

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Allende-Piedras Negras
(0501), Estado de Coahuila***

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

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE COAHUILA							
0501	ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS	496.6	274.4	148.472184	128.6	73.727816	0.000000

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



Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN
EL ACUÍFERO 0501 ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS,
ESTADO DE COAHUILA***

México, D.F., Mayo de 2009

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	3
Antecedentes	3
1.1. Localización	3
1.2. Situación Administrativa del Acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3. FISIOGRAFÍA	9
3.1. Provincia Fisiográfica	9
3.2. Clima	9
3.3. Hidrografía	9
3.4. Geomorfología	10
4. GEOLOGÍA	10
4.1. Estratigrafía	10
4.2. Geología Estructural	16
4.3. Geología del Subsuelo	17
5. HIDROGEOLOGÍA	19
5.1. Tipo de Acuífero	19
5.2. Parámetros hidráulicos	19
5.3. Piezometría	19
5.4. Comportamiento hidráulico	19
5.4.1. Profundidad al nivel estático	19
5.4.2. Elevación del nivel estático	20
5.4.3. Evolución del nivel estático	21
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	22
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA	24
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	25
7.1. Entradas	25
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	25
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	26
7.1.3. Recarga por retornos de riego (Rr)	27
7.1.4. Infiltración en canales (Ic)	27
7.2. Salidas	27
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)	27
7.2.2. Descarga por manantiales (Dm)	28
7.2.3. Bombeo (B)	29
7.2.4. Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh)	29
7.3. Cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$)	29
7.4. Recarga Total (Rt)	31
8. DISPONIBILIDAD	31
8.1. Recarga total media anual (Rt)	31
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	32
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	32
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	32
9. BIBLIOGRAFIA	33

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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

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

1.1. Localización

El acuífero Allende-Piedras Negras, definido con la clave 0501 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción nororiental del Estado de Coahuila, abarcando una superficie de 12,961 km², entre las coordenadas 27°45' – 29°00' de latitud norte, y 100°00' – 102°15' de longitud oeste. Tiene una altitud promedio de 800 msnm en su parte poniente que corresponde a la Sierra del Burro, mientras que en la planicie va de una altitud de 2000 msnm, en la zona cercana al cauce del Río Bravo, a 390 msnm a la altura del poblado de Allende.

Colinda dentro del estado de Coahuila, con los acuíferos Región Carbonífera al sur, Palestina y Cerro Colorado-La Partida al norte, al oeste con Serranía del Burro y Región Carbonífera; al este su límite natural es al Río Bravo (Figura 1).

Geopolíticamente comprende totalmente los municipios de Allende, Nava, Morelos y Piedras Negras, y parcialmente Jiménez, Guerrero, Múzquiz, Villa Unión y Zaragoza.

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

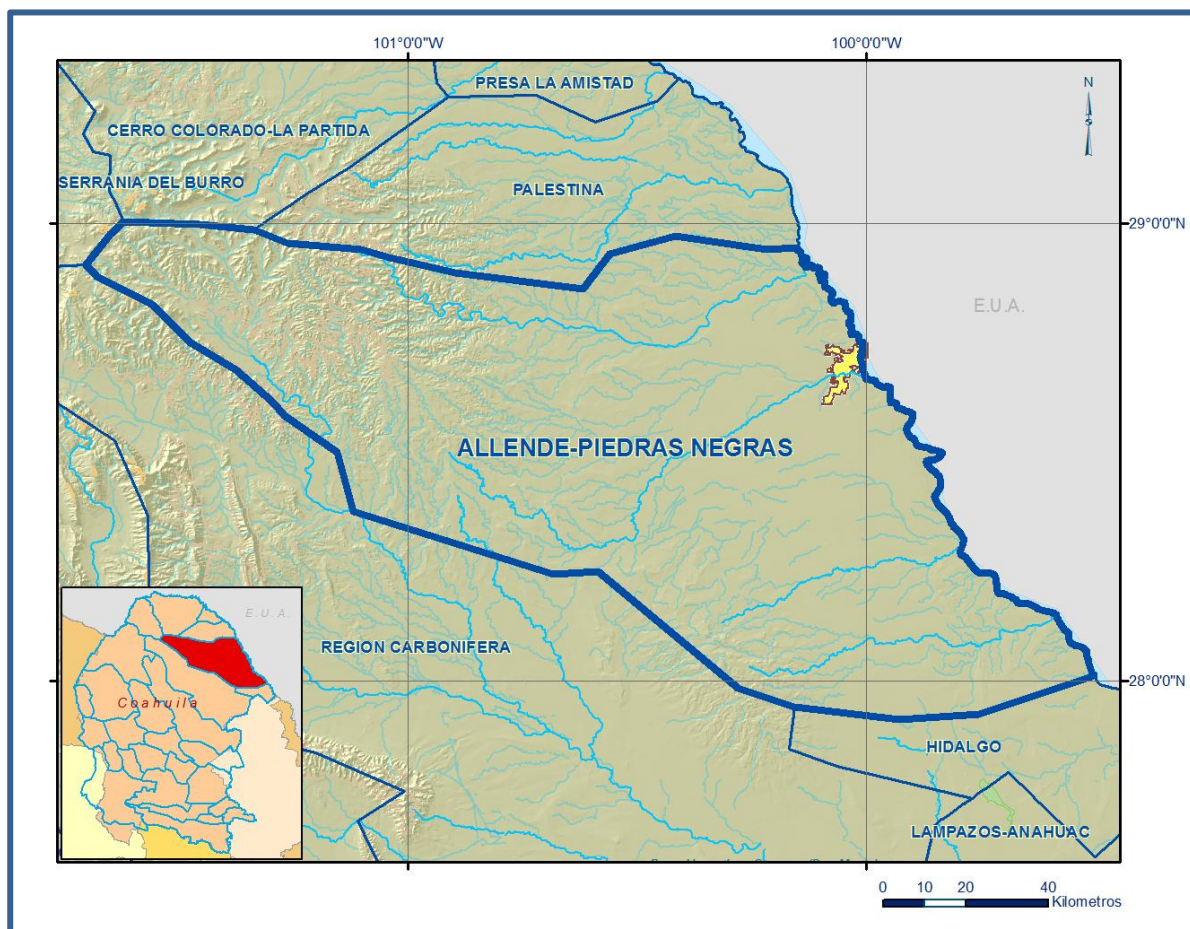


Figura 1. Localización del acuífero Allende-Piedras Negras

1.2. Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero Allende-Piedras Negras pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Coahuila. En su territorio no existe actualmente veda de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2009, los municipios Allende, Nava, Morelos y Piedras Negras se clasifican como zona de disponibilidad 4, Villa Unión zona de disponibilidad 5 y los municipios Jiménez, Guerrero, Múzquiz y Zaragoza zona de disponibilidad 6.

Las unidades de riego más importantes establecidas en la zona se abastecen de los manantiales de la región. Entre estas, destacan 20 Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (URDERAL)

registradas por la Unidad de Programación de la Dirección Local de la CONAGUA en Coahuila. En el Municipio de Guerrero, las unidades Santa Mónica I, Guadalupe, Guerrero y Santa Mónica II. En el Municipio de Morelos, Las Corrientes. En el Municipio de Nava una con el mismo nombre "Nava". En el Municipio de Villa Unión: La Azufrosa, Villa Unión, La Luz, Santa Ana, General Naranjo, Palmira y El Potrero. En el Municipio de Zaragoza: Patiños, San Idelfonso, El Remolino y La Zanja. En el Municipio de Allende: Allende, La Liebre y Palomas.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita al acuífero

ACUIFERO 0501 ALLENDE-PIEDRAS-NEGRAS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	59	59.97	28	0	36.0	
2	100	15	3.9	27	55	37.2	
3	100	25	33.8	27	54	56.0	
4	100	39	17.3	27	56	33.4	
5	100	46	48.5	27	59	1.3	
6	101	5	6.7	28	14	19.7	
7	101	10	58.8	28	13	57.2	
8	101	37	15.9	28	22	14.6	
9	101	39	18.9	28	29	59.3	
10	101	46	19.6	28	34	47.9	
11	101	47	49.9	28	36	32.9	
12	101	52	35.7	28	40	48.0	
13	101	58	28.9	28	44	17.6	
14	102	3	43.7	28	49	24.0	
15	102	10	52.2	28	52	58.7	
16	102	12	16.4	28	54	33.3	
17	102	9	10.2	28	58	29.5	
18	102	7	20.3	29	0	8.5	
19	101	57	17.3	28	59	51.1	
20	101	50	19.2	28	59	4.6	
21	101	45	48.1	28	57	24.6	
22	101	36	6.7	28	56	32.4	
23	101	32	32.1	28	55	25.7	
24	101	23	46.9	28	53	27.0	
25	101	7	3.8	28	51	24.5	
26	101	3	33.9	28	55	57.0	
27	100	54	57.5	28	58	20.5	
28	100	43	0.4	28	56	35.3	
29	100	39	1.8	28	56	46.5	DEL 29 AL 1 POR EL LIMITE INTERNACIONAL
1	99	59	59.97	28	0	36.0	

Estas Unidades contabilizan 1023 usuarios (CONAGUA, 2001) con un caudal de 11,160 lps que son conducidos desde los manantiales mediante un sistema de canales que totalizan 5828 km de longitud, de los cuales 35 km están revestidos y 5 793 km sin revestir.

El usuario principal del agua subterránea es el agrícola sin embargo, compite con el uso industrial que aprovecha la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la compañía Minera Carbonífera Río Escondido (MICARE). A la fecha no se ha constituido un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona del acuífero, se han llevado cabo varios estudios hidrogeológicos de evaluación, destacando entre ellos los siguientes:

ESTUDIO DE EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA PRELIMINAR DE LA ZONA DE RÍO ESCONDIDO EN EL ESTADO DE COAHUILA, elabora por la empresa TACSA para la Comisión Federal de Electricidad, 1981. Corresponde a un estudio geohidrológico completo que incluye aspectos de geología, calidad del agua, isotopía, piezometría y balance de agua subterránea, realizado en una extensa área comprendida entre el Río Bravo y las estribaciones de la Sierra del Burro, a la altura de Piedras Negras y de las poblaciones de Zaragoza, Nava y Allende. Se presenta un censo de aprovechamientos de agua subterránea con las características de cada uno de ellos, análisis de calidad del agua, nivelación topográfica de los brocales de los pozos, así como la descripción de la geología de la zona. La concepción del funcionamiento del acuífero que se plasma en este trabajo ha servido de base para prácticamente todos los trabajos subsecuentes.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA ZONA ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS, COAHUILA, elaborado por la empresa Anáhuac para la Comisión Nacional del Agua, 1990. Este estudio es una actualización del conocimiento geohidrológico enfocado hacia la planicie de Piedras Negras, pero incluye las áreas de Zaragoza y Allende que son la zona de recarga del valle. Al igual que el estudio mencionado en el párrafo anterior, se presentan aspectos geológicos, de calidad del agua, pruebas de bombeo, hidrógrafos y configuraciones de la elevación, profundidad y evolución del nivel del agua.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO CENTRALES TERMOELÉCTRICAS CARBÓN I Y II, PIEDRAS NEGRAS, COAH., realizado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), 1993. Presenta el marco geológico regional basado en los dos trabajos mencionados anteriormente. Se incluyen las características fisiográficas y estratigráficas y se menciona el acuífero calizo que constituye la Sierra del Burro, en el cual se infiltra el agua de lluvia que da origen a los grandes manantiales de la región. Los aspectos de piezometría y cuantificación se enfocan principalmente al acuífero alojado en el conglomerado que constituye la planicie. Sin embargo, presenta información hidrogeológica de las estribaciones de la Sierra del Burro que corresponden al acuífero calizo.

