

RED DE MONITOREO AUTOMÁTICA DEL ACUÍFERO DE CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA

Informe final

**SUBCOORDINACIÓN HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA
COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA**

M. en C. Carlos Gutiérrez Ojeda
M. en I. Gerardo Ortiz Flores

México, 2014

CONTENIDO

1.	GENERALIDADES.....	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Objetivos.....	1
1.3.	Área de estudio.....	1
1.4.	Población y actividad económica.....	4
1.5.	Metodología de trabajo	4
1.5.1	Actividades preliminares	4
1.5.2	Perforación de los pozos de observación	4
1.5.3	Adquisición de los instrumentos de medición automáticos	4
1.5.4	Nivelación de brocales en pozos y “pozas”	5
1.5.5	campana de medición y supervisión	5
1.5.6	Informe final	5
2.	MARCO FÍSICO	6
2.1.	Fisiografía	6
2.2.	Climatología.....	11
2.3.	Hidrografía e hidrología superficial	18
2.4.	Geología regional	18
2.5.	Estratigrafía	18
2.6.	Geología estructural	29
3.	Hidrología subterránea.....	34
3.1.	Instrumentación del acuífero.....	34
3.1.1.	Perforación de los cinco pozos de observación en la porción oriente	34
3.2.	Pozos de observación	39
3.3.	Nivelación de brocales.....	43
3.4.	Campaña de medición	46
3.5.	Historia piezométrica	54
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.	REFERENCIAS	60

ANEXOS

1. Álbum fotográfico de los pozos que componen la red de monitoreo.
2. Álbum fotográfico de las actividades relacionadas con las perforaciones.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Localización de la zona de estudio	3
Figura 2.1	Provincias fisiográficas.	10
Figura 2.2	Precipitación media mensual en la zona de estudio	13
Figura 2.3	Evaporación media mensual (mm) en la estación Cuatrociénegas	15
Figura 2.4	Temperatura media mensual (°C) en la estación Cuatrociénegas.....	17
Figura 2.5	Geología del acuífero de Cuatrociénegas.....	21
Figura 2.6	Ubicación de las secciones geológicas.....	29
Figura 2.7	Sección A-A'	31
Figura 2.8	Sección B-B'	31
Figura 2.9	Sección C-C'	32
Figura 2.10	Sección D-D'.....	33
Figura 2.11	Sección E-E'	33
Figura 3.1	Ubicación de los pozos perforados en 2007	35
Figura 3.2	Esquema-tipo de pozos perforados	37
Figura 3.3	Pozos de observación en el acuífero Cuatrociénegas	42
Figura 3.4	Método de levantamiento estático con GPS.	45
Figura 3.5	Pozos y pozas con nivelación de brocales	46
Figura 3.6	Profundidad al nivel estático (septiembre 2014).	49
Figura 3.7	Elevación del nivel estático (2014).....	51
Figura 3.8	Dirección del flujo subterráneo (2014)	53
Figura 3.9	Evolución de la profundidad al nivel estático (acuífero poniente)	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Fisiografía del municipio de Cuatrociénegas	6
Tabla 2.2	Registros de precipitación (mm) de la estación Cuatrociénegas	12
Tabla 2.3	Registros de Evaporación (mm) en la estación Cuatrociénegas	14
Tabla 2.4	Registros de Temperatura (°C) en la estación Cuatrociénegas	16
Tabla 3.1	Coordenadas de los pozos perforados	36
Tabla 3.2	Características constructivas de los pozos perforados	38
Tabla 3.3	Parámetros físicos medidos en campo	39
Tabla 3.4	Nivelación de brocales en pozos y pozas seleccionadas.	43
Tabla 3.5	Nivelación de brocales en pozos y pozas seleccionadas.	45
Tabla 3.6	Profundidad al nivel estático en pozos de observación (septiembre 2014)	47
Tabla 3.7	Elevación del nivel estático en el acuífero Cuatrociénegas	50
Tabla 3.8	Profundidad al nivel estático registrada en los pozos de observación	55
Tabla 3.9	Profundidad al nivel estático registrada en los pozos de observación	55

1. GENERALIDADES

1.1. *Antecedentes*

Como resultado de los trabajos desarrollados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en el 2004, se recomendó instrumentar la cuenca del valle de Cuatrociénegas para determinar con mayor precisión las variables involucradas en el cálculo del balance hidrológico y la disponibilidad del agua subterránea.

En 2007 el IMTA realizó el proyecto “Estimación del balance y la disponibilidad del acuífero Cuatrociénegas, Coahuila”, en el cual realizó la construcción de 11 pozos de observación en la porción poniente del acuífero y con el que se complementará el conocimiento geohidrológico del acuífero así como fortalecer la preservación del sistema de pozas-laguna. El cálculo de la disponibilidad permitirá la administración del recurso hídrico subterráneo ya que de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales de México, el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad.

Con la finalidad de tener instrumentada toda la cuenca del acuífero cuatrociénegas, en 2014 se propone realizar la instrumentación de la porción oriente mediante la construcción de 5 pozos de monitoreo distribuidos en esa porción del acuífero.

1.2. *Objetivos*

Instrumentar la porción oriente del acuífero Cuatrociénegas para medir las variables involucradas en el balance hidrológico subterráneo y realizar un análisis del sistema de pozas-laguna y acuífero

1.3. *Área de estudio*

El acuífero Cuatrociénegas, identificado con la clave 0528, se localiza en la porción central del Estado de Coahuila, a unos 65 kilómetros al poniente de la ciudad de Monclova, está comprendido en el Municipio del mismo nombre y tiene una extensión superficial aproximada de 1,389 kilómetros cuadrados. Geográficamente, está limitado por los paralelos 26° 24' 16,0" y 27° 06' 56,8" de latitud norte, y por los meridianos 101° 29' 20,9" y 102° 31' 39,5", de longitud oeste; sus límites están definidos por la poligonal cuyos vértices se indican a continuación en la tabla siguiente.

Dentro del ámbito territorial del acuífero, está comprendida una superficie de 84,347-47-00 hectáreas, objeto del Decreto emitido en 1994 que la declara como Área Natural Protegida, con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna. (Figura 1.1).

Vértice	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	28	51.6	26	52	58.8
2	102	15	36.0	26	49	19.2
3	102	3	10.8	26	49	40.8
4	102	0	39.6	26	53	16.8
5	102	0	18.0	26	57	39.6
6	101	54	50.4	26	54	14.4
7	101	48	46.8	26	43	58.8
8	101	47	38.4	26	40	12.0
9	101	50	20.4	26	40	15.6
10	101	36	46.8	26	21	7.2
11	101	29	6.0	26	17	42.0
12	101	27	21.6	26	13	12.0
13	101	30	28.8	26	10	1.2
14	101	38	27.6	26	10	22.8
15	101	46	33.6	26	13	8.4
16	102	0	50.4	26	26	38.4
17	102	9	14.4	26	40	55.2
18	102	13	37.2	26	37	40.8
19	102	32	6.0	26	48	18.0
20	102	29	31.2	26	52	58.8

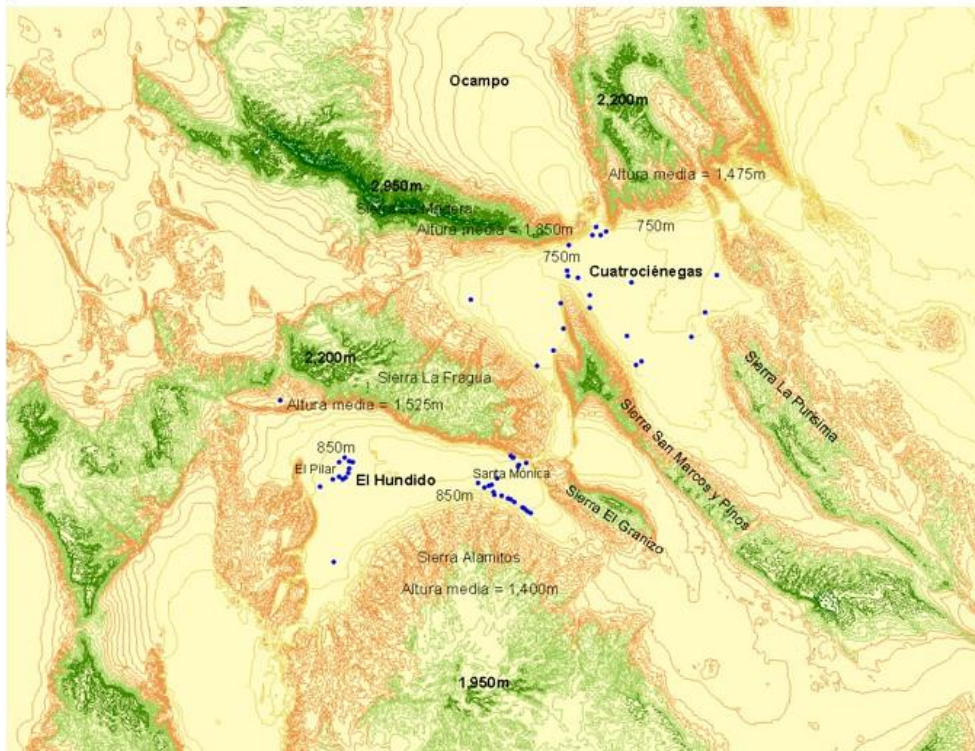


Figura 1.1 Localización de la zona de estudio

1.4. Población y actividad económica

Según datos recaudados en el último “Censo de Población y Vivienda”, aplicado en el año 2010, por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Cuatrociénegas contaba con una población de 12220 habitantes, de los cuales 6044 eran mujeres y 6176 hombres lo que se traducen en que el 50.54% de la población eran hombres y el 49.46% mujeres.

1.5. Metodología de trabajo

1.5.1 Actividades preliminares

Se realizarán visitas preliminares para: i) Mediante un oficio presentar ante la CONAGUA Dirección Local Saltillo la propuesta de realizar la instrumentación en la porción oriente del acuífero, mostrando la ubicación de los sitios para realizar la perforación de los pozos de observación, así como solicitar el permiso correspondiente; ii) Realizar una visita de campo para inspeccionar los sitios seleccionados donde se tienen proyectadas las perforaciones, identificando a los propietarios de los predios o al comisario ejidal para solicitar su permiso y iii) Iniciar con los trámites administrativos para realizar un concurso para seleccionar al prestador del servicio que realizará la construcción de los pozos.

1.5.2 Perforación de los pozos de observación

El diseño preliminar de los pozos de observación será especificado por el IMTA, en base al cual se llevará a cabo la perforación de los pozos de observación a la profundidad de 30 metros. La perforación será realizada con una máquina rotaria, donde se recolectarán muestras de roca a cada metro, se utilizará como fluido de perforación aire y espuma. Los pozos serán además con tubería de acero lisa y ranurada de 6” de diámetro. Los pozos serán terminados con losa sanitaria, brocal metálico con tapa y tornillo.

1.5.3 Adquisición de los instrumentos de medición automáticos

Serán adquiridos 15 medidores de nivel automático (Levelloggers), 10 de estos instrumentos para renovar los medidores de nivel colocados en los pozos de observación de la porción poniente en 2008 y 5 medidores de nivel para los pozos recién perforados en la porción oriente.

1.5.4 Nivelación de brocales en pozos y “pozas”

Con el objeto de referenciar las mediciones de la profundidad al nivel estático y poder realizar las configuraciones de la elevación del nivel estático para determinar el comportamiento piezométrico del nivel del agua en pozos de observación y las pozas que cuentan con instrumentos de medición (10), serán georreferenciadas con el sistema GPS.

1.5.5 Campaña de medición y supervisión

Se realizaron recorridos de campo para la medición de la profundidad al nivel estático en la red de pozos de observación y se llevará a cabo la supervisión de las cinco perforaciones en la porción oriente del valle, así como de la nivelación de los brocales.

1.5.6 Informe final

El informe final contendrá la información de campo y gabinete obtenida durante el desarrollo de las diferentes actividades.

2. MARCO FÍSICO

2.1. *Fisiografía*

El municipio de Cuatrociénegas comprende áreas que corresponden a dos provincias fisiográficas de México, las cuales son: Sierras y Llanuras del Norte y Sierra Madre Oriental. Dentro de la primera provincia, se tiene incluida la Subprovincia de las Llanuras y Sierras Volcánicas. Y de la segunda provincia incluye dos subprovincias la de Sierras y Llanuras Coahuilenses y la Subprovincia de Sierra de la Paila, como se aprecia en la Tabla 2.1, y en la Figura 2.1.

Tabla 2.1 Fisiografía del municipio de Cuatrociénegas

Provincia	Subprovincia	% de la superficie municipal
Sierras y Llanuras del Norte 2% aprox.	Llanuras y Sierras Volcánicas	2% aprox.
Sierra Madre Oriental 98% aprox.	Sierras y llanuras Coahuilenses	38% aprox.
	Sierra de la Paila	60% aprox.
FUENTE: INEGI. Carta Fisiográfica, 1:1 000 000.		

Provincias Fisiográficas

Sierras y Llanuras del Norte

Esta provincia árida y semiárida se extiende también profundamente hacia el territorio de Estados Unidos de América. Con variantes, sus sierras, más bien bajas y abruptas, se orientan burdamente nornoroeste-sursureste y quedan separadas entre sí por grandes bajadas y llanuras con relleno aluvial, a las que tradicionalmente se ha llamado "bolsones". Una parte de la cuenca del río Conchos, afluente del Bravo, se integran a la cuenca de éste último en la región de la ciudad de Chihuahua, pero al noroeste de la misma y al sureste del Conchos, (Bolsón de Mapimí), el drenaje es interno. Al sur de Ciudad Juárez se encuentra uno de los campos de dunas más extensos del país, el de Samalayuca, en el sur de la provincia se extiende hacia el oriente una saliente, que es la Laguna de Mayrán (o Bolsón de Coahuila), lecho seco en la actualidad, de lo que fuera en tiempos pasados un enorme lago. Hoy es una de las zonas más áridas del país, con salinidad en su eje central, pero aún con áreas inundables por chubascos esporádicos.

