

1. INTRODUCCIÓN

El territorio Nacional presenta una variedad de características geohidrológicas determinantes para la exploración y aprovechamiento de sus aguas subterráneas; tal es el caso del norte del país, que presenta condiciones áridas o semiáridas en su mayor parte; lo que dificulta, debido a las bajas precipitaciones, encontrar acuíferos de alta potencialidad, que alivien los gastos debidos a la población, la agricultura y la industria, en cuanto a uso de agua.

El comprensión del funcionamiento de estos acuíferos en el noreste de la República Mexicana, es muy importante; pues, en algunos casos, se comportan como acuíferos semiconfinados, que subyacen a otros mantos acuíferos más recientes y, en otros casos, funcionan como confinados, sujetos a presión hidrostática que denota artesianismo. Definir este mecanismo de control para los acuíferos del tipo granular de edad Terciaria y los de rocas calcáreas del Cretácico, intercomunicados en algún lugar de su extensión, determinan en muchos casos que las recargas de alimentación y el flujo de sus aguas pase de uno a otro, lo cual significa que para efectos de cuantificación y disponibilidad de agua explotable, en esos almacenamientos se requiera una serie de estudios geohidrológicos, para su mejor entendimiento y aprovechamiento.

Al noreste del Estado de Coahuila; en particular, en región conocida como Río Escondido, las principales fuentes subterráneas de abastecimiento de agua, constituyen un acuífero somero, ubicado en material granular de relleno de edad Terciaria (Formación Sabinas-Reynosa), así como un acuífero profundo localizado en rocas calizas del Cretácico Inferior (Formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak).

En la región, la infraestructura para la generación de energía eléctrica por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), está constituida por las Centrales Termoeléctricas Río Escondido (C.T. Carbón I) y Carbón II, localizadas a 23 Km al suroeste de la ciudad de Piedras Negras, en el municipio de Nava, Coahuila. La capacidad instalada de generación es de 2 600 MW con 4 Unidades de 300 MW en la C.T. Carbón I y 4 Unidades de 350 MW en la C.T. Carbón II.

Para la operación de las centrales se utiliza como combustible carbón mineral, existente en la región de Río Escondido y la fuente de abastecimiento de agua para uso en calderas, enfriamiento y construcción, es el Río Bravo y el acuífero que se localiza en la Formación Sabinas-Reynosa. Las demandas de estos recursos son: de carbón 26 000 ton/día y de agua 1 300 l/s, de los cuales 1 100 l/s aporta el Río Bravo y 200 l/s, el acuífero.

Para satisfacer la demanda de combustible en las centrales, la Compañía Minera Carbonífera Río Escondido, S.A. (MICARE) opera las Minas Subterráneas I, II, IV y V, así como los Tajos para explotación de carbón a cielo abierto I, II y III, los que cortan en su totalidad el acuífero Sabinas-Reynosa, abastecedor hidráulico de pequeñas poblaciones, de agricultores, de ganaderos y de la CFE.

Por otro lado, el crecimiento de poblaciones como Nava (20 500 hab.), Allende (20 000 hab.), Zaragoza (15 000 hab.), Morelos (7 000 hab.), Villa Unión (6 500 hab.), así como el desarrollo agrícola y ganadero de la región en los últimos años, demandan una mayor cantidad de agua. (datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, conteo de la población y vivienda 1995).

De acuerdo con lo anterior, el incremento de las extracciones por bombeo, del acuífero Sabinas-Reynosa en la región de Río Escondido (1242 aprovechamientos), ha provocado descensos en los niveles del agua subterránea del acuífero y originando conflictos por el uso del agua en la zona (Figura 1).

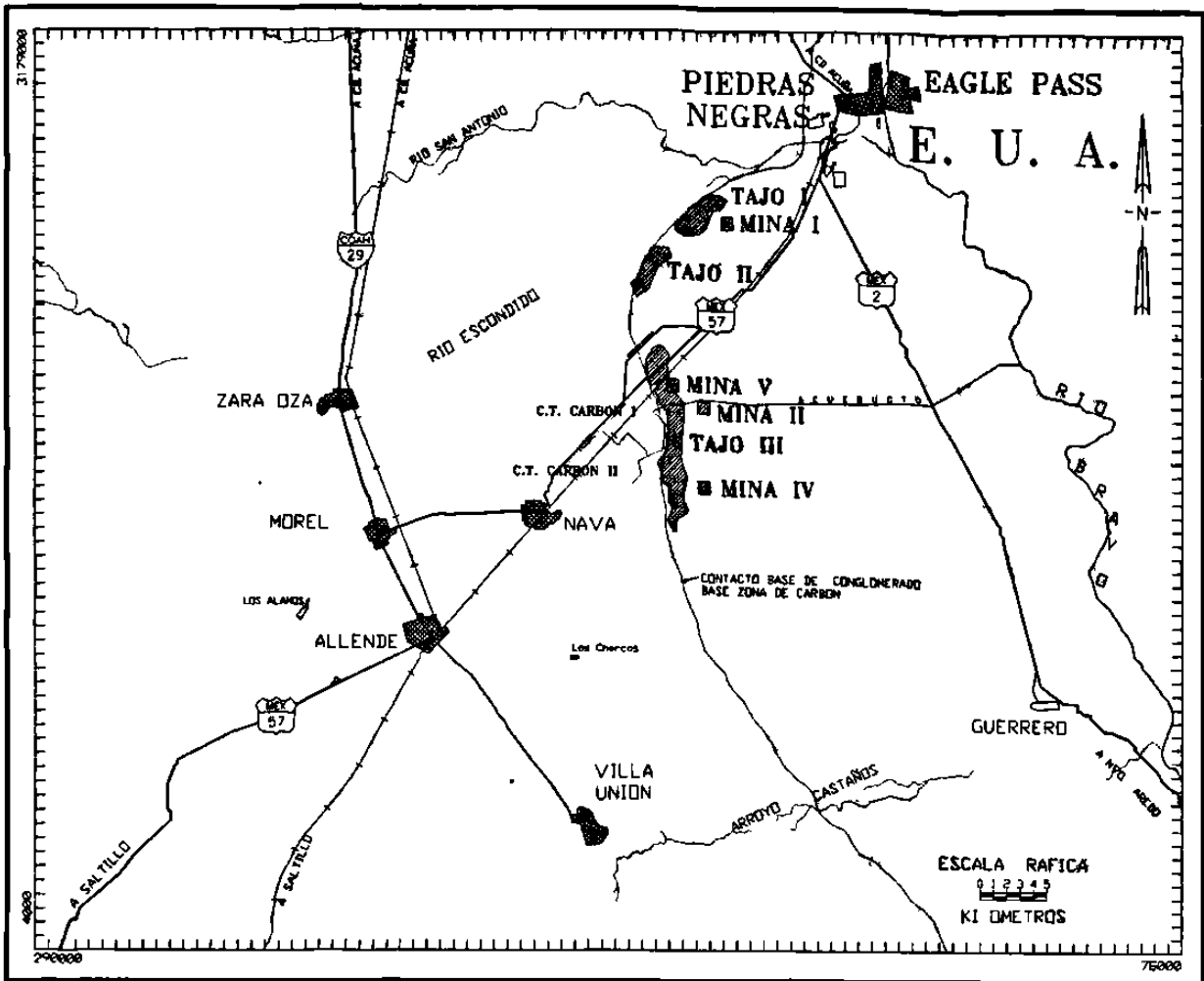


Figura 1. Región noreste del Estado de Coahuila (Río Escondido)

Por estos motivos, el presente trabajo pretende dar a conocer las características geohidrológicas y el estado actual de explotación del acuífero Sabinas-Reynosa, y establecer las bases para la modelación matemática del mismo. Esto permitirá simular en el futuro la evolución de sus niveles estáticos, sometidos a grandes extracciones de agua.

1.1 Antecedentes

La región ha sido objeto de una gran variedad de estudios geológicos y geohidrológicos, efectuados por empresas particulares y oficinas gubernamentales, dichos estudios han sido encaminados a la exploración del carbón, el gas o el agua,

principalmente. De acuerdo con lo anterior y con la finalidad de establecer el estado actual del conocimiento de los acuíferos en la región de Río Escondido, en esta sección se establece una revisión cronológica de los trabajos relacionados con el tema que nos ocupa, tomando como base los efectuados por la CFE, principalmente.

A fines de 1974, la Comisión Federal de Electricidad inició un plan de construcción de centrales termoeléctricas en la región norte del estado de Coahuila, aprovechando el combustible de carbón mineral de la Cuenca Fuente Río Escondido; por lo que dentro de los Estudios de Ingeniería de Proyectos que suelen realizarse antes de la construcción de una central, se incluyeron, entre otros, los estudios geohidrológicos de las calizas de la Serranía del Burro y del acuífero Sabinas-Reynosa. Se destacan los siguientes estudios:

La exploración geohidrológica de la Serranía del Burro, que se inició en 1975, que incluyó actividades aisladas de geología, hidrología superficial y subterránea e hidrogeoquímica. Posteriormente, con el estudio denominado estado actual de las exploraciones para la localización de agua en El Refugio, Coahuila (CFE 1976), se llevaron a cabo las primeras exploraciones directas mediante 15 pozos de exploración de diámetro NQ (2 15/16") en las áreas de El Refugio y El Remolino, que sirvieron para conocer el potencial y la calidad química del agua del acuífero calizo. Se desechó el agua de la zona El Remolino por ser de mala calidad y se identificaron las Formaciones calcáreas West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak, del Cretácico Inferior, como las de mayor provecho geohidrológico.

El Estudio de Geología básica regional de la subcuena hidrológica Acuña – Laredo (CFE 1979), que consistió en definir el marco geológico general de un área en el noreste de Coahuila y que sirvió como apoyo a los estudios geohidrológicos efectuados por la CFE.

El Estudio geohidrológico sucesivo del sistema acuífero calizo y conglomerado Sabinas-Reynosa C.T. Carbón II (CFE. 1980), en el que se define que en el área existen

dos acuíferos: uno en material granular de relleno y otro en material consolidado (roca). Asimismo, se perforaron cuatro pozos de exploración-producción en la zona El Refugio, con profundidades que varían entre 400 y 600 m, logrando atravesar las formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak. Tres de los pozos resultaron con artesianismo brotante, con caudales de 180 a 450 l/s, y uno con artesianismo no brotante, con un caudal de 130 l/s. Todos ellos con agua de buena calidad.

El informe final de la evaluación y actualización geohidrológica, proyecto Carbón II del programa 1986-1987, (CFE 1987), cuyo objetivo fue evaluar geohidrológicamente el acuífero Sabinas-Reynosa. De acuerdo con sus resultados, el acuífero Sabinas-Reynosa se encontraba en ese tiempo en condiciones de satisfacer los 600 l/s de agua de buena calidad para la C.T. Carbón II.

Adicionalmente a estos estudios, la CFE ha obtenido información sistemática de los niveles potenciométricos, mensualmente, en el área de las Centrales Termoeléctricas Carbón I y II, a partir de 1984 y cada 4 meses en nivel regional, a partir de 1979. Asimismo, se han realizado campañas de muestreos de agua y aforo de corrientes superficiales desde 1979, lo cual ha permitido definir el comportamiento hidrodinámico del acuífero.

Desde 1988, el autor del presente trabajo, coordinó como Jefe del Área de Geohidrología y como jefe de proyecto en la Superintendencia de Estudios Zona Norte de CFE, los diferentes estudios Geohidrológicos de la Región Noreste del Estado de Coahuila, y realizó la mayor parte de ellas; en particular el del acuífero Sabinas-Reynosa.

1.2 Objetivo

Identificar las características geohidrológicas y el estado actual de explotación del acuífero Sabinas-Reynosa, localizado entre el flanco este de la Serranía del Burro y el Río Bravo, cerca de Piedras Negras y Guerrero, Coahuila.

Establecer las bases para la modelación matemática del acuífero, lo que permitirá simular en el futuro el comportamiento y la evolución de sus niveles estáticos, al ser sometidos a las extracciones de agua subterránea para abastecimiento de agua potable a la Región de Río Escondido, para uso agrícola y ganadero y para uso industrial, en la generación de energía eléctrica por la Comisión Federal de Electricidad, así como por la Minera Carbonífera Río Escondido, en la explotación del carbón en sus obras mineras, como producto del desgaste de las mismas.

Objetivos generales, determinar:

- 1. La definición hidrogeológica de las unidades que constituyen el área de estudio.**
- 2. La geometría del acuífero.**
- 3. La relación entre el agua superficial y el agua subterránea**
- 4. El estado actual de explotación del agua subterránea del acuífero, así como contar con el soporte técnico para tomar decisiones en la posible veda de explotación de dicho acuífero.**
- 5. La calidad química del agua subterránea**
- 6. El Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico subterráneo del acuífero (ambiente hidrogeológico, régimen de agua subterránea), con base en su sistema de flujo.**
- 7. El balance de agua subterránea del acuífero, definiendo explícitamente las componentes de la ecuación de balance. y determinando su potencialidad y disponibilidad actual.**

1.3 Hipótesis

El acuífero en la región estudiada se considera como un acuífero libre, constituido por material aluvial homogéneo e isótropo. Su espesor varía de los 30 a 70 m y descansa sobre formaciones impermeables (Formaciones Escondido, Olmos, San Miguel y Upson y Austin). Su recarga se debe principalmente a las lluvias locales que se precipitan en el valle y de manera secundaria por los ríos Escondido y San Antonio, en épocas de lluvia.

El agua del acuífero se considera de buena calidad del tipo cálcico-bicarbonatada, la cual es similar en todo el valle.

1.4 Método para el Estudio

Para lograr los objetivos del presente trabajo, se empleó un planteamiento que va de lo regional a lo local; así se estableció un método que se inicia con un estudio Geohidrológico que incluye las disciplinas siguientes: Geología, Climatología, Hidrología Superficial y Subterránea, Hidrogeoquímica Geofísica (Sondeos eléctricos verticales, registros de pozos, sísmica), Topografía y Perforación de pozos, desarrollando los temas con el fin de ir estableciendo el modelo conceptual del sistema acuífero y dejar constancia de las bases técnicas que lo justifican.

Se inició la recopilación de la información susceptible de ser utilizada de las diversas disciplinas técnicas que integran el estudio geohidrológico; primordialmente, las que hayan sido realizadas en la región (áreas aledañas, cuencas vecinas, estudios regionales y casos similares en otras regiones y países) tanto por empresas particulares, como de la propia CFE. Después de analizada y procesada la información, se procedió a realizar las actividades de campo cuyos datos fueron vaciados a planos base, en escalas 1: 50 000, 1: 100 000 y 1: 250 000.

a) Recopilación de información

Cartografía.- (cartas de INEGI; Climatológicas, edafológicas, geológicas, topográficas, hidrológicas superficiales y subterráneas, en escalas 1: 50 000 y 1: 250 000. Fotografía aéreas en escala 1: 50 000 e imágenes de satélite.

Geología Superficial y Subterránea.- Estudio geológico regional de una superficie de 30 000 Km², cortes litológicos de 1815 barrenos exploratorios; 1800 para fines mineros y 15 para agua, todos ellos de diferente profundidad y diámetro. Así como el corte litológico de 22 pozos tanto petroleros como de agua y el análisis de 20 secciones geológicas.

Geofísica.- Cincuenta sondeos eléctricos verticales (SEV) tipo Schlumberger, 1850 registros geofísicos de barrenos y pozos que incluyen las curvas de densidad, caliper, neutrón, gamma, resistencia, resistividad, potencial espontáneo y temperatura..

Climatología.- Información de la Comisión Nacional del Agua (CNA) sobre parámetros climatológicos, tales como: precipitación, temperatura y evaporación de 12 estaciones distribuidas en la zona de estudio, obtenida de 1966 a 1998.

Hidrología Superficial y Subterránea.- Veinte años de aforos en 65 corrientes superficiales, censo de aprovechamientos, estadística de 20 años de recorridos piezométricos en nivel local y regional de 200 aprovechamientos, y 6 pruebas de bombeo de pozos.

Hidrogeoquímica.- Resultados e interpretación de 1500 análisis físico-químicos de muestras de agua, tanto superficial como subterránea.

Información Socioeconómica.

Para el análisis y procesamiento de la información recopilada se utilizó el siguiente equipo; estereoscopio y transferoscopio, así como los software Rockware, Surfer, AutoCad R14, Grafer, Aquitest, Harvard Graphics, GWW, Excel, Power Point y Word.

b) Actividades de campo

Geología.- Verificación geológica de campo, que tuvieron como objetivo comprobar la información recopilada y cartografiada cubriendo una superficie de 17 171 Km², dando énfasis a las características de las unidades litológicas (porosidad, permeabilidad, tipo de fracturas). Levantamientos geológicos, que tuvieron como propósito conocer la geología estructural (con énfasis en la densidad de fracturamiento, fallas y otras estructuras, tales como sinclinales, anticlinales, grabens y horst), realización de 26 secciones geológicas y 4 estratigráficas que fueron representativas del comportamiento estructural y tectónico del área, con aplicación prioritaria en los aspectos hidrogeológicos. Equipo utilizado; brújula, martillo, alfiler, posicionador de coordenadas (GPS 5000 PRO).

Geofísica.- Con la finalidad de coadyuvar a la integración del marco geológico, se realizaron 600 sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger con abertura máxima de

AB/2= 200 m y 100 registros geofísicos de pozos (densidad, caliper, neutrón, gamma, resistencia, resistividad, potencial espontáneo y temperatura), con el propósito de conocer las posibilidades acuíferas que presenta el subsuelo del área. Equipo utilizado para SEV; transmisor multifrecuencial de onda cuadrada Mca. Scintrex Mod TSQ3, sismógrafo digital Mca, Geometrics Mod. Smart6, medidor de resistividad Mod. Sting R1. Equipo de registros geofísicos analógico Mca. Mount Sopris Instrument Co. Mod NB3000 y digital. Century Geophysical Co.

Climatología.- Se instalaron 3 estaciones climatológicas (Serranía del Burro); 2 estaciones con equipo semiautomático con sistema de registro de datos con base en gráficas con duración de 7 días, consistente en termógrafo, evaporógrafo y pluviógrafo y una con equipo automático con sistema de registro de datos con casset de duración hasta de 6 meses, equipada con sensores de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento, radiación solar y sensor de precipitación pluviométrica.

Hidrología Superficial. Se localizaron 65 manantiales, aforo sistemático de 33 manantiales y el establecimiento de 7 secciones de aforo en dos ríos; todo esto con el objeto de conocer la relación agua superficial - subterránea. Equipo utilizado; molinete hidráulico Rossbach Mod. 631R.

Hidrología Subterránea.- Actualización de censo de aprovechamientos hidráulicos (norias, pozos, piezómetros), mediciones del nivel estático en forma mensual, bimestral y semestral, en 200 pozos piloto en el nivel local y 4 veces al año en nivel regional, así como 60 aforos y 37 pruebas de bombeo, actividades que tuvieron como finalidad observar el comportamiento hidráulico del agua subterránea en el área de estudio. Equipo utilizado: brújula, altímetro, posicionador de coordenadas (GPS 5000 PRO), sonda eléctrica, cinta de medir, equipo de aforo de pozos de 4", 6" y 8" de diámetro.

Hidrogeoquímica.- Se llevaron a cabo campañas de muestreos de agua superficial y subterránea para su análisis físico-químico y conocer la calidad de la misma y a su vez determinar su relación agua-roca. Equipo utilizado: Termómetro, medidores de pH, conductividad eléctrica, botellas y recipientes de plástico para muestreo de pozos, norias, piezómetros y corrientes superficiales.

Topografía.- Esta actividad se efectúa para apoyar los diferentes estudios de campo realizados en el área, consistentes en la localización con coordenadas UTM; secciones

geológicas, levantamientos geológicos, aprovechamientos hidráulicas (norias, pozos, piezómetros, manantiales, etc.), trazos de líneas de conducción; así como la ubicación y nivelación de sondeos eléctricos verticales. Equipo utilizado: teodolito, distanciómetro, estación total, posicionadores GPS, prismas, bastones y nivel fijo.

Perforación.- Se realizó la perforación de 9 barrenos exploratorios, con diámetro de 2 15/16" (NQ) a 6" y profundidades de 20 a 300 m, en áreas específicas para conocer la geología del subsuelo (terminados en algunos casos como piezómetros). 20 Pozos de exploración – cuantificación; Equipo utilizado; maquina Portadrill, Mobil Drill y Long Year.

1.5 Localización y Vías de Comunicación

Localización

El área de estudio se localiza al noreste del estado de Coahuila, comprendida en su mayor parte en los municipios de Piedras Negras, Cd. Acuña, Jiménez, Zaragoza, Morelos, Nava, Allende, Villa Unión y Guerrero. El área total cubierta por el estudio es de 30 000 Km² (Figura 2).

