 (figuras Nos. 9 y 10) para las dos áreas de balance, que es necesario evaluar dada su continuidad tanto hacia el mar como en dirección norte, hacia territorio de los EUA, este último sólo para el caso de la zona Reynosa-Matamoros.

De acuerdo con esta configuración, se calcularon los volúmenes de salida para cada una de las direcciones, procediendo de la siguiente manera: evaluar el caudal de salida para cada dirección y medir la longitud del frente o longitud de la celda que comprende cada dirección. Con estos valores se calcula un caudal equivalente estimado por cada metro de longitud (SH); que al multiplicarlo por la longitud total de la unidad hidrogeológica a que corresponde, proporciona el volumen de salida para cada dirección. De esta manera, se obtuvo un valor de

2.0 Mm³/año para la zona Reynosa-Matamoros, de los cuales 1.2 salen a través del flujo con dirección este, y 0.8 por el flujo hacia el norte. Para el caso de la zona Sur de Reynosa se obtuvo un volumen de 7.7 Mm³/año para su única dirección de flujo hacia el este (Tabla No. 11). El valor total de las descargas por flujo subterráneo es de **9.7 Mm³/año**.

El caudal de salida subterránea de 0.443 Mm³/año hacia el Golfo de México, obtenido por Chowdhury and Mace (2003) para el acuífero del sur de Texas, aplicado a una longitud de 32,280 m para el acuífero Río Bravo (sin considerar la salida hacia el norte), arroja un valor de 14.3 Mm³/año. Por esta razón, el valor obtenido es el presente documento se considera válido.

DNCOM= 9.7 Mm³/año

Dirección de flujo	Área de balance	Q (m ³ /día)	LS (m)	SH (m ² /día)*(m)	Longitud de la Unidad Hidrogeológica (m)	Q en el acuífero m ³ /día	Q en el acuífero Mm ³ /año
Este	Reynosa-Matamoros	3,350	18,900	0.18	18,900	3,350.00	1.2
Norte		2,100	11,700	0.18	11,700 (Tramo Río Bravo)	2,100.00	0.8
Este	Sur Reynosa	4,150	13,350	0.31	68,000	21,138.60	7.7
TOTAL DE DESCARGA							9.7

Tabla No. 11. Cálculo de la descarga natural comprometida

8.3 Rendimiento permanente

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Bajo Río Bravo, el rendimiento permanente equivale a **188.8 Mm³ anuales**.

8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas

En el acuífero Bajo Río Bravo, el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 31 de diciembre de 2007 es de 48,673,917 metros cúbicos por año (m³/año).

8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga media anual total, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA
140.126083	=	198.5	-	9.7	-	48.673917

El resultado indica que existe actualmente un volumen de 140'126,083 m³ anuales disponibles para otorgar nuevas concesiones en el acuífero Bajo Río Bravo, Estado de Tamaulipas.

Sin embargo, el otorgamiento de nuevas concesiones para el uso, explotación y aprovechamiento de las aguas subterráneas deberá considerar su condición general de mala calidad, que implica muchas restricciones para su utilización, salvo algunos usos industriales, en la mayoría de las actividades económicamente productivas.

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), Dirección de Aguas Subterráneas. Estudio Geohidrológico Completo de la Zona del Bajo Río Bravo, Edo. de Tamaulipas. 1970.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Subdirección de Geohidrología y Zonas Áridas. Estudio Geohidrológico de Actualización en la Zona de Bajo Río Bravo – Reynosa, Tamaulipas. 1981.

Comisión Nacional del Agua, 1995. Estudio Geofísico y Geohidrológico para determinar Zonas Adecuadas de Explotación de la Cuenca Baja del Río Bravo, en los estados de Tamaulipas y Coahuila. Tomo 1. Estado de Tamaulipas.

COMAPA Reynosa, Tamaulipas. SCHLUMBERGER Integrated Water Solutions, 2001, Estudio de Prefactibilidad Geohidrológica para la Ubicación de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua Subterránea.

COMAPA – JAD, Reynosa – Matamoros, 2005. Estudio de Evaluación Hidrogeológica del Acuífero Localizado en la Región 24-G Bajo Río Bravo, particularmente la Zona Conurbada de las ciudades de Reynosa y Matamoros y Estudio de Factibilidad para la Potabilización de Aguas Subterráneas.

Banco de Desarrollo de América del Norte-Comisión Nacional del Agua, 2005. Caracterización Hidrogeoquímica del Acuífero Bajo Río Bravo.

Comisión Nacional del Agua, 2006. Estudio de Actualización de Mediciones Piezométricas para la Disponibilidad del Agua Subterránea en el Acuífero Bajo Río Bravo, Tamaulipas.