La Subprovincia de Llanuras y Sierras Volcánicas, tienen dos salientes que penetran en territorio coahuilense y ocupan 14 002.66 km², lo que significa un 9.23% de la superficie total estatal. Una inmediatamente al sur del Bolsón de Mapimí, muy llano y árido, y la región plana al este de la ciudad de Torreón. Los suelos que se encuentran en abundancia son Xerosoles y Yermosoles, dominan los suelos someros de colores claros -Litosol y Regosol calcárico-, con baja capacidad de retención de nutrientes y muy pobres en materia orgánica.

Sierra Madre Oriental

Esta provincia corre, en sentido paralelo a la Costa del Golfo de México desde la frontera norte del país hasta sus límites con el Eje Neovolcánico en la cercanía de Teziutlán, Puebla. A la altura de Monterrey, Nuevo León, una de sus ramas tuercen abruptamente al oeste para extenderse hasta la Sierra Madre Occidental al norte de Cuencamé, Durango, la otra continúa hacia el norte para terminar en la región de Big Bend, Texas. Colinda al norte y noroeste con la Provincia de las Sierras y Bolsones; al oeste con la Mesa Central y, en una pequeña franja del extremo noroeste, con la Sierra Madre Occidental; al sur con la Provincia del Eje Neovolcánico y al este con la Llanura Costera del Golfo Norte y la Gran Llanura Norteamericana. Abarca partes de los estados de Durango, Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Veracruz, Hidalgo y Puebla. La Sierra Madre Oriental es, fundamentalmente, un conjunto de sierras menores de estratos plegados. Estos estratos son de antiguas rocas sedimentarias marinas (con edades que van del Cretácico y del Jurásico Superior), entre las que predominan las calizas y, en segundo término, las areniscas y las lutitas.

La Subprovincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses incluyen una parte del municipio de Cuatrociénegas, entre otros. En superficie, la subprovincia ocupa, dentro del Estado de Coahuila, 43 937.56 km². En esta región dominan los Litosoles, Rendzinas. También se encuentran Regosoles calcáricos, Xerosoles lúvicos, háplicos y cálcicos, Planosol mólico, Feozem háplico, Castañozem háplicos, Solonchak órtico, así como Vertisol crómico.

La Subprovincia de la Sierra de la Paila consta de un conjunto de sierras y bolsones amplios, de drenaje interno, con bajadas y abarca dentro del estado de Coahuila 19 229.68 km², que representan el 12.68% de la superficie total estatal.

En su parte occidental se tiene el bolsón conocido como Valle Buenavista, limitado al oeste por la Sierra de Tlahualilo y al este con las elevaciones llamadas de Albardienta, que alcanza 1 800 msnm. En el oriente se tiene la Sierra de la Paila propiamente, de estructura cómica y flancos suaves, excepto en el noroeste, donde es afectado por un afallamiento.

Tres bolsones, con pisos a menos de 1 000 msnm, llamados valles El Sobaco, El Hundido y el de San Marcos y Los Pinos ocupen el norte de la subprovincia. La dominancia de las calizas es casi completa en la sierra, excepto en el Valle de San Marcos y Los Pinos, donde afloran rocas volcánicas basálticas sobre un área de consideración.

Los suelos que abundan en esta región son los Litosoles y Regosoles calcáricos, también se encuentran Rendzinas, Xerosoles cálcicos y háplicos, Castañozems, Feozems y Yermosoles háplicos y cálcicos.

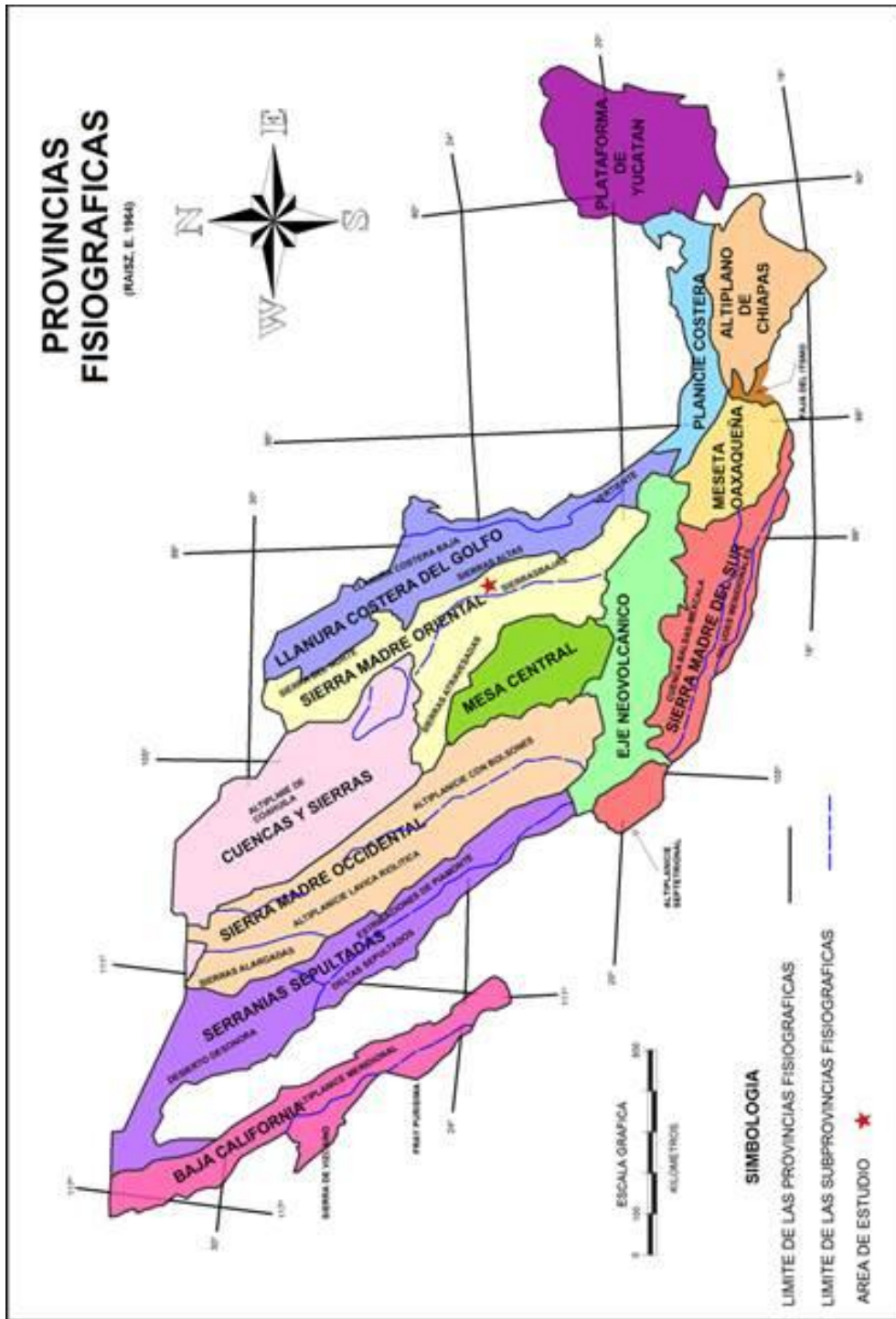


Figura 2.1 Provincias fisiográficas.

2.2. Climatología

Clima

El Estado de Coahuila está situado, en su mayor parte, en el oriente de una gran área climática denominada como Desierto de Chihuahua, o Desierto del Norte de México. Se caracteriza por poseer climas continentales, secos y muy secos, que van desde los semicálidos, predominantes en los bolsones coahuilenses, hasta los templados de las partes más altas y las más septentrionales (INEGI, 2004).

Los climas muy secos se encuentran sobre las extensas llanuras del poniente de Coahuila y en el centro de la entidad se presentan climas muy secos semicálidos, con lluvias en verano que coinciden con las temperaturas más altas e inviernos frescos. La influencia de estos climas abarca grandes áreas del estado, en el Bolsón de Mapimí, las lagunas de Mayrán y Viesca, la Comarca Lagunera, y además en el norte de la entidad, y su parte central, como en el gran llano de Ocampo, y los de San Marcos, Cuatrociénegas, El Sobaco y El Hundido.

Las escasas precipitaciones pluviales, que promedian anualmente entre unos 100 a 400 mm y se presentan en su gran mayoría en el verano, en forma de unos cuantos aguaceros y es relativamente común la condición de canícula o sequía interestival, que se presenta, entre otras zonas, en Ocampo y Mayrán.

La estación Cuatrociénegas se utilizó para el análisis de la precipitación, evaporación y temperatura, el periodo de análisis comprende desde 1942 hasta 2003, los datos se extrajeron de la base electrónica de datos Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC II, 1999). También se recabo la información de precipitación de los años de 1999 a 2003 de las oficinas de la CNA en Coahuila. Además los datos faltantes se complementaron con los promedios mensuales, dejando solamente fuera del análisis los años sin registros.

La estación se localiza en el municipio del mismo nombre con las siguientes coordenadas: 102.07° de longitud oeste y 26.98° de latitud norte.

Precipitación

La precipitación promedio anual en la zona de estudio es de 219 y 137 mm para las estaciones Cuatrociénegas y Santa Teresa de Sofía, respectivamente. La primera se ubica dentro del poblado del mismo nombre, mientras que la segunda en el Valle El Hundido. El

registro de datos de la estación Santa Teresa de Sofía es de 1991 al 2004 mientras que para la estación Cuatrociénegas el periodo es de 1942 a 2003 (Tabla 2.2). El período de lluvias corresponde a los meses de mayo a octubre y el período de estiaje se presenta de noviembre a abril. El mes más lluvioso es septiembre con 41.3 mm y el menos lluvioso marzo con precipitación de 5.5 mm (Figura 2.2). La precipitación máxima promedio que se presentó durante el periodo de registro de la estación fue de 421 mm en el año de 1985.

Tabla 2.2 Registros de precipitación (mm) de la estación Cuatrociénegas

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1942	0	0	0	0	1.7	1.5	0	3.5	27	8.6	0	0.5	42.8
1943	38.1	2.5	0	2	8.5	0	0	0	70.5	27	0	0	148.6
1944	0	0	0	0	2.5	0	9.5	106	36.1	1.3	29.7	4	189.1
1945	24.5	26.5	0	2.8	4	3.9	44.2	30.5	0	13.1	0	0	149.5
1946	25.5	4.2	0	2.5	22	1.7	15	22.5	13.5	53.4	21.7	10	192.0
1947	25.8	0	0	0	14.5	48	2	32.7	0	2.5	0	5.1	130.6
1948	0	0	9.5	17.5	0	33.5	0	0	60.8	22	0.2	0	143.5
1949	8	0	0	0	105.5	25	43.7	37.5	57	22.5	0	29	328.2
1950	8.5	4	0	0	26	11.5	89.1	20	20.5	21.4	0	0	201.0
1951	0.5	4	4.3	3.2	36.5	13.5	1.5	5.5	22	37.5	6.5	9.5	144.5
1952	0	0.5	0	8	15.2	51.2	0	0	0.3	0	5.8	5.4	86.4
1953	0	16.8	0	23	0	0	0	23	24.8	64.7	0	14	166.3
1954	0	0	0	45	48.5	4	1.7	5	0	0	0	4.5	108.7
1955	6	11	0	0	39.5	20.5	18	80.5	35.5	2	32	0	245.0
1956	10.5	0	0	18	0	1.5	1	2	37	0	0.2	0	70.2
1957	0	38.5	11	5.5	1	4	0	2	108.5	39.5	4.8	3	217.8
1958	16	22	7.5	0	34	3.5	1.5	36	180	73	10	33	416.5
1959	0	8	3	6.5	5.5	9	7.5	28	8	12	4.6	6	98.1
1960	9.5	24	0	5	0	10.5	77.5	81	28	23	26	21.5	306.0
1961	9	8.1	5.5	27	13.5	49.5	65	4.2	47.5	19	22.5	0.5	271.3
1962	0	0	0	7	0	12	13	24.5	56	45	2	7	166.5
1963	0	6.5	51	18	0	146.4	0	2	63	6.3	2	23.5	318.7
1964	3.5	3	1	11	1	48	1	2.5	34	10.5	43	5	163.5
1965	3	5.2	0.3	0	32.2	6	10	0.5	77	4	26.1	34.7	199.0
1966	15.6	2.5	2	14.5	51	2.5	71	15.5	33.5	0	0	1.5	209.6
1967	0	1	21.5	0.5	0	0.5	37.5	33.5	36	5.5	0	14.7	150.7
1968	15	26	44	19	0.5	23	12	46	41.3	0	32	17	275.8
1969	2	3	0	4	5	16	24	3	23	3	12	16	111.0
1970	12	13	0	15	23	67	13	48	96	3	0	0	290.0
1971	1	0	0	1	13	66	8	138	42	71	0	6	346.0
1972	0	0	2	0	29	12	27	13	54	3	34	0	174.0
1973	9	65	0	0	31	57.5	61	0	6	10	0	4	243.5
1974	12	0	11	11	8	0	0	53	20	9	6	19	149.0
1975	6	14	0	0	19	1	17	30	11	17	0	5	120.0
1976	0	0	0	10	31	0	26.1	8	48	59	64	52	298.1
1977	2	0	0	45	28	30	21	40	64	16	0	6	252.0
1978	0	0	0	0	17	21	23	128	102	11	2	23	327.0
1979	10	12	0	10	37	63	44	17	10	0	14	12	229.0
1980	0	17	3	2	9	0	26.1	54	5	4	25	0	145.1
1981	22	8.1	10	79	29	12	34	12.8	3	125	0	5	339.9
1982	2	16	0	5	25	66	46	3	19	0	63	45	290.0
1983	27	0	5.5	0	23	14	0	7	0	3	9	12.1	100.6
1984	59	0	0	0	38	10	48	0	16	50	3	83	307.0
1985	24	0	15	53	17	45	150	58	2	45	12	0	421.0
1986	0	2	9	20	33	24	24	54	33	93	7	47	346.0
1987	2	21	0	10	26	53	9	45	88.5	13	0	0	267.5
1988	0	0	0	2.5	17	2	72	45	203	3	0	9	353.5
1989	6	0	9	5	11	30	0	60	8	18	25	19	191.0
1990	31	9	7	0	24	2	76	43	82	22	0	0	296.0
1991	0	20	0	18	40	48	75	18	96	0	8	53	376.0
1992	68	30	0	5	69	68	17	56	0	0	0	3	316.0
1993	10	0	0	20	21	47	21	11	25	10	5	0	170.0
1994	9	0	19	6	20	3	2	0	1	24	0	15	99.0
1995	0	4	0	0	18	0	7	35.5	6	2	6	13	91.5
1996	0	8	5.5	0	17	57	18	39	13	61	8	0	226.5
1997	13	1	38	17	78	94	44	16	77	1	19	8	406.0
1998	1	0	5.5	9.6	5	1	6	35	32	14	32	0	141.1
1999	0	0	1	0	9	109	28	13	0	2	0	3	165.0
2000	0	13	4	12	10	14	6	8	20.5	35	18	1	141.5
2001	7	3	31	0	6	14	22	20	68	5	13	41	230.0
2002	0	0	0	0	11.6	7	41	10	46	30	0	0	145.6
2003	5	27	2	1	20	4	63	31	122	52	10	0	337.0
PMED	9.0	8.1	5.5	9.6	20.7	25.6	26.1	29.0	41.3	21.4	10.7	12.1	219.1
PMAX	68.0	65.0	51.0	79.0	105.5	146.4	150.0	138.0	203.0	125.0	64.0	83.0	421.0
PMIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.8