Queda enmarcada bajo las siguientes coordenadas geográficas:

28° 00'	Latitud Norte	100° 00'	Longitud Oeste
29° 30'		102° 20'	

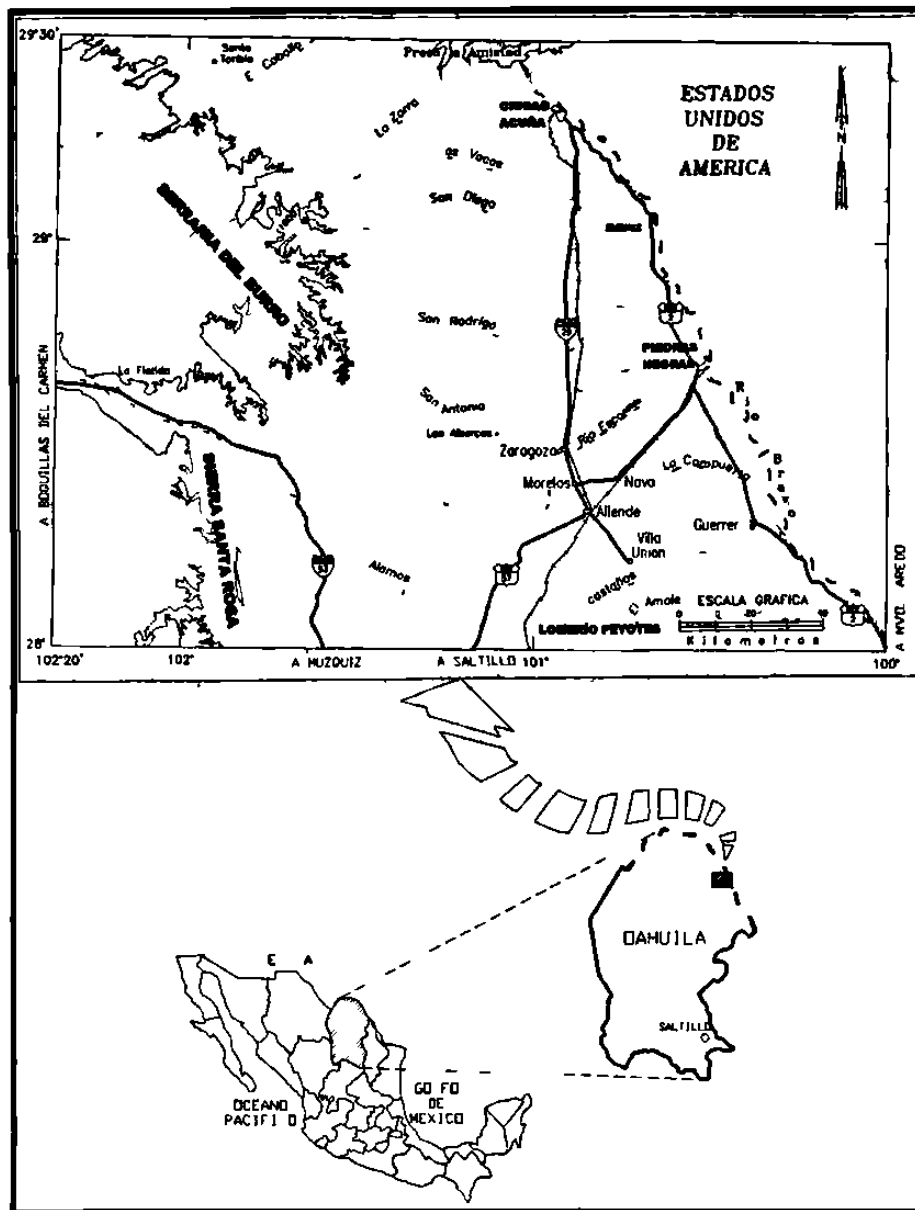


Figura 2. Localización del área de estudio

Vías de Comunicación

La zona se encuentra comunicada con el resto del Estado, tanto por vía terrestre como aérea. Las principales carreteras son la federal 57 México-Piedras Negras, la estatal, 29 Cd. Acuña - Villa Unión y la federal, 2 en su tramo Cd. Acuña - Piedras Negras. También hay una gran cantidad de brechas y caminos vecinales, muchos de los cuales no son transitables en época de lluvias.

Se cuenta, además, con la vía férrea Saltillo-Piedras Negras, con un ramal secundario que parte de la población de Allende Coah., a Cd. Acuña Coah. Piedras Negras cuenta con un aeropuerto local que comunica a esta ciudad con Saltillo, la capital del Estado. Además, cuenta con vuelos a Torreón y Monterrey y éstos con conexión al resto del país. Así mismo, cuenta con un vuelo diario a la ciudad de Dallas, Texas.

Los servicios de teléfono, correo y telégrafo se encuentran en las principales poblaciones, como Piedras Negras, Zaragoza, Morelos, Allende, etc. En estas ciudades operan algunas radiodifusoras, así como repetidoras y estaciones locales de T.V.

Los principales puertos fronterizos del estado son: Cd. Acuña y Piedras Negras que están comunicadas con los Estados Unidos con las ciudades fronterizas de Del Río e Eagle Pass Texas respectivamente, las cuales se encuentran comunicadas por puentes internacionales de transporte terrestre y ferrocarril.

1.6 Información Socioeconómica

Población y Cultura

En la región, los principales centros de población son: Piedras Negras, Cd. Acuña, Nava, Allende, Zaragoza, Morelos y Villa Unión, aunque las ciudades más grandes del noreste de Coahuila son Piedras Negras y Cd. Acuña, con una población de 250 000 y 90 000 habitantes respectivamente; la primera ofrece las mayores oportunidades educativas, ya que en ella se encuentran dos universidades y un instituto tecnológico.

Recursos Económicos

Las actividades económicas en la región son variadas e incluyen desde la agricultura y ganadería, hasta el comercio. Parte de la población presta sus servicios en la industria extractiva del carbón, en la vecina cuenca Carbonífera Río Escondido, para

surtir las Centrales Termoeléctricas Carbón I y II, así como la industria de transformación (maquiladoras norteamericanas) y el sector servicios.

Clima y Vegetación

De acuerdo con la clasificación climática de Köpen, modificada por Enriqueta García para la República Mexicana, en el área de estudio se presenta un clima tipo BSo hw(x') excepto en el área del Remolino Mpio. De Cd. Acuña, en donde se presenta el clima identificado por la clave BSo (h') hw. La precipitación media anual es de 528.75 mm.

La clave BSo hw (x') representa un clima semiseco-semicálido, con lluvias de verano, con un porcentaje de precipitación de 10.2, con respecto al anual, con invierno fresco. Por lo que respecta al clima que se presenta en el área El Remolino, se trata de un subtipo seco-cálido, con lluvias de verano, con un porcentaje de precipitación invernal entre 5.0 y 10.2 del anual.

En general, la vegetación de la región tiende a ser la típica de las zonas áridas de México; destacan el mezquite (*Prosopis Juliflora*), el huizache (*Acacia Farnesiana*), la lechuguilla (*Agave*, lechuguilla), sotoles (*Dasy lirion texanum*), palmas (*Yuca*, s.p.), el cenizo (*Leucophyllum*, s. p.), y cactáceas como el nopal (*Opuntia*, s.p.) y el peyote (*Lophophosa williamsii*).

2. GEOLOGÍA

Este aspecto de la región norte de Coahuila ha sido ampliamente estudiado por geólogos, tanto extranjeros como nacionales, de empresas y de organismos públicos; destacan entre estos: los de Dumble en 1892, R.T. Hill en 1893 quienes establecieron las bases de la estratigrafía y paleogeografía, Stephenson 1927, Adkins 1933, Imlay 1936 y Kellum 1936, realizaron definiciones formacionales en el estado de Coahuila. Por PEMEX se encuentran los trabajos realizados por Acevedo en 1954/55 y W. Humphrey en 1956. Por otro lado se encuentra el compendio de la geología regional llevada a cabo por Smith, Charles I en 1970, y por la CFE se han hecho los estudios denominados: Geología Básica Regional de la subcuenca hidrológica Acuña-Laredo en 1979; Estudio Geohidrológico del sistema acuífero calizo y Sabinas-Reynosa 1980, y el Estudio Geohidrológico en la región carbonífera de Sabinas, Coahuila 1990.

Durante 1991, con los estudios geohidrológicos de prefactibilidad del sistema acuífero en calizas de la porción norte del estado de Coahuila, se ampliaron los conocimientos de la geología del área, se integró un plano de la geología regional escala 1: 250 000, que tiene una extensión aproximada de 30 000 Km² y abarca principalmente a la Serranía del Burro y Lomerío de Peyotes, elaborándose 12 secciones geológicas. Asimismo, se investigó, en un nivel de semidetalle, el flanco oriental del Anticlinal del Burro; Se efectuaron 8 secciones geológicas, de longitudes que variaron de 24 a 76 Km, para obtener la descripción litológica de afloramientos en diferentes unidades rocosas, datos estructurales, comprobación de contactos geológicos, etc. Se elaboró también un plano geológico en semidetalle, en escala 1: 100 000, que tiene una extensión aproximada de 7 700 Km². Con base en los resultados de los estudios geohidrológicos efectuados en esta etapa, se definió el modelo conceptual del sistema acuífero en calizas y la identificación

de dos zonas de mayor interés, para continuar con dos estudios de factibilidad; Las Albercas-El Remolino y Allende-Villa Unión.

En la etapa de factibilidad (1992-1994), en las zonas previamente seleccionadas, se efectuaron trabajos de geología en detalle, a través de dos planos geológicos en escala 1: 50 000, de las zonas: Las Albercas-El Remolino y Allende-Villa Unión, cubriendo una superficie de 2 282 Km² y 2 289 Km² respectivamente. Para la elaboración de estos planos se realizaron actividades de fotogeología, levantamientos geológicos de campo y geología de subsuelo.

Dichas actividades consistieron en la interpretación geológica de fotografías aéreas de las áreas que cubren las hojas topográficas editadas por el INEGI; Remolino (H14-C53), Palmiras (H14-C54), Las Albercas (H14-C63), San Fernando (H14-C64), Las Corrientes (H14-C73), Allende (H14-C74), Infantes (H14-C83), y Villa Unión (H14-C84).

En el área del de Las Albercas-El Remolino se llevó a cabo el levantamiento de 3 secciones estratigráficas y se construyeron 5 secciones geológicas. En el área de Allende-Villa Unión se realizaron 5 secciones geológicas y una sección estratigráfica. Asimismo, se realizaron levantamientos del fracturamiento observado a lo largo y ancho de las áreas seleccionadas, elaborándose las rosetas respectivas, que muestran las orientaciones preferenciales. Por último, se realizó la perforación de 4 pozos de exploración-cuantificación.

En 1991, con el estudio denominado "Geología de apoyo al modelo matemático del acuífero Sabinas-Reynosa, se logró establecer el comportamiento geológico que guarda la unidad que contiene el acuífero en el subsuelo (Formación Sabinas-Reynosa); las características geológicas, tanto de la zona de recarga y descarga del acuífero, su relación con el acuífero calizo, y su delimitación geohidrológica por fronteras geológicas naturales. Durante el estudio se efectuó una serie de trabajos geológicos en niveles de semidetalle y detalle y se elaboró un plano geológico, en escala 1: 100 000, que abarca

específicamente la parte noroccidental y suroccidental de la Serranía del Burro y la parte central del valle conocido en la localidad como de los “Cinco Manantiales”, en una superficie de 4 900 Km². Para la elaboración de este plano se realizaron actividades de fotogeología, levantamientos geológicos de campo y geología de subsuelo.

Dichas actividades consistieron en la interpretación geológica de fotografías aéreas, de las áreas que cubren las hojas topográficas editadas por el INEGI: Piedras Negras (H14-C65), Guerrero (H14-C75), Santa Mónica (H14-C85), San Fernando (H14-C64), Allende (H14-C74) y Villa Unión (H14-C84).

Se llevó a cabo el levantamiento de 8 secciones geológicas (incluidas en el presente trabajo). Asimismo, se realizaron levantamientos del fracturamiento observado a lo largo y ancho del área de estudio, y se elaboraron las rosetas respectivas que muestran las orientaciones preferenciales. Así como la realización de 600 sondeos eléctricos verticales.

Se analizó la información de 1800 cortes litológicos de barrenos perforados en la zona para fines mineros, lo cual ayudó a definir la geometría del acuífero.

2.1 Marco Geológico Regional

Para complementar el presente trabajo se elaboró un plano geológico en escala 1: 100 000, que es el resultado de los trabajos geológicos realizados en las diferentes etapas de estudio, sobre una extensión aproximada de 9360 Km² y abarca específicamente la parte noroccidental y suroccidental de la Serranía del Burro y la parte central del valle conocido en la localidad como de los “Cinco Manantiales” (Plano 1).

En el área de estudio aflora un importante conjunto de rocas correspondientes al Cretácico Inferior, constituido por calizas con un espesor de poco más de mil metros; mientras que los correspondientes al Cretácico Superior están constituidos por clásticos primordialmente, con un espesor de alrededor de mil metros. El conjunto del Cretácico

Inferior está constituido por las Formaciones Glen Rose, Telephone Canyon, West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak.

Las unidades correspondientes al Cretácico Superior son las formaciones: Del Río, Buda, Eagle Ford, Austin, Upson, San Miguel, Olmos y Escondido. Hacia el valle se presenta un conglomerado de fines del Terciario, que constituye la Formación Sabinas-Reynosa.

Finalmente, sobre los valles y partes bajas se observa una cubierta de aluvión, constituida por gravas, arenas, limos y arcillas del Cuaternario.

La estructura más importante en el área de estudio es la Serranía del Burro, que presenta una orientación Noroeste-Sureste, con una longitud aproximada de 230 Km por 65 Km de ancho; su elevación varía de 500 a 1800 msnm. La Serranía del Burro corresponde a una estructura anticlinal muy amplia, con echados de 2 a 3 grados en sus flancos; su eje buza hacia el Sur-Este, está formado por una secuencia de rocas calcáreas que presentan un aspecto cóncavo y casi circular; la red de escurrimiento la disecta en forma casi radial, formando gran número de cañones, donde se puede observar la columna estratigráfica de las rocas que la conforma. El Lomerío de Peyotes es la continuidad de la Sierra del Burro, hacia el Sureste, con una longitud de 100 Km por 30 Km de anchura, aproximadamente. Su elevación varía de 350 a 500 msnm.

2.2 Fisiografía

El área en estudio se encuentra comprendida en dos provincias fisiográficas: la Sierra Madre Oriental y las Grandes Llanuras de Norteamérica, en particular y principalmente, dentro de las subprovincias de la Serranía del Burro y de las Llanuras de Coahuila y Nuevo León, respectivamente.

La porción occidental ocupa parte de la provincia de la Sierra Madre Oriental, caracterizada por sierras separadas entre sí por valles planos y alargados, que reflejan el

carácter geomorfológico de las rocas constituyentes (Sierras constituidas por calizas y valles por rocas calcáreo-arcillosas).

De acuerdo con la Síntesis Geográfica de Coahuila (INEGI, 1983), la subprovincia de la Serranía del Burro ocupa 13 233.09 Km², incluyendo parte de los municipios de Acuña, Guerrero, Múzquiz, Sabinas, Villa Unión, Zaragoza, Morelos, y otros (Figura 3).

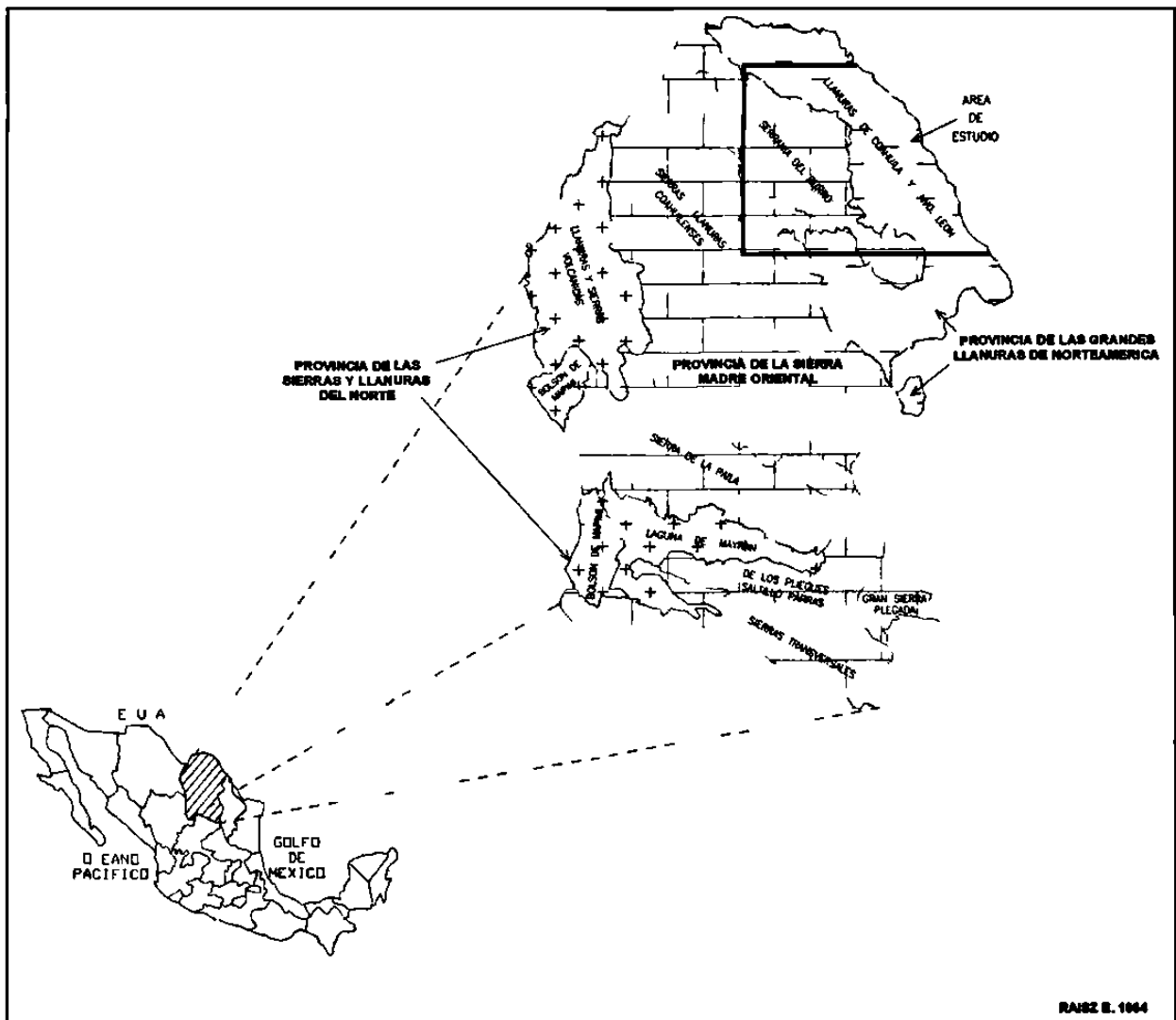


Figura 3. Provincia y Subprovincias Fisiográficas de Coahuila

Las cadenas montañosas y los valles son paralelos a la estructura regional. Las sierras con orientación del noroeste-sureste son la Serranía del Burro, la Sierra El Cedral y El Carmen, separadas por los valles de la Norias, El Infante y El Valle de la Babia,

respectivamente. Al Sur y Sureste se ubica el Lomerío de Peyotes, prolongación de la Serranía del Burro, que también exhibe orientación NW-SE (Figura 4).

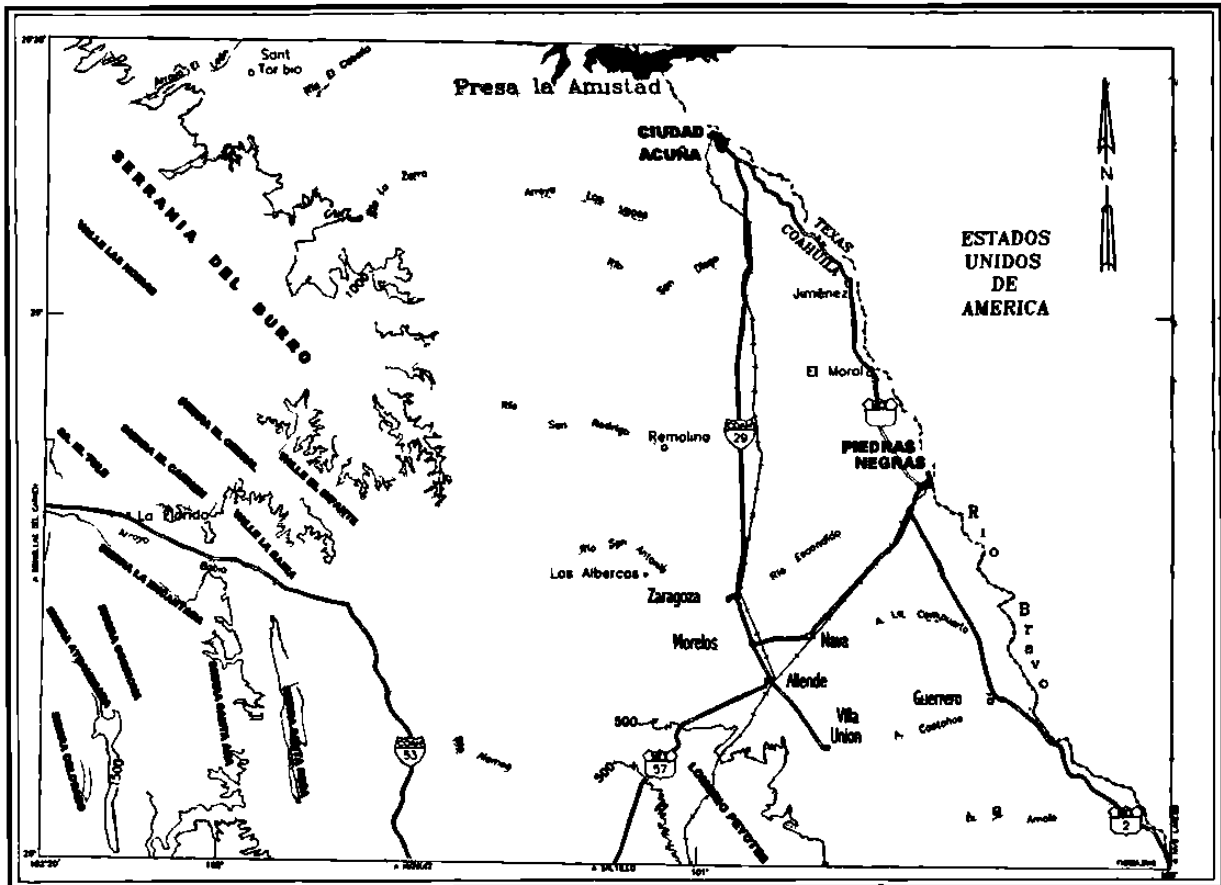


Figura 4. Croquis fisiográfico del norte de Coahuila

La Serranía del Burro presenta una falla normal sobre su flanco NW, es accidentada en su parte central (donde se presenta un sistema radial de valles angostos), posee una pendiente más suave en los flancos Este y Sureste, que es donde la sierra se vuelve más estrecha y baja en altitud, hasta terminar en el Lomerío de Peyotes.

La roca caliza predomina en el centro de la sierra, en tanto que hacia los flancos se presentan asociaciones de calizas y lutitas, se encuentra afectada por cuerpos intrusivos en su parte norte; Una de estas intrusiones es el Cerro El Colorado con 1400 msnm.

Por otro lado, esta subprovincia es pobre en arroyos de importancia, lo que se ha atribuido a la aridez del clima y a la infiltración del agua al subsuelo.