REPORTE SOBRE EL RESUMEN Y EVALUACIÓN DE ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS REALIZADOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS CARBÓN I Y II, MEDIANTE LAS ALTERNATIVAS DE EXPLOTACIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO CALIZO DE LA PORCIÓN NORTE DEL ESTADO DE COAHUILA, elaborado por la Comisión Federal de Electricidad, 1994. Este trabajo, es un resumen de las actividades geohidrológicas realizadas al oriente de la Sierra del Burro. Menciona que la CFE perforó entre los años de 1974 y 1976, 15 barrenos exploratorios hasta una profundidad promedio de 400 metros. Cuatro de ellos en la zona de “El Remolino”, en los cuales se reportó alta concentración de sulfatos en el agua; 9 barrenos en la zona denominada “El Refugio-Las Albercas”, donde se encontró agua de buena

calidad y; 2 barrenos al oriente del poblado de Zaragoza. En el año de 1991 se resume el modelo conceptual del funcionamiento del sistema acuífero en calizas, se menciona que la descarga del acuífero calizo es de $7.7 \text{ m}^3/\text{s}$, y que la recarga por infiltración al acuífero calizo asciende a $17.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Entre 1975 y 1981, se perforaron 4 pozos exploratorios más en el área de “El Refugio-Zaragoza” y para el año de 1993 reporta la perforación de los pozos Patiño 1 y El Gallo 1.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL SISTEMA ACUÍFERO EN CALIZAS DE LA PORCIÓN NORTE DEL ESTADO DE COAHUILA, elaborado por la CFE, 1998. Dentro del presente trabajo se hace un recuento de las actividades realizadas por la CFE, principalmente la perforación de barrenos y pozos en la zona de “El Refugio-El Remolino”. Incluye también la descripción del comportamiento de las descargas de los manantiales y su relación con la precipitación pluvial, así como el comportamiento piezométrico de pozos piloto ubicados al poniente de Zaragoza.

ACTUALIZACIÓN Y EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS (ZONA MICARE), COAHUILA, elaborado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V. para la Comisión de Aguas y Saneamiento de Coahuila, 2002. Se obtuvieron datos piezométricos en 148 pozos ubicados entre Zaragoza, Nava, Guerrero y Piedras Negras. La información obtenida se procesó con el objeto de determinar el efecto producido por la construcción y el “achique” de agua que se llevaba a cabo en el tajo III de la empresa Minera Carbonífera Río Escondido (MICARE) por la explotación de carbón, con el objeto de conocer la posible afectación en el rendimiento de los pozos ubicados en la zona agrícola-ganadera, ubicada aguas abajo de la zona donde se excavaron los tajos para la explotación de carbón. Se obtuvo la dirección del flujo subterráneo y se cuantificó su magnitud. Se menciona que el acuífero alojado en los depósitos de conglomerados de la planicie, es recargado por la infiltración del agua de los grandes manantiales ubicados en la zona comprendida entre las poblados Nava y Allende.

ESTUDIO SOBRE REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO DEL ÁREA ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS, elaborado por la CNA, 2000. Se realizó una medición de los niveles estáticos de pozos piloto y se elaboraron configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA POTENCIALIDAD DEL ACUÍFERO DEL ÁREA ENTRE ZARAGOZA Y LAS ALBERCAS, COAH., elaborado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V. para el Grupo Modelo, 2003. Se efectuó un estudio geohidrológico que incluyó la descripción del funcionamiento de los acuíferos y un balance geohidrológico, para determinar su potencialidad como fuente de abastecimiento para satisfacer las necesidades de agua del Grupo Modelo. Se censaron 127 aprovechamientos de agua subterránea, una parte de ellos ubicados al pie de la Sierra del Burro que no habían sido considerados en trabajos previos, incluso en trabajos posteriores no se consideran. Se realizaron también análisis químicos, pruebas de bombeo y se calculó la recarga y volumen almacenado en el acuífero calizo. Se incluyen datos de 15 pozos artesianos y 8 manantiales. Concluye que el acuífero se recarga por agua de lluvia que se infiltra en la sierra y se descarga a través de los manantiales que tienen un gasto medio histórico de $7.7 \text{ m}^3/\text{año}$.

BALANCE GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS, COAH., elaborado por COPEI Ingeniería, S. A. de C. V. para MICARE, 2006. Este trabajo tuvo por objeto actualizar el balance geohidrológico del acuífero Sabinas-Reynosa, entre el Río Escondido y el Arroyo Castaños, identificar el origen del agua y actualizar el conocimiento de los volúmenes que descargan los manantiales. Llevó a cabo un análisis estadístico de la climatología, que identificar la presencia de periodos de estiaje, comprendido entre 1995 y 2002, y periodo húmedo, del 2003 al 2005.

Menciona los dos sistemas hidrogeológicos detectados en estudios previos, el primero en rellenos aluviales de la Formación Sabinas-Reynosa y el segundo alojado en las calizas que constituyen la Sierra del Burro. Calcula que el sector agropecuario utiliza 30 Mm³/año, que la CFE tiene una concesión de 27 Mm³/año aunque solo utiliza el 18% y MICARE 48 Mm³/año, aunque de manera temporal ya que posteriormente los infiltra al subsuelo. En total indica que se extraen del subsuelo 90 Mm³/año. Calculó el volumen de infiltración, para el área de balance, de 67.2 Mm³/año e indica que dicho volumen corresponde a un coeficiente de infiltración del 8%. Observó una ligera recuperación del nivel estático de 0.7 metros por año, para el periodo 2002 al 2006. Calcula una entrada subterránea de 87 Mm³/año, salidas subterráneas de 55 Mm³/año y una recarga vertical de 147 Mm³/año.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA RECARGA, ALMACENAMIENTO Y DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS ACUÍFEROS DE LA SERRANÍA DEL BURRO, CERRO COLORADO-LA PARTIDA, PRESA LA AMISTAD, PALESTINA Y ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS, EN DIVERSOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE COAHUILA, elaborado por Consultoría BETSCO para la CONAGUA, 2006. Incluyó un censo de 352 aprovechamientos en Allende-Piedras Negras y 48 en la Serranía del Burro, además de 91 captaciones en otras áreas. Realizó el aforo de 12 manantiales, los cuales presentaron caudales entre 161 y 2,199 lps. Realizó un análisis parcial del volumen del agua que recarga al acuífero Allende-Piedras Negras e indica que existe una extracción de agua subterránea mediante pozos de 54.6 Mm³/año y un volumen de los manantiales de 216.4 Mm³/año. Menciona una extracción de 271.0 Mm³/año, aunque no comprende la totalidad de acuífero.

ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO ALLENDE-PIEDRAS NEGRAS, COAHUILA, realizado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V. para el Grupo Modelo, 2008. Este estudio realizó una recopilación de los censos de aprovechamientos efectuados en los trabajos llevados a cabo anteriormente, y complementa esta actividad para cubrir la superficie total del acuífero. Las actividades de campo tuvieron como objetivo generar información hidrogeológica para el planteamiento del balance de aguas subterráneas: Censo de aprovechamientos, hidrometría, aforo de manantiales, pruebas de bombeo, muestreo de agua subterránea para análisis físico químico, etc. Analiza el impacto por la explotación del agua subterránea, con el objetivo de proponer la reglamentación del acuífero.

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

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia Fisiográfica

De acuerdo a la clasificación del Ing. Manuel Álvarez Jr (1958), el acuífero se ubica en parte de dos provincias fisiográficas. Una que comprende la parte poniente, que corresponde a la Sierra del Burro, que pertenece a la Provincia de la “Región Montañosa de Coahuila”; mientras que la parte oriental, que comprende la mayor parte del acuífero, se encuentra dentro de la provincia fisiográfica denominada “Cuenca del Bravo de la Llanura Costera del Golfo de México”.

3.2. Clima

El clima en la región, de acuerdo a la clasificación de Köppen, hacia el oriente de Zaragoza, es del tipo BS_0hx' , que corresponde a un clima seco, semicálido con lluvias escasas todo el año y un porcentaje de lluvia invernal mayor del 18%. En las estribaciones de la Sierra del Burro, a la altura de Zaragoza, el clima se clasifica como $BS_0hw(x')$, que corresponde a un clima seco, semicálido con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.2%. Hacia la planicie de Allende-Piedras Negras, el clima es semiseco, semicálido (BS_1hx').

De acuerdo con los datos de las estaciones climatológicas 05-042 y 05-002 ubicadas en los poblados Zaragoza y Allende, la temperatura media registrada en el Atlas del INEGI es de 20.7° y 21.1° C, respectivamente. Las variables climatológicas varían según la altitud de la región, para el caso de la temperatura media anual, se considera que su valor promedio es de 21° C.

La precipitación pluvial en la zona de Allende-Piedras Negras tiene un promedio de 500 mm. Hacia la Sierra del Burro, la precipitación alcanza hasta 626 mm. De acuerdo con los datos de precipitación anual registrada en las estaciones Allende, Zaragoza y Piedras Negras para periodos de 60, 27 y 64 años respectivamente, en las que se registran precipitaciones medias anuales de 494, 545 y 550 mm para los periodos mencionados. Se observa que hacia los años 2001, 2002 y 2006, se presentaron lluvias escasas, del orden de casi la mitad de la media anual; mientras que para el resto de los años de la presente década, las precipitaciones han sido abundantes, por arriba de la media anual.

La evaporación potencial promedio anual varía de 1746 mm, registrada en la estación Allende, a 1816 mm en la estación Observatorio de Piedras Negras.

3.3. Hidrografía

El acuífero Allende-Piedras Negras se ubica dentro de la región hidrológica RH24, “Río Bravo”. La región pertenece a la cuenca Río Bravo-Piedras Negras, dentro de la cual, se encuentran las subcuencas de los ríos San Rodrigo, San Antonio y Escondido, así como la del Arroyo Castaños-Arroyo El Amole. Excepto los arroyos Castaños y El Amole, los demás ríos son perennes con un caudal promedio de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Río San Rodrigo y de $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Río Escondido.