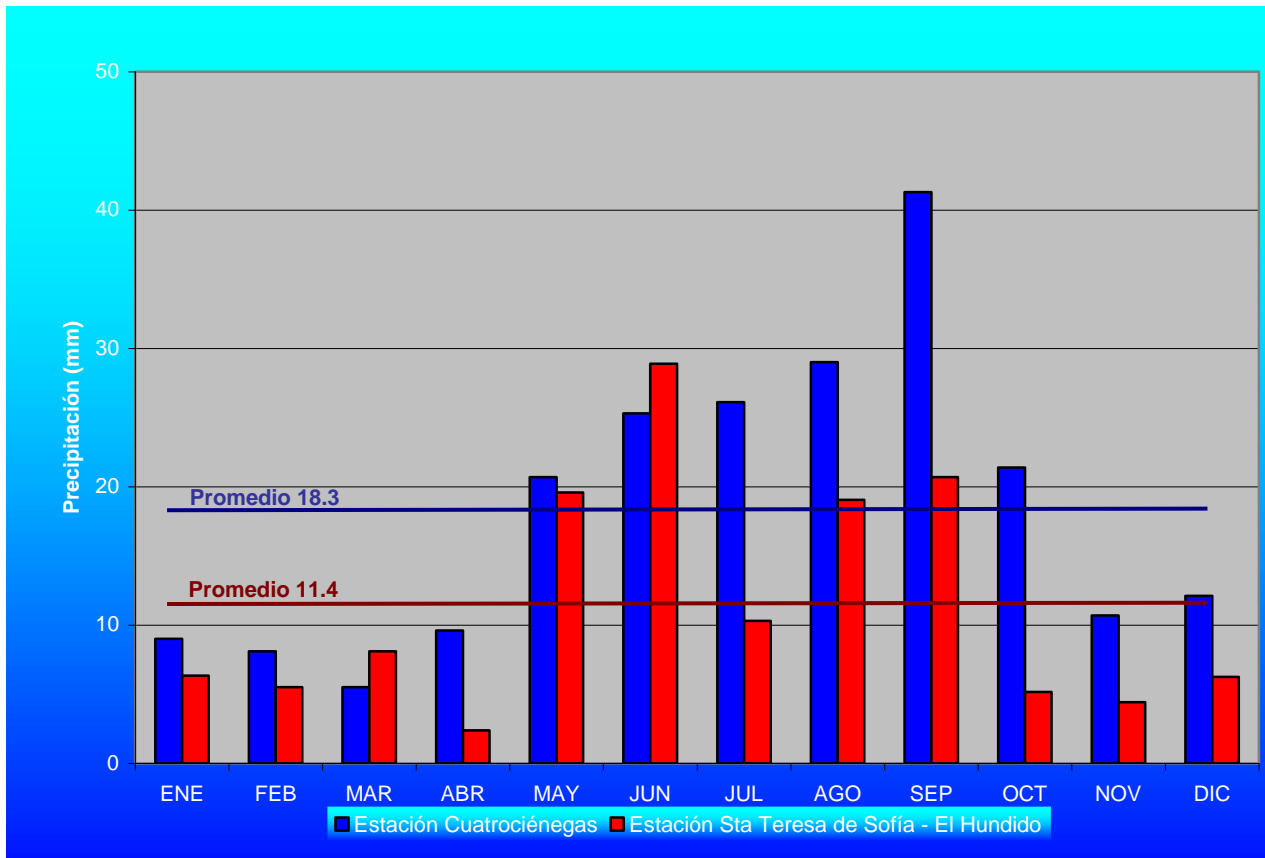


Figura 2.2 Precipitación media mensual en la zona de estudio

Evaporación

El periodo con registros para el análisis de la evaporación media mensual es de 1964 a 1988 presentando máximos de mayo a agosto con valores mayores a los 200 mm, en enero y diciembre se presentan los valores mínimos inferiores a los 100 mm. La evaporación media anual es de 1 960 mm (Tabla 2.3). El mes que presenta la mayor evaporación es junio con un valor de 231 mm y enero es el mes con menor evaporación con valor de 92 mm (Figura 2.3). La evaporación máxima anual registrada en el periodo fue de 2 222 mm en el año de 1974.

Tabla 2.3 Registros de Evaporación (mm) en la estación Cuatrociénegas

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1964	92.2	116.3	166.4	199.0	222.7	322.0	306.0	291.0	205.0	130.0	84.0	74.0	2208.6
1965	106.0	97.0	168.0	220.0	237.0	276.0	316.0	276.0	209.0	152.0	92.0	67.0	2216.0
1966	52.0	92.0	185.0	205.0	214.0	251.0	287.0	251.0	227.0	145.0	101.0	77.0	2087.0
1967	104.0	128.0	185.0	219.0	254.0	291.0	283.0	219.0	127.0	129.0	68.0	69.0	2076.0
1968	92.2	75.0	107.0	179.0	214.0	146.0	210.0	193.0	156.1	162.0	119.0	102.0	1755.3
1969	92.2	116.3	166.4	199.0	184.0	303.0	290.0	216.0	156.1	134.4	47.0	84.0	1988.4
1970	74.0	53.0	166.0	210.0	182.0	129.0	248.0	272.0	181.0	165.0	166.0	137.0	1983.0
1971													
1972	89.0	106.0	149.0	180.0	222.7	205.0	209.0	215.0	157.0	122.0	67.0	52.0	1773.7
1973	92.2	45.0	123.0	199.0	222.7	182.0	229.8	221.2	156.1	170.0	132.0	119.0	1891.9
1974	119.0	171.0	208.0	275.0	286.0	269.0	278.0	221.2	136.0	103.0	80.0	76.0	2222.2
1975	115.0	126.0	215.0	218.0	227.0	253.0	224.0	219.0	162.0	159.0	129.0	109.0	2156.0
1976	116.0	160.0	234.0	214.0	236.0	283.0	155.0	252.0	173.0	155.0	132.0	54.0	2164.0
1977	69.0	119.0	203.0	217.0	228.0	240.0	205.0	219.0	156.0	127.0	129.0	140.0	2052.0
1978	79.0	137.0	206.0	240.0	272.0	267.0	227.0	178.0	92.0	96.0	84.0	87.0	1965.0
1979	96.0	138.0	191.0	182.0	199.0	193.0	209.0	173.0	168.0	154.0	133.0	97.0	1933.0
1980	98.0	120.0	140.0	208.0	228.0	274.0	237.0	365.0	156.1	134.4	104.7	92.8	2158.0
1981	92.2	116.3	148.0	161.0	171.0	163.0	158.0	172.0	116.0	131.0	96.0	76.0	1600.5
1982	97.0	99.0	134.0	152.0	152.0	181.0	243.0	142.0	156.1	134.4	104.7	92.8	1688.0
1983	92.2	116.3	166.4	199.0	222.7	230.9	229.8	147.0	140.0	113.0	105.0	154.0	1916.3
1984	61.0	93.0	138.0	201.0	245.0	265.0	221.0	210.0	153.0	156.0	113.0	116.0	1972.0
1985	81.0	61.0	122.0	136.0	233.0	195.0	160.0	203.0	151.0	118.0	114.0	91.0	1665.0
1986	78.0	108.0	130.0	155.0	190.0	179.0	232.0	217.0	136.0	81.0	44.0	42.0	1592.0
1987	99.0	105.0	161.0	182.0	197.0	194.0	207.0	215.0	121.0	120.0	163.0	126.0	1890.0
1988	126.0	143.0	181.0	226.0	305.0	250.0	150.0	221.2	156.1	134.4	104.7	92.8	2090.2
EMED	92.2	110.1	166.4	199.0	222.7	230.9	229.8	221.2	156.1	134.4	104.7	92.8	1960.2
EMAX	126.0	171.0	234.0	275.0	305.0	322.0	316.0	365.0	227.0	170.0	166.0	154.0	2222.2
EMIN	52.0	45.0	107.0	136.0	152.0	129.0	150.0	142.0	92.0	81.0	44.0	42.0	1592.0

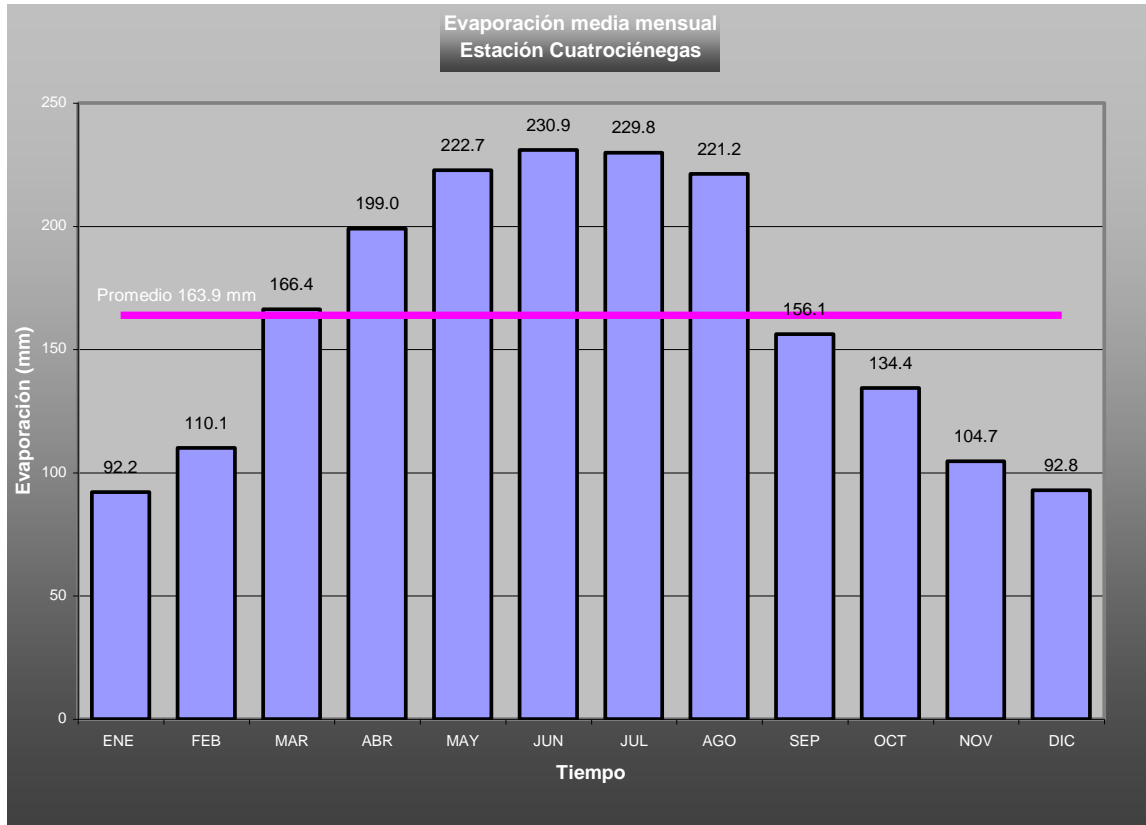


Figura 2.3 Evaporación media mensual (mm) en la estación Cuatrociénegas

Temperatura

La temperatura media anual observada en el periodo de 1942 a 1998 es de 16.3°C (tabla 2.4). El período más caluroso se presenta de mayo a septiembre con temperaturas por arriba de los 21°C. El período menos caluroso se presenta de enero a diciembre con temperaturas inferiores a los 8°C (Tabla 2.4). Puntualmente junio y julio son los meses más caluroso donde se han alcanzado temperaturas superiores a 28 °C y el mes más frío es enero con 2.9 °C.