La porción Norte-Este corresponde a la provincia fisiográfica de las Grandes Llanuras de Norteamérica, caracterizada por la presencia de amplios llanos, interrumpidos por lomeríos dispersos de poca altura y pendientes suaves, constituidos principalmente por materiales conglomeráticos.

De las subprovincias que integran las Grandes Llanuras de Norteamérica, sólo una queda comprendida dentro del territorio mexicano: la subprovincia de las Llanuras de Coahuila y Nuevo León; la cual limita al Norte y Este con el Río Bravo, al Oeste con la Sierra Madre Oriental y al Sureste con la Llanura Costera del Golfo Norte. Se caracteriza por la presencia de llanos interrumpidos por lomeríos dispersos, bajos, de pendientes suaves y formados principalmente por conglomerado. Esta subprovincia forma parte de la región conocida como llanura costera, la cual se comporta como un plano inclinado en dirección NW-SE. Esta subprovincia abarca una superficie de 25 665.89 Km² que incluye a los municipios de Allende, Hidalgo, Jiménez, Nava, Piedras Negras, Villa Unión, Zaragoza, etc.

Los sistemas topomorfos de esta subprovincia son: Sierras alargadas y separadas entre sí por amplios valles planos, que muestran el carácter geomorfológico de las rocas constituyentes, así como el tipo de deformación estructural. En general, las sierras están representadas por anticlinales alargados y dómicos constituidos por rocas de edad Cretácica.

La llanura costera está delimitada y constituida fisiográficamente por 3 áreas con características bien definidas.

La parte Central, constituida por depósitos continentales de ambiente deltáico de edad Cretácica, mismos que fueron cubiertos en forma discordante por depósitos de edad Terciaria y Cuaternaria, los cuales conforman el valle conocido como la región de Río

Escondido. La parte noroccidental, representada por el flanco oriental del Anticlinorio del Burro, y la parte suroccidental; Lomerío de Peyotes, que es continuación del Anticlinorio de Burro.

Los principales escurrimientos en esta zona son los Ríos San Antonio, San Rodrigo y Escondido, que vierten sus aguas en el Río Bravo. Las dos primeras se originan en el parteaguas de la Sierra del Burro y siguen un curso general Oeste-Este.

2.3 Geomorfología.

Como en la mayor parte de la superficie terrestre, en el área en estudio, las formas del relieve deben su existencia tanto a los procesos generadores del relieve (endógenos), como a los procesos modeladores del mismo (exógenos).

A los procesos endógenos, se los tiene representados en el área de trabajo principalmente por el tectonismo, que ha dado origen a formas aplicativas y disyuntivas.

Las formas aplicativas corresponden a los pliegues que conforman la Serranía del Burro y el Lomerío de Peyotes, alineamientos montañosos orientados en dirección NW-SE, que presentan un decremento gradual de altitud en la dirección antes mencionada.

La Serranía del Burro abarca parte del Lomerío de Peyotes; por lo que, en general, se puede decir que estas montañas están constituidas por pliegues anticlinales y sinclinales normalmente muy abiertos, que presentan echados bajos y que raras veces exceden los 10°. Estos pliegues se encuentran afectados por fracturas y fallas de tipo normal.

Los procesos exógenos o modeladores del relieve han dado lugar a formas erosivas y acumulativas en el área de estudio.

Las formas erosivas están representadas por cauces de arroyos y ríos, así como por formas típicas de la topografía kárstica. En lo referente a las corrientes superficiales, se presentan dos patrones de drenaje en el área de trabajo: en escala regional (norte del estado de Coahuila), se apreció en imagen de satélite un patrón angular, probablemente debido a cierto control estructural (fractura o falla) que se refleja en los cambios bruscos de dirección (90°) de algunos ríos, por ejemplo el Río San Antonio, el Río Escondido y fuera del área de estudio, el Río Salado. Además, se presenta otro patrón de drenaje no menos notorio que el primero y observable en la mayor parte del norte de Coahuila, se trata de un patrón dendrítico subparalelo que adoptan principalmente las corrientes que bajan de la Sierra del Burro, pero que también presentan los arroyos intermitentes que se desarrollan en las partes bajas del área.

De la observación de las cartas del INEGI que comprenden el área, se pueden definir tres unidades geomórficas: la Serranía del Burro, la Región de Río Escondido y el Lomerío de Peyotes (Figura 5).

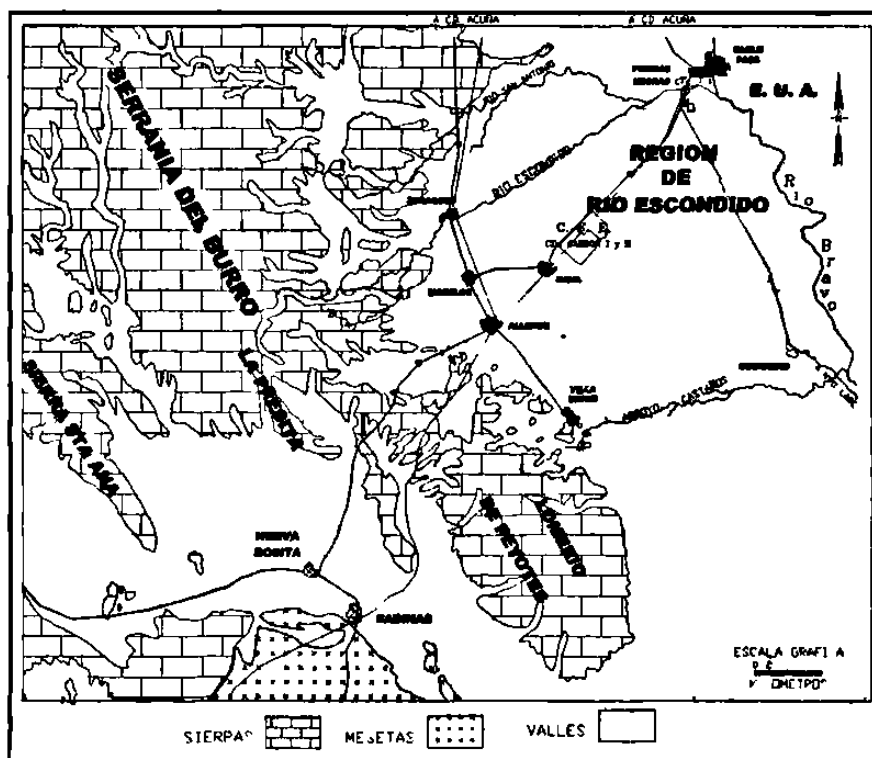


Figura 5. Croquis geomorfológico del norte de Coahuila

La Serranía del Burro, localizada al noroeste y oeste del área de estudio, muestra una orientación NW-SE, con una longitud de 230 Km y 65 Km de ancho; su altura máxima sobre el nivel del mar es de 1800 m y su mínima, de 500 m. Presenta un relieve que se encuentra en una etapa de juventud tardía a madurez temprana; por lo que respecta a los ríos y arroyos presentes en esta unidad, se puede decir que se encuentran en las mismas etapas que el relieve. En general, presentan un patrón de drenaje dendrítico subparalelo, aunque en ciertos cambios de pendiente (bajadas) se observa un patrón paralelo. Esta serranía presenta una elevada densidad de disección hacia sus partes altas, la cual se torna moderada a media que desciende en altitud. Lo mismo se puede afirmar en cuanto a la profundidad de disección.

La Región de Río Escondido, se localiza al sur de la ciudad de Piedras Negras, Coahuila, tiene como límite el Río Escondido al norte, el arroyo Castaños al sur, el Río Bravo al oriente y el área de afloramiento de la Formación Austin al poniente; tiene una longitud de 61 Km de largo y 43 Km de ancho, con una orientación NE-SW; presenta una topografía suave ondulada, con elevaciones que varían de los 350 msnm, en la porción poniente, a 190 msnm sobre las vegas, a lo largo del Río Bravo. Presenta un relieve en una etapa de madurez temprana. Los ríos de esta unidad se encuentran en la misma etapa del ciclo geomorfológico que el relieve. Al igual que en la mayor parte del área de trabajo, el tipo de drenaje que se observa es dendrítico subparalelo. Tanto la densidad como la profundidad de la disección presentan un carácter moderado en esta unidad geomorfológica.

El Lomerío de Peyotes, está ubicado al suroeste del área de estudio, con una longitud de 100 Km y 30 Km de ancho, la altura máxima sobre el nivel del mar es de 500 m y la mínima de 350 m.

Al sur del área de trabajo, abarcando casi la totalidad de la carta Villa Unión del INEGI, en escala 1: 50 000, se encuentra el Lomerío de Peyotes al cual se considera como la prolongación al sureste de la Sierra del Burro. Este lomerío se encuentra en una etapa de madurez temprana, presenta el mismo patrón de drenaje que el resto del área de

trabajo, aunque la densidad de disección es mayor que en la zona intermedia antes descrita.

La zona de planicie, se encuentra en la parte oriental del área estudiada, comprende la mayor parte de las cartas Allende y San Fernando, del INEGI escala 1: 50 000, así como el sector sureste de la carta Palmira. Aquí se observa que los ríos se encuentran en madurez tardía, estos últimos se presentan en un patrón definido como dendrítico subparalelo. La densidad de la disección, se puede decir que es de baja a moderada, así como la profundidad de disección.

Por otro lado, en vista de que las formaciones geológicas que se presentan en el área son predominantemente calcáreas, no es de extrañar que se presenten algunas formas del relieve o estructuras desarrolladas por procesos kársticos. En particular, se han observado algunas cavernas en el Cañón de las Calabazas, en el de la Tinaja Azul, en el Rancho Las Cuevas etc. También se han observado estructuras de colapso, particularmente en el Rancho El Colorado y algunas depresiones topográficas que pudieran estar relacionadas con dolinas, como las observadas al oeste de La Maroma y al norte del Rancho el Guante.

Finalmente, cabe hacer notar que las formas acumulativas se observan principalmente en los valles aluviales de las corrientes que bajan de la Serranía del Burro, tales como los Ríos San Rodrigo, San Antonio, Arroyos El Bobo, Sta. Fe y El Macho, entre otros. Además, se tiene la presencia de una gran planicie aluvial situada al oriente.

2.4 Estratigrafía

La columna estratigráfica del área en estudio, está compuesta por rocas sedimentarias de origen marino y continental de edad del Cretácico Inferior al Reciente (Tabla 1).

ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	FORMACION	ESPESOR m	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno		ALLUVION (Ccl)		
		Pleistoceno				
	TERCIARIO	Plioceno		SABINAS-REYNOSA (Tar)	0 - 40	
		Mioceno				
		Oligoceno				
		Eoceno				
		Paleoceno				
MESOZOICA	CRETACICO	SUPERIOR	MAESTRICHTIANO	ESCONDIDO (Kes)	120 - 180	
				OLMOS (Kol)	150 - 200	
			CAMPANIANO	SAN MIGUEL (Ksm)	20 - 40	
				URSON (Kup)	300 - 450	
			SANTONIANO			
			CONACIANO	AUSTIN (Kau)	250	
			TURONIANO	EAGLE FORD (Kef)	50 - 200	
			INFERIOR	ALBIANO	BUDA (Kbu)	27 - 48
					DEL RIO (Kdr)	36 - 63
					SALMON PEAK (Kap)	124 - 195
		Mc KNIGHT (Kmk)			50 - 127	
		WEST NUECES (Kwn)			100	
			TELEPHONE CANYON (Kc)	40		
			GLEN ROSE (Kgr)	650		

Tabla 1. Estratigrafía general del área

A continuación, se describen las formaciones presentes en el área, descritas principalmente por lo observado en el campo, con datos aportados por otros autores que han estudiado el área, y con apoyo de datos obtenidos de las perforaciones exploratorias realizadas por la CFE y PEMEX, en la zona (Ver plano 1).

El Cretácico Inferior, en el área de estudio, está constituido por las Formaciones Glen Rose, de lexicología regional, además de las unidades Telephone Canyon, West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak. Éstas se depositaron en la denominada Cuenca de Maverick, ya que las facies de fuera de la Cuenca son las Formaciones Devils River o

Georgetown, Kiamichi y Tamaulipas Superior o las unidades Del Carmen, Sue Peaks y Santa Elena, todas ellas equivalentes a la Formación Aurora.

La Formación Devils River es un borde arrecifal que separa facies de plataforma y de cuenca. Hacia el norte se encuentra la plataforma con las Formaciones Glen Rose, Telephone Canyon, West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak; hacia el sur las Formaciones Devils River o Georgetown, Kiamichi y Tamaulipas Superior o las unidades Del Carmen, Sue Peaks y Santa Elena consideradas como de cuenca o cuenca y plataforma.

CRETÁCICO INFERIOR

Formación Glen Rose Kgr (Albiano Inferior y Medio)

Definición.- R.T. Hill en 1891, utilizó este nombre para diferenciar la parte superior del grupo Trinity, al referirse a los afloramientos existentes a lo largo del Río Paluxy en las proximidades del poblado de Glen Rose en el Condado de Somervell en Texas, Estados Unidos de Norteamérica.

Distribución y Espesor.- Esta unidad está restringida a la porción noroeste del área Las Albercas-El Remolino, particularmente sobre el cauce del Río San Rodrigo, en el Cañón de La Tinaja Azul, el Cañón Prieto y el de Las Calabazas. En el pozo de PEMEX Coconal No.1 se reporta un espesor de 646 m, en tanto que en los pozos exploratorios RE1 y RE2 realizados por la CFE se cortaron 222 m y 137 m, respectivamente.

Litología.- En su localidad tipo, la formación está constituida por una alternancia de capas de calizas resistentes y calizas arcillosas que intemperizan, dando lugar a una topografía escalonada muy característica; asimismo, se observa un intervalo arrecifal en su parte inferior. En el área de estudio, la Formación Glen Rose se encontró expuesta en el Rancho La Tinaja Azul, en donde sólo fue posible observar parte de la cima de dicha

formación, la cual está constituida por calizas wackestone, de estratificación mediana. Por efectos del intemperismo, estas adquieren un color gris medio y en superficie fresca son de un color gris oscuro. En el afloramiento se aprecia un alto grado de disolución y fracturamiento.

Relación estratigráfica.- Los contactos inferior y superior de la Formación Glen Rose, son concordantes y transicionales con las Formaciones La Peña y Telephone Canyon, respectivamente.

Edad y Correlación.- La porción superior de la formación, se caracteriza por la presencia de dos foraminíferos extremadamente abundantes (Miliólidos y Orbitolina Texana), los cuales están asociados con varios moluscos pequeños (gasterópodos y ostras) y con rudistas en biostromas y biohermas. Sin embargo, es por la presencia de la Orbitolina Texana y la amonita Oxytropidoceras sp que se le ubica a esta unidad entre el Albiano inferior y el Albiano medio. Lateralmente, esta formación cambia de facies y es equivalente a la Formación Tamaulipas Superior. Es muy posible, que parte de Glen Rose se convierta en la porción inferior de la Devils River.

Génesis.- Smith (1970) asigna a esta unidad un ambiente de depósito de plataforma somera.

Formacion Telephone Canyon Ktc (Albiano Medio)

Definición.- El nombre de Telephone Canyon pertenece a la lexicología usada en el área del Parque Nacional del Big Bend, en el vecino estado de Texas, en Estados Unidos de Norteamérica y su localidad tipo está en el Cañón Telephone, en el Condado de Brewster (12 Km al oeste de la Linda, Coah., México).

Distribución y Espesor.- Esta formación, únicamente aflora en el área Albercas-El Remolino, en su porción noroeste, particularmente en los Cañones Tinaja Azul, Prieto y el de las Calabazas; así como en la parte alta del cauce del Río San Rodrigo. El espesor

promedio de esta unidad es de 39 m. En los pozos exploratorios realizados por la CFE, se presentaron espesores que variaron de los 28 m a 52 m (RE1, RE2, RE4 y RE5).

Litología.- Consiste de estratos gruesos de marga fosilífera amarillenta y caliza arcillosa nodular de textura wackestone, separados por calizas packestone de estratificación delgada (que contiene Gryphaea) y wackestone con fragmentos de conchas.

Relación estratigráfica.- El contacto, tanto inferior como superior, con las Formaciones Glen Rose y West Nueces respectivamente es transicional.

Edad y Correlación.- Los fósiles más comunes de la formación son: Exogyra texana, Gryphaea, Lunatia y algunos equinoides, que han servido para asignarle una edad del Albiano medio (Smith op. cit.). Lateralmente, la formación cambia de facies a la Formación Devils River.

Génesis.- De acuerdo con Smith (op. cit.), las arcillas terrígenas de la Formación Telephone Canyon se derivaron de un área fuente localizada en Marathon Texas, las cuales se distribuyeron en un depósito entre el borde de talud y la línea de costa, en el Norte del Estado de Coahuila.

Formación West Nueces Kwn (Albiano Medio)

Definición.- La localidad tipo de esta formación se encuentra en las orillas del Río West Nueces, al Noroeste de Uvalde, en el Condado de Uvalde, Texas.

Distribución y Espesor.- Aflora en el sector occidental del área Albercas-El Remolino, en una amplia franja, comprendida entre los ranchos El Desemboque al norte y el Colorado, al sur. En los pozos exploratorios de la CFE (RE-1, RE-2, RE-3 y RE-4) se observan espesores que varían de 92 m a 100 m.

Litología.- Está constituida por calizas de estratificación delgada a media; en la parte inferior de la unidad, la textura varía de mudstone a packstone, en tanto que la parte superior varía de wackstone a grainstone, contiene gasterópodos, pelecípodos, miliólidos, caprinidos, pellets y fragmentos de conchas.

Relación estratigráfica.- Los contactos inferior y superior de la Formación West Nueces con la Formación Telephone Canyon y Mc Knight respectivamente, son transicionales.

Edad y Correlación.- La presencia de fósiles, como la Texigriphaea, Toucacia y los foraminíferos Barkerina y Dictyoconus, han servido para asignarle una edad del Albiano Superior. Lateralmente, la formación cambia de facies, por lo que es correlacionable con las Formaciones Tamaulipas Superior, Santa Elena, Del Carmen y Delvis River Inferior, así como la base de Mc Knight.

Génesis.- Su depósito está asociado a un ambiente de plataforma somero en un evento de transgresión marina.

Formación Mc Knight Kmk (Albiano Medio y Superior)

Definición.- Según Miller en 1984, la Formación Mc Knight se reconoció inicialmente como una unidad del subsuelo por Winter en 1961 y posteriormente fue extendida a los afloramientos por Lozo y Smith, 1964.

Distribución y Espesor.- Ampliamente distribuida en el área, aflora principalmente en los terrenos del Rancho el Colorado (sector occidental de Las Albercas-El Remolino) a partir del cauce del Río Los Álamos. Hacia el norte, el patrón de afloramiento de la formación adopta la forma de una franja estrecha, orientada en una dirección general norte-sur, la cual se extiende hasta el límite norte de la zona de estudio. De acuerdo con los pozos exploratorios realizados por la CFE en las áreas del

Refugio (RE1 al RE8, RE10, RE14), y el Remolino (RM1 y RM2) el espesor de la formación varía de 50 a 127 m.

Litología.- Esta constituida por tres unidades:

Unidad Inferior.- Compuesta por mudstone, con fragmentos de miliólidos, además de wackstone y grainstone; se observan evaporitas, estructuras derivadas del colapso y brechas de colapso. Contiene miliólidos y fragmentos de Gryphaea.

Unidad Media.- Constituida por mudstone obscuro calcáreo laminado, contiene fragmentos de Ostreas distribuidas en todo el horizonte.

Unidad Superior.- Incluye mudstone laminado, wackstone a packstone y evaporitas. En la cima de esta unidad aparecen grainstone y wackstone a packstone en estratos delgados a medios; contiene fragmentos de conchas y pellets.

Relación estratigráfica.- Los contactos inferior y superior con las Formaciones West Nueces y Salmon Peak respectivamente, son transicionales y concordantes.

Edad y Correlación.- Por su contenido fosilífero (miliólidos, Texigryphaea, fragmentos de Gryphaea, etc). Se le ha asignado una edad del Albiano Medio y Superior. Se correlaciona con las Formaciones Devils River, Del Carmen y la cima de la Tamaulipas Superior.

Génesis.- Su depósito está asociado a un ambiente euxínico de salinidad y evaporación alta, muy similar a las modernas lagunas de post-arrecife.

Formación Salmon Peak Ksp (Albiano Superior)

Definición.- Está expuesta típicamente a 30 m al noroeste de Bracketville, cerca de Salmon Peak, de donde toma su nombre en el Condado de Kinney; su localidad tipo se

ubica en el Río West Nueces, en el Condado de Uvalde, 24 km al noroeste de Uvalde, Texas (Lozo y Smith, 1964).

Distribución y Espesor.- Aflora en el sector centro-occidental del área, principalmente en las localidades conocidas como El Macho, San Miguel, El Refugio, El Colorado y en la margen izquierda del Río San Rodrigo. El espesor observado en los pozos exploratorios de CFE (RE2 al RE8, RE10, RE14, RM1, RM2, RM3), varía de 124 a 195 m.

Litología.- Se divide en dos unidades: la inferior y la superior, la primera, a su vez, ha sido subdividida en dos unidades también. Lozo y Smith (op. cit.).

La Unidad estratigráfica inferior.- Se divide en una caliza mudstone Inferior y una caliza Superior horadada por organismos. La primera se compone principalmente de mudstone calcáreo gris verdoso a gris amarillento y la segunda constituida por wackstone calcárea barrenado por organismos (ostrácodos, braquiópodos, espículas de esponja).

La Unidad Estratigráfica Superior.- Está constituida por wackstone a grainstone calcárea, con abundantes fragmentos de quinóideos, conchas y óstreas.

Relación estratigráfica.- Los contactos tanto Inferior como Superior con las Formaciones Mc Knight y Del Río son concordantes.

Edad y Correlación.- De acuerdo con su contenido faunístico, se le asigna una edad del Albiano Superior. Se correlaciona con parte de la Formación Tamaulipas Superior en la provincia del Golfo de Sabinas (México). En la plataforma de San Marcos (Texas), equivale a una parte de las Formaciones Person y Georgetown; en la meseta Edwards Oriental equivale al Devils River Superior y Formación Segovia.