3.4. Geomorfología

La región está constituida por una llanura aluvial ligeramente inclinada al noreste, entre las cotas topográficas de 600 m.s.n.m. en su parte más alta y aproximadamente 200 m.s.n.m. en el cauce del Río Bravo. Esta llanura aluvial se encuentra entre el Río Bravo y la vertiente oriente de la zona sur de la Serranía El Burro, así como la vertiente noreste del Lomerío Peyotes.

En el cañón Oso Blanco, localizado en la Serranía El Burro, existe el mayor relieve de la zona, ya que el nacimiento del Río San Rodrigo hay diferencias de alturas entre cimas y pisos de arroyos hasta de 520 m. En este lugar se tiene la mayor altura sobre el nivel del mar con cerca de 1,500 msnm en el parteaguas. Los flancos sur y oriente de la Serranía El Burro desarrollan alrededor de los 700 msnm; el ascenso a partir de ahí al corazón de la sierra es suave, culminándose a las alturas antes mencionadas.

La Serranía El Burro y el Lomerío Peyotes que conforman el límite norte de la provincia Sierra Madre Oriental favorecen la recarga de agua subterránea debido a su gran extensión y suave pendiente topográfica.

Se distinguen varias unidades geomorfológicas que son: Sierras y valles en el noroeste; sierras alargadas en el suroeste; el anticlinal dómico de la Sierra del Burro; lomeríos bordeando el oriente de la sierra y; la planicie del Río Bravo.

4. GEOLOGÍA

La columna geológica de la zona, está constituida por rocas sedimentarias marinas del Cretácico que afloran en la Sierra del Burro y que hacia la planicie de Allende-Piedras Negras se encuentran cubiertas por un conglomerado del Terciario y Cuaternario. Su distribución general se muestra en la figura 2.

4.1. Estratigrafía

En el área de trabajo afloran rocas sedimentarias marinas del Cretácico en la Sierra del Burro y, conglomerados y aluviones del Terciario y Cuaternario hacia la planicie de Allende-Piedras Negras. A continuación se presenta su descripción:

Cretácico Inferior

Formación Glen Rose. Hill (1891, p.504) nombró como Formación Glen Rose a los afloramientos de calizas resistentes y margas suaves, presentes a lo largo del cauce del Río Paluxy, cerca del poblado Glen Rose, Texas. En la Sierra del Burro, aflora de manera incompleta en el Cañón del Cíbolo, en el Complejo la Cueva y en el cauce del Río Bravo. En el cañón del Cíbolo consiste de las cuatro unidades litoestratigráficas siguientes (de arriba hacia abajo):

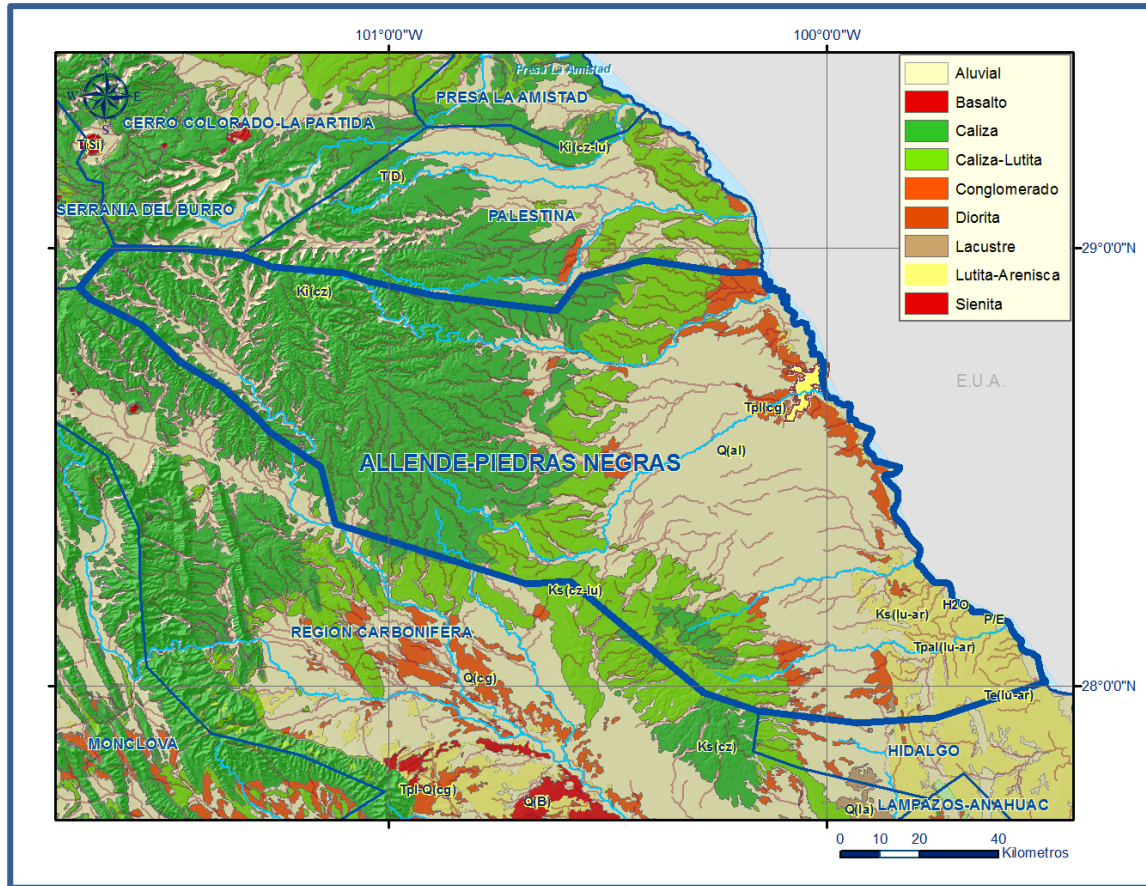


Figura 2. Geología general del acuífero

1. 60 m de estratos delgados a medianos de calizas con braquiópodos y miliólidos.
2. 60 m de estratos delgados a medianos de margas, calizas arcillosas y calizas con cristales de marcasita y radiolarios.
3. 168 m de estratos medianos de calizas con abundantes inclusiones de marcasita y radiolarios, intercaladas con calizas con cavidades cilíndricas perpendiculares a los planos de estratificación y rellenos de aragonita.
4. 45 m de estratos medios a gruesos de caliza con abundante piritita y radiolarios, alternando con calizas arcillosas conteniendo Caprínidos, Ostreidos, etc.

Su límite inferior no aflora, no así su límite superior con la Formación Walnut, el cual es muy claro y se expresa topográficamente por un cambio de pendiente muy marcado. En el Cañón del Cíbolo aflora el límite superior, el cual es fácilmente reconocible pues la secuencia litológica descrita cambia a margas con abundante *Exogira sp.*, *Gryphaea sp.* y braquiópodos.

Formación Telephone Canyon (Walnut). El nombre de ésta formación fue dado por Hill (1891) para referirse a una secuencia de arcillas amarillentas, calizas laminadas y coquinas que cubren transicionalmente a la Formación Glen Rose en Walnut Spring, Texas; Smith (1970, p. 38) describe esta unidad como Formación Telephone Canyon.

En el área estudiada, la Formación Walnut aflora en el cañón que forma el cauce del Río Bravo y en el Complejo de La Cueva, donde se encuentra cubierto parcialmente por aluvión. Está constituida por dos unidades con un espesor total de 102 m. La unidad inferior consiste de 35 m de estratos medianos de calizas con caprínidios y ostreidos; la unidad superior consiste de 67 m de margas con abundantes *Exogyra sp*, *Turritella sp.*, y braquiópodos muy bien preservados.

Dado que ésta unidad conforma un paquete de litología relativamente blanda, encajonada entre las formaciones Glen Rose y Edwards, la Formación Walnut es fácilmente reconocible en el campo ya que topográficamente forma un cambio de pendiente entre las formaciones Edwards y Glen Rose.

En el Cañón del Cíbolo sus límites son fácilmente reconocibles por que existen cambios en el carácter litológico de las formaciones encajonantes. Con la formación suprayacente el cambio es transicional hacia los potentes estratos calcáreos de la Formación Edwards. Su límite inferior es un cambio transicional hacia las calizas micríticas de la Formación Glen Rose.

Complejo Arrecifal del Burro. El nombre de esta unidad fue usado por los geólogos de PEMEX para incluir los sedimentos calcáreos de tipo arrecifal que afloran en la porción central de la Serranía del Burro. Smith (1970, p. 43) la describe como Formación Devils River. Aflora en una franja con orientación NE-SW en la porción central y suroriental del área estudiada y consiste de un paquete de calizas en estratos muy potentes con coral, rudistas y *Toucasia sp*. Sus límites superior e inferior son fácilmente reconocibles pues se encuentra encajonada entre formaciones blandas que forman pendientes suaves (Formaciones Walnut y Del Río). Sus límites laterales no están bien definidos, pues se trata de un cambio gradual de las facies de las Formaciones Edwards, Kiamichi y Georgetown hacia el Complejo Arrecifal del Burro. Se distinguen tres formaciones dentro de este Complejo, las cuales son de abajo hacia arriba, formaciones West Nueces, Mcknigth y Salmon Peak.

Formación West Nueces. Consiste en calizas de textura media (wackstone) que hacia su base presenta estructura nodular. Se encuentra sobreyaciendo a las margas y calizas de la Formación Telephone Canyon y subyaciendo a las calizas de la Formación McKnight. Presenta amplios afloramientos en el flanco este de la Sierra del Burro.

Tiene amplio desarrollo en la Serranía El Burro y se considera una continuación de la Formación Devil River inferior, hacia el este, pero adelgazándose en forma de cuña, ya dentro del ambiente de una gran laguna. El espesor varía entre 183 m en el oeste y 46 m hacia el este.

Constituye lodolitas esferulíticas calcáreas de estratificación media a delgada, con capas que contienen gasterópodos y mantos delgados de pedernal. Pude decirse que la West Nueces sufre una degradación lenta de afinidades arrecifales a medida que se aleja de los bordes de los bancos de la Devil River y del Stuart City, graduándose en facies que caracterizan a la McKnigth hacia el interior de la laguna. Tiene en su base grandes biohermas y hacia su cima biostromas.

Formación Mcknight. Está constituida por calizas oscuras en capas delgadas, evaporitas y brechas de colapso. Se encuentra sobreyaciendo a las calizas de la Formación West Nueces y subyaciendo a las calizas de la Formación Salmon Peak.

Esta formación tiene su principal superficie expuesta hacia el sur y sureste del anticlinal de la Serranía El Burro. En esta época las condiciones de circulación en la laguna se restringieron notablemente, por lo cual la Cuenca de Maverick estuvo prácticamente cerrada.