Tabla 2.4 Registros de Temperatura (°C) en la estación Cuatrociénegas

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P.A.
1942	5.3	7.8	10.7	17.0	22.1	25.8	25.2	24.9	20.3	16.8	10.4	6.3	16.0
1943	5.0	9.0	11.5	16.9	22.1	23.9	24.3	24.7	19.9	14.2	8.9	7.1	15.6
1944	5.5	11.6	11.4	15.4	19.7	25.1	24.9	23.7	20.0	15.3	10.0	5.8	15.7
1945	7.0	8.2	13.0	14.8	21.1	25.1	24.1	23.9	20.2	15.2	11.0	5.3	15.8
1946	5.1	8.6	12.2	18.2	20.4	23.2	23.9	23.1	21.8	17.5	10.3	7.0	15.9
1947	4.6	5.0	9.9	14.8	20.4	23.1	23.5	22.3	20.2	17.8	10.0	6.8	14.9
1948	4.1	9.3	12.5	20.3	24.8	27.5	27.3	26.2	21.0	15.9	9.7	9.8	17.4
1949	5.5	11.0	13.3	15.9	22.7	25.4	24.9	23.0	21.8	17.0	8.6	9.0	16.5
1950	10.5	11.1	12.0	16.9	21.9	23.4	23.7	21.8	21.4	16.7	8.5	4.7	16.1
1951	3.7	5.3	11.1	15.6	20.1	24.3	25.4	24.3	20.6	16.4	9.5	8.4	15.4
1952	7.6	7.3	10.6	15.1	19.7	24.0	24.0	24.1	20.0	12.0	9.3	4.7	14.9
1953	4.8	6.8	15.8	17.5	21.5	26.8	26.5	24.1	18.0	15.1	7.9	4.2	15.7
1954	7.1	8.5	10.9	17.8	20.1	24.1	23.6	23.3	20.8	15.7	7.7	5.7	15.4
1955	5.6	6.3	11.9	16.3	21.0	23.1	23.3	21.5	20.5	13.4	8.6	4.6	14.7
1956	4.0	6.8	10.6	14.7	20.6	23.4	23.5	23.0	18.2	15.5	7.8	6.0	14.5
1957	6.7	10.8	9.2	14.6	19.1	23.5	24.8	22.9	19.2	13.8	7.6	6.0	14.8
1958	2.9	6.0	8.5	14.8	18.6	23.2	23.9	22.7	21.4	15.1	11.1	5.3	14.5
1959	5.5	8.8	9.4	14.8	22.3	23.9	23.1	23.0	21.6	16.9	7.9	6.7	15.3
1960	6.6	5.7	9.7	17.4	20.8	25.1	25.4	24.6	20.5	19.6	12.8	6.2	16.2
1961	6.3	8.7	12.5	19.9	22.3	23.9	23.5	22.8	22.1	16.0	9.7	8.3	16.3
1962	4.0	10.6	12.3	17.1	22.8	25.3	26.0	24.9	23.0	19.9	11.7	8.6	17.2
1963	3.7	7.1	13.7	20.7	23.2	24.5	26.1	26.3	23.0	17.9	11.3	5.3	16.9
1964	5.1	5.9	12.6	19.2	22.6	23.8	24.9	25.5	23.4	15.4	13.0	7.5	16.6
1965	7.9	6.4	9.7	19.1	21.4	24.6	24.4	24.0	22.4	14.9	13.9	9.7	16.5
1966	5.2	6.3	12.3	17.1	19.7	23.1	24.8	24.1	22.3	15.3	11.0	5.4	15.6
1967	5.0	8.6	14.2	20.2	20.7	24.6	23.5	22.5	19.7	15.1	11.6	7.4	16.1
1968	6.5	8.4	10.7	17.0	21.2	23.0	23.2	23.0	19.9	17.3	10.3	8.0	15.7
1969	8.4	10.3	10.1	17.4	19.5	24.6	25.1	24.7	21.5	16.7	10.5	7.9	16.4
1970	5.5	9.3	11.1	18.6	18.7	22.1	23.4	23.5	21.2	14.1	9.1	9.9	15.5
1971	8.4	8.0	12.0	16.4	21.5	22.6	23.0	22.6	21.7	18.7	12.9	10.0	16.5
1972	8.8	9.9	15.5	20.3	21.6	23.3	24.2	23.5	23.0	20.6	11.5	9.2	17.6
1973	6.4	9.1	14.3	16.4	22.0	23.7	25.0	23.5	23.4	18.1	13.5	6.9	16.8
1974	7.9	8.9	17.6	20.9	23.7	24.1	24.5	24.7	20.6	17.9	11.7	7.4	17.5
1975	8.1	10.3	14.1	18.7	22.8	23.7	23.0	23.5	19.6	16.1	11.3	8.0	16.6
1976	6.3	9.7	14.0	17.7	18.6	25.3	22.5	23.5	22.5	14.6	8.7	6.7	15.8
1977	6.2	8.7	14.2	18.3	23.8	25.3	25.1	25.3	23.3	18.9	11.6	9.9	17.5
1978	8.4	9.8	13.9	19.5	23.1	24.7	26.3	23.9	21.1	16.8	14.4	8.4	17.5
1979	4.8	8.6	13.3	19.2	21.3	23.8	25.5	24.3	20.8	17.7	10.5	8.9	16.6
1980	8.1	9.0	14.2	16.7	23.1	28.0	28.5	24.9	25.1	17.4	9.7	9.1	17.8
1981	6.6	9.5	12.7	19.3	22.8	25.5	27.0	26.7	23.6	19.3	12.7	10.0	18.0
1982	8.8	9.4	14.9	20.4	22.2	25.3	25.8	26.3	23.3	17.2	10.8	9.2	17.8
1983	7.7	9.5	13.8	16.8	22.6	23.5	26.0	24.9	22.9	19.2	13.2	5.9	17.2
1984	7.0	9.9	14.7	19.7	21.8	24.9	24.4	25.6	21.4	18.2	11.8	12.1	17.6
1985	5.3	7.9	14.2	18.9	22.9	23.5	23.4	25.1	22.8	17.2	12.4	6.5	16.7
1986	6.4	9.9	13.1	19.1	21.2	22.8	23.9	24.9	22.9	17.8	12.1	8.5	16.9
1987	6.5	9.4	11.6	16.0	21.8	23.4	24.8	25.7	22.6	18.3	12.2	9.4	16.8
1988	6.1	10.5	14.0	18.3	22.2	23.8	23.7	24.0	21.2	16.7	13.5	9.5	17.0
1989													
1990													
1991	7.1	10.1	16.1	18.9	22.3	24.2	23.1	24.3	20.5	17.7	9.8	10.3	17.0
1992	7.2	9.3	13.5	16.7	20.1	23.4	24.7	23.6	21.9	18.4	11.1	10.5	16.7
1993	9.5	11.2	12.6	17.1	20.2	23.8	24.4	24.9	21.2	15.5	11.0	8.0	16.6
1994	6.3	9.8	14.1	17.0	21.6	24.2	23.8	23.5	20.8	17.4	14.2	10.3	16.9
1995	7.2	11.1	12.1	15.9	22.6	24.0	24.5	23.9	21.5	15.7	11.7	7.5	16.5
1996	5.9	9.4	10.3	15.7	22.2	23.6	24.0	22.6	21.0	15.9	11.3	6.8	15.7
1997	5.5	8.6	13.5	14.1	18.6	21.9	23.8	23.9	20.2	16.0	10.7	5.6	15.2
1998	7.4	8.1	11.4	16.3	21.8	25.7	25.1	23.3	22.0	17.4	12.6	7.2	16.5
TMED	6.3	8.7	12.5	17.4	21.4	24.2	24.6	24.0	21.4	16.7	10.8	7.6	16.3
TMAX	10.5	11.6	17.6	20.9	24.8	28.0	28.5	26.7	25.1	20.6	14.4	12.1	18.0
TMIN	2.9	5.0	8.5	14.1	18.6	21.9	22.5	21.5	18.0	12.0	7.6	4.2	14.5

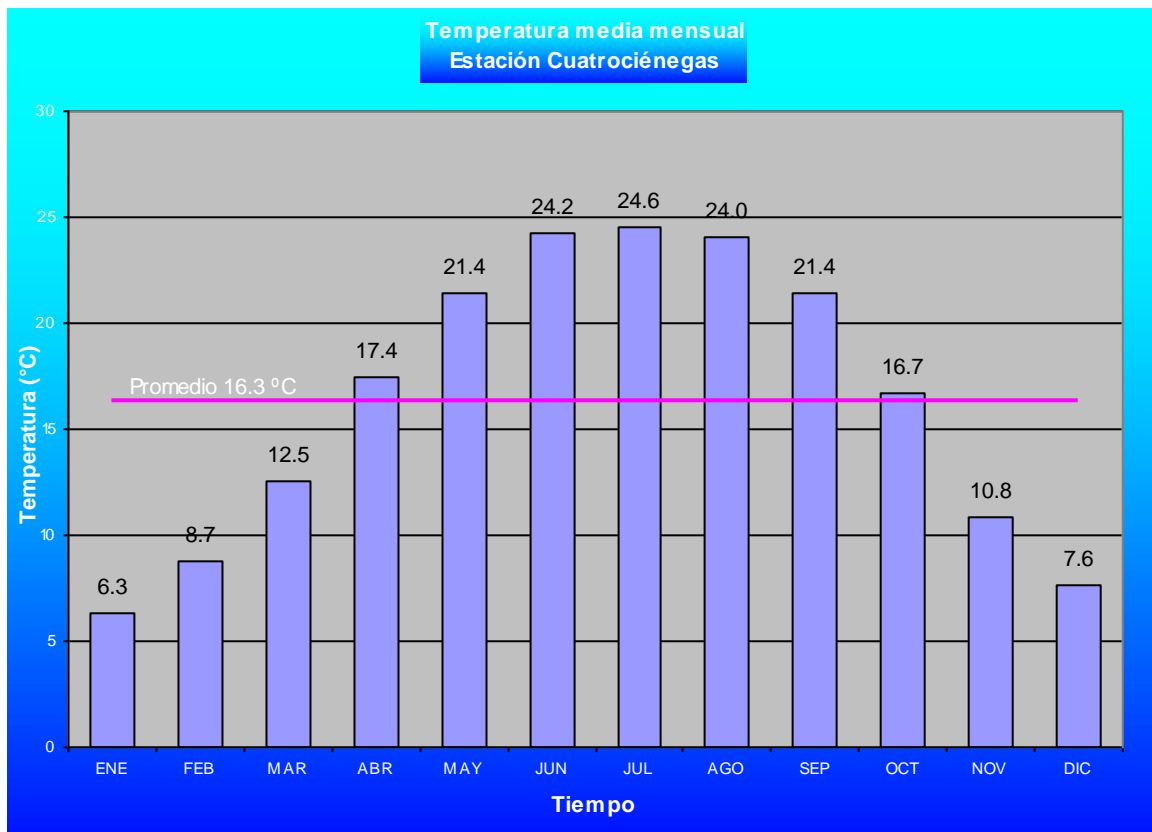


Figura 2.4 Temperatura media mensual (°C) en la estación Cuatrociénegas

2.3. Hidrografía e hidrología superficial

Hidrología

El acuífero Cuatrociénegas se encuentra en la región hidrológica Rio Bravo – Conchos, cuenca P. Falcón – R. Salado y Subcuenca Río Salado – Nadadores.

El Valle de Cuatrociénegas es una cuenca endorreica. En general, los arroyos que se originan en las sierras que lo circundan desaparecen al infiltrarse en las márgenes del valle a través de los depósitos aluviales permeables que rellenan el valle.

El patrón de drenaje regional es predominantemente del tipo dendrítico, aunque en algunas áreas es de tipo paralelo y radial. Las corrientes son de régimen transitorio, con escurrimientos torrenciales de unas cuantas horas de duración.

2.4. Geología regional

La zona estudiada se ubica en la porción central del Estado de Coahuila. Corresponde a sierras alargadas con una orientación general noroeste-sureste las cuales se encuentran separadas por extensos bolsones. En toda la zona impera el clima árido. En general, la mitad noreste del área en estudio corresponde a sedimentos calcáreos depositados en el Golfo de Sabinas y los plegamientos dan lugar a sierras de tipo alargado, mientras que la mitad suroeste corresponde a sedimentos depositados sobre la Península de Coahuila, donde los plegamientos dan lugar a sierras de forma cómica.

Las rocas más antiguas que afloran corresponden a las areniscas de la Formación San Marcos sobre las que descansan rocas calcáreas de las Formaciones La Virgen, Cupido, La Peña, Acatita, Aurora, Kiamichi. Grupo Washita en una zona indiferenciado y en otra, dividido en las formaciones Georgetown, Del Río y Buda. Continúa la columna estratigráfica con las Formaciones Eagle Ford, y el Grupo Difunta.

2.5. Estratigrafía

Dentro de la zona en estudio afloran las Formaciones San Marcos, La Virgen, Cupido, La Peña, Aurora, Acatita, Kiamichi, Grupo Washita Indiferenciado, Georgetown, Del Río, Buda y Eagle Ford, todas ellas representantes del Cretácico. Hacia los valles o bolsones, se encuentran sedimentos aluviales del Cuaternario y esporádicas lavas basálticas también del Cuaternario.

A la fecha existen una serie de trabajos geológicos realizados en la zona de estudio, entre ellos destacan los de INEGI, PEMEX y Consejo de Recursos Minerales. El INEGI publicó cartas escala 1:50,000 que presentan la litología de manera general, la geología estructural es limitada y ha sido corregida y reinterpretada en trabajos posteriores.