Génesis.- Su depósito está asociado a un ambiente de plataforma abierta y bancos de plataforma.

CRETÁCICO SUPERIOR

Formación Del Río Kdr (Cenomaniano Inferior)

Definición.- Fue llamada originalmente Grayson, en 1895, por Cragin y posteriormente Hill y Vaughan, que en 1898 aplicaron el nombre de Del Río a su extensión sur, señalando como localidad tipo a la loma de la Cruz, ubicada a 3 kilómetros al Sur de Del Río, Texas (Adkins, et al 1975).

Distribución y Espesor.- Prácticamente, los afloramientos de la Formación Del Río están muy restringidos, las superficies más grandes de exposición de esta unidad se observan al norte del rancho El Macho y al noreste del sitio conocido como Las Cuevas. En el resto del área, aflora su parte superior, en una delgada franja orientada norte-sur, sobre todo al oeste del Pensamiento y al N-NW del Remolino. El espesor de dicha formación varía de 36 a 63 m, según pozos exploratorios perforados por la CFE en la zona (RE3, RE5 al RE8, RE14, RM1, RM2, RM3).

Litología.- Consiste de lutitas calcáreas interestratificadas, con margas que contienen amonitas y otros fósiles. Es característica de esta unidad la abundancia de foraminíferos Haplostiche texano y Exogyra arietina.

Relación estratigráfica.- Sus contactos tanto inferior como superior con las Formaciones Salmon Peak y Buda, respectivamente, son concordantes.

Edad y Correlación.- Por su contenido faunístico, se la asigna una edad del Cenomaniano Inferior; por su correlación estratigráfica se correlaciona con parte de la Formación Tamaulipas Superior.

Génesis.- Sus depósitos están asociados a un ambiente de plataforma abierta, en una transgresión marina.

Formación Buda Kbu (Cenomaniano Superior)

Definición.- El término Buda fue usado por Vaughan, en 1900, para sustituir al de Shoal Creek, que corresponde a otra formación. La localidad tipo de esta formación se encuentra en el arroyo Shoal en el Condado de Austin, Texas.

Distribución y Espesor.- El patrón de afloramiento de la Formación Buda, en el área, es similar al que presenta la subyacente Del Río, es decir, es una franja orientada en dirección general norte-sur, esta unidad aflora principalmente a lo largo del Lomerío de Peyotes; al sur del poblado de Allende y suroeste de Villa Unión, principalmente, sobre los ejes de las estructuras de los anticlinales ahí presentes. Los espesores reportados en los pozos exploratorios por CFE zona (RE3, RE5 al RE8, RE14, RM1, RM3) varían de 27 a 48 m.

Litología.- Está constituida por calizas en estratos delgados que alternan con laminaciones de lutitas de color gris a café. Contiene *Exogyra clark*, *Codiopsis texana*, *Whitney*, etc.

Relación estratigráfica.- Sobreyace concordantemente a la Formación Del Río y subyace de igual forma con la Formación Eagle Ford.

Edad y Correlación.- Se le asigna una edad del Cenomaniano Superior y es correlacionable con la cima de la Formación Tamaulipas Superior.

Génesis.- De acuerdo con sus características litológicas, su depósito está asociado a un ambiente de talud Inferior y borde de plataforma.

Formación Eagle Ford Kef (Turoniano)

Definición.- Descrita inicialmente por Ferdinand Romer, en 1852, como lutita negra; Hill, en 1887, la denomina Formación Eagle Ford, cuya localidad tipo se encuentra en el condado de Eagle Ford, en Dallas, Texas (Acevedo, 1954).

Distribución y Espesor.- Aflora al noreste del lugar conocido como El Remolino, en los terrenos del rancho El Pensamiento, al sur de Las Albercas y de Allende, principalmente sobre el Lomerío de Peyotes. Así como en la zona donde se ubican los manantiales El Chupadero (M1), Palmiras, Santa Ana y el Potrero (M6). El espesor reportado en los pozos de PEMEX en la región varía de 120 a 194 m (Zwanziger, 1980) y de 58 a 85 m en los pozos exploratorios de la CFE (RE3, RE6 al RE8, RE14).

Litología.- Está constituida por lutitas calcáreas, laminares color gris oscuro, interestratificadas con cuerpos medios y delgados de mudstone-wackstone arcilloso, de color gris oscuro que intemperiza a gris claro y amarillo ocre. Contiene globigerínidos, radiolarios, bioclastos y conchas enteras de moluscos.

Relación estratigráfica.- El contacto inferior es nítido y concordante con la Formación Buda y el superior es transicional y concordante con la Formación Austin.

Edad y Correlación.- En esta unidad se han encontrado macrofósiles característicos como el *Inoceramus Labiatus*, lo cual ha servido para asignarle una edad del Turoniano, de acuerdo con su posición estratigráfica, así como por su contenido faunístico. Se correlaciona con la Formación Agua Nueva de la Cuenca de Tampico-Misantla, con la Formación "Indidura", en la Cuenca de Parras y con la Formación Ojinaga, en Chihuahua.

Génesis.- De acuerdo con sus características litológicas, su depósito está asociado a un ambiente nerítico, con gran aporte de material detrítico.

Formación Austin Kau (Conaciano-Santoniano)

Definición.- B.F. Shumard fue quién, en 1860, dio el nombre de Formación Austin a una serie de calizas que afloran en Austin, Texas, donde se encuentra su localidad tipo (Acevedo, 1954).

Distribución y Espesor.- En el área de estudio, la Formación Austin aflora en toda la porción Sureste de la Serranía del Burro y en la parte Sureste del Lomerío de Peyotes. Los espesores reportados por los pozos perforados por PEMEX: Coconal No.1 (250 m), Coconal No.2 (245 m). Galaxia No. 1 (245 m), Perforador No. 1 (234 m) y Demóstenes No. 1.

Litología.- En el área de estudio, esta formación está compuesta de mudstone y wackstone arcilloso, en capas medias de color gris claro a oscuro, con intercalación de lutitas calcáreas; presenta gran contenido de macro y microfauna.

Relación estratigráfica.- Sus contactos tanto inferior como superior con las Formaciones Eagle Ford y Upson son concordantes y transaccionales.

Edad y Correlación.- Con base en su contenido faunístico se le ha asignado una edad del Coniaciano-Santoniano. Se correlaciona en parte con la Formación Indidura, Lutitas Parras, San Felipe, y Lutitas Méndez.

Génesis.- De acuerdo con su contenido litológico, las condiciones de depósito están asociadas a ambientes neríticos, con aporte de material terrígeno producto de las pulsaciones iniciales de la Orogenia Laramide, que se intensificó hacia occidente aportando mayores volúmenes hacia el oriente.

Formación Upson Kup (Santoniano Superior-Campaniano)

Definición.- Descrita por E.T. Dumble, en 1892, corresponde a unas lutitas del grupo Taylor, cuya localidad tipo se encuentra cerca de lo que fue la oficina de correos en Upson, Condado de Maverick (carretera Eagle Pass - Del Río, Texas) (Acevedo 1954).

Distribución y Espesor.- En el área de estudio se encuentra pobremente expuesta, sólo fueron observadas en dos afloramientos: en el Ejido la Maroma y en el Ejido Maravillas, donde se localiza el pozo de PEMEX del mismo nombre. Los espesores reportados por los pozos perforados por PEMEX, en la región de Río Escondido van desde 300 m en el Coconal No.1 hasta 450 m en el Kikapú No.1.

Litología.- Está constituida por lutitas calcáreas de color gris oscuro a verde, en capas delgadas a laminares, muy deleznales, con estratos calcáreos en capas de espesor medio; contiene algunas cámaras de globigerínidos, así como presencia de bioturbaciones.

Relación estratigráfica.- De los afloramientos observados en los ejidos La Maroma y Maravillas, solamente se logró identificar el contacto superior, y es concordante y transicional con la Formación San Miguel.

Edad y Correlación.- Con base en el contenido faunístico, así como por su posición estratigráfica, se le ha asignado una edad del Santoniano Superior-Campaniano. Se correlaciona en el área de Ojinaga parcialmente con la Formación San Carlos y el Picacho y en parte con la Lutita Parras, de la cuenca del mismo nombre; con la parte inferior de la Lutita Méndez, al noreste de México y se considera equivalente a la parte inferior del grupo Taylor, en el estado de Texas.

Génesis.- Los sedimentos correspondientes a esta formación fueron depositados en facies de prodelta del sistema deltaico desarrollado durante el Cretácico Superior en la región.

Formación San Miguel Ksm (Campaniano)

Definición.- Definida por E.T. Dumble en su localidad tipo, el antiguo rancho de San Miguel, ubicado al Norte de Eagle Pass, Texas. Adkins (1933) definió como Formación San Miguel a una secuencia de areniscas con intercalación de fangolitas bien estratificadas, con espesor que oscila entre 120-180 m, ubicadas en la sección tipo de Eagle Pass, Texas.

Distribución y Espesor.- Fue identificada en el área de estudio, al norte de la ciudad de Piedras Negras, a la altura del Ejido Piedras Negras y en el arroyo la Zacatosa, a la altura del ejido La Maroma. El espesor de esta formación es variable, de acuerdo con su ubicación. En el área de estudio se han reportado espesores de 20 m a 40 m.

Litología.- Está constituida por una secuencia de areniscas de grano grueso a medio, con estratificación cruzada, huellas de bioturbación con interdigitación de limolitas.

Relación estratigráfica.- Sobreyace en forma concordante y transicional a la Formación Upson y subyace de igual forma a la Formación Olmos.

Edad y Correlación.- Por razón de su contenido faunístico y su relación estratigráfica, se le ha designado una edad del Campaniano. Esta formación es equivalente al grupo Taylor, en el Estado de Texas; se correlaciona con la parte inferior de la Formación Méndez, en la cuenca de Tampico-Misantla y con el Grupo Difunta, en la Cuenca de Parras.

Génesis.- De acuerdo con sus características litológicas, así como a su fauna y a la presencia de estructuras sedimentarias, dichos depósitos están asociados a facies de frente deltaico.

Formación Olmos Kol (Maestrichtiano Inferior-Medio)

Definición.- Inicialmente conocida como "Coal Series" en el Maverick County y denominada Formación Olmos por L.W. Stephenson, en 1927, el nombre fue tomado de la estación ferroviaria de Banderas, ubicada cerca de la localidad y del arroyo Olmos, al Norte de Eagle Pass. En el área de estudio contiene los mantos de carbón que son la materia prima empleada para la generación de energía eléctrica en las Centrales de Carbón I y II.

Distribución y Espesor.- Generalmente ha sido reconocida y estudiada durante los trabajos de exploración y evaluación de los mantos de carbón, en la región de Río Escondido y en las minas donde se explota carbón en forma subterránea o a Tajo abierto. El espesor reportado por barrenos perforados en el área por la CFE, oscila entre 150 m a 200 m

Litología.- Está constituida por lutitas y limolitas de color marrón, en capas delgadas, interestratificadas con areniscas de color gris verdoso, que presentan estructuras de carga, rizaduras de corriente, restos de raíces, plantas fósiles y desarrollo de mantos de carbón, hacia la base.

Relación estratigráfica.- Se encuentra sobreyaciendo en forma concordante y transicional a la Formación San Miguel y de igual forma a la Formación Escondido.

Edad y Correlación.- De acuerdo con su contenido faunístico, el polen y esporas encontrado en los núcleos de barrenación, se le ha asignado una edad del maestrichtiano Inferior y Medio (Martinez et al 1980, en Ariceaga et al 1987). Es correlacionable en

parte con la porción inferior de la Formación Méndez en la cuenca de Tampico-Misantla y equivalente al Grupo Navarro, en su parte inferior.

Génesis.- De acuerdo con sus características de depósito, están asociados a facies de planicie de inundación y pantanos que corresponden a una planicie deltaica del sistema que prevaleció durante el Cretácico Superior.

Formación Escondido Kes (Maestrichtiano Tardío)

Definición.- Unidad de areniscas y lutitas, que afloran en el área de la desembocadura del Río Escondido con el Río Bravo (Acevedo 1954).

Distribución y Espesor.- Aflora en Villa de Fuentes y en la desembocadura del Río Escondido con el Río Bravo, en el arroyo Castaños y en ambos márgenes del Río Bravo entre México-E.U.A., desde Villa de Fuentes hasta el complejo agrícola No.1 de la S.A.R.H. El espesor reportado por los pozos de PEMEX en la región varía desde 120 m en el pozo PN 13 hasta 180 m en el Kikapú 1.

Litología.- Está constituida por una secuencia de lutitas y areniscas calcáreas de color gris verdoso y limolitas calcáreo-arenosas, con intercalación de capas delgadas y medias de areniscas calcáreas; presenta abundante microfauna (pelecípodos, gasterópodos, cefalópodos).

Las estructuras primarias en las areniscas, consisten en barrenaciones de organismos, estratificación cruzada y huellas de oleaje, etc.

Relación estratigráfica.- Sobreyace en forma concordante y transicional a la Formación Olmos, y subyace discordantemente a la Formación Midway (Adkins, et al, 1975). Se hace notar que la Formación Midway no se describe por aflorar fuera del área de estudio.

Edad y Correlación.- Por su contenido de macrofauna (amonitas, Sphenodiscus, Aberrans, y Coahuilites), se le ha asignado una edad del Maestrichtiano tardío. Dicha formación se correlaciona con las lutitas de la parte superior de la Formación Méndez, en la cuenca de Tampico-Misantla y con el Grupo Difunta, en la cuenca de Parras, es equivalente a la porción superior del Grupo Navarro, en el Estado de Texas.

Génesis.- Con base en su contenido fosilífero así como por su contenido litológico, los depósitos de la Formación Escondido están asociados a facies de plataforma interdeltáica.

TERCIARIO

Formación Sabinas-Reynosa Tsr (Mioceno-Plioceno)

Definición.- Roebeck, en 1956, utilizó este término para definir un conglomerado que se localiza en el Río Sabinas, cercano al puente del mismo nombre.

Distribución y Espesor.- Estos depósitos están presentes en toda el área de estudio. La Formación Sabinas-Reynosa es un depósito de tipo granular, de semiconsolidado a consolidado, de origen fluvial, con espesor hasta de 40 m. Las fuentes de erosión fueron las porciones levantadas de la Sierra Madre Oriental, por lo que su distribución es muy amplia, en la parte Norte de los Estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Para el área de estudio, se considera a la Serranía del Burro al Lomerío de Peyotes, como la fuente principal de los sedimentos que componen esta formación.

Litología.- Se compone básicamente de clastos calcáreos, mal clasificados, semiredondeados, de tamaño variado desde gravas hasta guijarros empacados en un cementante carbonatado que presenta una capa de caliche hacia la cima. Para la cuenca de Río Escondido se ha intentado realizar una diferenciación de unidades, con base en la información de barrenos perforados en el área, se concluyó que sólo es confiable la

diferenciación de tres unidades, denominadas: unidad de conglomerado, unidad de caliche arenoso y unidad de caliche arcilloso. La presencia de esta última unidad es muy irregular, según los reportes litológicos analizados.

Relación estratigráfica.- Sobreyace en forma discordante a las unidades del Cretácico Superior.

Edad y Correlación.- Se le ha asignado una edad Mioceno-Plioceno y es correlacionable con el conglomerado Norma, que aflora en la periferia de la ciudad de Reynosa, Tamaulipas.

Génesis.- De acuerdo con su composición litológica, dichos sedimentos están asociados a depósitos de pie de monte y abanicos aluviales.

CUATERNARIO

Aluvión Cci (Pleistoceno-Holoceno)

Distribución.- Estos depósitos se localizan rellenando valles, en las partes bajas de las cuencas y en el pie de monte.

Litología y Espesor.- Está constituido por depósitos fluviales y eólicos. Los primeros se localizan en las faldas de las sierras, formados por clastos del tamaño de las gravas con matriz arenosa, ligeramente cementadas por carbonato de calcio y los segundos rellenando los valles en forma de aluvión o de suelo. La granulometría de estos depósitos es muy variada, así como su espesor y distribución, según el área de exposición.

2.5 Unidades Hidrogeológicas

Con base en la geología superficial observada en el área y los datos obtenidos de los pozos perforados por la CFE y PEMEX, las formaciones mencionadas en el subcapítulo anterior, se clasifican desde el punto de vista hidrogeológico, en 3 tipos de unidades: permeables, semipermeables e impermeables tomando en cuenta su composición litológica, su tipo de matriz, su porosidad, su permeabilidad, su grado de fracturamiento y su grado de disolución (Ver plano 1).

a) Unidades Permeables

Formación West Nueces.- Está compuesta por calizas, no presenta porosidad primaria; sin embargo, en partes presenta fracturamiento y alto grado de disolución, lo que la convierte en un excelente acuífero.

Formación Mc Knight.- Formada por calizas y evaporitas. Como se apunta en el subcapítulo de estratigrafía, esta unidad se ha subdividido en tres miembros; dos de ellos, el inferior y superior, debido a la formación de brechas y estructuras de colapso, presentan espacios vacíos producto de la disolución de evaporitas, tales condiciones hacen constituirse a estos miembros de la formación en excelentes acuíferos.

Formación Salmon Peak.- Compuesta por calizas, exhibe poca porosidad primaria, pero debido al intenso fracturamiento que presenta, junto con las Formaciones Mc Knight y West Nueces, constituyen el más grande acuífero de la región.

Formación Sabinas-Reynosa.- Formada de clastos calcáreos, que varían desde gravas hasta guijarros cementados en una matriz carbonatada, así como de una capa de caliche hacia la cima, presenta porosidad primaria y buena transmisividad, se constituye como un acuífero somero ampliamente explotado en el valle del Río Bravo.

Aluvión.- Es un Proveedor de cantidades menores de agua.

b) Unidades Semipermables

Formación Glen Rose.- El intervalo arrecifal de esta formación presenta buena porosidad primaria, sin embargo, este intervalo tiene una distribución espacial errática. En cuanto a la porosidad secundaria, producida por fracturamiento y disolución, en parte se constituye en acuífero.

Formación Telephone Canyon.- Por sus características litológicas no presenta porosidad primaria, sin embargo, debido a su fracturamiento, ocasionalmente presenta condiciones de acuífero.

Formación Buda.- Está compuesta principalmente por calizas compactas, sin porosidad primaria; presenta algunas zonas fracturadas y oquedades formadas por disolución en fracturas o en los planos de estratificación. Por su posición estratigráfica, se encuentra parcialmente confinada entre las Formaciones Del Río en la base, constituida por lutitas y la Formación Eagle Ford compuesta por lutitas calcáreas y calizas arcillosas. Puede contener cantidades restringidas de agua en fracturas.

Formación Eagle Ford.- Constituida por lutitas calcáreas laminares y calizas arcillosas; solo ocasionalmente y como un derivado de fracturamiento, presenta circulación de agua subterránea.

Formación Austin.- Está formada por calizas arcillosas y lutitas calcáreas; no presenta porosidad primaria; sin embargo, ocasionalmente y debido al fracturamiento, se constituye en proveedor de cantidades menores de agua.

Formación San Miguel.- Se constituye de areniscas de grano grueso a medio, con estratificación cruzada, e intercalación de limolitas; produce cantidades mínimas de agua en fracturas o cuerpos arenosos lenticulares.

Formación Olmos.- Está constituida por limolitas y areniscas, con estratificación cruzada. En las minas de carbón se ha observado que conduce pequeñas cantidades de agua, solamente a través de fracturas.

Formación Escondido.- Primordialmente constituida por lutitas, limolitas y areniscas produce pequeñas cantidades de agua, en paquetes de areniscas fracturadas.

c) Unidades impermeables.

Formación Del Río.- Compuesta predominantemente por lutitas impermeables no acuíferas. Constituye la unidad confinante al sistema West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak. Debido a la presencia de fracturas y fallas en el subsuelo, en algunos sectores se realiza la comunicación de este acuífero con el Sabinas Reynosa.

Formación Upson.- Constituida casi totalmente por lutitas que incluyen pequeños y aislados lentes de limolitas y areniscas, no presenta porosidad ni permeabilidad significativa.

2.6 El Sistema Acuífero

En el área existe un sistema acuífero integrado por material granular de relleno y material consolidado (roca).

El acuífero en material granular de relleno el más somero (acuífero Sabinas-Reynosa), está representado por la Formación Sabinas-Reynosa, de Edad Terciaria, formada en una planicie que desciende del flanco este de la Serranía del Burro hacia el Río Bravo, tiene un espesor promedio de 40 m y descansa en rocas semipermeables e impermeables del Cretácico Superior. Su recarga proviene principalmente del acuífero localizado en las calizas del Cretácico Inferior, a través de pequeñas fallas y fracturas que se manifiestan en una serie de manantiales ubicados en el flanco Este de la Serranía del Burro y por infiltración, a lo largo de los canales no revestidos, que conducen el agua

de los manantiales hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos. Así como por el retorno de riego en la zona de cultivo de los poblados antes mencionados. Su descarga se sucede por medio de manantiales que se localizan a lo largo del Río Bravo, así como en el Río Escondido y de las extracciones por bombeo de los pozos que se localizan en la planicie (Figura 6).