Su máximo espesor es de 151 m que presenta en el flanco sureste del anticlinal El Burro, en donde está compuesta de calcarenitas y calizas fosilíferas con nódulos de pedernal intercalados, se observan pseudomorfos de cristales de sal, indicativo de formación de evaporitas.

El medio de depósito inicial de esta formación fue en condiciones euxínicas de alta salinidad. Su parte media consiste de lodolita calcárea arcillosa de estratificación delgada a laminar. La parte superior consta de capas de brecha separadas de calcarenitas y lodolitas calcáreas de textura esferulítica en capas delgadas, estando también presente pedernal nodular.

La Formación Salmon Peak forma parte del Complejo Arrecifal del Burro Grupo y también del Grupo Washita.

Grupo Washita. Se encuentra constituido por las formaciones Salmon Peak, Del Río y Buda las que se describen a continuación.

Formación Salmon Peak. Se han agrupado bajo éste nombre a calizas arcillosas con nódulos de pedernal e inclusiones de marcasita en estratos potentes. Aflora en forma de cordón circundando a la Sierra del Burro. Forma la parte superior del Complejo Arrecifal del Burro. Sus límites superior e inferior son transicionales, pero fácilmente reconocibles en el campo, pues ésta unidad en general contrasta con las unidades que la encajonan. Litológicamente, su límite inferior es transicional sobre la Formación Kiamichi; en tanto que su límite superior es un cambio gradual de las calizas en estratos potentes de la Formación Salmon Peak, hacia la secuencia de sedimentos clásticos y calcáreos de la Formación del Río.

Su espesor es variable con un promedio de 245 m determinado en la Cuenca de Maverick. Los primeros 145 m a partir de su base, están conformados por lodolita calcárea a caliza wackstone con globigerina, presentándose nódulos de pedernal en la cima. Los restantes 100 m constan de calcarenitas con fragmentos de conchas. Dentro de la Cuenca de Maverick, al oeste de la zona, la parte superior de la Salmon Peak se adelgaza hacia el este, desapareciendo por la aparición de la formación arrecifal Devil River.

Formación Devil River Superior. Se trata de un borde arrecifal que separa facies de plataforma en la Cuenca de Maverick y las de mar abierto al oeste y al sur. Su espesor total varía de 490 m y 670 m

de norte a sur en el norte de Coahuila y al oeste de la zona. En el subsuelo se clava, al sur-suroeste de la Serranía El Burro, norte de Múzquiz, lomerío de Peyotes, continuando 70 km al norte de Laredo, Texas, en su conexión con la Formación Stuart City

Formación Del Río. Fue originalmente descrita por Hill y Vaughan (1898). Su localidad tipo se encuentra en la Ciudad de Del Río, Tex. y consiste de 60 m de lutitas fosilíferas de color amarillento. Aflora esporádicamente en la porción nor-oriental de la Serranía del Burro, en los flancos del Sinclinal del Abanico y en el Complejo La Cueva; consiste de lutitas, areniscas, margas y yesos con abundantes nódulos de pirita y marcasita. Sus límites superior e inferior son transicionales, pero fácilmente reconocibles ya que se encuentra encajonada entre formaciones más resistentes por lo que presenta formas de pendiente suave.

Aflora en la Serranía El Burro y aparece por su poco espesor como una cinta angosta en contacto con la Formación Buda suprayacente. Su litología es dominante de lutitas fosilíferas con nódulos de pirita, alcanza un espesor máximo de 124 m en el centro de la parte oriental de la Cuenca de Maverick. En el pozo El Refugio, Coahuila, tiene 40 m de espesor, pero en el Remolino, 22 km al norte de El Refugio es reportado como de 50 m. Con la aparición de la Formación Del Río llegaron a su fin, a escala regional, las calizas de borde arrecifal y de plataforma en el norte de México y en Texas al sur. Un levantamiento regional noroeste-norte, al final de Salmon Peak, provocó la sedimentación de vastas cantidades de materiales terrígenos para dar a la formación de arcilla del Río.

Cretácico Superior

Formación Buda. Fue descrita por Hill (1900) en Shoal Creek, Austin Texas, como una unidad consistente de estratos medianos de margas y calizas con *Budaiceras* y *Exogyra ponderosa*. Dentro de la Sierra del Burro, aflora en el Rancho El Abanico, Rancho Valencia, Complejo La Cueva y en Rancho Nuevo. Está constituida por 30 m de estratos medianos de calizas con foraminíferos y margas con braquiópodos y nódulos de hematina y pirita. Su límite es reconocible topográficamente pues constituye un cambio litológico con la Formación del Río, la cual presenta formas de lomeríos. Su límite superior es transicional con la Formación Boquillas y difícil de reconocer en el campo, pues no existe contraste entre sus litologías.

Formación Eagle Ford. Corresponde a lutitas de color oscuro, intercaladas con calizas arcillosas en estratos delgados. Aflora en una delgada banda al pie de la Sierra del Burro.

Su potencia en el barreno de CFE, Zaragoza No. 1 es de 100 m, pero en la zona El Refugio tiene más de 130 m para el barreno No. 8 y más de 160 m para el No. 7. Por otro lado, el Pozo Coconal No. de PEMEX reporta 178 m.

Formación Austin. Esta formada por caliza de color gris claro, en estratos de tamaño medio, con intercalaciones de lutitas calcáreas. Aflora en el denominado Lomerío de Peyotes que corresponde a un anticlinal, continuación del buzamiento sureste del anticlinal de la Sierra del Burro.

El barreno Zaragoza No. 2 de CFE reporta 300 m de espesor y 313 m en el Coconal No. 1 de PEMEX. Se considera que la Formación Austin pertenece a un ambiente nerítico con aporte de material terrígeno.

Formación Upson. Está constituida por lutitas y limolitas en capas delgadas a laminares, ocasionalmente presenta capas calcáreas de estratificación mediana. Aflora en los ejidos La Maroma y Maravillas. Su espesor varía entre 300 y 450 m; sin embargo en el pozo Coconal No. 1 de PEMEX se reporta 122 m. Su depósito se asocia a facies de prodelta de un sistema desarrollado durante el Cretácico superior.

Formación San Miguel. Su litología está conformada por areniscas de grano fino a medio, de estratificación mediana; presentan huellas de pelecípodos, así como intercalaciones de limolita. Aflora en las márgenes del Río Escondido y ejido La Maroma. Su espesor es variable, entre 20 y 40 m, y se depositó en un ambiente de frente deltaico.

Formación Olmos. Compuesta de lutitas, limolitas de estratificación delgada, con algunas intercalaciones de areniscas; presenta estructuras de carga, rizaduras de corriente, restos de raíces, plantas fósiles y en la base mantos de carbón, que constituye el yacimiento de la Cuenca Fuentes-Río Escondido.

No hay muchos afloramientos de esta formación; sin embargo se le conoce ampliamente debido a la exploración y evaluación de las reservas de carbón que explota MICARE, tanto en minas subterráneas como a cielo abierto. Su espesor varía entre 150 y 200 m y de acuerdo con sus características, el ambiente de depósito corresponde a una planicie de inundación y pantanos, asociados a una planicie deltaica.

Formación Escondido. Se trata de una secuencia de lutitas y areniscas calcáreas, con abundantes fósiles y horadaciones causadas por organismos, estratificación cruzada, huellas de oleaje, entre otras estructuras.

Sus afloramientos se restringen a Villa de Fuentes, Arroyo Castaños y en ambas márgenes del Río Bravo. El espesor de esta unidad varía entre 120 y 180 m, su ambiente de depósito corresponde al de una plataforma interdeltaica.

Paleogeno - Neogeno

Formación Conglomerado Sabinas-Reynosa. En la planicie de Allende-Piedras Negras y descansando discordantemente sobre los sedimentos calcáreos del Cretácico Superior, se encuentra la denominada Formación Sabinas-Reynosa.

Se compone básicamente de un conglomerado semiconsolidado a consolidado, de clastos calcáreos semirredondeados, mal clasificados, de tamaño variable desde gravas hasta guijarros, empacados en

un cementante calcáreo, presentando una capa de caliche hacia la cima. El conglomerado generalmente no sobrepasa los 7 u 8 m de espesor y en conjunto con el caliche la formación puede alcanzar un espesor de 40 m. La empresa MICARE (1999) reporta con base en información de barrenos exploratorios tres subunidades, denominadas de abajo hacia arriba, conglomerado, caliche arenoso y caliche arcilloso, este último con distribución muy irregular.

Su origen se interpreta como el producto de la erosión sobre las porciones de terreno topográficamente elevadas, conocidas como la Serranía El Burro y lomerío Peyotes. La existencia de paleocanales que ubiquen rellenos aluviales de antiguos cauces en algunas zonas de la planicie, es explicable en atención a que las corrientes importantes conocidas (Arroyo Las Vacas, Río San Diego, Río San Rodrigo y Río Escondido) son recientes, sin poder afirmar o negar que provengan de un drenaje hereditario. Se le ha asignado una edad correspondiente al Mioceno–Plioceno.

Aluvi3n Cuaternario. En la planicie de Allende-Piedras Negras, los materiales que constituyen el subsuelo se encuentran cubiertos por una delgada capa de 2 a 6 metros de espesor, de material aluvial cuaternario, conformada por dep3sitos de grava poco compactos, con predominio de rocas 3gneas extrusivas, mal clasificadas y semirredondeadas, con fragmentos de pedernal lechoso y esporádicos clastos calcáreos. Estos dep3sitos coronan discordantemente algunos lomeríos a lo largo de la margen derecha del Río Bravo. Los clastos presentan imbricaci3n mostrando un sentido de corriente, similar a la actual del mencionado río.

Otro tipo de estos dep3sitos aluviales son clastos principalmente calcáreos en matriz arenosa, ligeramente cementados por calcita, que rellenan las partes bajas del terreno. La granulometría, espesor y distribuci3n varían mucho, conforme al área de exposici3n.

4.2. Geología Estructural

La estructura predominante es un anticlinorio, orientado noroeste a sureste en la serranía El Burro y lomerío Peyotes, formada como consecuencia de la Orogenia Laramide durante el Cretácico Superior al Terciario Inferior. Los anticlinales de Agua Verde y Chupaderos, ubicados al noroeste del acuífero, son ondulaciones estructurales asociadas a dicho anticlinorio. La Sierra del Burro tiene forma cómica con flancos suaves, cuyos echados son del orden de 3 a 5. El eje del anticlinal parte del centro-oeste de la sierra, en direcci3n al sureste, para buzar al poniente de Allende. Al sureste de esta sierra se encuentra otro anticlinal conocido como Lomerío de Peyotes, en el que afloran calizas de la Formaci3n Austin del Cretácico Superior. Tiene flancos de suave pendiente y la direcci3n de su eje es NW-SE. Otros anticlinales de menor magnitud se encuentran en los alrededores y se muestran en la figura 4.