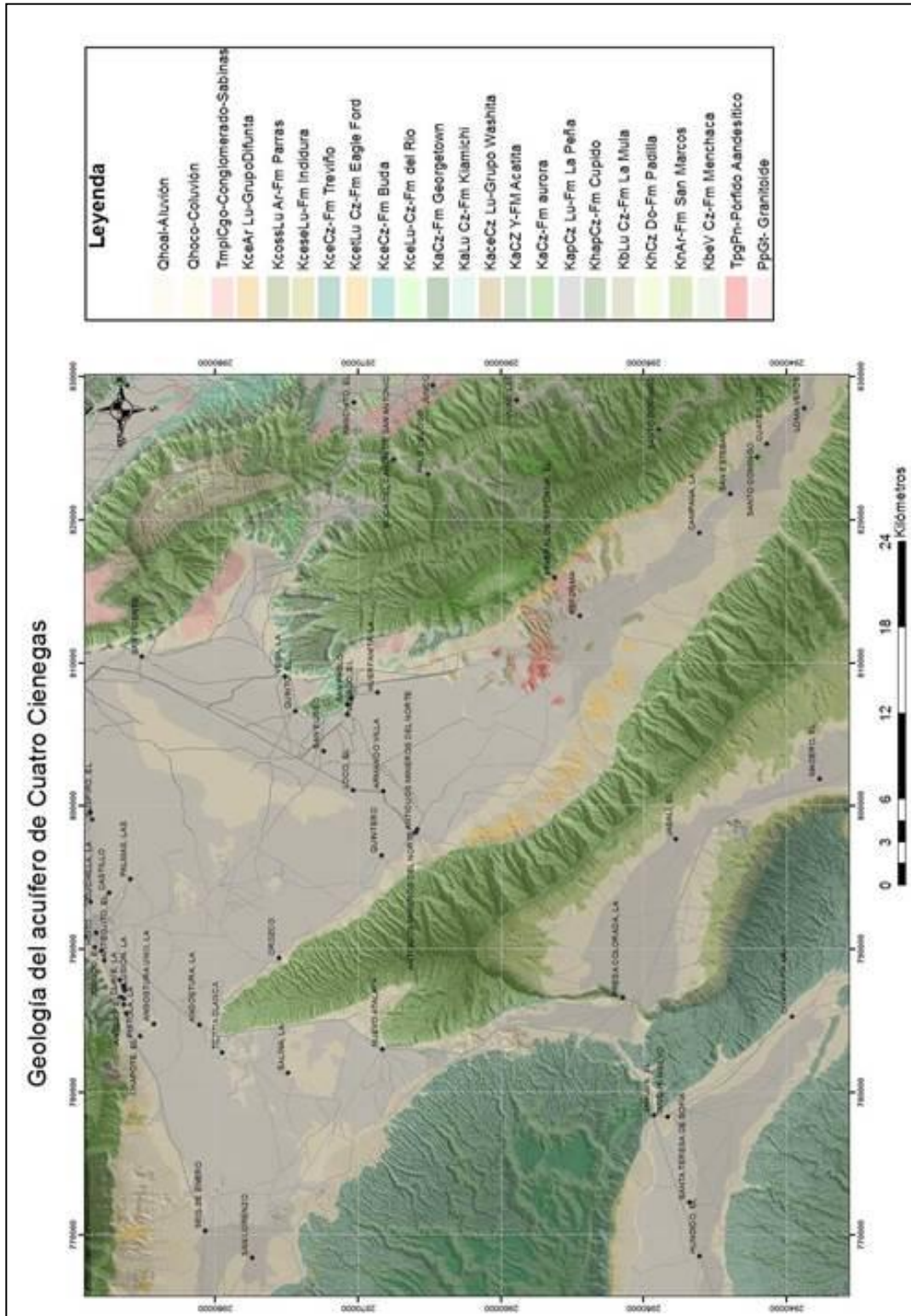


Figura 2.5 Geología del acuífero de Cuatrociénegas

PEMEX elaboró dos proyectos geológicos en 1970, uno denominado Área Villa Ocampo, hoja Atlas 45-12 el segundo denominado Prospecto Lamadrid, hoja Atlas 47-12. Recientemente, el Consejo de Recursos Minerales publicó una carta geológica-minera. Este trabajo se considera el más completo, incluye la geología de detalle de PEMEX, así también incluye información referente a los posibles minerales asociados a las unidades geológicas.

La estratigrafía de la zona de estudio fue adaptada del plano geológico-minero del CRM, del informe geológico del área Villa Ocampo, Coahuila, elaborado por la Superintendencia General de Exploración de Petróleos Mexicanos (NE-M-1174) y por los diferentes artículos sobre la geología de la zona.

Formación San Marcos

La Formación San Marcos fue propuesta por William G. Kane y citada por Imlay (1940, pág. 121) (Humphrey 1956, pág. 171). La localidad tipo fue dada en el Cañón de San Marcos de la sierra del mismo nombre a 30 - 40 km al suroeste de Cuatrociénegas, Coahuila. En la localidad, esta formación descansa sobre sedimentos arenosos marinos del Jurásico Superior y subyace a las calizas y dolomitas de la Formación Cupido. Aflora dentro de los potreros de San Marcos (Valle El Jabalí) y en el Potrero de La Virgen.

La Formación San Marcos está constituida esencialmente por sedimentos clásticos de ambiente mixto en el que predominan los conglomerados y areniscas conglomeráticas de color rojizo en su porción basal; areniscas cuarcificadas de grano grueso a medio en su sección media y; dolomitas arenosas y areniscas de estratificación media con Intercalaciones delgadas de lutitas de color gris y gris verdoso en su porción superior. En el cañón de La Mina (flanco sur del Anticlinal de La Madera), tiene 237 metros de espesor. No se reportan fósiles que determinen su edad, pero por su posición estratigráfica representan una Edad Neocomiano.

Formación La Virgen

El término Formación La Virgen fue introducido por W. E. Humphrey (1956, pág. 236) Para designar a los yesos, anhidritas y calizas del Cretácico Inferior que afloran en la porción Central de Coahuila. Está limitada en su parte superior por la Formación Cupido y en la inferior por la Formación La Mula. Su localidad tipo fue asignada en el Potrero de La Virgen, a aproximadamente 10 km al noreste de Cuatrociénegas, Coahuila.

Está constituida por potentes espesores de yesos que alternan con calizas oolíticas y escasas dolomitas en estratos delgados a medios. Dentro de los cuerpos yesíferos existen delgadas capas de limonitas de color gris claro.

Tiene un espesor de 304 m en la porción sur del Potrero de La Mula, Coah. Por su posición estratégica se le asigna al Hauteriviano.

Formación Cupido

Término definido por Imlay (1937, pág. 606) en Humphrey (1956, pág. 191) para una unidad de calizas de color gris y estratificación gruesa, delgada y media, que se presenta en la porción media de la Sierra de Parra encajonada por las Formaciones La Peña (arriba) y Taraises (abajo).

En la zona de estudio la Formación Cupido (anexo 1) aflora en los potreros de La Virgen y San Marcos, así como en la parte alta de la Sierra de San Marcos. El contacto superior con la Formación La Peña es brusco y concordante. El contacto inferior varía de concordante a transicional. Por Hauteriviano. Presenta numerosos miliolidos.

Formación La Peña

El nombre de Formación La Peña, fue inicialmente definido por R. W. Imlay (1936, pág. 1119) en (Humphrey 1956, pág. 263) para distinguir dos cuerpos con dos miembros. El miembro inferior compuesto por calizas y el superior por calizas y lutitas. Su localidad tipo se encuentra en el flanco norte de la Sierra de Taraises, aproximadamente a 4.8 km. al este sureste de la Hacienda La Peña, en el extremo sur del Estado de Coahuila.

En el área trabajada aflora en las Sierras de San Marcos y La Virgen. Morfológicamente se expresa en una ligera depresión entre las potentes calizas de la Formación Cupido y Aurora. Está constituida por calizas delgadas impuras y margas rosas con intervalos de lutitas entre los planos de estratificación. Tiene 42 m de espesor en la Sierra de La Madera. Sus contactos inferior con la Formación Cupido y superior con la Formación Aurora son bruscos y concordantes.

Se le considera como horizonte índice paleontológico. Conserva el mismo nombre en todas las localidades dentro de la Sierra Madre Oriental hasta las proximidades de Cd. Victoria, Tamps., donde tiene como equivalente a la Formación Otates. Se asigna al Aptiano Superior (anexo 1).

Formación Aurora

El término Formación Aurora en Humphrey (1956, pág. 305), fue primeramente aplicado por Burrows, para una secuencia dominante de estratos de calizas en el área de Cuchillo Parado al norte de Chihuahua. El nombre fue tomado de la Mina La Aurora en la Sierra de Cuchillo Parado (Sierra de La Aldea) situada alrededor de 4.8 km. al noreste del campamento del mismo nombre. La Formación varía en espesor de 183 a 475 m, espesor que aumenta hacia el este.

La formación Aurora está ampliamente distribuida en la región estudiada. Constituye la Mayor parte de los "espinazos" de las sierras. Está formada por capas de gruesas a masivas, Densas, de color gris a gris café al intemperismo y gris claro a oscuro en muestras frescas. Presenta nódulos y bandas de pedernal gris claro y líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación. Tiene un espesor de 534 m en el flanco sur del extremo oriental del anticlinal de La Madera, en el Cañón de El León.

Esta unidad presenta su contacto con la Formación Kiamichi (arriba) y la Formación La Peña (abajo) brusco y concordante. Por estudios micropaleontológicos y posición estratigráfica se le asigna edad Albiano Inferior y Medio (anexo 1).

Formación Kiamichi

La localización tipo está en la planicie del Río Kiamichi cerca de Fort Towson al oriente del Condado de Choctaw, Oklahoma.

Dentro del área de trabajo aflora en las Sierras La Virgen, La Madera y Purísima. Al igual que la Formación La Peña, manifiesta una ligera depresión (valle de rumbo) entre las potentes calizas que la encajonan. Consiste de una alternancia de calizas impuras con margas y lutitas de color crema, rosas y amarillentas al intemperismo. Es común encontrar fósiles (amonitas) determinadas como *oxytropidoceras*. Manifiesta una disminución en su espesor y en sus características litológicas conforme se avanza al poniente, hacia el área de La Madera hasta acuñarse en esa disección contra la Formación Aurora, la cual tuvo mayor desarrollo hacia esta zona, es decir, el crecimiento de la Aurora pudo llegar hasta la edad de la formación Kiamichi (anexo 1). El contacto de la Formación Kiamichi con el sobreyacente "Washita Indiferenciado o sus equivalentes, es concordante y se define donde se inician las calizas de estratificación delgada a media. Se le asigna una edad Albiano Medio y Superior.

Grupo Washita Indiferenciado

Este fue un término empleado por Humphrey (1956, pág. 386) para designar a rocas del Albiano Superior, especialmente en secciones dentro de las Provincias Paleogeográficas del Golfo de Sabinas y la Península de Tamaulipas. Consiste principalmente de una alternancia de clásicos finos y rocas carbonatadas impuras, facies que fue perfectamente desarrollada sobre las áreas del antiguo Golfo de Sabinas y a lo largo de sus márgenes. Al sur y suroeste pausa a calizas extralitorales y con abundante pedernal.

El grupo Washita Indiferenciado aflora en las Sierras de San Marcos, La Madera, La Fragua y Alamitos. Hacia el oriente de la Sierra de San Marcos, cambia de facies y se definen perfectamente las tres formaciones de este grupo, integradas por las unidades Georgetown, Del Río y Buda.

La facies depositada sobre el borde del Golfo de Sabinas marcada como Grupo Washita indiferenciado, consiste de calizas de estratificación media a gruesa, de alta energía, con algunas concentraciones de rudistas e intervalos de lutitas y margas grises. Su espesor estimado es de 116 metros

Su contacto inferior con la Formación Kiamichi es brusco y concordante: El Superior no fue observado. Presenta microfósiles que la sitúan en el Albiano Superior y Cenomaniano inferior (anexo 1).

Formación Georgetown

La Formación Georgetown (Humphrey 1956, pág. 400) es una unidad de calizas equivalentes a la parte inferior del Grupo Washita en el norte de Texas. Presenta amplios y claros afloramientos en el norte del Estado de Coahuila.

Esta Formación aflora en las Sierras de Menchaca y Purísima y está ausente donde el Grupo Washita es Indiferenciado, esto es, en el oeste del área trabajada. Es una unidad caracterizada por calizas delgadas y medias, con abundantes lentes de pedernal de color gris y negro. Sus contactos Inferior y Superior con las Formaciones Kiamichi y Del Río respectivamente, son concordantes y transicionales. Su edad es Albiano Superior - Cenomaniano Inferior.

Formación Del Río

Formación Del Río (Hill y Vaughan 1898, pág. 236) en (Humphrey 1956) es la extensión en el suroeste de Texas, Transpecos Texas y norte de México de la Formación Grayson, (Gracig, 1894, pág. 40, 43) de la porción norte central de Texas.

En la zona de trabajo, aflora en las Sierras de Menchaca y Purísima. Consiste de una alternancia casi constante de calizas arcillosas delgadas y laminares, predominando las lutitas hacia la base. Su espesor varía de 15 a 31 m. Los contactos que la limitan, Georgetown abajo y Buda arriba, son transicionales y concordantes. Se le asigna edad Cenomaniano Inferior.

Formación Buda

Término primeramente usado por Vaughan (1900, pág. 18) para reemplazar el término Shola Creek (Hill 1889, 1899, pág. 803), que previamente había sido llamado caliza Burnt y caliza Vola (Adkins 1933, pág. 396 - 400) (Humphrey 1956, pág. 413). La Formación Buda en la localidad tipo, tiene un espesor máximo de 23 m y consiste de lechos medianos de calizas compactas impuras, nodulares, de color amarillento.

Esta formación tiene íntima relación con las formaciones Del Río y Georgetown. Al igual que ellas afloran en las sierras de Menchaca y Purísima. Está constituida por calizas que varían de delgada a medias, con escasas alternancias de lutitas. El color al fresco es gris al fresco gris claro y al intemperismo es gris y ocasionalmente amarillento. Su espesor es de 77 m. Aunque por lo general no se expone su cima. Su contacto inferior con la Formación Del Río es concordante y transicional, el Superior con la Formación Eagle Ford es brusco y probablemente discordante.

Formación Eagle Ford

Según Sellard (1932, pág. 422) la primera mención de los equivalentes Eagle Ford en la literatura geológica, Texas fue dada por Ferdinand Roemer, quien en 1852 la incluyó en sus formaciones de la región de New Braunfels a las lutitas negras Eagle Ford con restos de peces. Hill en 1887, coloca dichos estratos en la base de las series del Golfo, encima de las arenas Wodbine y fue el primero que aplicó el nombre de lutitas Eagle Ford. La localidad tipo está en Eagle Ford, Condado de Dallas, alrededor de 9 km al Oeste de Dallas, Texas, donde la porción más superior está expuesta.

En la zona de trabajo se encuentran pequeños afloramientos al este de la Sierra de San Marcos. Esta formación está constituida por calizas altamente arcillosas, con estratificación laminar y abundantes pelecipodos. Alternan con lutitas de color gris, en ocasiones carbonosas. Se le estima un espesor de 300 m. presenta su contacto inferior con la formación Buda, nítido y probablemente discordante; su contacto superior con la Formación Austin es claramente transicional y concordante.

Grupo Difunta

El nombre de Formación Difunta fue aplicado por primera vez en (1936, pág. 1133) por Ralph W. Imlay para una sección ubicada al norte del extremo poniente de la Sierra de Parras. Este nombre fue tomado del Cerro Difunta.