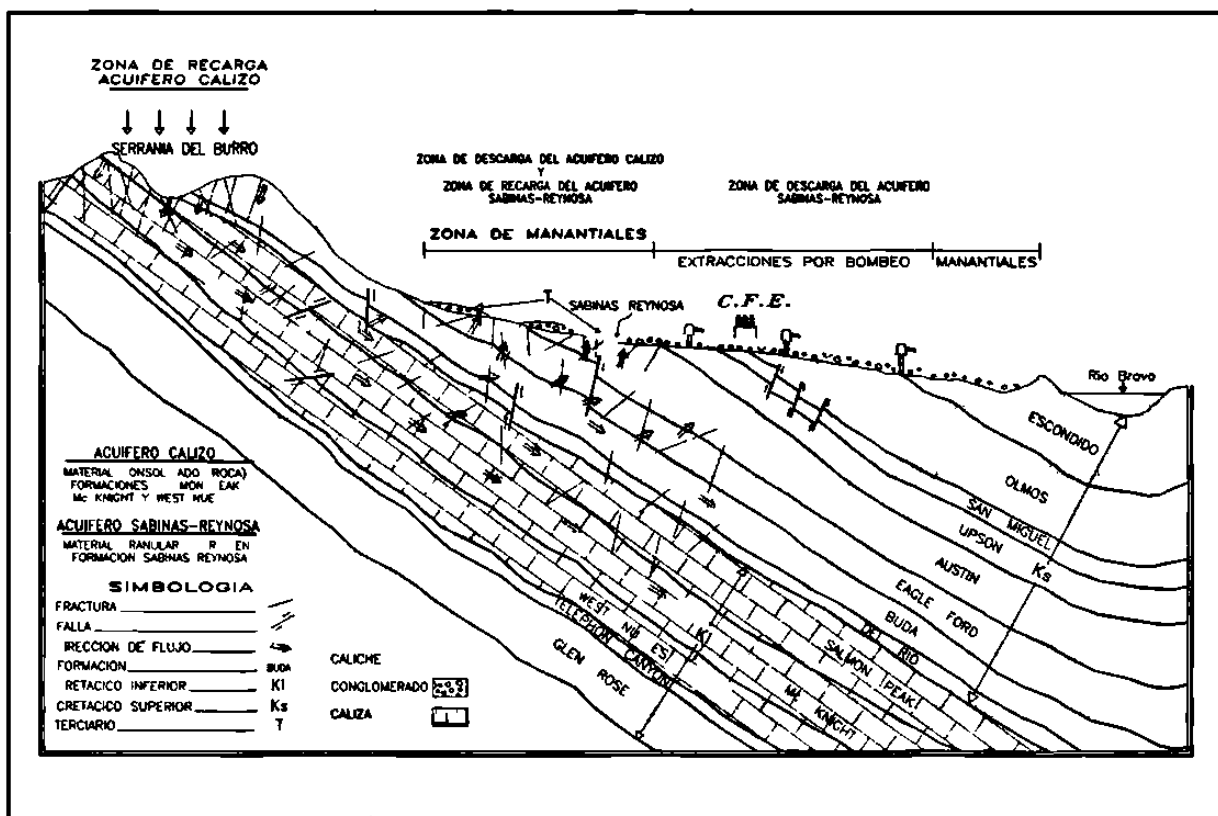


Figura 6. Sistema acuifero

El acuifero en roca (acuifero calizo), se localiza en calizas del Cretácico Inferior y está constituido por varios intervalos permeables, por disolución en estratos o fisuras, ubicados dentro de las Formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak. Su zona de recarga se localiza en la Serranía del Burro, el acuifero está confinado por rocas de la Formación del Río, del Cretácico Superior. Su descarga se realiza principalmente a través de pequeñas fallas y fracturas que se manifiestan en una serie de manantiales ubicados en el flanco Este de la Serranía del Burro, considerada como la zona donde se recarga el acuifero en material granular de relleno (Acuifero Sabinas-Reynosa).

2.7 Geometría del Sistema Acuífero

La geometría del sistema acuífero se determinó con base en la descripción litológica de barrenos perforados para la exploración de carbón y agua, sondeos eléctricos verticales, registros eléctricos, corte litológico de pozos, fotogeología, verificaciones de campo, secciones geológicas y censo de aprovechamientos.

2.7.1 El Acuífero Sabinas-Reynosa

2.7.1.1 Identificación del Acuífero

La Formación Sabinas-Reynosa, está formada, en general, de conglomerado de composición calcárea y caliche, caracterizado por una gran heterogeneidad, ya que se presenta en forma masiva, lenticular con estratificación cruzada y ocasionalmente formando facies de paleocorrientes.

Desde el punto de vista litológico, el acuífero Sabinas-Reynosa se ha dividido en el sentido vertical en 3 unidades: caliche arenoso, caliche arcilloso y conglomerado. Así se distingue un acuífero superior en el caliche y un acuífero inferior en el conglomerado (Figura 7).

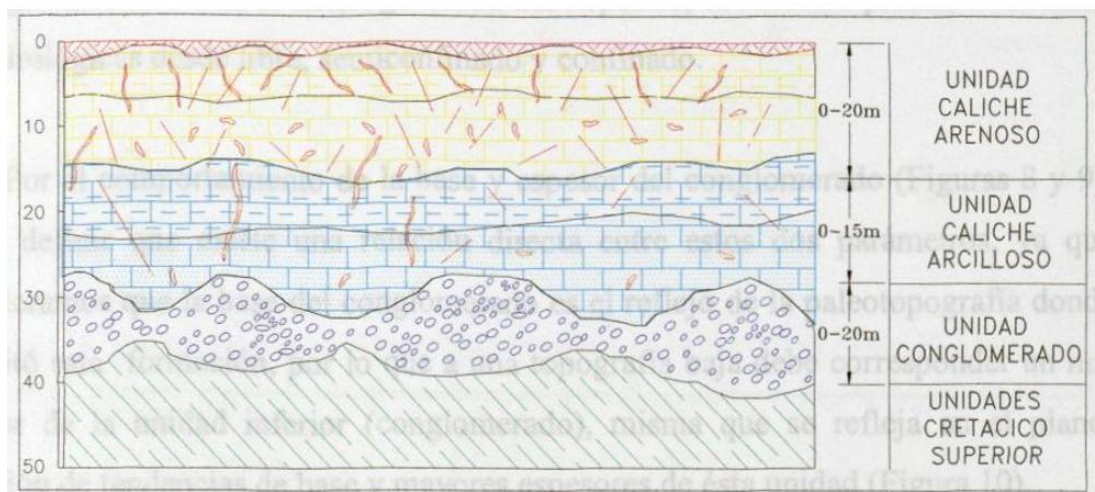


Figura 7. Esquema de clasificación por unidades de la formación Sabinas-Reynosa

Unidad de conglomerado.- Se localiza hacia la base de la formación y se caracteriza por consistir de un conglomerado poco compacto. Debido a la lixiviación parcial o total del cementante calcáreo que empaca a los sedimentos, se tiene un aumento en la permeabilidad de la formación. El espesor varía de 0 a 20 m.

Unidad de caliche arcilloso.- Se localiza en la parte media de la formación y consiste de sedimentos de granulometría, que varía desde arena de grano fino y arcillas, bien compactados y empacados en un cementante que le da las características y textura similares a una caliza; su espesor varía de 0 a 15 m.

Unidad de caliche arenoso.- Es la unidad que cubre concordantemente a las dos unidades mencionadas y consiste de una alternancia de estratos con sedimentos de granulometría, que varía de arenas y arcillas en una matriz calcárea compacta. Presenta textura de calizas en algunos sectores de la región; por su composición granulométrica presenta permeabilidad baja; sin embargo, por infiltración, flujo y ataque de agua meteórica, se produce lixiviación de los carbonatos, dándole una porosidad secundaria, que le permite almacenar pequeños volúmenes de agua que son extraídos por pozos y norias en la región. Su espesor varía de 0 a 20 m. Cabe mencionar, que en algunas ocasiones esta unidad llega a aportar la mayor parte del caudal que se extrae de los pozos que captan tanto del acuífero inferior como del superior. Asimismo se ha observado en algunos casos que éste presenta transmisividades y conductividad hidráulica superiores al conglomerado. Dada la heterogeneidad del depósito, el acuífero presenta condiciones geohidrológicas desde libre, semiconfinado y confinado.

Por el comportamiento de la base y espesor del conglomerado (Figuras 8 y 9), se puede definir que existe una relación directa entre estos dos parámetros, ya que si consideramos que la base del conglomerado es el reflejo de la paleotopografía donde se depositó esta formación, por lo que a una topografía baja debe corresponder un mayor espesor de la unidad inferior (conglomerado), misma que se refleja en el plano de dirección de tendencias de base y mayores espesores de ésta unidad (Figura 10).

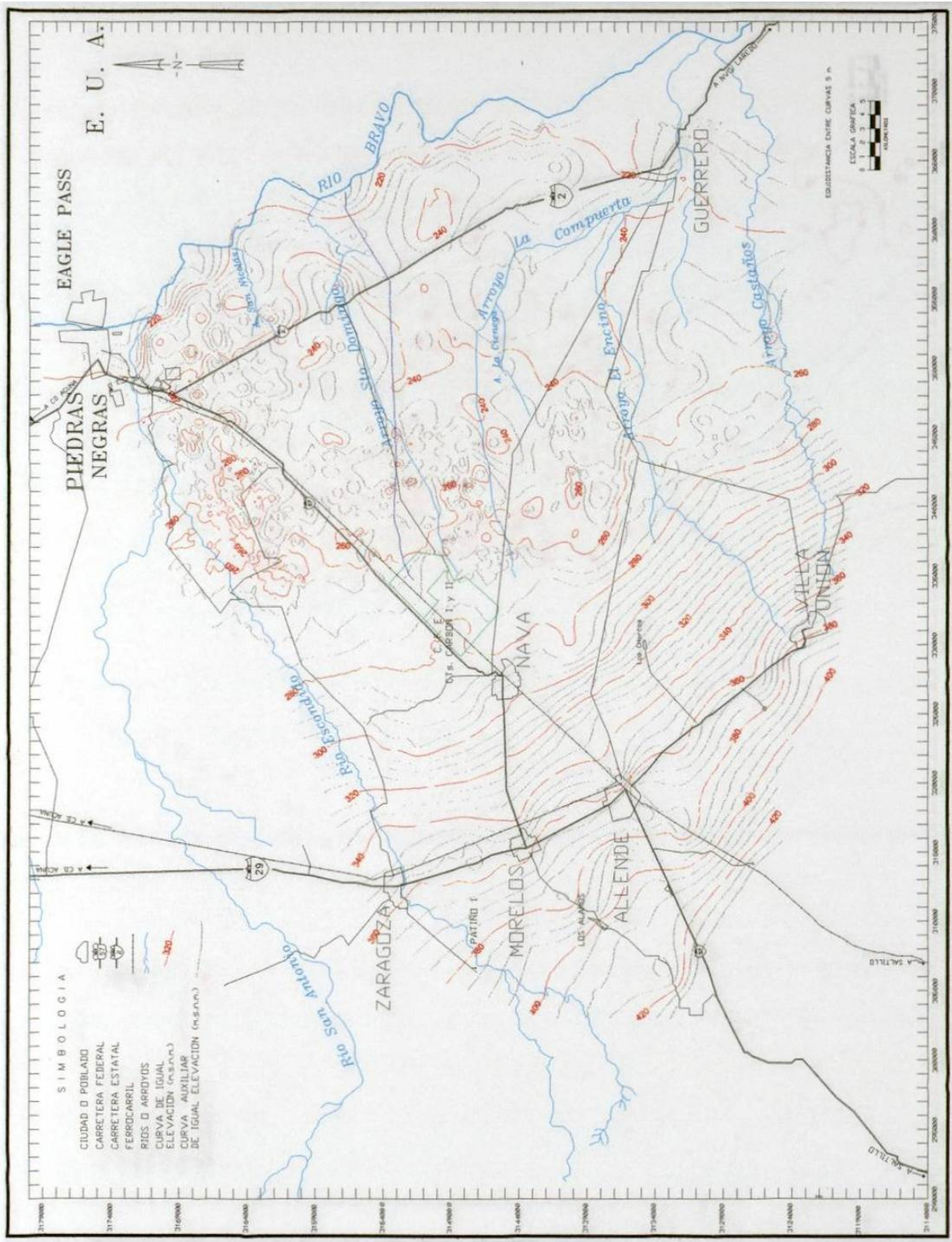


Figura 8. Comportamiento estructural base del conglomerado

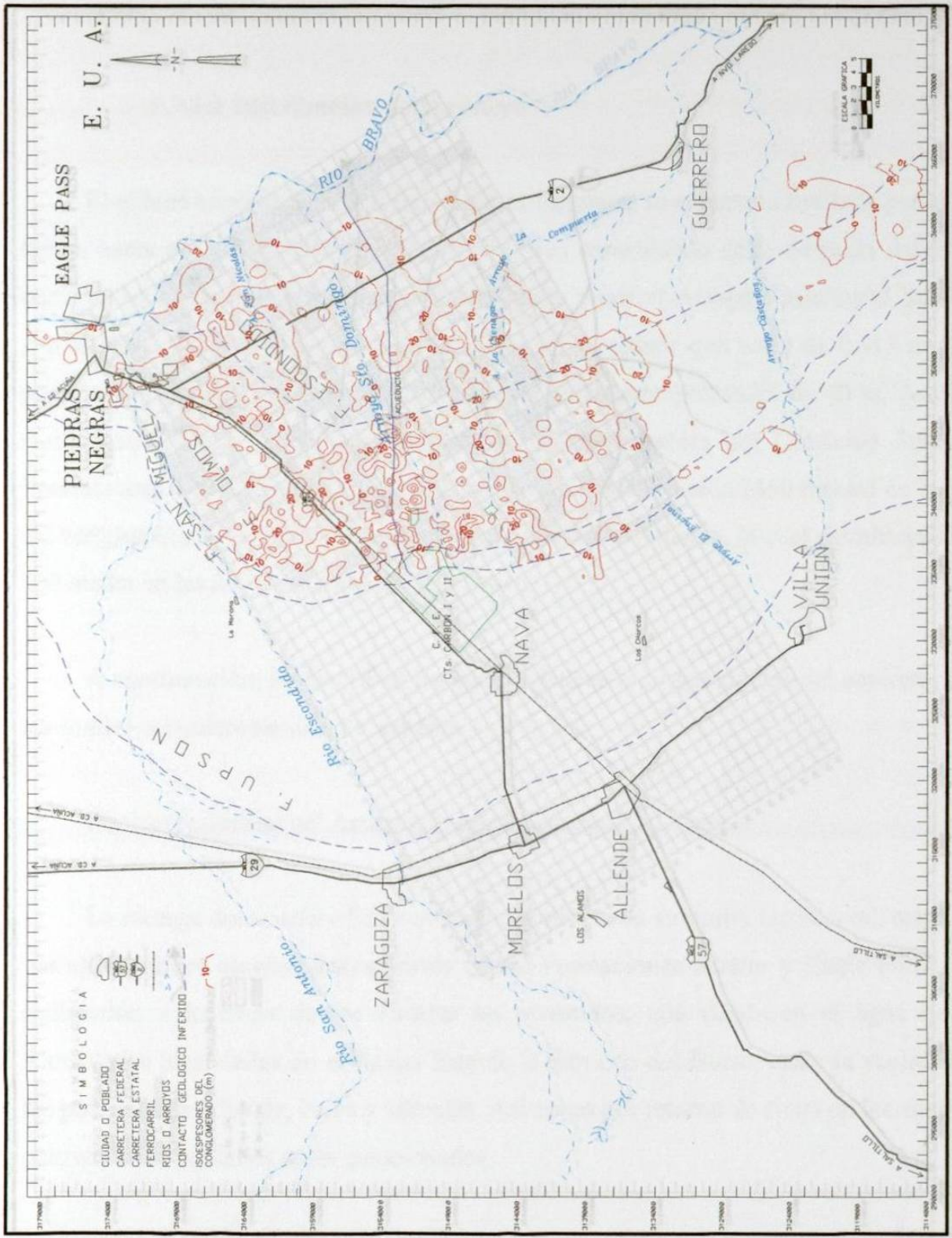


Figura 9. Isoespesores en la unidad conglomerado

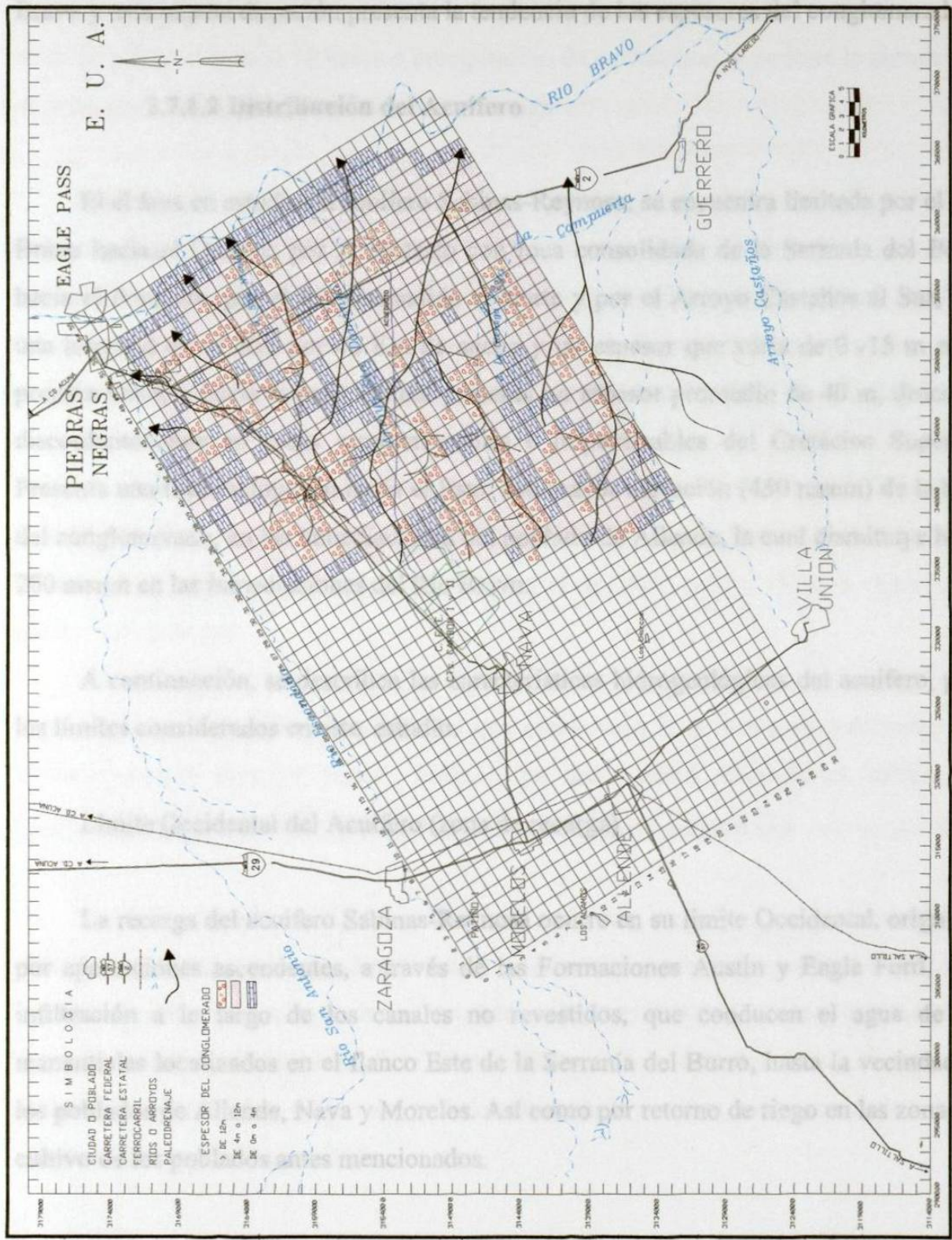


Figura 10. Tendencias de la base y espesor del conglomerado

La dirección de la de inclinación de la base del conglomerado, en forma general, es de Poniente a Oriente; se encuentran las cotas más bajas en los límites con el Río Bravo y esta misma dirección presenta la tendencia de los espesores del conglomerado.

2.7.1.2 Distribución del Acuífero

El el área en estudio, el acuífero Sabinas-Reynosa, se encuentra limitada por el Río Bravo hacia el Oriente, por el contacto con roca consolidada de la Serranía del Burro hacia el Poniente, por el Río Escondido al Norte y por el Arroyo Castaños al Sur, con una longitud de 61 Km por 43 Km de ancho y un espesor que varía de 0 -15 m en la porción Oeste y hacia la parte central presenta un espesor promedio de 40 m, descansa discordantemente en rocas semipermeables e impermeables del Cretácico Superior. Presenta una leve inclinación hacia el Este, con mayor elevación (450 msnm) de la base del conglomerado, en las inmediaciones del poblado de Allende, la cual disminuye hasta 200 msnm en las inmediaciones del Río Bravo.

A continuación, se describen las características hidrogeológicas del acuífero, para los límites considerados en este estudio.

Límite Occidental del Acuífero (zona de recarga)

La recarga del acuífero Sabinas-Reynosa ocurre en su límite Occidental, originada por aportaciones ascendentes, a través de las Formaciones Austin y Eagle Ford, por infiltración a lo largo de los canales no revestidos, que conducen el agua de los manantiales localizados en el flanco Este de la Serranía del Burro, hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos. Así como por retorno de riego en las zonas de cultivo de los poblados antes mencionados.

De acuerdo con el censo de aprovechamientos efectuado en la zona en este sector, se localizan 23 manantiales, de los cuales 18 se ubican en la Formación Austin, 4 sobre la Formación Eagle Ford y 1 en la Formación Buda.

La principal característica de los manantiales es que su manifestación se restringe a las áreas donde las unidades son parcialmente cubiertas por un remanente de la Formación Sabinas-Reynosa, mismo que posiblemente evita que las fracturas sean selladas por un depósito de limos o precipitación de carbonatos, y permite la circulación de agua hasta el contacto, en forma de manantial.

La presencia de manantiales en la región permite establecer la existencia de flujo vertical de agua, a través de pequeñas fallas y fracturas, proveniente del acuífero calizo que componen las Formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak, hasta la Formación Austin. Otra evidencia de la existencia de flujo vertical, es la presencia de turbulencia y acumulaciones de arena producidos por el agua en su salida a la superficie.

La mayoría de los manantiales en esta zona afloran en sedimentos de la Formación Austin, por lo que se empezó a formular la hipótesis, de que dichos manantiales afloran en este sector debido a su comunicación con el acuífero calizo, dicha comunicación puede realizarse por:

1.- La presencia de una gran falla que afecta toda la columna de sedimentos del Cretácico, tanto superior como Inferior, ya que existen formaciones confinantes intermedias a la Formación Austin y el acuífero en Calizas (Figura 11).

2.- La presencia de fallas y fracturas que han modificado las características petrofísicas de la columna sedimentaria y que inclusive afectan la unidad confinante, permitiendo el paso del agua de las unidades inferiores a las superiores, por medio de flujo vertical que, al tocar superficie, se manifiesta en forma de manantial, se incorpora al drenaje superficial, y da la característica de drenaje perenne a algunos de los ríos y arroyos en la región (Figura 12).