A pesar de lo tendido de los plegamientos de la serranía El Burro y lomerío Peyotes, sus buzamientos propician la existencia de zonas fracturadas.

Cabe mencionar que en el flanco occidental del Anticlinal El Burro, existe una falla importante que anuncia un desplazamiento vertical o salto de alrededor de 1250 m con el bloque caído hacia el este. Se trata de una falla normal originada como consecuencia del relajamiento de la deformación Laramide. Esta falla se conoce con el nombre de El Cedral y tiene importancia geohidrológica, ya que aparentemente constituye una barrera al flujo subterráneo y forma el límite sur del acuífero. En anticlinorio El Burro-Peyotes ha estado expuesto desde el Mioceno y gran parte del rejuvenecimiento de cavernosidad para las calizas del subsuelo se debe al efecto propicio de las aguas meteóricas durante este lapso de tiempo bajo condiciones sub-aeriales.

Por otra parte, MICARE (1999) señala, basándose en imágenes Landsat, que el Río Bravo está controlado por un sistema de fallas y fracturas orientadas Norte-Sur y Este-Oeste e indica que en el subsuelo existe un sistema de fallas escalonadas de bajo desplazamiento, de hasta 30 m, orientadas principalmente en dirección NW-SE.

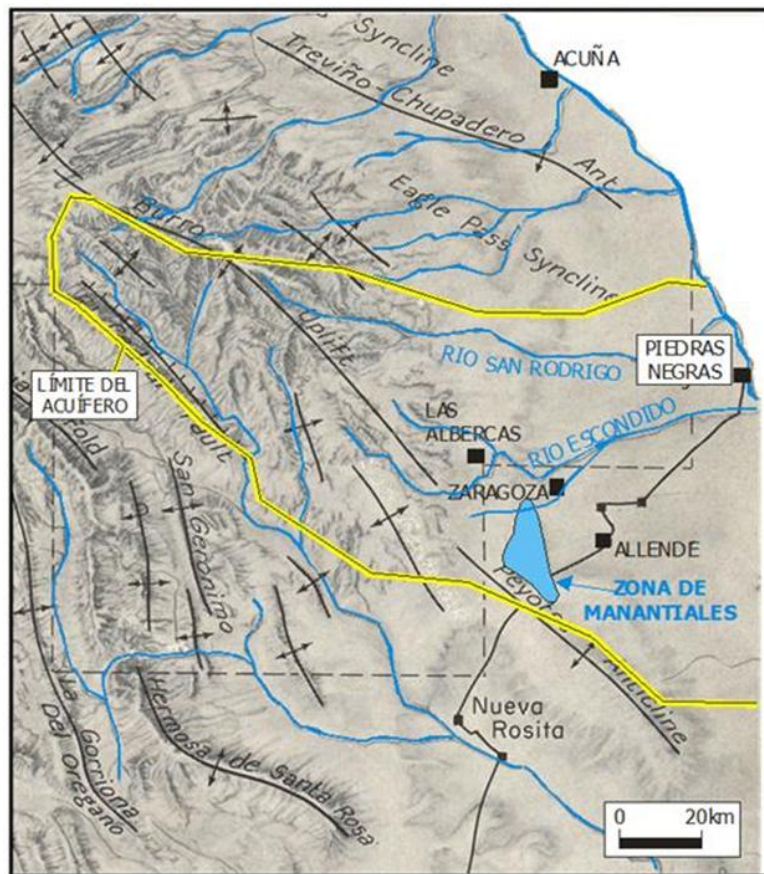


Figura 4. Geología estructural

4.3. Geología del Subsuelo

Para ilustrar de manera simplificada la distribución de las rocas en el subsuelo, en la figura 5 se muestra un croquis de una sección geológica regional donde se observa el levantamiento anticlinal que forma la Sierra del Burro, el cual presenta flancos de suave pendiente.

La sierra se puede describir como la mitad de una “gran cebolla”, cuyas capas en la parte superior de la sierra, han sido cortadas por erosión. El núcleo corresponde a las rocas permeables del Cretácico Inferior, mientras que la porción externa forma una banda anular. En los cañones de la sierra y en el plano geológico, es notable el afloramiento de las capas inferiores o de la parte baja del Cretácico Inferior, algunas de ellas por su poco espesor y posición casi horizontal, semejan curvas de nivel.

Afloran rocas calizas del Cretácico Inferior correspondientes a las unidades McKnight y Salmon Peak, que forman el flanco oriente de la Sierra del Burro. Estas, al igual que el resto de las formaciones cretácicas, presentan una inclinación de entre 3 y 5° en dirección al oriente.

Rodeando a las formaciones mencionadas, se encuentran unidades del Cretácico Superior conocidas como Del Río, Buda, Eagle Ford y Austin. Estas formaciones dan origen a lomeríos y elevaciones topográficas menores, mientras que entre El Remolino, El Bambilete, Las Albercas y su prolongación al sur hasta el Río Escondido, se encuentra un valle alargado provocado por la erosión de la Formación Del Río, la cual está constituida por lutitas calcáreas que son más fáciles de erosionar que las calizas. Esto da origen a una morfología que permite identificar claramente el límite entre las rocas del Cretácico Inferior (hacia el poniente de El Remolino y Las Albercas), de las rocas del Cretácico Superior (al oriente del valle entre los mismos poblados mencionados).

Hacia la parte central y oriente de la zona, donde se ubican los poblados de Zaragoza, Morelos, Nava y Allende, se extiende una planicie que se continúa hasta el Río Bravo, la cual está formada por materiales granulares del Terciario (Conglomerado Sabinas-Reynosa), cubiertos por una capa de aluvión Cuaternario. Destaca el Conglomerado Sabinas-Reynosa, el cual constituye un importante acuífero que es explotado para uso agrícola e industrial.

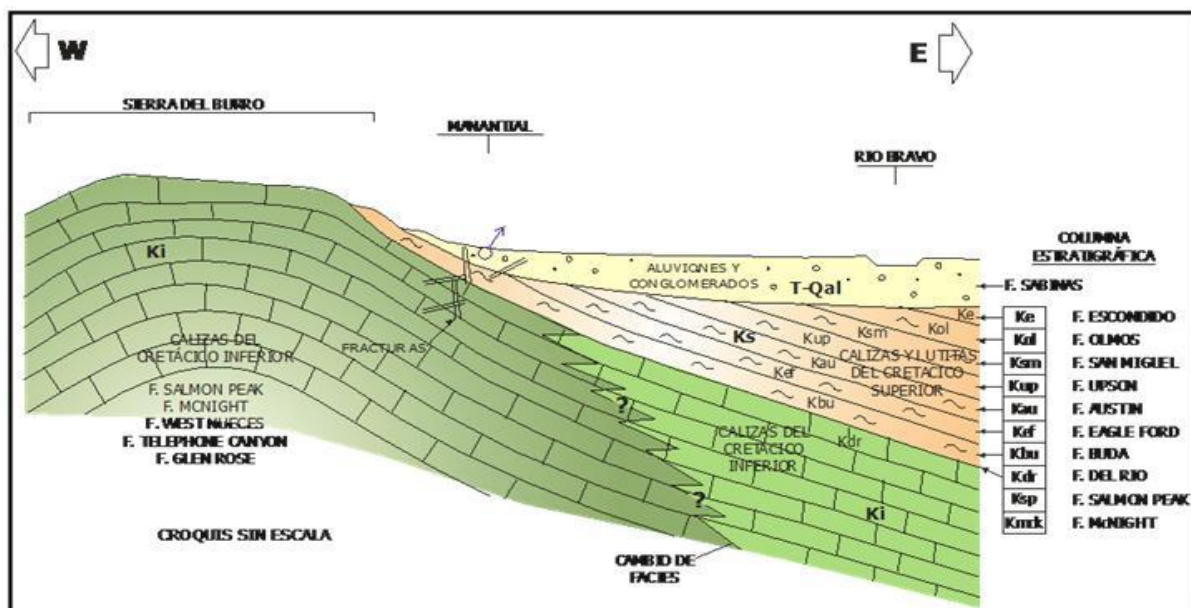


Figura 5. Geología del subsuelo

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de Acuífero

El acuífero en las calizas del Cretácico Inferior de la Sierra del Burro, se recarga en las partes altas de la sierra y el flujo subterráneo circula hacia el sureste. El agua se encuentra confinada y con una presión hidrostática que le imprime la posición del nivel piezométrico en la zona de recarga. Esta agua sale a través de fracturas que forman los manantiales que existen en la zona ubicada entre Zaragoza, Morelos y Allende. Estos manantiales constituyen los “vertedores naturales de demasías” del acuífero calizo de la Sierra del Burro. Por otra parte, varios pozos perforados al pie de la Sierra del Burro, son brotantes o artesianos. El acuífero funciona como **confinado y semiconfinado** en algunas partes de su extensión.

5.2. Parámetros hidráulicos

Los valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento, han sido obtenidos a través de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos. Existen valores de transmisividad muy variados. En los pozos ubicados en las rocas calizas, la transmisividad es alta, de **20 a 40 x 10⁻³ m²/s**. Hacia la planicie de Allende-Piedras Negras, la Formación Sabinas-Reynosa presenta conglomerados con cavidades de gran tamaño que provocan alta transmisividad, donde se obtuvieron valores de más de 40 x 10⁻³ m²/s. Existen otros aprovechamientos donde la transmisividad es menor, del orden de **0.1 a 5.0 x 10⁻³ m²/s**.

Los valores de coeficiente de almacenamiento reportados en trabajos previos, es de **10⁻² y 10⁻³** en la zona de Morelos; del orden de **10⁻⁴** en la mayor parte de la planicie de Allende-Piedras Negras.

5.3. Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, información que corresponde a los años 2006, 2007 y 2008.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático para marzo-mayo del 2008 presenta valores que varían entre 7 y 20 m, al norte de la carretera Allende-Piedras Negras y en la zona de extracción de carbón de MICARE, debido al “achique” de agua que se realiza en sus tajos de explotación de carbón. Valores de 5 a 7 m se registran al noreste de los tajos, debido a la recarga artificial por el retorno del agua de “achique” de las minas. Al sureste de Nava se presentan valores que oscilan entre 3 y 5 m debido tanto a la baja topografía del terreno, como a la infiltración de los retornos de riego en la zona agrícola; en tanto

que al poniente de Morelos varían entre 10 y 30 m debido a que se eleva la superficie del terreno (figura 6).