En el área de trabajo aflora en una pequeña porción al sur de la Sierra de La Madera. Litológicamente esta unidad se compone de capas medianas de areniscas de color gris, de grano fino, calcáreas, con alternancia de lutitas y limolitas, predominando estas últimas, las primeras son gris y, las segundas rojizas y café. Por su posición estratigráfica probablemente sólo representa una parte del grupo. Tiene una edad Maestrichtiano.

Conglomerado Terciario

Corresponde a los materiales clásticos de pie de monte que se encuentran principalmente en las estribaciones de algunas sierras, que son marcados en los planos de PEMEX como de edad Terciaria y son diferenciados de los materiales aluviales que constituyen la mayor parte de los bolsones.

Rocas ígneas extrusivas

Dentro de la zona de estudio existen algunos afloramientos de rocas ígneas extrusivas constituidas por derrames de basaltos, los cuales se encuentran tanto en la porción central del Valle de Ocampo como en el extremo noroeste del mismo, inmediatamente al oeste del poblado de Ocampo. Están constituidos por derrames lávicos de basalto de color negro y rojizo, los cuales han sido asignados al Terciario.

Rocas ígneas intrusivas

Hacia el extremo suroeste del Valle de Cuatrociénegas, se encuentran reducidos afloramientos de un cuerpo intrusivo, de textura granítica y composición ácida.

Material Aluvial

Rellenando los extensos bolsones que constituyen los valles de El Hundido, Cuatrociénegas y Ocampo se encuentran materiales granulares producto de la erosión y transporte de las sierras hacia los flancos de los bolsones los clásticos son de mayor tamaño gravas, arenas y limos y se hacen más finos (arcillas) hacia el centro de los valles, donde se interdigitan con sedimentos evaporíticos lacustres de lagunas intermitentes, características de los bolsones de la zona áridas del norte de México.

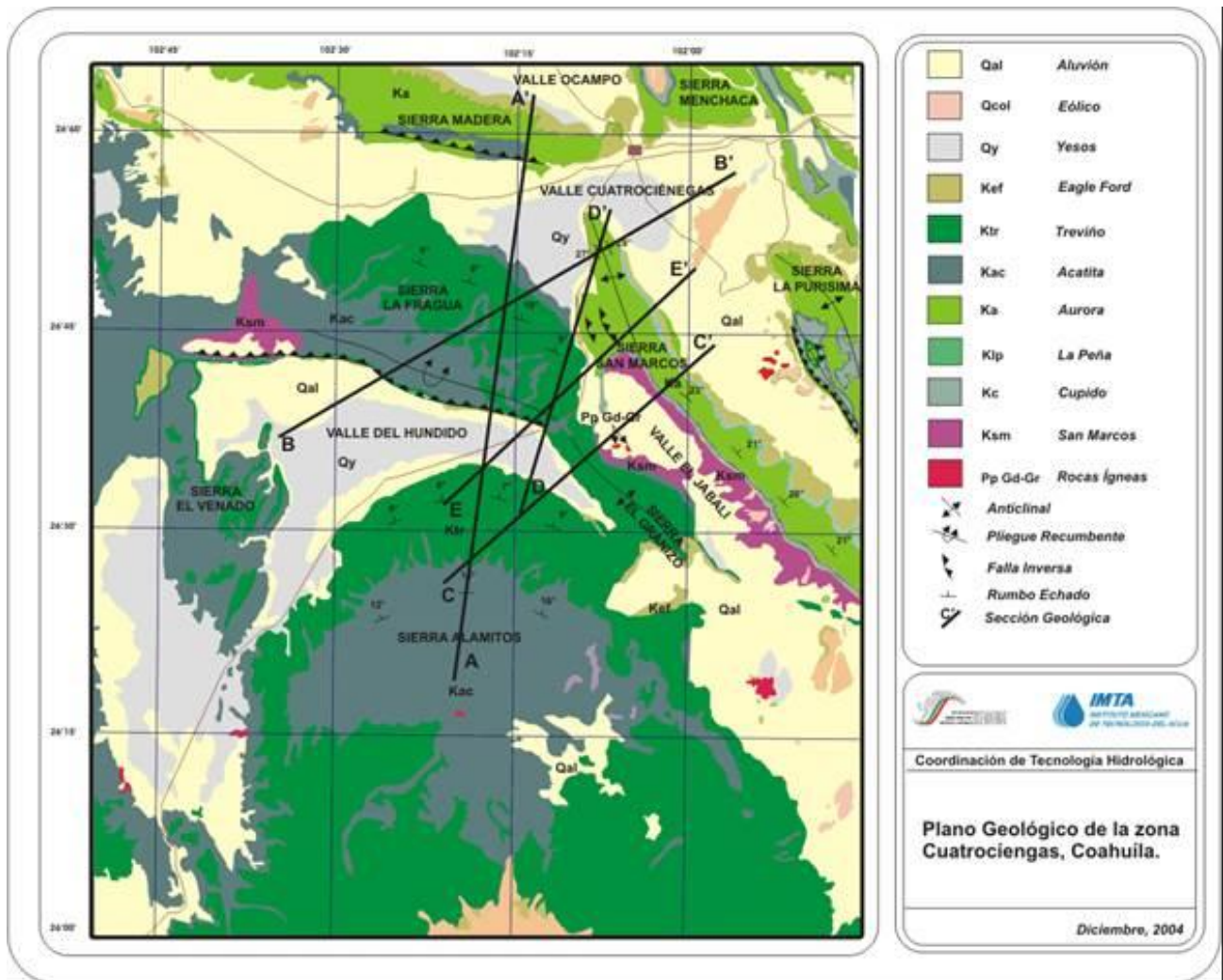


Figura 2.6 Ubicación de las secciones geológicas

2.6. Geología estructural

Para representar la geología estructural se elaboraron cinco secciones estructurales que permitirán identificar las relaciones geológico-estructurales entre los valles de El Hundido y Cuatrociénegas, así como las implicaciones hidrogeológicas.

El método de campo consistió principalmente en medir los rumbos y echados en las unidades que afloran en la zona de tal manera que se tuviese una representación tridimensional de las rocas y las estructuras. Asimismo, se procedió a mediar las diferentes familias de fracturas en las unidades geológicas presentes.

Posteriormente se procedió a elaborar las secciones geológico-estructurales. Asimismo se elaboraron estereogramas y rosetas de deformación para cada una de las sierras que conforman los límites de los acuíferos de El Hundido y Cuatrociénegas. Estas herramientas permitieron establecer los planos de sedimentación y de las estructuras geológicas, así como las direcciones preferenciales tanto de las mega-estructuras como de las microestructuras, lo cual permitió inferir zonas de debilidad geológica y en consecuencia zonas de flujo preferencial del agua subterránea.

Secciones estructurales

La sección A-A' (Figura 2.7) con una dirección prácticamente N-S va desde la Sierra de Alamitos, cruzando el Valle de El Hundido, La Sierra La Fragua, el Valle de Cuatrociénegas, terminando en la Sierra La Madera. En esta sección se puede observar que las rocas calizas que conforman tanto la zona de recarga como el acuífero de El Hundido tienen una inclinación muy suave en la Sierra Alamitos, con echados del orden de los 10°, al llegar a la porción del valle el buzamiento se incrementó ligeramente. El espesor del relleno aluvial es del orden de los 150 m en la porción central del valle. La parte frontal de la Sierra La Fragua limita al norte el Valle de El Hundido como consecuencia de un cabalgamiento, rasgo que aún en vistas aéreas (fotografía o imágenes de satélite) puede observarse. Hacia la parte posterior de la cabalgadura, los buzamientos de las capas de las rocas expuestas se vuelven suaves llegando a ser prácticamente horizontales. En la parte que corresponde al valle de Cuatrociénegas las calizas se inclinan en 9° aproximadamente.

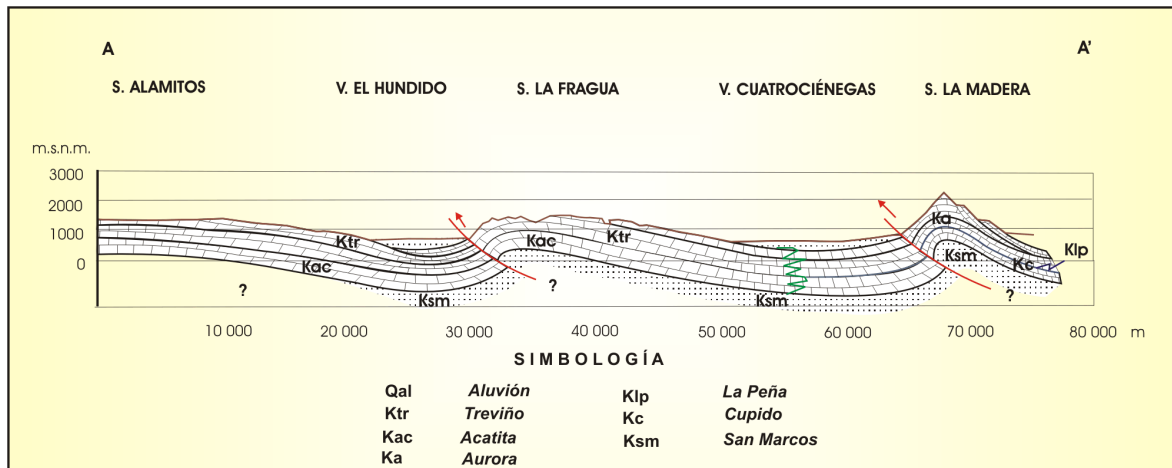


Figura 2.7 Sección A-A'

La sección B-B' muestra las relaciones entre el Valle de El Hundido y Cuatrociénegas, el cual similar al de la Sección A-A' en la Sierra de La Fragua. En esta sección se muestra la porción de la nariz del anticlinal de San Marcos. En esta zona el basamento de la Formación San Marcos está a una profundidad de aproximadamente 50 msnm en la sierra del mismo nombre, mientras que en La Fragua se localiza a una profundidad de 700 msnm.

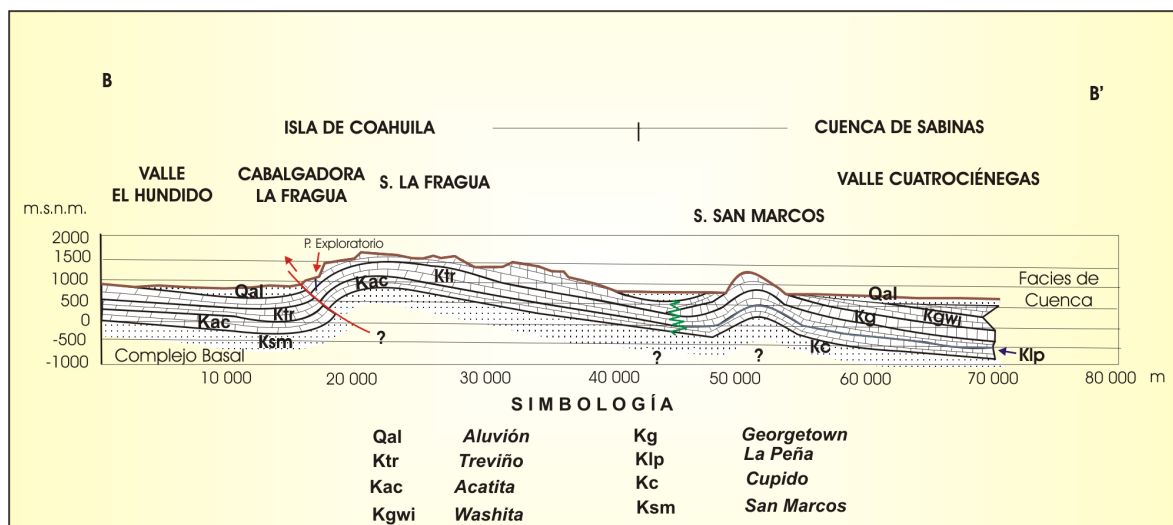


Figura 2.8 Sección B-B'

La sección C-C', tiene una dirección E-W va de la Sierra Alamos, pasa una porción del Valle El Hundido, Valle El Jabalí, Sierra San Marcos y termina en el Valle de Cuatrociénegas. Un punto interesante de esta sección es el hecho que el Valle El Jabalí está contenido en el núcleo de un anticlinal ya erosionado. Hacia las partes bajas del Valle El Jabalí se tiene tanto las rocas del Cretácico Inferior San Marcos como el basamento del complejo metamórfico del Paleozoico que conformaba la Isla de Coahuila y que es material prácticamente impermeable.

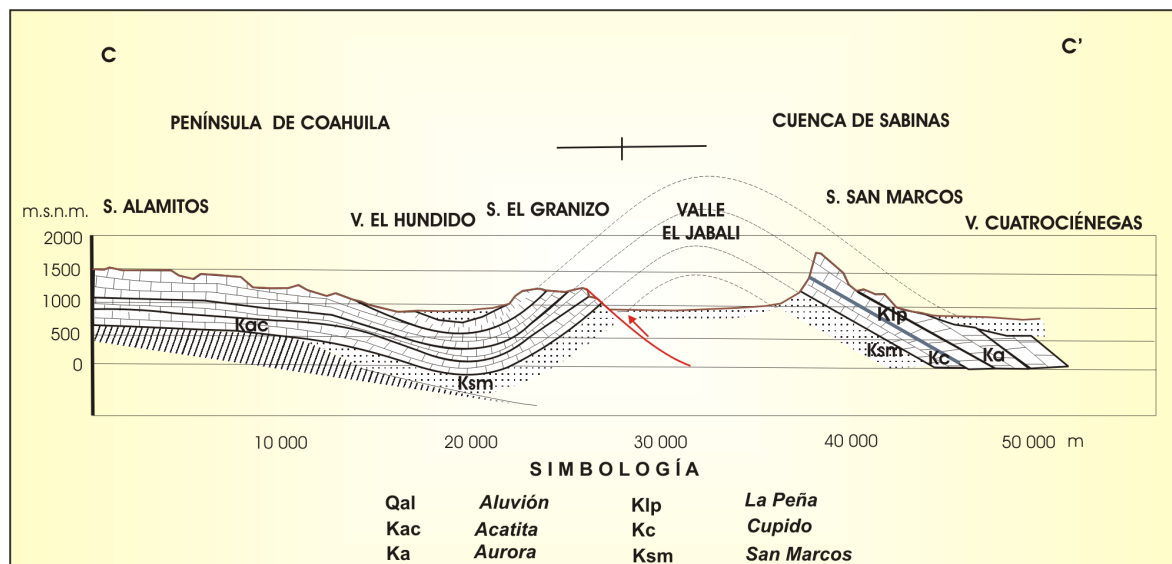


Figura 2.9 Sección C-C'

La sección D-D' (Figura 2.10) va de la Sierra Alamos hacia el Valle de Cuatrociénegas con una dirección SW-NE va de Sierra Alamos hasta el flanco oriental de la Sierra San Marcos. En esta sección se pueden apreciar la serie de fallas inversas que posiblemente se formaron como consecuencia del contacto entre material de la Cuenca de Sabinas y el basamento de la Isla de Coahuila.