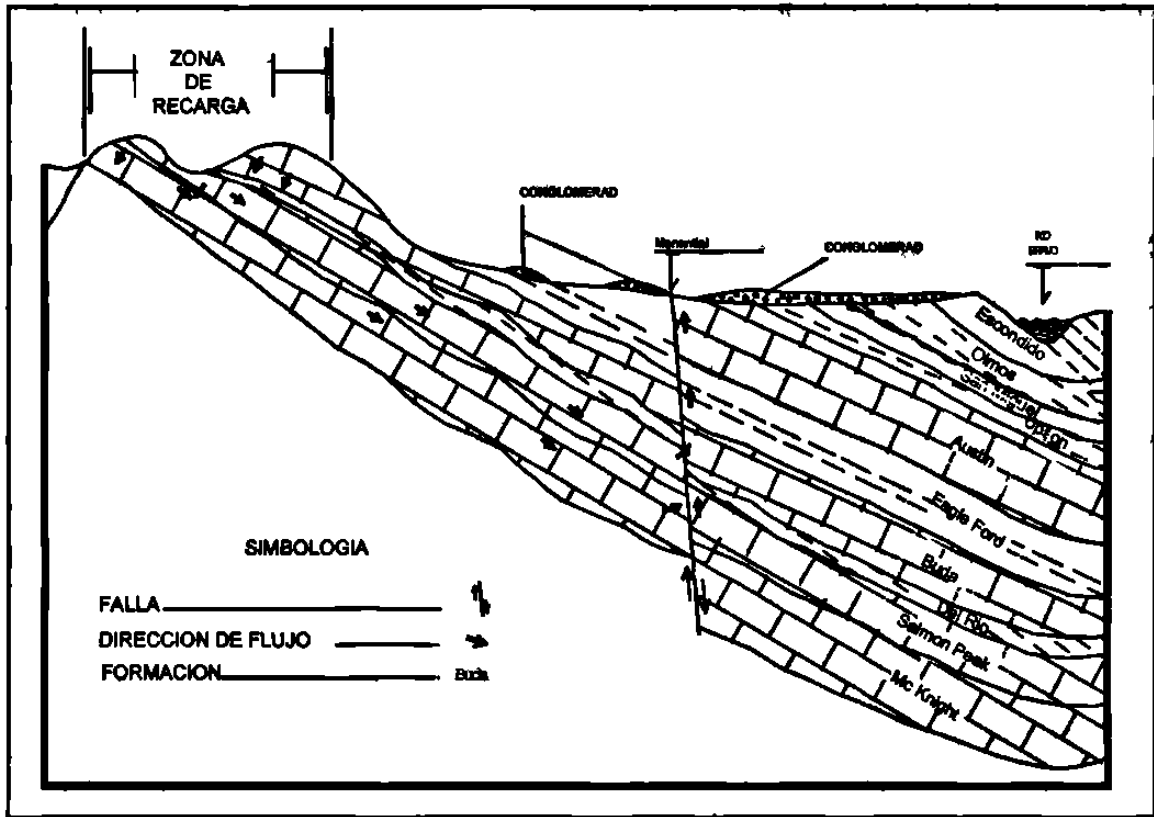


Figura 11. Hipótesis de comunicación de acuífero por falla

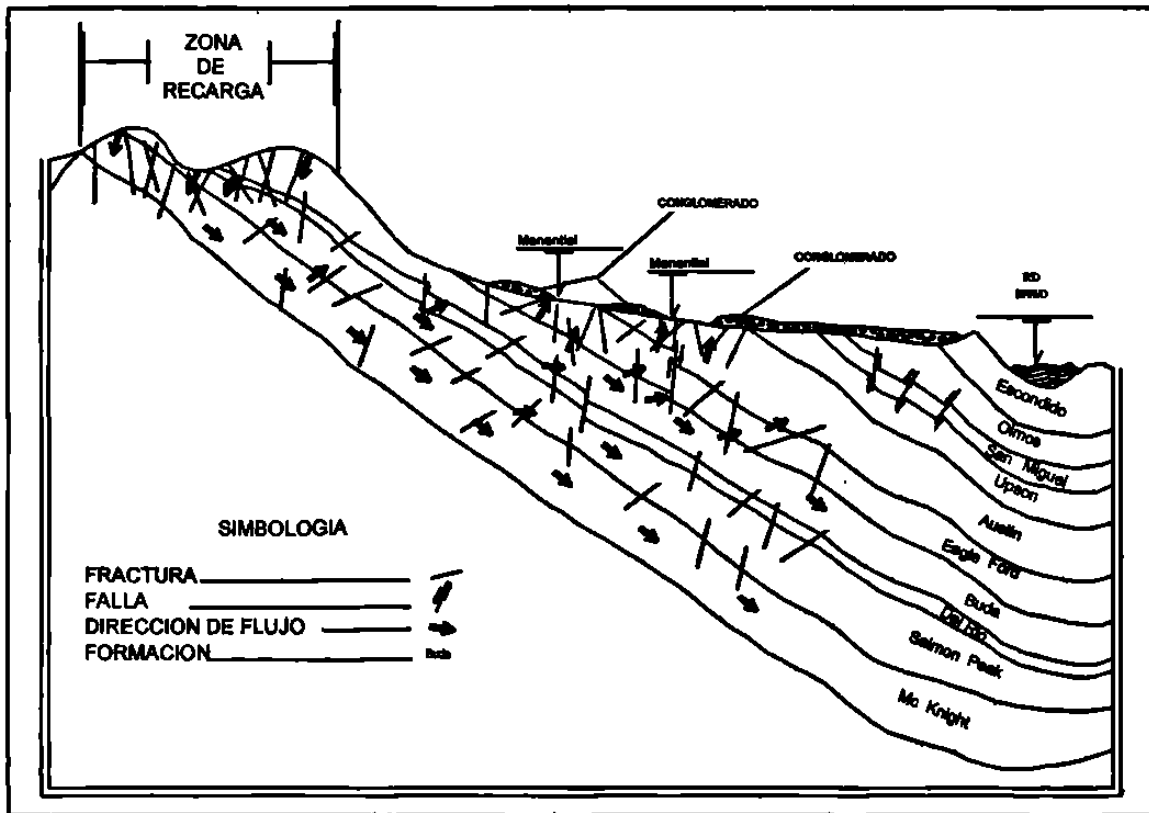


Figura 12. Hipotesis de comunicación de acuíferos por fracturamiento-fallamiento

En la Figura 11 se presenta en forma esquemática la hipótesis de la existencia de una gran falla que atraviesa la columna estratigráfica, desde la Formación Austin hasta la Formación Salmon Peak, que explica la presencia de los manantiales en la región. Sin embargo, con base en la geología regional superficial realizada para este trabajo, así como para el estudio del acuífero en calizas, los levantamientos geológicos de PEMEX en la región y trabajos antecedentes en el área, se pudo definir que no existen en el área de estudio rasgos que permitan establecer la presencia de una gran falla, la que para atravesar la columna de sedimentos de casi 800 m, debería reflejarse de alguna forma en nivel regional; Asimismo, si esto fuera la causa, los manantiales deberían seguir un lineamiento a lo largo de dicha falla.

En la Figura 12 se aprecia que la comunicación del acuífero en calizas con la Formación Austin se puede llevar a cabo por medio de una serie de estructuras, tanto de fallamiento como fracturamiento, que permite la circulación del agua a través de las capas sello intermedias a la Formación Austin y el acuífero calcáreo.

Esta teoría se considera más lógica, debido a que, con la geología regional realizada, se puede definir que existe un patrón de fracturamiento en la región con direcciones preferenciales NW-SE, mejor definido en la zona de afloramiento de las calizas. También es posible observar fallamiento sobre el cauce del Río Bravo, el Río Escondido y sobre el Arroyo Castaños cuya longitud y desplazamiento son difíciles de establecer, debido al enmascaramiento causado por el aluvión. Sin embargo, en las secciones realizadas con la información de barrenos perforados para la exploración de carbón en la cuenca de Río Escondido (Figuras 13 a 16), es posible apreciar fallamiento con desplazamiento que varía de unos cuantos centímetros hasta 40 m. Esto también se comprueba en las minas de carbón existentes en la región, como es el caso de Mina I y Mina II, donde se han encontrado fallas con desplazamientos de hasta 30 m.

Lo antes mencionado permite suponer que lo mismo puede estar ocurriendo en la profundidad, de tal forma que la comunicación del acuífero en calizas con la Formación Austin, se lleva a cabo por una serie de estructuras que le dan el carácter de

semipermeables a las unidades que por génesis y composición son consideradas como impermeables.

Límite Oriental del Acuífero (zona de descarga)

En el área de estudio, parte de la descarga del acuífero se manifiesta a través de una serie de manantiales localizados a lo largo de la margen derecha del Río Bravo y que, de acuerdo con el censo de aprovechamientos efectuado en la zona, éstos se concentran principalmente en los ejidos San Vicente, Los Rodríguez, Santo Domingo, San Ramón y Chapultepec, así como en la margen izquierda del Río Escondido, a la altura del ejido La Maroma. Se contabilizan un total de 38 manantiales.

En los manantiales, la salida del agua se lleva a cabo a través del fracturamiento de la capa de caliche, la disminución de espesor en la Formación Sabinas-Reynosa y por el cambio brusco de pendiente en la topografía hacia el Río Bravo. La distribución irregular de los manantiales en estas zonas obedece a la variación en la topografía causada por la erosión y meandricidad del Río Bravo, ocasionando una vega muy ancha, al menos entre la desembocadura del Río Escondido y el Arroyo Castaños; inclusive, se han encontrado bancos de grava semicompactada de base ígnea, que indican la erosión efectuada por un antiguo cauce del Río Bravo, sobre los depósitos de la unidad Sabinas-Reynosa.

Con base en lo definido durante el levantamiento geológico en esta porción del área, así como por lo establecido en las secciones geológicas realizadas con la información de barrenos perforados en la cuenca de Río Escondido (Figuras 13 a 16), se tiene que el origen de los manantiales en esta zona, puede deberse a que la pendiente de la base del conglomerado disminuye hacia el Río Bravo, lo que ocasiona que exista una dirección similar de flujo subterráneo que al llegar a la zona descubierta por erosión del río, busca su salida en forma natural, sólo que los caudales de salida de agua son muy bajos, debido a que la mayor parte de la unidad, en todo este sector, está compuesta por un espesor de caliche que ofrece una barrera natural a la salida del agua (Ver figura 12).

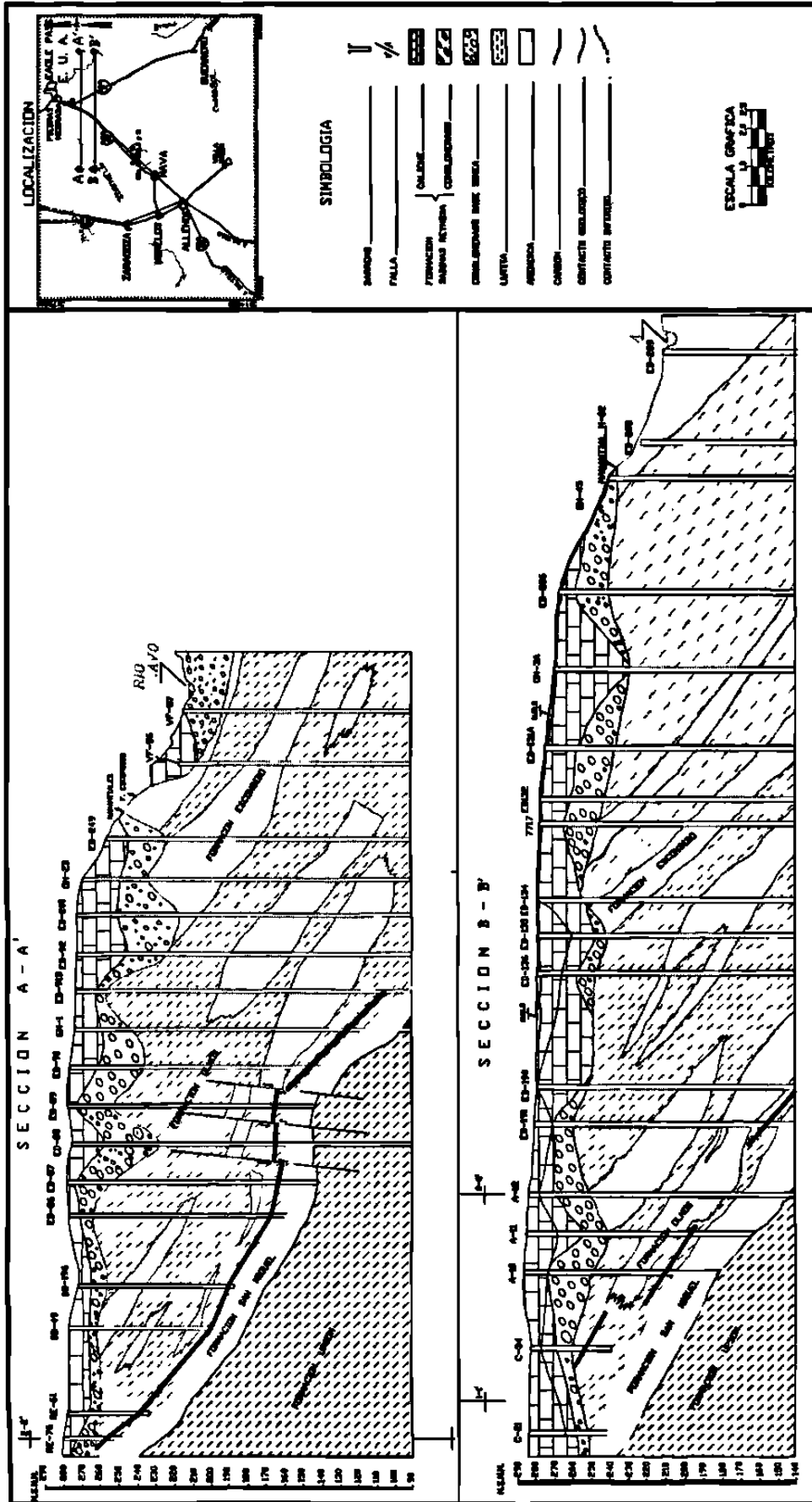


Figura 13. Secciones geológicas A-A' y B-B'

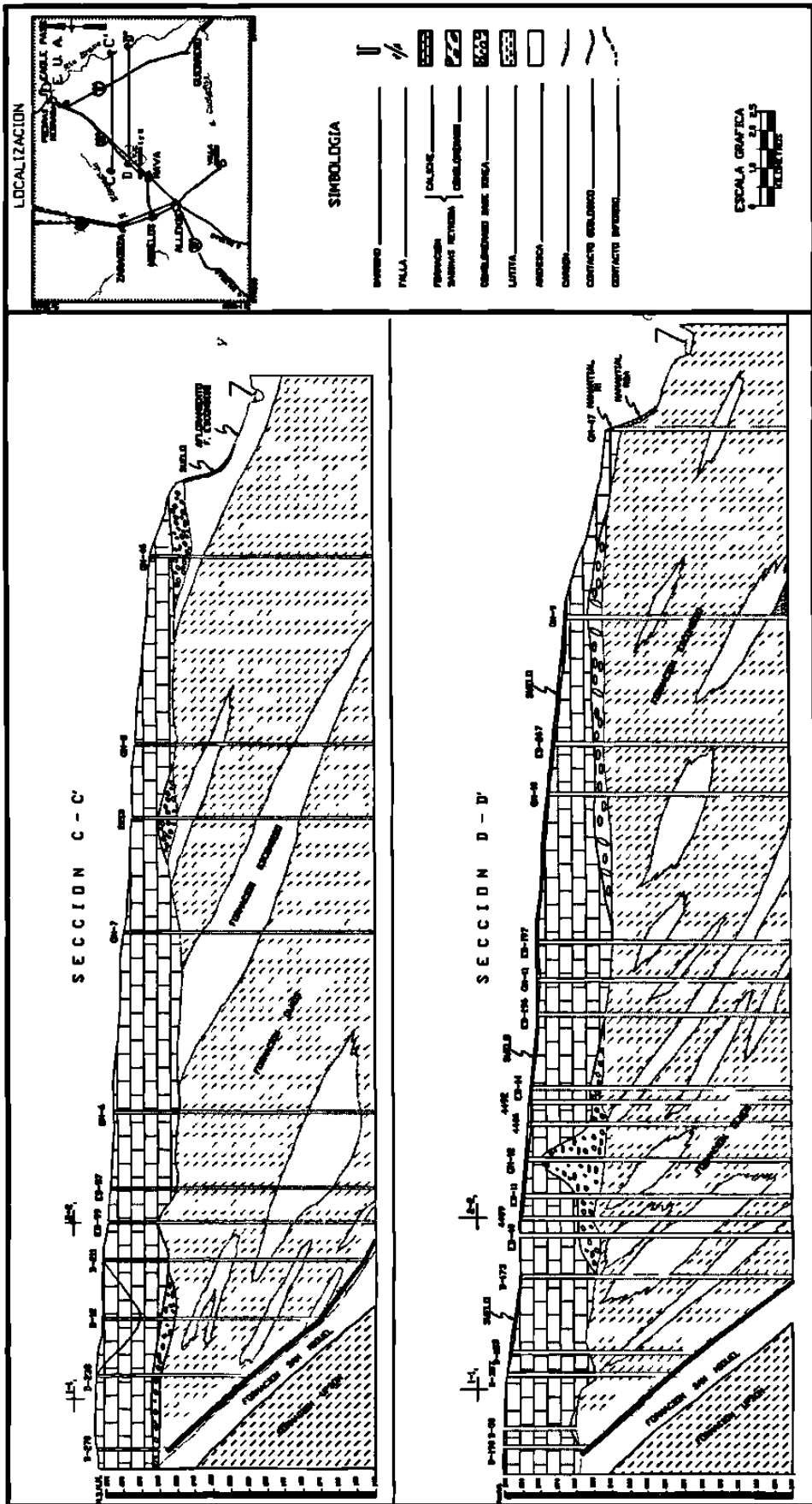


Figura 14. Secciones geológicas C-C' y D-D'

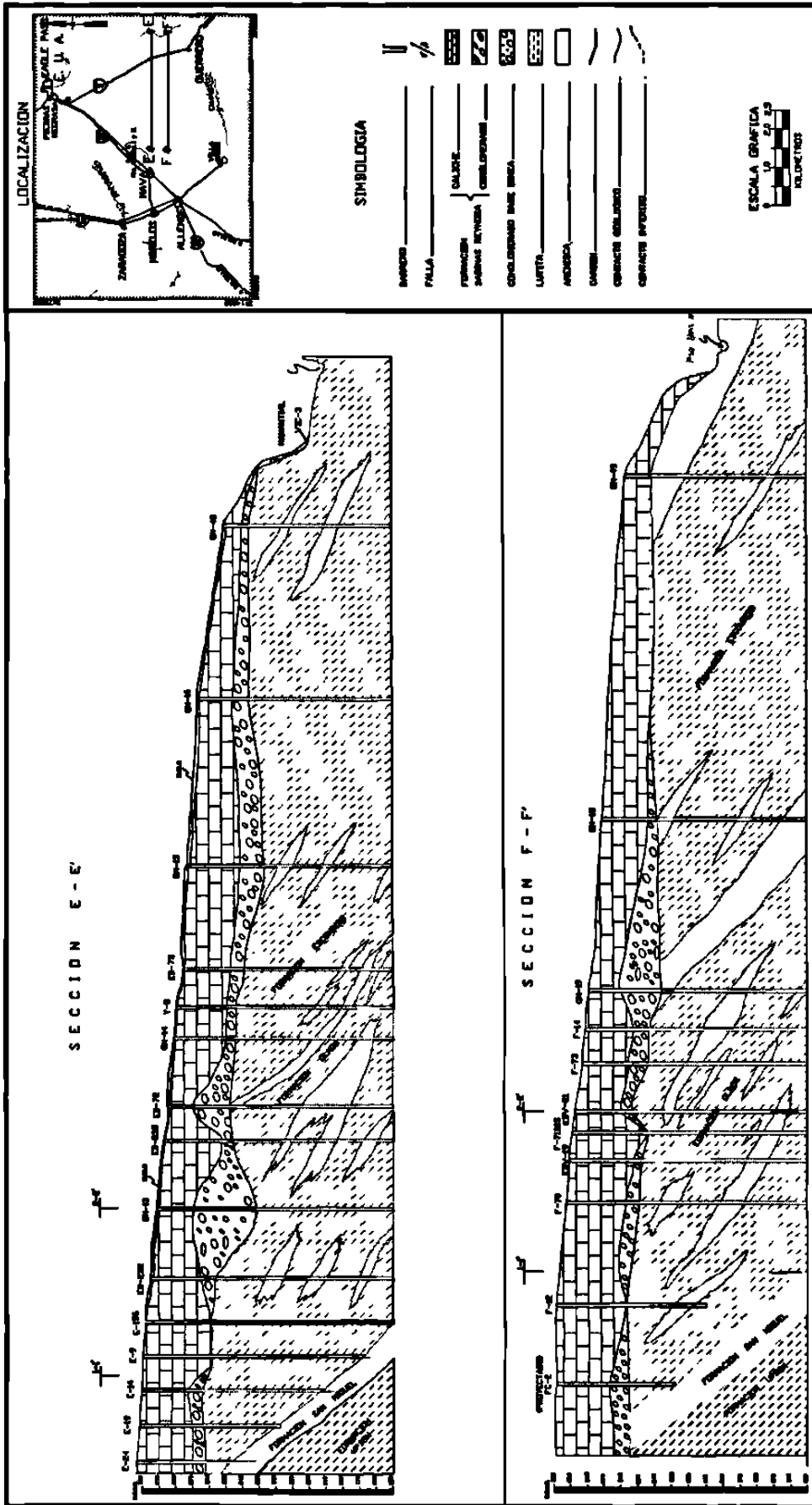


Figura 15. Secciones geológicas E-E' y F-F'