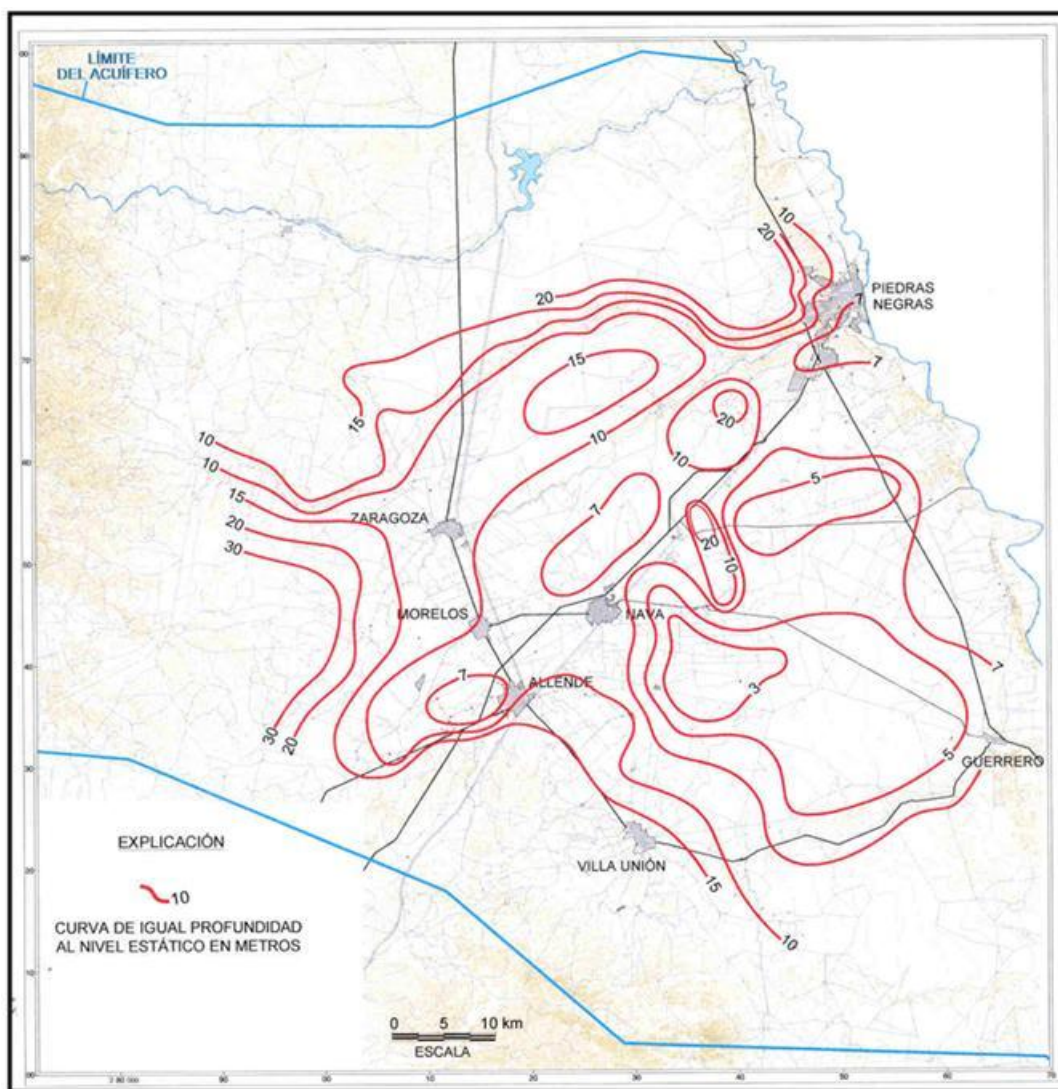


Figura 6. Profundidad al nivel estático en metros (2008)

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático para (marzo-mayo del 2008) se muestra en la figura 7. El flujo subterráneo se establece de las estribaciones de la Sierra del Burro (Zaragoza, Morelos, Allende y Villa Unión), hacia el oriente, hasta el Río Bravo, entre Piedras Negras y Guerrero.

Al poniente de la zona configurada se identifica la curva de 440 msnm, a partir de la cual los valores descienden en forma gradual en dirección este-noreste hasta los 360 msnm, a la altura de Morelos. En la zona de los tajos de MICARE, se presenta la curva cerrada de 280 msnm, indicando un cono piezométrico que se forma por el “achique” del agua de los tajos para la explotación del carbón. El flujo continúa hacia el Río Bravo, donde alcanza la cota 220 msnm, descargado hacia él mediante salidas por flujo subterráneo.

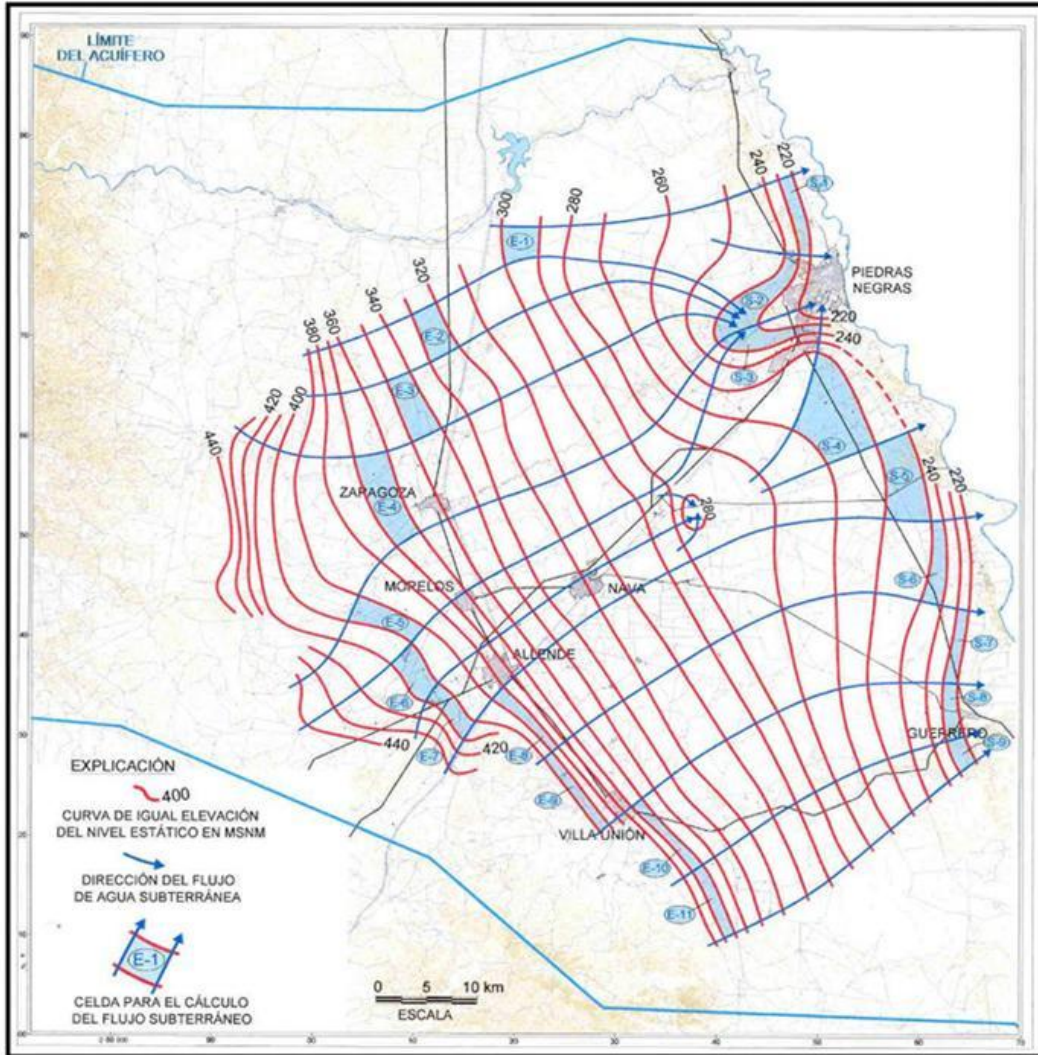


Figura 7. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

Como se establece más adelante, para efectos del balance de aguas subterráneas, se denominó *acuífero calizo* al que se manifiesta en pozos artesianos y manantiales y *acuífero superficial* al ubicado en los conglomerados (y calizas Austin) en la planicie entre Allende-Piedras Negras.

Se analizó el comportamiento piezométrico entre los acuíferos *calizo* y *superficial*. Observándose que ambos acuíferos están conectados y presentan los mismos valores piezométricos.

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático para el periodo 2006-2008, mostrada en la figura 8, se observan valores tanto negativos como positivos. Los primeros indican abatimientos de hasta 1 anual y se registran al norte de Zaragoza. Los valores positivos indican recuperación de los niveles del agua subterránea, de 0.5 a 1.0 m anuales hacia la zona de los tajos y Allende-Villa Unión respectivamente.

Como puede observarse, predomina os valores de recuperación, que son el reflejo de lluvias superiores a la media anual que se han registrado en los últimos años. Al norte de los tajos, también influye la recarga artificial que realiza la zona minera y la CFE.

Sin embargo, esta región presenta periodos de estiaje que pueden prolongarse por 5 y hasta 8 años, en los cuales se manifiesta de manera clara un abatimiento regional de los niveles y el descenso del aporte de los manantiales, como se registró en el año del 2002.