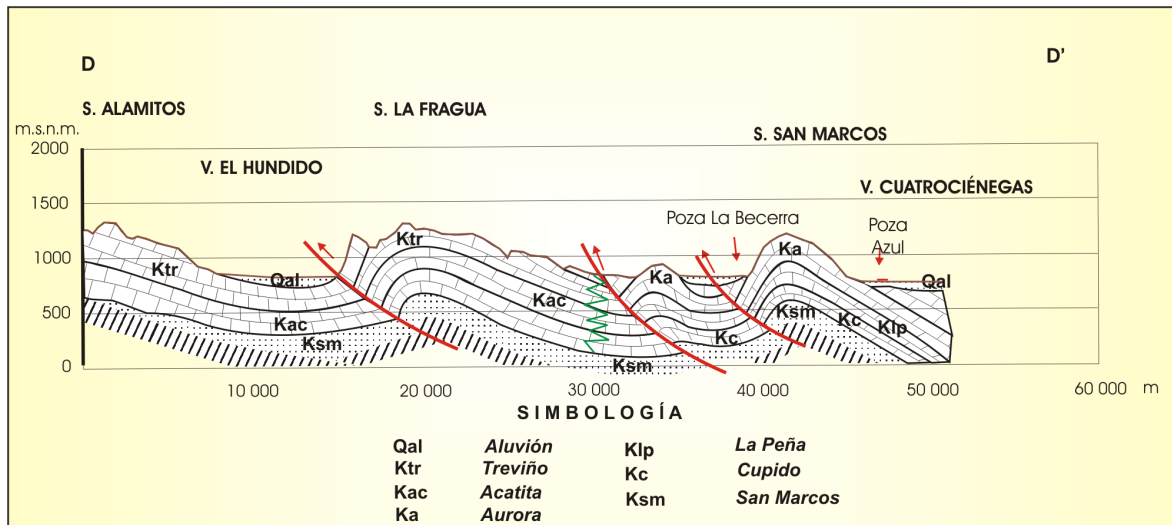


Figura 2.10 Secci3n D-D'

Finalmente, la secci3n E-E' con una orientaci3n SW-NE muestra la relaci3n estructural entre ambos valles a trav3s de las sierras La Fragua y San Marcos. Las relaciones estructurales son similares a los presentados en la secci3n B-B', pero a diferencia de ella en esta secci3n el basamento hidrogeol3gico representado por la formaci3n San Marcos se encuentra en elevaciones de hasta 1300 msnm en la Sierra de San Marcos. Por otro lado, en esta secci3n se proyect3 el pozo exploratorio B2 que corto material calizo de la Formaci3n Aurora o Trevi3o, sin llegar hasta el material de areniscas de la Formaci3n San Marcos.

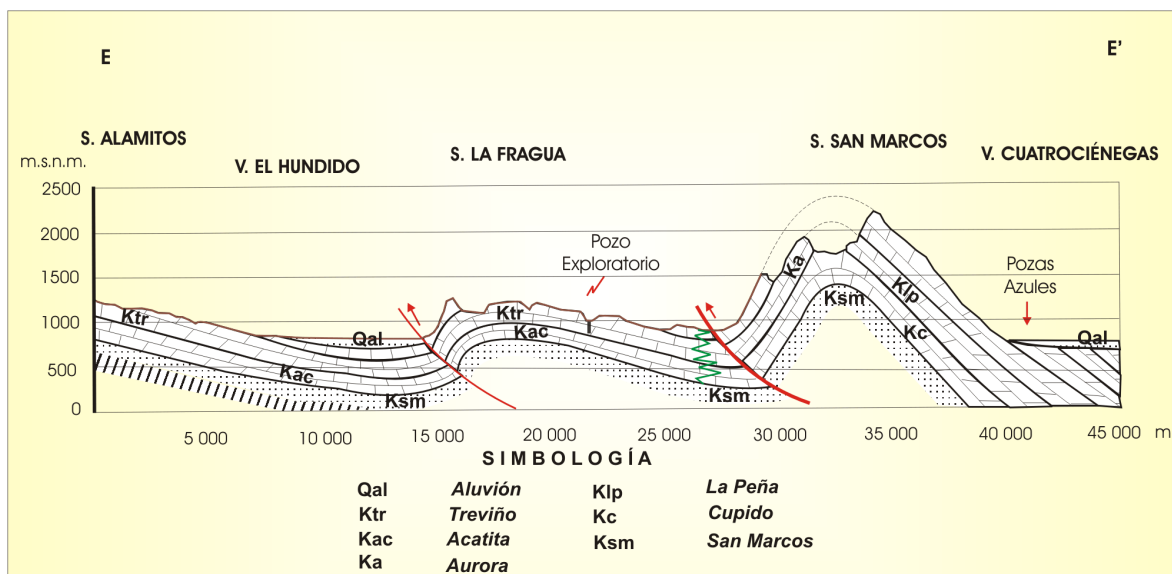


Figura 2.11 Secci3n E-E'

3. HIDROLOGIA SUBTERRÁNEA

3.1. Instrumentación del acuífero

Como resultado de los trabajos desarrollados por el IMTA en el 2004, se recomendó instrumentar la cuenca del valle de Cuatrociénegas debido a que no existen pozos en la porción oriente y poniente. La construcción de estos pozos permitirá realizar un monitoreo adecuado de los niveles piezométricos en la zona y con ello delinear las curvas equipotenciales y red de flujo que finalmente cuantifican las entradas de flujo subterráneo horizontal.

3.1.1. Perforación de los cinco pozos de observación en la porción oriente

Actividades previas

Las actividades seguidas para cumplir con el objetivo planteado son las siguientes

Definición de los sitios de perforación

Con base en las recomendaciones derivadas del estudio realizado en 2004, así como en común acuerdo con la Gerencia de Aguas Subterráneas y el Departamento de Aguas Subterráneas de la Dirección Local en Coahuila de la CNA se definieron los sitios para realizar las perforaciones exploratorias.

En la Figura 3.1 se muestra la distribución de los pozos perforados.

Investigación de costos en el mercado

Se realizó la investigación de costos en el mercado sobre la construcción de los diez pozos y debido al monto se realizó la Licitación Pública Nacional No. 16111002-010-07. En tal licitación se elaboró un dictamen cuyos resultados de la revisión, análisis, dictamen técnico y económico de la propuestas que concursaron fueron rechazados ya que no cumplieron y por lo cual se adjudicó el contrato a la empresa J G Perforaciones Especializadas en virtud de cumplir tanto técnicamente como económicamente y de presentar el costo más bajo.

Permiso de perforación ante la CONAGUA, SEMARNAT Saltillo, CONANP y Propietarios

Posteriormente se solicitó el permiso para realizar las perforaciones ante el Director Local en Coahuila de la CNA, así como a los propietarios de los terrenos seleccionados, obteniendo su anuencia mediante el oficio No. B00.E.21.0.0.1.1871/2007 con fecha del 10 de octubre del 2007, en donde nos menciona que “ES UNA ZONA DE LIBRE ALUMBRAMIENTO DE AGUAS DEL SUBSUELO, PARRÁFO V, ART. 27”.

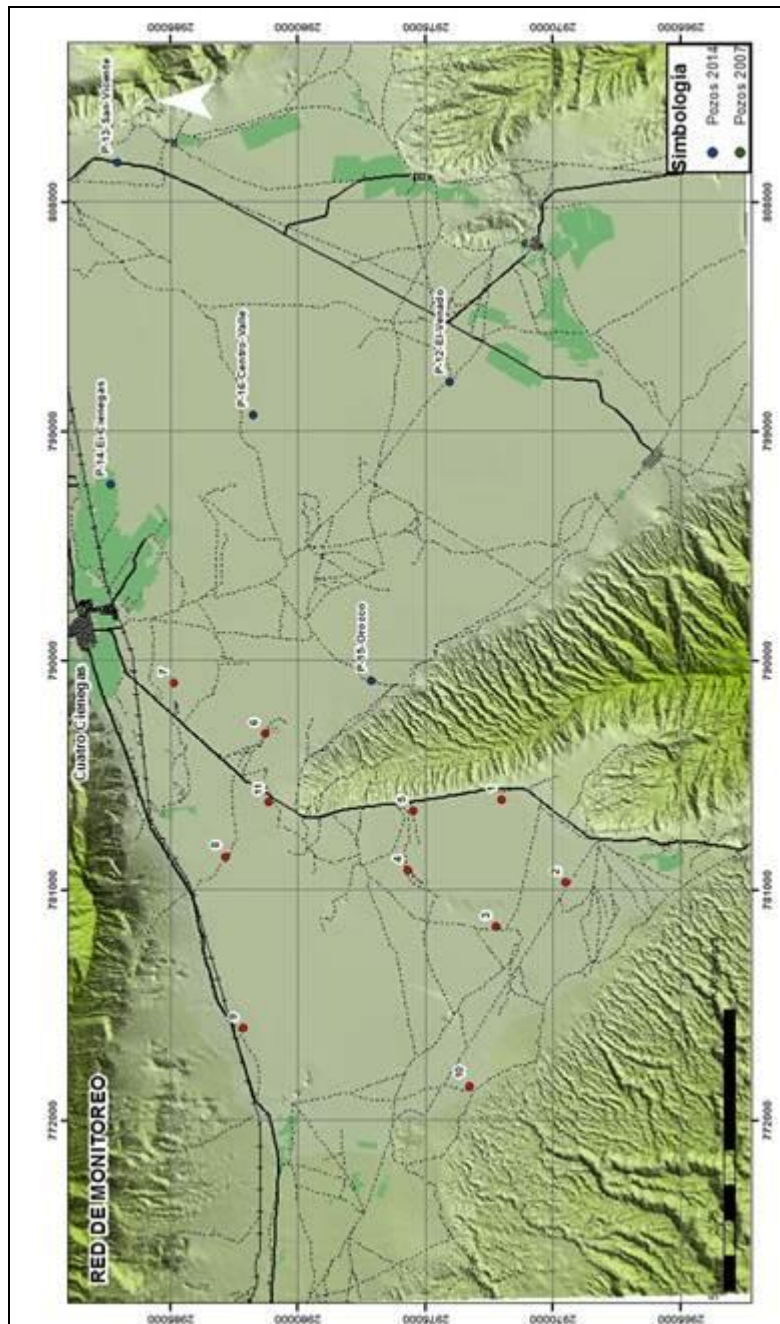


Figura 3.1 Ubicación de los pozos perforados en 2007

Localización

Las perforaciones exploratorias se realizaron en la porción poniente del valle de Cuatrociénegas. Los pozos exploratorios tienen las siguientes coordenadas:

Tabla 3.1 Coordenadas de los pozos perforados

POZO	ESTE	NORTE
1	784578,269	2972003,584
2	781300,638	2969514,434
3	779581,071	2972226,893
4	781787,433	2975677,066
5	784108,836	2975483,708

Objetivo

Instrumentar la porción poniente del valle de Cuatrociénegas para medir las variables involucradas en el balance hidrológico subterráneo.

Perforación de los pozos

La perforación de los pozos exploratorios se realizó con una máquina *BUCYRUS ERIE*, con un diámetro de perforación de 9 5/8”, llevando un registro del tiempo de avance y comportamiento del fluido de perforación. El material perforado se recolecta de manera continua cada dos metros hasta la profundidad proyectada. Las muestras de suelo fueron colocadas en bolsas de plástico selladas indicando con números legibles, permanentes y en el sitio apropiado la profundidad que corresponde a cada tramo.

El fluido de perforación utilizado fue aire y un espumante denominado “INSTA-VIS-plus”.

Limpieza de los pozos

Se realizó un lavado preliminar inyectando y haciendo circular agua limpia por un lapso de 24 horas. Posteriormente se concluyó la limpieza de los agujeros mediante el desarrollo y aforo. El desarrollo y aforo se realizó en 24 horas.

Tubería de ademe

Los pozos fueron ademados con tubería de acero lisa y ranurada de 6" de diámetro y espesor de 3/16". Se colocó un tapón, filtro, tubería ranurada y lisa de acuerdo con las especificaciones del diseño del pozo emitidos por el IMTA.

Terminado de los pozos

En cada pozo se colocó una losa sanitaria de 1 m² y 20 cm de altura, sobreyaciendo a la losa se construyó un brocal de 40 x 40 cm en cuyo interior contiene un tapón expandible con candado y una cubierta con tapa circular atornillable para protección del pozo y dispositivos.