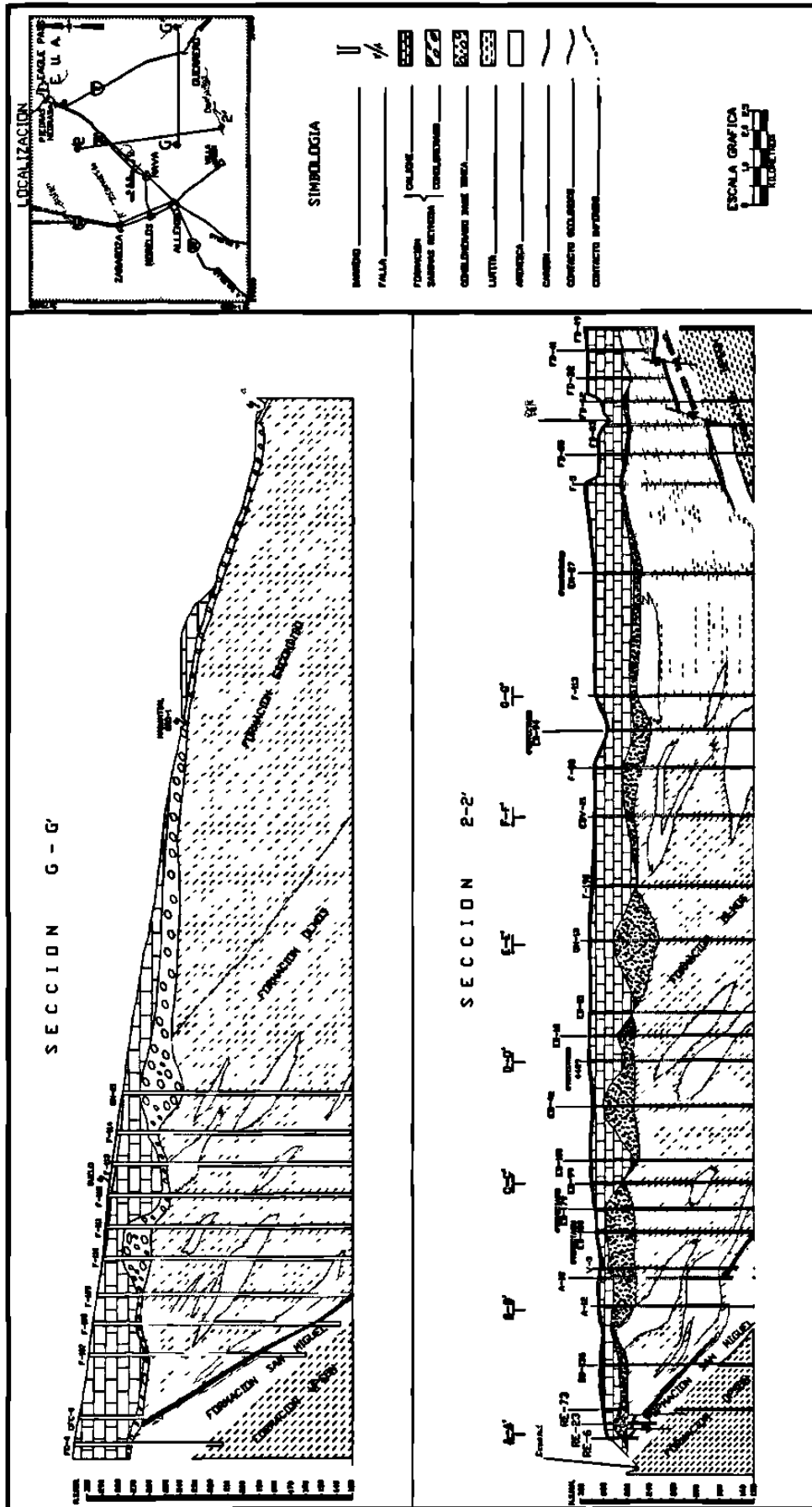


Figura 16. Secciones geológicas G-G' y 2-2'

Límite Norte (Río Escondido)

El Río Escondido nace en las estribaciones del Lomerío de Peyotes, al NE del rancho Las Conchas, tiene una longitud de aproximadamente 56 km. Transcurre inicialmente donde el terreno ha influido en la imposición de un curso de tipo subparalelo, cambiando de dirección en el valle, debido a la baja resistencia de las rocas por donde fluye. La dirección de drenaje del Río Escondido es en general de SW-NE hasta la desembocadura con el Río Bravo. Recibe agua del manantial Río Escondido, localizado 10 Km al poniente de la ciudad de Morelos (Ver Capítulo 3. Hidrología Superficial). Además, por sus márgenes a la altura del poblado de Zaragoza, recibe el aporte de los manantiales Zaragoza y El Sabino, cuya agua es conducida por canales hasta las inmediaciones del poblado antes mencionado, donde se incorpora al caudal del río, en unión con el agua proveniente de la margen izquierda, a la altura del ejido la Maroma, que se manifiesta a través de una serie de manantiales, principalmente por el denominado La Maroma; por su margen derecha recibe el desagüe de los tajos I y II de MICARE, asimismo, entre el poblado de Zaragoza y el ejido La Maroma, recibe el aporte de agua proveniente del acuífero Sabinas-Reynosa y antes de su confluencia con el Río Bravo, recibe las aportaciones tributarias del Río San Antonio. Todo ello le da el carácter de río perenne.

En su recorrido, el río tiene tres presas derivadoras: la primera denominada derivadora Patiño, se localizada a 15 Km al Suroeste del poblado Zaragoza; la segunda, denominada La Presita, ubicada en las cercanías del ejido La Maroma y, por último, la derivadora Canal Villa de Fuentes, situada en las inmediaciones del poblado del mismo nombre.

Para definir el origen de los manantiales ubicados a la altura del ejido la Maroma, sobre la margen izquierda del río, así como el comportamiento de la base y espesor del conglomerado entre el Río Escondido y el Río San Antonio, se realizó una sección con sondeos eléctricos verticales, con espaciamiento de 1 Km, en una longitud de sección de 8 Km (Camacho, 1992), Los resultados indican que la pendiente de la base del

conglomerado es hacia el Este, similar a la definida para el área con barrenos, Así mismo, se define un bajo espesor del conglomerado, por lo que de existir recarga y constituir un acuífero en este sector, éste tendría su dirección de flujo con descarga al Río Escondido.

Mediante la configuración de la base del conglomerado (Figura 8) se define que la parte de mayor elevación, se encuentra en el límite Poniente del área de estudio, por lo que la dirección de flujo del acuífero tiende a seguir la dirección preferencial establecida mediante la piezometría, en forma general, hacia el Este, con ligeras variaciones hacia el SW-NE. Esto permite establecer que el acuífero tiene descarga sobre el Río Escondido, a la altura del ejido la Maroma y zona de tajos, y las definidas casi en la desembocadura con el Río Bravo, mismas que quedan justificadas por el cambio de pendiente de la base del conglomerado que se observa en la porción Norte del plano de configuración (Figura 8). Esto fue corroborado durante el recorrido del censo de manantiales que descargan en la margen derecha del Río Escondido y los cuales se denominaron RE1, RE2, RE3 y RE4.

De acuerdo con las características que presenta el Río Escondido, se implantaron 7 secciones de aforo (3 corresponden a la derivación del mismo).

Del análisis de sus resultados (Ver Capítulo 3. Hidrología Superficial), se tiene lo siguiente: La relación río-acuífero, en la zona alta (Manantial Río Escondido-Zaragoza), no existe. En la zona baja, (entre Zaragozas-confluencia del Río San Antonio), el Río Escondido recibe aporte de agua del acuífero Sabinas-Reynosa. El Río Escondido, en la región a la altura del ejido La Maroma y zona de los tajos I y II (Sección I(3) y II(4)), se considera que tiene relación con el acuífero Sabinas-Reynosa, constituyendo una zona permeable. Lo anterior se corrobora con la configuración piezométrica efectuada en el área. La diferencia de caudales entre las secciones de aforo II(4) y III(5), se debe debido a las extracciones al río que realizan los agricultores y ganaderos en dicho sector y las posibles pérdidas por infiltración en las areniscas de la Formación San Miguel cortadas por el cauce del Río (Figura 17).

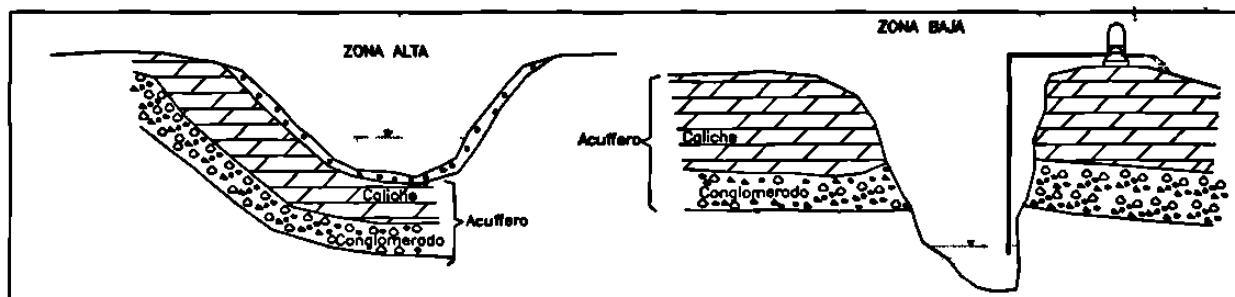


Figura 17. Relación Río Escondido-Acuífero Sabinas-Reynosa

Límite Sur (Arroyo Castaños)

Este arroyo nace al Sureste del Municipio de Villa Unión, en las estribaciones del Lomerío de Peyotes. El flujo de este arroyo es intermitente, circula sobre rocas de la Formación Austin en el Lomerío de Peyotes y en el valle sobre las Formaciones Upson, San Miguel, Olmos (por lo limitado de sus afloramientos no fueron cartografiadas en el plano geológico), Escondido y Sabinas-Reynosa.

El fracturamiento en las rocas que conforman el cauce y márgenes de este arroyo es muy intenso, particularmente en las rocas consolidadas correspondientes a la Formación Escondido. A la altura del puente Castaños, en la carretera Ribereña, se observa un pequeño desplazamiento de tipo normal, en un paquete de areniscas y lutitas de esta formación.

Durante el levantamiento geológico del Arroyo Castaños, solamente se pudo definir la existencia de afloramientos de la Formación Escondido, a lo largo de 13 Km antes de su desembocadura con el Río Bravo.

En las áreas de afloramiento de la Formación Escondido es característico un intenso fracturamiento, inclusive se observa fallamiento en algunos sectores, sólo que no es posible seguir las fallas en distancias mayores a 50 m, por lo que éstas no han sido marcadas en la cartografía; sin embargo, se deduce que el sistema de fracturamiento posiblemente se asocie a estructuras de fallamiento en el subsuelo.

Con los planos de configuración de la base del conglomerado (Figura 8) y la sección geológica 2-2' (Figura 16), se puede definir que al menos para el área donde el Arroyo Castaños cruza la cuenca carbonífera Río Escondido, la pendiente de la base del conglomerado es hacia el Este-Noreste, el drenaje del arroyo corta a sedimentos de la unidad de caliche; por lo tanto, es difícil suponer que exista aporte de agua del acuífero al arroyo. Para la zona de afloramiento de la Formación Austin (sector SW), existe captación de agua que proviene de los manantiales que abastecen el poblado de Villa Unión, que después pierde por infiltración en su recorrido hacia su descarga en el Río Bravo.

Por lo anterior, el Arroyo Castaños, en su origen o zona alta, corta a la Formación Austin Upson y San Miguel y capta agua de los manantiales que abastecen al poblado de Villa Unión. En la zona intermedia, el espesor de la unidad que contiene el acuífero es muy reducido y está compuesto por caliche. En la zona baja, en las inmediaciones al río Bravo, corta la Formación Escondido. El caudal del Arroyo Castaños, que circula en la zona alta, se pierde aguas abajo, por infiltración en las Formaciones San Miguel y Olmos (Figura 18).

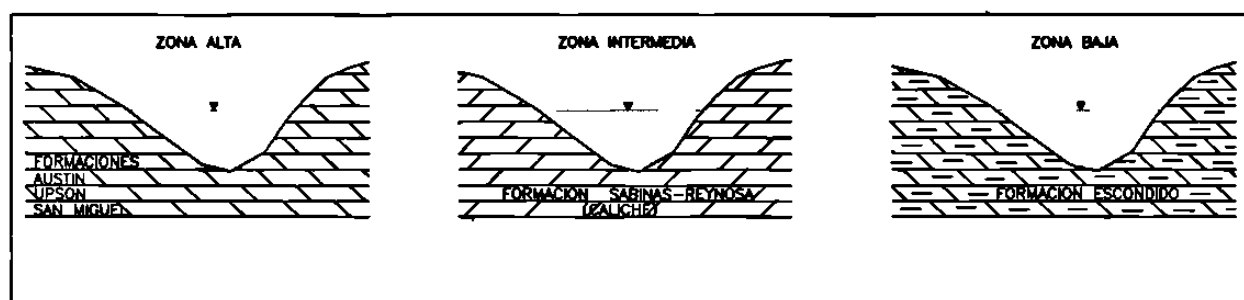


Figura 20. Relación Arroyo Castaños-Acuífero Sabinas Reynosa

El Arroyo Castaños no tiene relación con el acuífero Sabinas-Reynosa, ya que la formación que contiene el acuífero se corta por el cauce del arroyo en un sector compuesto por caliche y ausencia de conglomerado. Además, por caracterizarse por la existencia de aprovechamientos de muy bajo rendimiento.

3. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Realizar un análisis hidrológico y climatológico en un área dentro de los estudios geohidrológicos tiene como objetivo evaluar la relación o interacción entre los parámetros meteorológicos y corrientes superficiales como fuentes fundamentales que recargan o descargan al sistema acuífero.

En el presente capítulo se describe la hidrología superficial y la climatología que caracteriza a la zona de estudio. Asimismo, se presenta un análisis de la relación que guardan los manantiales que se localizan en el flanco Este de la Serranía del Burro, los ubicados a lo largo del Río Bravo, el Río Escondido y el Arroyo Castaños, con el acuífero Sabinas-Reynosa.

3.1 Hidrografía

El área en estudio forma parte de la Región Hidrológica 24, denominada Río Bravo-Conchos, particularmente de las Cuencas Río Bravo-Piedras Negras (24F) y Río Bravo-Nuevo Laredo (24E). Ver figura 19.

La Cuenca Río Bravo-Piedras Negras está constituida por cuatro subcuencas que de norte a sur son: Río Bravo-Río Las Vacas, Río Bravo-Río San Diego, Río Bravo-Río San Rodrigo y Río Bravo-Río San Antonio. El conjunto cubre una superficie de 9 600 Km² (Plano 2).

La máxima elevación es de 1330 metros sobre el nivel del mar (msnm), en las estribaciones de la Serranía del Burro y la mínima es de 260 m.s.n.m en las riveras del Río Bravo. Las pendientes observadas son de 21% en la sierra y de 4.5% en la planicie. La corriente de mayor importancia es el Río Las Vacas, de régimen perenne y de la cual toma su nombre la subcuenca.

Los límites se definen con base en el sistema de drenaje, ya que no se presentan elevaciones topográficas significativas que pudieran definir un parteaguas. De ahí se tiene que esta subcuenca limita al Norte con la Cuenca "G" de la misma Región Hidrológica 24 y al Sur con la subcuenca Río Bravo-Río San Diego. Su límite suroeste está en la Cuenca D, Presa Falcón- Río Salado, de la misma Región Hidrológica 24.

Subcuenca Río Bravo-Río San Diego (24Fc).

La máxima elevación se tiene en las estribaciones de la Serranía del Burro, con 1450 msnm., mientras que la mínima, de 250 msnm, se presenta en las riveras del Río Bravo. La pendiente mayor es de 6.3 % y se presenta en la sierra, mientras que la menor pendiente es de 0.4 % en las inmediaciones del Río Bravo. La corriente de mayor importancia es el Río San Diego, de régimen perenne, de donde toma su nombre la subcuenca. El Río San Diego tiene como tributario importante al Río Los Árboles.

Esta subcuenca se encuentra limitada al Norte por la Subcuenca Río Bravo-Río Las Vacas y al sur por la subcuenca Río Bravo-Río San Rodrigo. Su límite suroeste es la cuenca D Presa Falcón-Río Salado, de la misma Región Hidrológica 24.

Subcuenca Río Bravo-Río San Rodrigo(24Fb).

La máxima elevación se tiene en las estribaciones de la Sierra del Burro, con una altitud de 1280 msnm, mientras que la mínima elevación, de 245 msnm, se tiene en las riveras del Río Bravo. La mayor pendiente es de 20% y se tiene en lo intrincado de la sierra; la menor pendiente es de 3.8% y se tiene en la planicie del valle. La mayor

corriente es el Río San Rodrigo, de la cual toma su nombre la subcuenca, de régimen perenne.

Esta subcuenca limita al norte con la subcuenca Río Bravo-Río San Diego y al sur con la subcuenca Río Bravo- Río San Antonio. Su límite suroeste es la cuenca D Presa Falcón- Río Salado de la misma Región Hidrológica 24.

Subcuenca Río Bravo-Río San Antonio (24Fa).

La máxima elevación es de 1020 msnm, en las estribaciones de la serranía del Burro, mientras que la mínima elevación es de 220 m en las márgenes del Río Bravo. La pendiente promedio es de 4.5 %. Las mayores corrientes son el Río Escondido de cauce angosto, de régimen perenne, el cual recibe por su margen izquierda las aportaciones del Río San Antonio, de régimen perenne, del que toma su nombre esta subcuenca.

Tiene sus límites al norte con la subcuenca Río Bravo-Río San Rodrigo y al sur con la subcuenca Río Bravo-Arroyo San Nicolás, de la cuenca Río Bravo-Nuevo Laredo.

Subcuenca Río Bravo-Arroyo San Nicolás (24Ee)

Forma parte de la Cuenca 24E Río-Bravo-Nuevo Laredo. Las corrientes de mayor importancia son los Arroyo San Nicolás, de donde toma su nombre esta subcuenca y el Arroyo Santo Domingo. Ambas de régimen intermitente.

La máxima elevación es de 450 msnm en la Serranía del Burro y la mínima elevación es de 215 msnm en las márgenes del Río Bravo.

Subcuenca Río Bravo-Arroyo El Amole (24Ed)

El área de estudio sólo abarca una pequeña porción de esta subcuenca; comprende los arroyos: Castaños, El Encino, La Ciénaga, y Compuertas, todos ellos de régimen intermitente. El Arroyo Castaños es el de mayor importancia en el estudio, ya que representa el límite sur del acuífero Sabinas-Reynosa.

Todas las subcuencas anteriores drenan sus aguas hacia el Río Bravo, el cual es la corriente superficial más importante de la región.

En general, el drenaje en las estribaciones de la Serranía del Burro es del tipo dendrítico-subdendrítico, cambiando a subparalelo, en las partes más bajas.

El Río Bravo tiene orientación de NW a SE mientras que las corrientes principales están orientadas Oeste-Este.

Asimismo, en la zona existe una serie de manantiales localizados al Oeste de los poblados de Zaragoza, Morelos, Allende y Villa Unión, en la margen izquierda del Río Escondido, a la altura del ejido La Maroma, así como a lo largo del Río Bravo, entre los poblados de Piedras Negras y Guerrero.

Además, existen obras almacenadoras importantes, como las presas La Amistad, La Fragua, Centenario, y San Miguel, con una capacidad de 7 050, 45, 26 y 20 de millones de m³ respectivamente.

3.2 Climatología

El área de estudio se ubica al Este de la barrera orográfica de la Sierra Madre, en la que los climas que se presentan son húmedos y cálidos, con una gran influencia marítima notable que corresponde a las Grandes Llanuras de Norteamérica.

Con el fin de establecer los parámetros para la determinación de la climatología en el área de estudio, se recopiló información meteorológica de las estaciones climatológicas existentes en la región (Plano 3).

- Presa La Amistad (Abajo)
- Ciudad Acuña
- Palestina
- Jiménez
- Presa San Miguel
- El Remolino
- Piedras Negras
- El Tule
- Zaragoza
- Allende
- Guerrero
- El Treinta

En la mayoría de ellas, la información de precipitación y temperatura se encontraba incompleta (solo la Estación Presa Amistad Abajo, Acuña, Jiménez, Piedras Negras y Guerrero tienen la información completa 1966/1990) por lo que se hizo necesario generar la información faltante con el auxilio del programa de computación NORMAL2, elaborado por el Departamento de Geohidrología de la CFE. Asimismo, para generar la información faltante en otra área dentro del tema de climatología e hidrografía, se hizo uso de otros paquetes de computación.

DEPDAT Que depura la información.

NORMAL2 Como ya se mencionó genera estadísticamente información no existente.

THEIS Obtiene el promedio por área de influencia del parámetro por analizar (precipitación) utilizando la metodología de los polígonos de Thiessen.

THORN Calcula los valores de evapotranspiración potencial de acuerdo con la metodología de Thornthwaite.

3.2.1 Clima

El clima predominante en el área es el de tipo semiseco-semicálido (INEGI 1983), la precipitación se concentra en verano y ocasionalmente en invierno, con un promedio de 528.75 mm y temperatura media de 21.4°C.

3.2.1.1 Precipitación.

Con datos obtenidos de las estaciones climatológicas descritas anteriormente, utilizando el periodo 1966 a 1990 y aplicando el programa computacional THEIS, se calculó la precipitación media anual. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Subcuenca	Precipitación Media Anual en mm
Río Bravo-Río Las Vacas	498.24
Río Bravo-Río San Diego	582.42
Río Bravo-Río San Rodrigo	620.70
Río Bravo-Río San Antonio	605.52
Río Bravo-Arroyo El Amolé	589.10

Esta ultima incluye la subcuenca Río Bravo-Arroyo San Nicolás.

Se observa un régimen de precipitación con mayores volúmenes en verano y en algunas ocasiones en invierno. De acuerdo con la precipitación media mensual, los meses de mayor lluvia son de mayo a octubre y el periodo seco de noviembre a abril.

En el plano 3 se muestra la distribución de la precipitación en la región, presentando las gráficas con la precipitación media anual de las estaciones climatológicas (excepto la del Tule).

No se presenta un plano con las isoyetas, dado que la precipitación no es representativa, por existir los tres tipos de lluvia: convectiva, de frente (frío o caliente) y orográficas por lo que se decidió la presentación del plano con las gráficas.