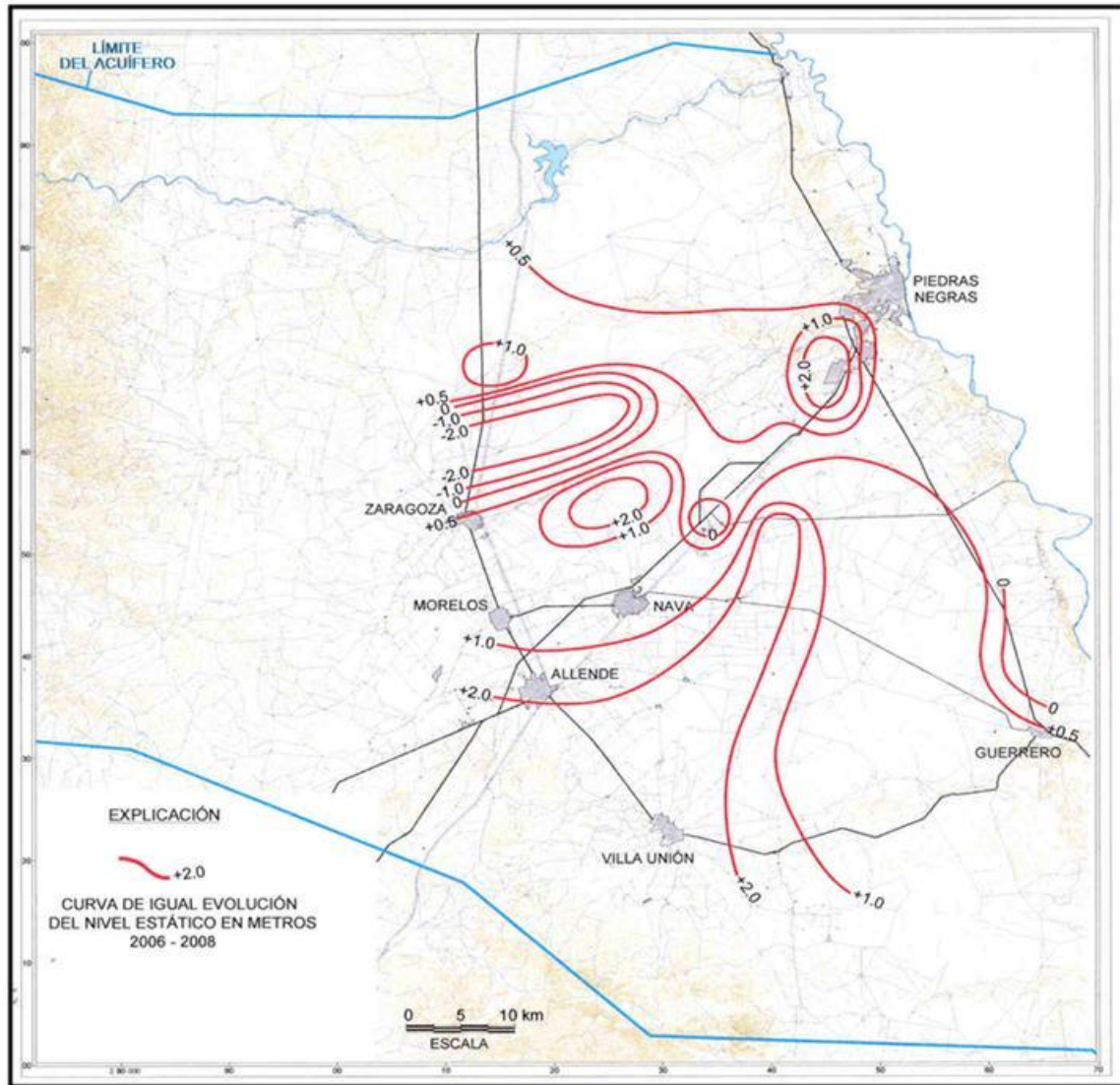


Figura 8. Evolución del nivel estático en m (2006-2008)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo realizados en estudios previos (Lesser, 2003 y COPEI, 2006), se tomaron muestras de agua en 55 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Además de las mediciones hechas in situ, las determinaciones de laboratorio incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos

totales disueltos. Adicionalmente, se determinó la concentración de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad media (C_2), alta (C_3) o muy alta (C_4) y contenido bajo de sodio (S_1) a muy alto (S_4). De las 55 muestras analizadas, 20 se clasifican como C_2-S_1 , 32 como C_3-S_1 , 2 como C_4-S_1 y una muestra C_4-S_4 .

La configuración de la salinidad del agua expresada como conductividad eléctrica se presenta en la figura 9, para la porción del centro-oriental del acuífero, observándose curvas que varían desde 300 hasta 600 $\mu\text{mhos/cm}$ al pie de la Sierra de Burro. Los valores más bajos se encuentran hacia la porción poniente y se incrementan gradualmente hacia el oriente, congruente con la dirección preferencial del flujo subterráneo.

Existe una relación entre la salinidad del agua y su composición química. Al poniente, el agua subterránea está caracterizada por presentar menos de 400 ppm de sólidos totales disueltos, bajas concentraciones de sulfatos, generalmente menores de 32 ppm, y pertenecer a la familia cálcico-bicarbonatada.

El agua de la familia cálcico-bicarbonatada se encuentra en pozos y manantiales ubicados en esta porción del acuífero. Corresponde a agua que ha tenido contacto con rocas calizas de las cuales disuelve los carbonatos y el calcio. Los carbonatos en el agua pasan a bicarbonatos que es una forma más estable del mencionado ión.

En contraste, los aprovechamientos ubicados hacia la porción centro-oriental del acuífero, se caracterizan por presentar agua con más de 1,000 ppm de sólidos totales disueltos (Lesser, 2003), concentraciones altas de sulfatos, asociados a la familia cálcico-sulfatada. Estos valores altos son puntuales, como los presentados en las inmediaciones de Zaragoza y Morelos, y se asocian a la disolución de yesos y anhidritas de la Formación Mcknight, a través de fracturas y conductos de disolución.

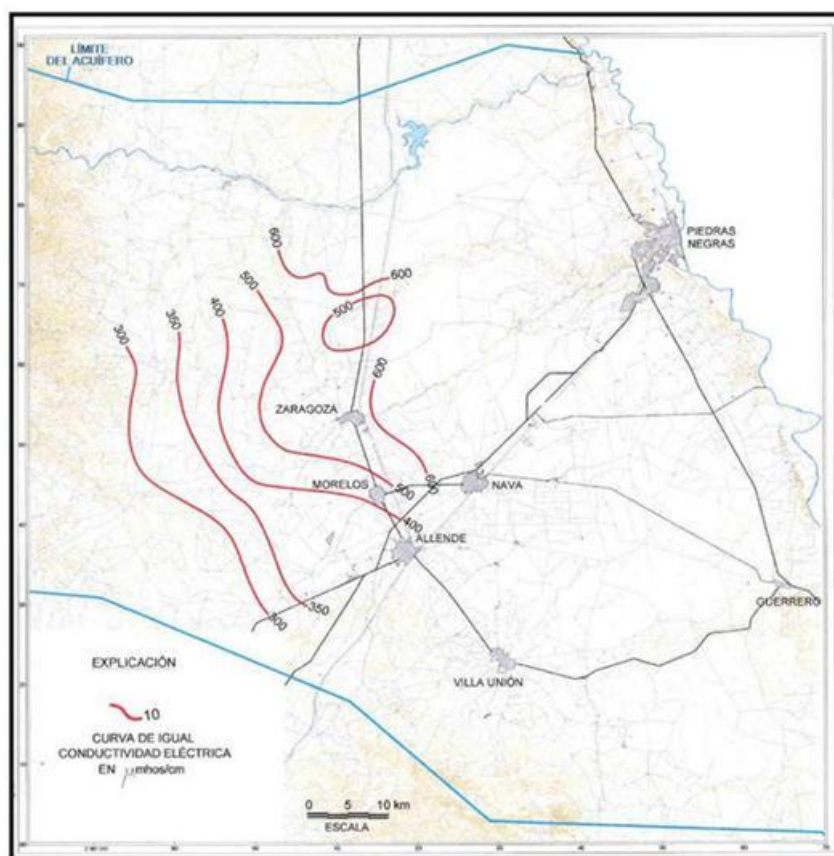


Figura 9. Conductividad eléctrica del agua subterránea (micromhos/cm)

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

Se integró el censo de aprovechamientos de agua subterránea con los datos reportados por los estudios previos que se mencionan y se complementó esta actividad con visitas de campo realizadas en el 2008. El total de captaciones registradas en el acuífero Allende-Piedras Negras es de 778 de las cuales 675 corresponden a pozos, 64 a manantiales y 39 a norias. El volumen de extracción conjunta asciende a 425.9 hm³ anuales, destinados en su mayor parte a riego y en menor proporción a uso industrial y doméstico.

Del total de la extracción, 332.3 hm³ (78 %) se destinan al uso agrícola, 60.0 hm³ (14.1 %) al uso industrial, 18.5 hm³ más (4.3%) para abastecimiento público-urbano y los 15.2 hm³ restantes (3.6%) para uso doméstico abrevadero.

De este total, 172.3 hm³ son descargas que se realizan dentro de la zona de balance, de los cuales 130.5 corresponden a pozos y 41.8 a descargas de manantiales, y los 253.6 hm³ restantes corresponden a descargas que ocurren fuera del área de balance, de los cuales 226.7 hm³ corresponden a descarga de manantiales y los 26.9 hm³ restantes a extracciones por bombeo. Dentro de la zona de balance la extracción asciende a **87.4 hm³/año**.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance para 2008 se realizó en una superficie de 2 946 km² del valle, en la que están dispersos los aprovechamientos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

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

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

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

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

7.1. Entradas

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

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y de las fugas de agua potable en los sistemas de distribución recargan al acuífero. Debido a que el uso público-urbano es menor, solo se considera la infiltración por retornos del riego (Rr). Adicionalmente se produce infiltración del agua conducida a través de los canales de riego (Ic). De manera artificial se infiltra el agua (Ra) procedente de los tajos de explotación de carbón que realiza la empresa MICARE.

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

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

$$Rv + Rr + Ic + Ra + Eh - B - Sh - Dm - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Rv: Recarga Vertical
Rr: Recarga por retornos de riego
Ic: Infiltración en canales
Ra: Recarga artificial
Eh: Entradas por flujo subterráneo horizontal
B: Bombeo
Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal
Dm: Descarga a través de manantiales
ETR: Evapotranspiración real
 $\Delta V(S)$: Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = B + Sh + Dm + ETR \pm \Delta V(S) - Eh - Ic - RA - Rr \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (figura 7), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

Donde:

Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;
T = transmisividad;
B = ancho de la celda;
i = gradiente hidráulico

En esta configuración se seleccionaron canales o celdas de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la Tabla.2 se puede observar que para las celdas identificadas se presenta un flujo de entrada de **69.3 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	3233	3650	10	0.0027	0.001	0.0089	0.3
E2	5148	2899	10	0.0034	0.002	0.0355	1.1
E3	6549	2956	10	0.0034	0.003	0.0665	2.1
E4	9251	3280	10	0.0030	0.004	0.1128	3.6
E5	6875	2181	10	0.0046	0.018	0.5674	17.9
E6	4858	2560	10	0.0039	0.008	0.1518	4.8
E7	5384	1871	10	0.0053	0.008	0.2302	7.3
E8	8023	1230	10	0.0081	0.004	0.2609	8.2
E9	9220	1117	10	0.0090	0.004	0.3302	10.4
E10	8900	1108	10	0.0090	0.004	0.3213	10.1
E11	7437	1313	10	0.0076	0.002	0.1133	3.6
Total entradas							69.3

7.1.3 Recarga por retornos de riego (Rr)

Esta componente de recarga debida a la infiltración de los excedentes del riego agrícola, se estimó considerando una superficie de 300 km², obtenida a través de imágenes de satélite, la cual se multiplicó por una lámina promedio de riego de 1.0 m y por un coeficiente de infiltración de 0.08, tomando en cuenta la presencia de caliche y en menor grado arcillas en la capa superficial del suelo. Con esto, se obtuvo un volumen de infiltración por retornos de riego de **24.0 hm³/año**.

7.1.4 Infiltración en canales (Ic)

La infiltración en canales de riego, se calculó multiplicando el volumen que se conduce a través de dichos canales (210 hm³/año), por un factor 0.08, con lo que se obtuvo un volumen de infiltración a partir de los canales, de **16.8 hm³/año**.

7.2. Salidas

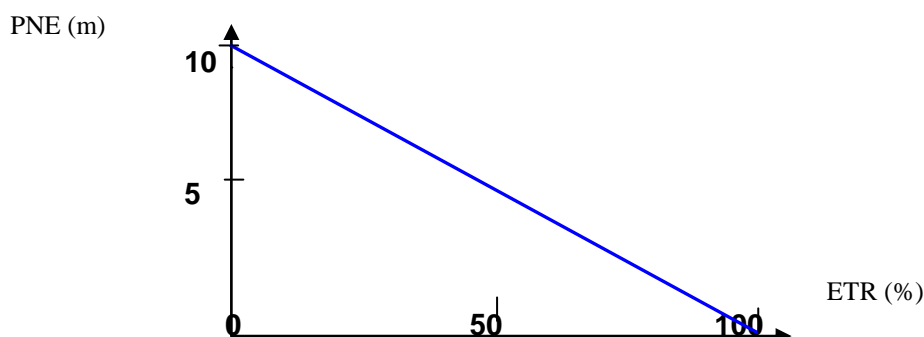
7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

Existe una zona del área de balance donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m de profundidad, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de las plantas. Se aplicó la fórmula de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración real es de 487.8 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 21° C y precipitación de 500 mm.

Fórmula de Turc:	$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$		$L = 300 + 25T + 0.05T^3$
T (°C) =	21	P ² =	250000
P(mm) =	500	L ² =	1659072.8
L =	1288.05		
ETR (mm)	487.8		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Si consideramos que sólo en una superficie de 191 km² se registran niveles freáticos someros, donde la profundidad media es del 3 m, y la lámina de evapotranspiración real es de 478.8 mm, de acuerdo con la gráfica anterior:

$$ETR = 191 \text{ km}^2 (0.4878 \text{ m}) (0.7) = 65.2$$

$$ETR = 65.2 \text{ hm}^3/\text{año.}$$

7.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

El valor de la descarga de los manantiales que existe dentro de la zona de balance (Dm), se obtuvo directamente mediante el su aforo. Para tener un valor total, se consideró la información de los aforos realizado en trabajos previos que consideraron diferentes áreas de estudio. Como resultado se obtiene un valor promedio anual de **41.8 hm³**. En la tabla 3 se muestra el valor de la descarga de los manantiales y la extracción mediante pozos, dentro y fuera de la zona de balance considerada.

Tabla 3. Descarga de los manantiales y extracción por bombeo, dentro y fuera de la zona de balance

CENSO	EXTRACCION TOTAL hm ³ /año	DENTRO DEL AREA DE BALANCE		FUERA DEL AREA DE BALANCE	
		POZOS	DESCARGA DE MANANTIALES	POZOS	DESCARGA DE MANANTIALES
LESSER 2002	43.35	43.35			
LESSER 2003	224.82	14.65	16.90	18.12	175.15
BETSCO 2006	21.68	13.26	1.31	7.11	
COPEI 2006	0.034	0.034			
LESSER 2007	0.030	0.025		0.005	
LESSER 2008	84.93	8.09	23.62	1.64	51.58
CFE 2008	8.0	8.00			
SUMA	382.844	87.41	41.83	26.875	226.73

7.2.3 Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría el valor de la extracción por bombeo, dentro de la zona de balance asciende a **87.4 hm³/año**.

7.2.4 Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del NE presentado en la figura 7. El Valor estimado es de **22.3 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	8025	1420	10	0.0070	0.0002	0.0113	0.4
S2	9662	2737	10	0.0037	0.001	0.0353	1.1
S3	8419	1735	10	0.0058	0.002	0.0970	3.1
S4	7984	6177	10	0.0016	0.005	0.0646	2.0
S5	8417	3761	10	0.0027	0.005	0.1119	3.5
S6	8435	1740	10	0.0057	0.002	0.0970	3.1
S7	7481	1212	10	0.0083	0.002	0.1234	3.9
S8	5560	1623	10	0.0062	0.004	0.1370	4.3
S9	2973	1952	10	0.0051	0.002	0.0305	1.0
Total salidas							22.3

7.3. Cambio de almacenamiento (ΔV(S))

Para obtener el cambio de almacenamiento en la zona de balance, se utilizó la configuración de la evolución del nivel estático del periodo 2006-2008 y un coeficiente de almacenamiento entre 0.005 y 0.03, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$\Delta V(S)$: Cambio de almacenamiento en el período analizado

S: Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

A: Área entre curvas de igual evolución del nivel estático

h: Valor medio de la variación piezométrica en el período

El resultado obtenido refleja un cambio positivo en el almacenamiento, con un valor de $\Delta V(S) = 28.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento

SUPERFICIE (km ²)	EVOLUCION (m)	S	$\Delta V(S)$ (hm ³ /a)
343.9	2.00	0.03	20.6
382.0	1.50	0.03	17.2
24.6	2.00	0.03	1.5
43.8	1.50	0.03	2.0
1026.6	0.75	0.02	15.4
297.6	0.25	0.03	2.2
23.5	2.00	0.02	0.9
25.5	1.50	0.02	0.8
18.6	1.00	0.02	0.4
281.4	0.75	0.01	2.1
248.5	0.25	0.005	0.3
44.4	-0.50	0.03	-0.7
43.7	-1.50	0.03	-2.0
71.7	-2.00	0.03	-4.3
TOTAL			56.5
PROMEDIO 2006-2008			28.2

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical (Rv). De la ecuación (2), se tiene que:

$$Rv = B + Sh + Dm + ETR \pm \Delta V(S) - Eh - Ic - Rr \quad (2)$$

Sustituyendo valores:

$$Rv = 87.4 + 22.3 + 41.8 + 65.2 + 28.2 - 69.3 - 16.8 - 24.0$$

$$Rv = 134.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Recarga en la Sierra del Burro (Rsb)

La recarga en la Sierra del Burro corresponde a la descarga de agua que se genera a partir de los manantiales ubicados fuera de la zona de balance (Dmf), más la extracción por pozos fuera de la zona de balance (Bf).

Por lo tanto al valor de la recarga procedente de la Sierra del Burro, estimada como la suma de la descarga de los manantiales fuera del área de balance (226.7 hm³/año) y la extracción por bombeo, obtenida mediante hidrometría, que se produce fuera del área de balance definida en el valle (26.9 hm³/año). Sin embargo, debido a que el volumen de descarga de los manantiales se utiliza para el

riego agrícola, debe descontarse de él el valor de los retornos por los excedentes de riego (24.0 hm³) y la infiltración que se produce en los canales de conducción (16.8 hm³).

De esta manera $Rsb = (Dmf - Rr - Ic) + Bf = (226.7 - 24.0 - 16.8) + 26.9 = 212.8$

Rsb = 212.8 hm³ anuales

Las entradas subterráneas son adicionales o independientes de las descargas de manantiales, debido a que aunque están calculadas aproximadamente en el mismo sitio, por el subsuelo fluyen las entradas subterráneas, alimentadas por las lluvias en la Sierra del Burro, y en la superficie escurren los volúmenes de los manantiales.

7.4. Recarga Total (Rt)

Por lo tanto el valor de la recarga total que recibe el acuífero (Rt), es la suma de la recarga que se produce dentro de la zona de balance, más la que tiene lugar fuera de ella, en la Sierra del Burro es igual a la suma de las entradas.

$Rt = (Rv + Eh + Ic + Ir) + Rsb$

$Rt = 134.8 + 69.3 + 24.0 + 16.8 + 212.8 = 457.7$

Rt = 457.7 hm³ anuales

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS \quad (3)$$

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

Rt = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

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

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual (Rt) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este acuífero su valor es de **457.7 hm³ anuales**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero

Para el caso del acuífero Allende-Piedras Negras, la descarga natural comprometida corresponde a la descarga asciende a **290.8** hm³/año, que corresponde a la suma de la descarga de los manantiales que se localizan tanto dentro de la zona de balance (41.8 hm³) como fuera de ella (226.7 hm³), más las salidas por flujo subterráneo hacia el río Bravo (22.3) que se deben comprometer para apoyar el tratado de aguas internacionales con los EUA.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

De acuerdo a la información existente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), el volumen concesionado de aguas subterráneas para este acuífero al **31 de marzo del 2009**, es de **148 224,984 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA.

La disponibilidad de aguas subterráneas para el área de balance acuerdo a la expresión (3), es:

$$\begin{aligned} \text{DAS} &= 457.7 - 290.8 - 148.224984 \\ \text{DAS} &= 18.675016 \end{aligned}$$

La cifra indica que existe un volumen disponible de **18 675,016 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFIA

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1981. Estudio de evaluación geohidrológica preliminar de la zona de Río Escondido en el Estado de Coahuila. Elaborado por la empresa TACSA.

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1993. Estudio geohidrológico Centrales Termoeléctricas Carbón I y II, Piedras Negras, Coahuila.

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1994. Reporte sobre el resumen y evaluación de estudios geohidrológicos realizados para el abastecimiento de agua a las Centrales Termoeléctricas Carbón I y II, mediante las alternativas de explotación del sistema acuífero calizo de la porción norte del Estado de Coahuila.

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1998. Estudio Geohidrológico del Sistema Acuífero en Calizas de la Porción Norte del Estado de Coahuila.

COMISIÓN DE AGUAS Y SANEAMIENTO DE COAHUILA, 2002. Actualización y evaluación geohidrológica del acuífero Allende-Piedras Negras (Zona Micare), Coahuila. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 1980. Estudio geohidrológico de la zona Allende-Piedras Negras, Coahuila, Elaborado por la empresa Anáhuac, S. A.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 2000. Estudio sobre reactivación de redes de monitoreo del área Allende-Piedras Negras.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 2006. Estudio para determinar la recarga, almacenamiento y descarga de agua subterránea en los acuíferos de la Serranía del Burro, Cerro Colorado-La Partida, Presa la Amistad, Palestina y Allende-Piedras Negras, en diversos municipios del Estado de Coahuila. Elaborado por Consultoría BETSCO, S. A

GRUPO MODELO, 2003. Estudio para determinar la potencialidad del acuífero del área entre Zaragoza y las Albercas, Coahuila. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V.

GRUPO MODELO, 2008. Estudio Técnico para Determinar la Disponibilidad de Agua Subterránea en el Acuífero Allende-Piedras Negras, Coahuila. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V.

MINERA CARBONÍFERA RÍO ESCONDIDO, 2006. Balance geohidrológico del acuífero Allende-Piedras Negras, Coahuila, elaborado por COPEI Ingeniería, S. A. de C. V.