En el verano, época en la que se presentan con mayor frecuencia los huracanes en el Golfo de México, el aire cálido y húmedo marino es impulsado hacia el continente, y al que al topar con los sistemas orográficos asciende y se enfría condensándose y produciéndose precipitaciones intensas y de duración moderada.

En el invierno se tiene la invasión de masas de aire polar ártico sobre la masa de aire cálido-húmedo, desarrollándose frentes en los cuales el aire cálido asciende sobre el aire frío, condensando al ascender y originándose lluvias de poca intensidad y larga duración.

3.2.1.2 Temperatura.

La distribución de las isotermas se muestra en el plano 3. Para las subcuencas se obtuvo en general una misma temperatura. El promedio anual es de 22.77.

La temperatura media mensual varía de 10° a 30°C con mínimas en el mes de enero (-5 °C) a máximos (42 °C) en julio, el periodo de calor es de mayo a septiembre y el de frío de octubre a abril.

En el mismo plano se presentan las gráficas de temperatura, mostrando las temperaturas mínima, máxima y media de algunas de las estaciones climatológicas.

Del análisis realizado se desprende la explicación de las características locales de clima seco, lo que se debe a que en las épocas en se presentan los mayores volúmenes de precipitación, las temperaturas son elevadas, facilitando la evapotranspiración. Estos volúmenes se trasladan a la atmósfera y se transportan a la región montañosa de la Serranía del Burro, por las corrientes de aire provenientes del NE, dejando el área sin humedad.

3.2.1.3. Evapotranspiración

Con el objeto de evaluar los volúmenes evapotranspirados que son trasladados a la atmósfera y de ahí a las porciones elevadas de la Serranía se utilizó el Programa Computacional THORN. La evapotranspiración potencial para las subcuencas analizadas es en general la misma, con un promedio anual de 1333.32 mm.

3.3 Hidrometría

La relación agua superficial-agua subterránea es importante para establecer la recarga o descarga de las corrientes superficiales al acuífero y definir el tipo de frontera que estas mismas representan para el mismo.

3.3.1 Ríos

Desde 1986 se han realizado en el área de interés, observaciones de los Ríos Bravo, Escondido y San Antonio, así como del Arroyo Castaños. Especialmente por su importancia, en el Río Escondido se han establecido secciones de aforo para su medición sistemática.

La primera condición para que un río recargue a un acuífero es que la elevación de la superficie de su caudal sea mayor que la elevación del agua subterránea en el acuífero. En el caso del Río Bravo, la elevación de la superficie del agua es menor que la del acuífero, por lo que el río no tiene relación con el acuífero.

El Arroyo Castaños no tiene relación con el acuífero Sabinas-Reynosa, ya que la formación que contiene el acuífero se corta por el cauce del arroyo en un sector compuesto por caliche y no de conglomerado. Además, por la existencia de aprovechamientos de muy bajo rendimiento.

El caudal del Río Escondido se inicia a 10 Km al poniente del poblado de Morelos, en el manantial Río Escondido. Además, por sus márgenes a la altura del poblado de Zaragoza, recibe el aporte de los manantiales Zaragoza y El Sabino, cuya agua es conducida por canales hasta las inmediaciones del poblado antes mencionado, donde se incorpora al caudal del río, en conjunto con el agua proveniente de la margen izquierda a la altura del ejido la Maroma, que se manifiesta a través de una serie de manantiales. Principalmente por el denominado La Maroma; por su margen derecha recibe el desagüe de los Tajos I y II de MICARE, asimismo, entre el poblado de Zaragoza y el ejido La

Maroma, recibe el aporte de agua proveniente del acuífero Sabinas-Reynosa y antes de su confluencia con el Río Bravo, recibe las aportaciones tributarias del Río San Antonio. Todo ello le da el carácter de río perenne.

El Río Escondido tiene tres presas derivadoras; La primera denominada derivadora Patiño, se localiza a 15 Km al Suroeste del poblado Zaragoza. La segunda, denominada La Presita, ubicada en las cercanías del ejido La Maroma y por último la derivadora Canal Villa de Fuente, situada en las inmediaciones del poblado del mismo nombre.

De acuerdo con las características que presenta el Río Escondido, se implantaron 7 secciones de aforo (3 corresponden a la derivación del mismo). A continuación se presenta el análisis de sus resultados (Ver plano 2 y tabla 2).

SECCION DE AFORO	CAUDAL MEDIO ANUAL EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO										
	1986	1987	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	PROMEDIO
SECCION I	0.679	0.477	0.476	0.594	0.443	0.139	0.026	0.072	0.270	0.350	0.320
SECCION II	1.397	1.528	0.876	1.321	1.148	0.750	0.271	0.259	0.538	0.615	0.791
SECCION III	1.272	1.141	0.651	1.180	1.237	0.431	0.211	0.209	0.319	0.326	0.634
SECCION IV				0.277	0.302	0.059	0.015	0.026	0.059	0.045	0.098
SECCION V (1a. DERIVADORA)			0.158	0.157	0.210	0.059	0.069	0.072	0.126	0.158	0.112
SECCION VI (2a. DERIVADORA)	0.532	0.824	0.406	0.314	0.310	0.233	0.159	0.144	0.333	0.319	0.325
SECCION VII (3a. DERIVADORA)			0.475	0.598	0.492						0.521
SECCION VIII						0.083	0.076	0.096	0.154	0.185	0.095

LAS SECCIONES V, VI Y VII CORRESPONDEN A LAS DERIVADORAS PATIÑO, LA PRESITA (LA MAROMA) Y CANAL VILLA DE FUENTE RESPECTIVAMENTE.
 LAS SECCIONES II Y VII CONTEMPLA A LAS DERIVADORAS LA PRESITA (LA MAROMA) Y PATIÑO RESPECTIVAMENTE.
 EN 1994, SE IMPLEMENTO UNA NUEVA SECCION DE AFORO AL RIO ESCONDIDO, DENOMINADA SECCION VIII
 LA SECCION VI (CANAL VILLA DE FUENTE) A PARTIR DE 1994 FUE ELIMINADA.

Tabla 2. Resultados del aforo del Río Escondido

No existe relación río-acuífero, en la zona alta (Manantial Río Escondido-Zaragoza), la diferencia de caudales entre las secciones de aforo IV a I son los sobrantes de los manantiales de Zaragoza y El Sabino. En la zona baja (Zaragoza-confluencia del Río San Antonio) el Río recibe aporte de agua del acuífero Sabinas-Reynosa. El Río Escondido en la región, a la altura del ejido La Maroma y zona de Tajos I y II (Sección I y II), se considera que tiene relación con el acuífero Sabinas-Reynosa, constituyendo una zona permeable. Lo anterior se corrobora con la configuración piezométrica efectuadas en el área. La diferencia de caudales entre las secciones de aforo II y III, se debe a las extracciones al río que realizan los agricultores y ganaderos en dicho sector y

las posibles pérdidas por infiltración en las areniscas de la Formación San Miguel, que atraviesa el cauce del río

Es importante señalar que, de acuerdo con los aforos y recorridos de campo efectuados al río, de 1994 a 1998, se ha observado que entre las secciones I y II, ha disminuido el aporte de agua del acuífero al río, principalmente por su margen derecha.

3.3.2 Manantiales

3.3.2.1 Zona de Recarga

La recarga del acuífero Sabinas-Reynosa ocurre en su límite Occidental, originada por aportaciones ascendentes, a través de las Formaciones Austin y Eagle Ford, por infiltración a lo largo de los canales no revestidos, que conducen el agua de los manantiales localizados en el flanco Este de la Serranía del Burro, hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos. Así como por retorno de riego en las zonas de cultivo de los poblados antes mencionados.

De acuerdo con el censo de aprovechamientos efectuado en la zona, en este sector se localizan 23 manantiales, de los cuales 18 se ubican en la Formación Austin, 4 sobre la Formación Eagle Ford y 1 en la Formación Buda.

Desde 1979, la CFE realiza en el área de interés el aforo sistemático de los manantiales que son considerados de mayor importancia en la zona (Ver plano 2 y tabla 3).

MANANTIAL	CAUDAL MEDIO ANUAL EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO														
	1979	1980	1986	1987	1988	1989	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	PROMEDIO
NAVA	1.269	1.145	1.488	1.827	1.485	1.347	1.688	1.708	1.814	1.478	1.037	1.237	1.804	1.888	1.445
CHAMACUEROS							0.126	0.189	0.208	0.126	0.055	0.838	0.032	0.879	0.101
ZARAGOZA (Antenas 1 y 2)	1.793	1.270	2.220	2.209	1.886	1.725	1.622	1.488	1.470	0.848	0.387	0.884	1.301	1.483	1.443
MORELOS (Las Conchas)	1.220	1.080	1.888	1.438	1.228	1.032	1.814	1.588	1.188	0.832	0.888	0.883	1.026	1.128	1.170
ALLENDE	1.270	1.139	1.213	1.171	1.121	1.288	1.810	1.884	1.345	1.208	1.120	1.177	1.283	1.388	1.288
EL SABINO	0.412	0.447	0.522	0.488	0.288	0.416	0.514	0.834	0.381	0.388	0.379	0.387	0.488	0.453	0.431
SAN ESTEBAN							0.971	0.888	0.888	0.857	0.887	0.881	0.880	0.882	0.878
VILLA UNION I (La Ciénega)					0.888	0.888	0.121	0.128	0.119	0.088	0.071	0.078	0.113	0.138	0.101
VILLA UNION II (Sapac)							0.388	0.348	0.313	0.188	0.233	0.274	0.264	0.248	0.304
SANTA ANA							0.189	0.189	0.182	0.193	0.188	0.112	0.188	0.181	0.143
PALMIRAS (La Laguna)							0.181	0.182	0.124	0.123	0.107	0.129	0.188	0.188	0.188
AZUFROSA						0.107	0.082	0.103	0.080	0.800	0.037	0.043	0.070	0.078	0.072
LOS OJITOS							0.138	0.143	0.138	0.072	0.088	0.082	0.135	0.128	0.110
GUADALUPE I							0.211	0.213	0.282	0.148	0.088	0.128	0.177	0.179	0.178
GUADALUPE II							0.388	0.379	0.281	0.229	0.137	0.230	0.388	0.488	0.282
TOTAL MEDIA ANUAL	5.880	5.067	7.137	6.784	6.681	6.110	6.881	7.888	6.847	5.887	4.422	4.857	7.340	7.888	6.350

Tabla 3. Caudal medio anual de los manantiales localizados al este de la Serranía del Burro

De estos, el grupo de manantiales que aportan los mayores caudales son Nava, Zaragoza, Morelos, y Allende, con un caudal medio anual de 1.00 a 1.50 m³/s, le siguen en orden de importancia los manantiales El Sabino, Villa Unión II y Guadalupe II con, un caudal medio anual de 0.25 a 0.45 m³/s, y por último, los que no rebasan los 0.25 m³/s, San Esteban, Villa Unión I, Santa Ana, Palmiras, Chamacueros, Azufrosa, Los Ojitos y Guadalupe I. El volumen total medio anual aportado por los manantiales es del orden de 6.35 m³/s.

Con el propósito de explicar apropiadamente el comportamiento de los manantiales, en la figura 20 se presentan hidrogramas que muestran la variación de sus caudales, de 1979 a 1998, comparados con la precipitación media anual para el mismo periodo, obtenida de las estaciones climatológicas de Piedras Negras, Allende, Zaragoza, C.T. Río Escondido y Guerrero; que aunque éstas se encuentran ubicadas hacia el valle, las lluvias que se registran en ellas reflejan una clara relación con los caudales aforados en los manantiales; es decir, existe una correspondencia cíclica, ya que es evidente que en los años donde se registraron precipitaciones abundantes (períodos húmedos), los manantiales aumentaron sus caudales en forma considerable y aquellos donde la precipitación fue baja (períodos secos) se dio un descenso claro de caudales. Así se puede apreciar que en los años de 1993 a 1995 se registra un fuerte descenso en las magnitudes de sus caudales, debido a la baja recarga proveniente de la Serranía del

Burro. Se inició la recuperación de éstos a mediados de 1995 (Ver Capítulo 4. Hidrología Subterránea).

Por otro lado, es importante mencionar que el caudal medio anual registrado en el manantial El Remolino es del orden de $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$, en tanto que el caudal medio estimado por la Comisión Nacional del Agua y (CNA) y la Comisión Internacional de Límites y Agua (CILA), para el manantial Las Cabeceras, es del orden de los $2.50 \text{ m}^3/\text{s}$. Estos son los principales aportadores del caudal de los Ríos San Diego y San Rodrigo, respectivamente.

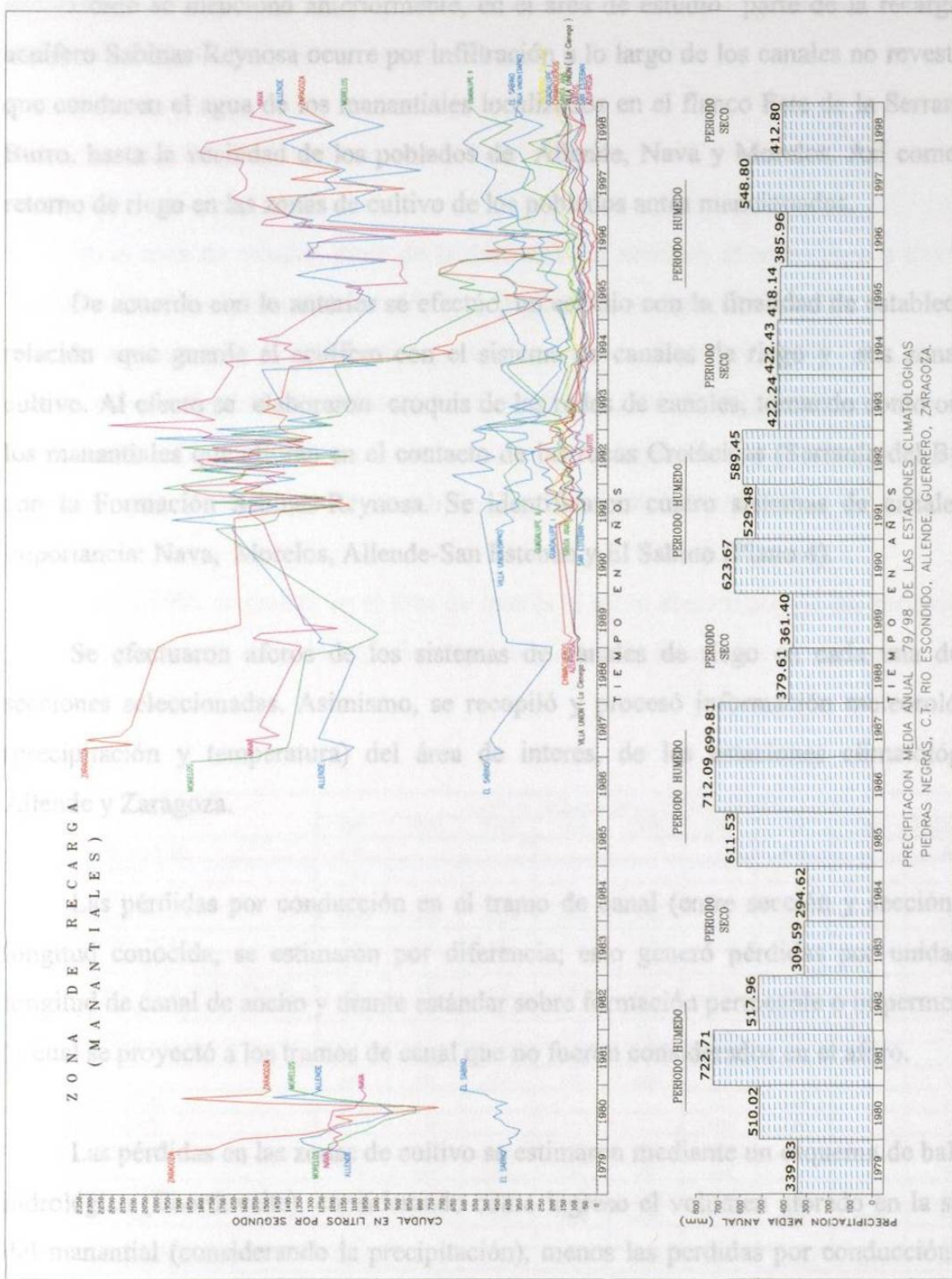


Figura 20. Hidrograma de caudales de manantiales localizados al este de la Serranía del Burro

3.3.2.2 Infiltración por Canales de Riego

Como se mencionó anteriormente, en el área de estudio parte de la recarga del acuífero Sabinas-Reynosa ocurre por infiltración a lo largo de los canales no revestidos, que conducen el agua de los manantiales localizados en el flanco Este de la Serranía el Burro, hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos. Así como por retorno de riego en las zonas de cultivo de los poblados antes mencionados.

De acuerdo con lo anterior se efectuó, un estudio con la finalidad de establecer la relación que guarda el acuífero con el sistema de canales de riego y sus zonas de cultivo. Al efecto se elaboraron croquis de las redes de canales, tomando como origen los manantiales que afloran en el contacto de las rocas Cretácicas (Serranía del Burro) con la Formación Sabinas-Reynosa. Se identificaron cuatro sistemas de canales de importancia: Nava, Morelos, Allende-San Esteban y El Sabino (Plano 4).

Se efectuaron aforos de los sistemas de canales de riego en cada una de las secciones seleccionadas. Asimismo, se recopiló y procesó información meteorológica (precipitación y temperatura) del área de interés, de las estaciones climatológicas Allende y Zaragoza.

Las pérdidas por conducción en el tramo de canal (entre sección y sección), de longitud conocida, se estimaron por diferencia; esto generó pérdidas por unidad de longitud de canal de ancho y tirante estándar sobre formación permeable o impermeable, lo cual se proyectó a los tramos de canal que no fueron considerados en el aforo.

Las pérdidas en las zonas de cultivo se estimaron mediante un esquema de balance hidrológico (Thorthwaite), considerando como ingreso el volumen aforado en la salida del manantial (considerando la precipitación), menos las pérdidas por conducción a lo largo de su trayecto. Las áreas de cultivo y por ende de balance, se obtuvieron de cartas hidrológicas editadas por el INEGI (Ver plano 4).

De los resultados obtenidos se deriva que la mayor influencia de recarga vertical al acuífero se tiene por retorno de riego en las zonas de cultivo de los manantiales con un caudal del orden de 1.145 m³/s y en menor proporción, a lo largo de los sistemas de canales de riego de los mismos, con un caudal de 0.748 m³/s.

3.3.2.3 Zona de Descarga

En el área de estudio, parte de la descarga del acuífero se manifiesta a través de una serie de manantiales localizados a lo largo de la margen derecha del Río Bravo y que, de acuerdo con el censo de aprovechamientos efectuado en la zona, éstos se concentran principalmente en los ejidos San Vicente, Los Rodríguez, Santo Domingo, San Ramón y Chapultepec, así como en la margen izquierda del Río Escondido, a la altura del ejido La Maroma. Se contabilizó un total de 42 manantiales.

Desde 1991 se realiza en el área de interés el aforo sistemático de los manantiales de descarga que son considerados de mayor importancia en la zona (Ver plano 2 y tabla 4).

MANANTIAL	CAUDAL MEDIO ANUAL EN LITROS POR SEGUNDO								
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	PROMEDIO
M82 (PILLON 80, 81, 82, 83)	0.30						0.52		0.41
PRESIDENTE (M79)	1.24								1.24
SAN RAMON (SR1)	1.24								1.24
SANTO DOMINGO (STD)	33.83	48.38	51.50	24.14	21.83	20.75	21.50		31.70
LOS RODRIGUEZ 3 (RD3)	4.44	3.15	1.24	0.58	0.33	0.12	1.33		1.80
LOS RODRIGUEZ 2 (RD2)	2.17								2.17
LOS RODRIGUEZ 1 (RD1, LA ESCONDIDA)	1.02	1.30	1.07	0.42	0.47	0.36	0.34		0.71
SAN JOSE 5 (SJ5, CHUPADEROS)	0.90	1.01	0.48	0.50	0.40	0.52	0.52		0.82
SAN JOSE 3 (SJ3)	1.08	1.37	0.57	0.41	1.01	0.48	0.50		0.77
SAN JOSE 2 (SJ2)	6.15	6.39	6.18	2.20	0.69	0.57	2.00		3.45
SAN JOSE 1 (SJ1)	0.55	0.77	0.81	0.25	0.53	0.12			0.47
SAN VICENTE 3 (VC3)	0.11					0.47	0.90		0.49
SAN VICENTE 2 (VC2)		1.05				0.57	1.00		0.87
SAN VICENTE 1 (VC1)	2.04	1.59	2.82	1.49	1.03	0.22			1.55
31 (M31)	0.48	0.54	0.40	0.31	0.27	0.18	0.21		0.34
OJITO BLANCO (GRO1)	117.00	88.00	73.20	28.63	39.50	22.89	59.50	56.20	60.61
GUERRERO (GRO2)	23.00	75.75	74.40	36.50	25.80	21.75	34.50	48.40	42.26
84 (M)	0.72								0.72
TOTAL MEDIA ANUAL	196.27	229.28	212.56	95.42	91.85	68.97	122.82	102.80	136.97

Tabla 4. Caudal medio anual de los manantiales de descarga del acuífero Sabinas-Reynosa

De éstos, el grupo de manantiales que aportan los mayores caudales son el Ojito Blanco, Guerrero y Santo Domingo, con un caudal medio anual de 60.61 l/s, 42.26 l/s y 31.70 l/s respectivamente. El volumen total medio anual de los manantiales es del orden de 139.97 l/s.

Con el propósito de explicar apropiadamente el comportamiento de los manantiales, en la figura 21 se presentan hidrogramas que muestran la variación de sus caudales de 1991 a 1998, comparados con la precipitación media anual para el mismo período, obtenida de las estaciones climatológicas de Piedras Negras, Allende, Zaragoza, C.T. Río Escondido y Guerrero. En ellos se puede apreciar que entre 1993 y 1995, los caudales registran un fuerte descenso, debido a la baja recarga proveniente de la Serranía del Burro y al incremento de las extracciones por bombeo que se realizan en la zona. A mediados de 1995 se observa en algunos de ellos una ligera recuperación en la magnitud de sus caudales (Ver Capítulo 4. Hidrología Subterránea).