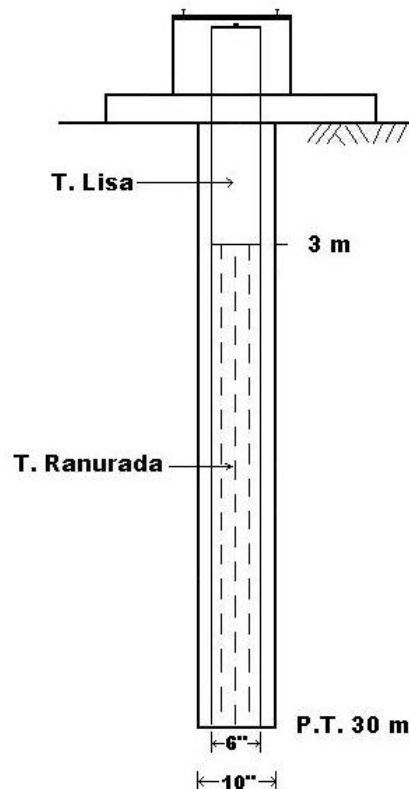


Figura 3.2 Esquema-tipo de pozos perforados

Tabla 3.2 Características constructivas de los pozos perforados

No. Pozo	X	Y	Ademe		Profundidad
			liso	ranurado	
1	784597	2971999	3	27	30
2	781500	2969000	3	27	30
3	778581	2972228	3	27	30
4	781789	2975607	3	27	30
5	784000	2975300	3	27	30

Resultados de la exploración

Pozos

Se planteó la perforación exploratoria de los 5 pozos en la porción oriente del valle de Cuatrociénegas, con el objeto de determinar el nivel freático en esta porción del acuífero, delinear las curvas equipotenciales y de flujo para poder definir con más precisión las variables que intervienen en el cálculo del balance como las entradas por flujo subterráneo y la conductividad hidráulica.

Como un resultado de las exploraciones se reporta que en las 11 perforaciones fueron “cortados” sedimentos finos (evaporitas y algunos estratos arcillosos), que el agua en estos “broto” a una profundidad entre 12 - 17 metros, revelando con esto la existencia de dos sistemas acuíferos: i) Un sistema acuífero confinado inferior y ii) un sistema acuífero superior.

En todos los pozos se encontró agua y su correspondiente nivel piezométrico, en los 5 pozos no se detectó la presencia de una roca dura o basamento impermeable.

Al final de la etapa de desarrollo y aforo fueron medidos in situ los parámetros de campo pH, Conductividad eléctrica y temperatura y se tomaron muestras de agua para su análisis en laboratorio. Los valores medidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Parámetros físicos medidos en campo

Pozo	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	pH
1	20.00	23.9	6.71
2	20.00	25.1	7.92
3	20.00	25.9	6.89
4	2.95	27.6	6.03
5	2.81	26.4	7.38

3.2. Pozos de observación

Con la construcción de los cinco pozos en la porción oriente del valle de Cuatrociénegas y los 11 pozos construidos en la porción poniente (IMTA, 2007), se considera se tiene instrumentado el acuífero Cuatrociénegas. A continuación se presenta en la Figura 3.3 la distribución de los pozos de observación construidos en 2007 y 2014.



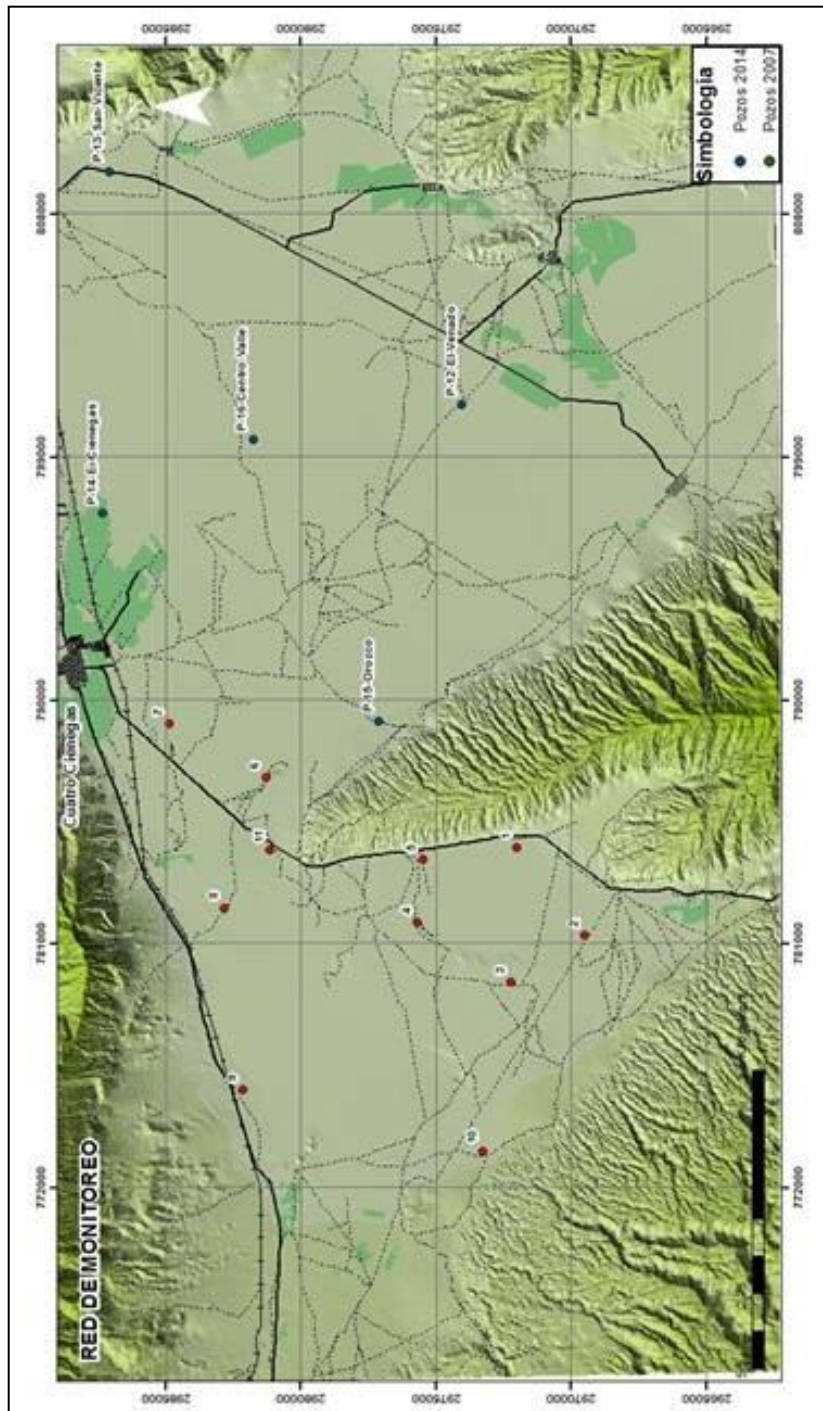


Figura 3.3 Pozos de observación en el acuífero Cuatrociénegas

3.3. Nivelación de brocales

En el presente estudio se realizó también el levantamiento topográfico, el cual se aplicó para la nivelación de los 5 pozos perforados en la porción oriente del valle y 10 pozas distribuidas en el valle. .

Se realizó un levantamiento Geodésico con equipo GPS (Global Positioning System), para obtener la ubicación precisa de cada punto a través del Sistema de Coordenadas sobre la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), y su elevación Ortométrica o elevación referida al nivel medio del mar correspondiente. Los sitios seleccionados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 Nivelación de brocales en pozos y pozas seleccionadas.

Descripción de Pozas y Pluviómetros			
Punto	Lugar	Punto	Lugar
1	Pozo de Monitoreo 12	9	Pozas Azules I
2	Pozo de Monitoreo 13	10	Poza "Escobedo"
3	Pozo de Monitoreo 14	11	Poza Azul
4	Pozo de Monitoreo 15	12	Poza el Mojarral
5	Pozo de Monitoreo 16	13	Poza El Anteojo
6	Poza La Tecla	14	Rio Mezquites
7	Poza "Los Gatos"	15	Poza El Bonito
8	Poza "Tío Cándido"		

Metodología

Para la realización del levantamiento geodésico de los puntos ya señalados anteriormente, fue necesario conocer y tomar en cuenta los siguientes aspectos.

- a) Ubicación y localización. Esto refiere a asegurar las condiciones físicas que permitan la adecuada ejecución del trabajo ya que la presencia de árboles y/o vegetación alta, interfieren con la recepción de señal de

- satélites empleados por el equipo GPS.
- b) Rutas de acceso
 - c) Distancia entre puntos
 - d) Tiempo de recorrido

Conociendo dichas situaciones, se optó por usar el equipo GPS en modo estático, debido a que no existía ningún punto de control, banco de nivel o vértice geodésico, en los cuales se pudiera ser utilizado como punto de inicio del levantamiento, con el fin de propagar coordenadas previamente establecidas.

El Método de Levantamiento Estático con GPS. Es un método de posicionamiento caracterizado por la ocupación simultánea de dos o más puntos durante un período suficientemente prolongado de tiempo mientras los receptores se mantienen estacionarios en tanto registran los datos, y post- procesarlos, con el fin de lograr precisiones inferiores al centímetro. Todos los levantamientos topográficos con GPS se llevan a cabo aplicando técnicas diferenciales. Es decir, se mide una línea base a partir de un punto fijo, (Estación de Referencia) hacia un punto desconocido (Estación Móvil).

Para este levantamiento los pluviómetros y pozos de monitoreo fungieron como Estaciones Móviles (levantadas en campo, mediante el método estático), las cuales fueron ligadas posteriormente a las Estaciones de Referencia cercanas al lugar, dichas estaciones de referencia pertenecen a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) establecida por el INEGI, las cuales controlan y sirven de orientación para todos los levantamiento geodésicos realizados en el interior de la república Mexicana.

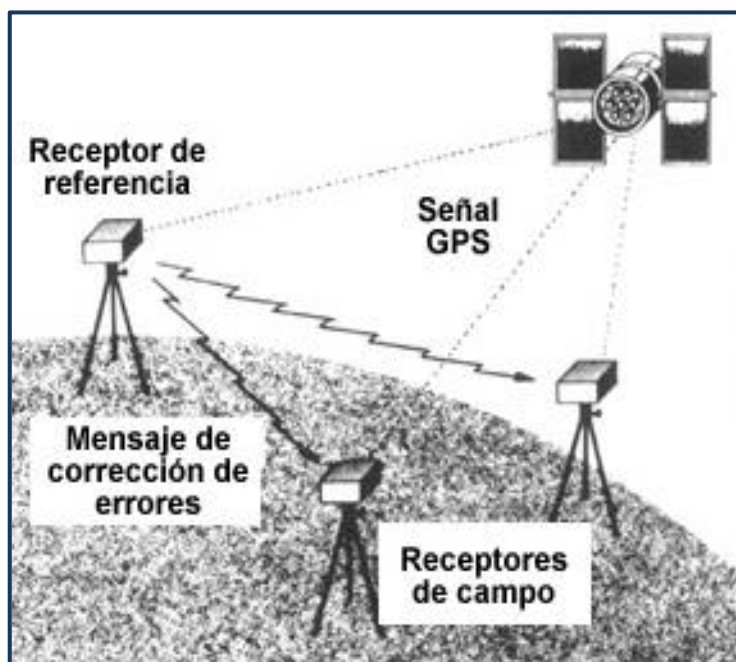


Figura 3.4 Método de levantamiento estático con GPS.

Resultados

Tabla 3.5 Nivelación de brocales en pozos y pozas seleccionadas.

ID	Descripción	Elevación, msnm	Coordenadas UTM		
			E	N	Zona
PZ01	Poza "La Tecla"	707.67	798066.701157	2966449.316558	13
PZ02	Pozo de Monitoreo 12	697.95	204722.899855	2973892.025158	14
PZ03	Poza "Los Gatos"	701.92	202321.585935	2977603.495857	14
PZ04	Pozo de Monitoreo 13	684.44	213950.030954	2986514.161485	14
PZ05	Pozo de Monitoreo 16	699.52	203788.379289	2981662.102277	14
PZ06	Pozo de Monitoreo 14	706.94	796924.284999	2987306.649477	13
PZ07	Poza "Tio Candido"	717.57	790254.653393	2975434.976040	13
PZ08	Poza "Azul I"	713.69	795758.326605	2970805.275000	13
PZ09	Poza "Escobedo"	722.02	789355.831260	2977725.687181	13
PZ10	Pozo de Monitoreo 15	725.71	789246.269122	2977092.779453	13
PZ11	Poza "Azul"	725.10	785772.129894	2981108.744594	13
PZ12	Poza "El Mojarral"	724.76	786057.063642	2981122.613593	13
PZ13	Poza "El Anteoyo"	734.85	785142.498691	2986201.854364	13
PZ14	Rio Mezquites	722.97	787125.450293	2981164.956682	13
PZ15	Poza "El Bonito"	768.10	784182.484675	2971592.310942	13



Figura 3.5 Pozos y pozas con nivelación de brocales

3.4. Campaña de medición

En el mes de septiembre se realizó el levantamiento piezométrico en todos los pozos de observación y se llevó a cabo la reposición de los medidores de nivel automático

instalados en los pozos ubicados en la porción poniente y la colocación y puesta en operación en los 5 pozos de la porción oriente.

Levantamiento Piezométrico

La medición de la profundidad al nivel estático se realizó en el periodo comprendido entre el 1 y 30 de septiembre de 2014, a través de una brigada, apoyándose con sonda eléctrica, GPS, Cámara fotográfica, Pick Up y cartas topográficas y geológicas escala 1:50000 del INEGI.

La distribución de los pozos de observación se puede observar en la Figura 3.3

Curvas de igual profundidad al nivel estático

Para septiembre del 2014, de manera general la profundidad a l nivel estático fluctúa entre 0.05 metros (pozo 6) hasta los 20.66 metros (pozo 10).

Para los pozos ubicados en la porción poniente en general se observa que la profundidad al nivel estático fluctúan entre 0.05 m., registrado en el pozo numero 6 ubicado en los mezquites y 20.66 m registrado en el pozo 10 en Palmira.

Para la porción oriente la profundidad al nivel estático fluctúa entre 1.63 m en el pozo 15, ubicado en el Rancho Orozco y 7.41 m en el pozo 12 ubicado en el Ejido El Venado.

En la Figura 3.6 se muestra la configuración de la profundidad al nivel estático para septiembre del 2014.

Tabla 3.6 Profundidad al nivel estático en pozos de observación (septiembre 2014)

Pozo de observación	Profundidad al nivel estático (m)
1	2.31
2	8.43
3	6.62
4	2.29
5	3.22
6	0.05
7	6.02
8	3.68
9	7.67
10	20.66*

11	
12	7.41
13	6.60
14	2.53
15	1.63
16	4.95

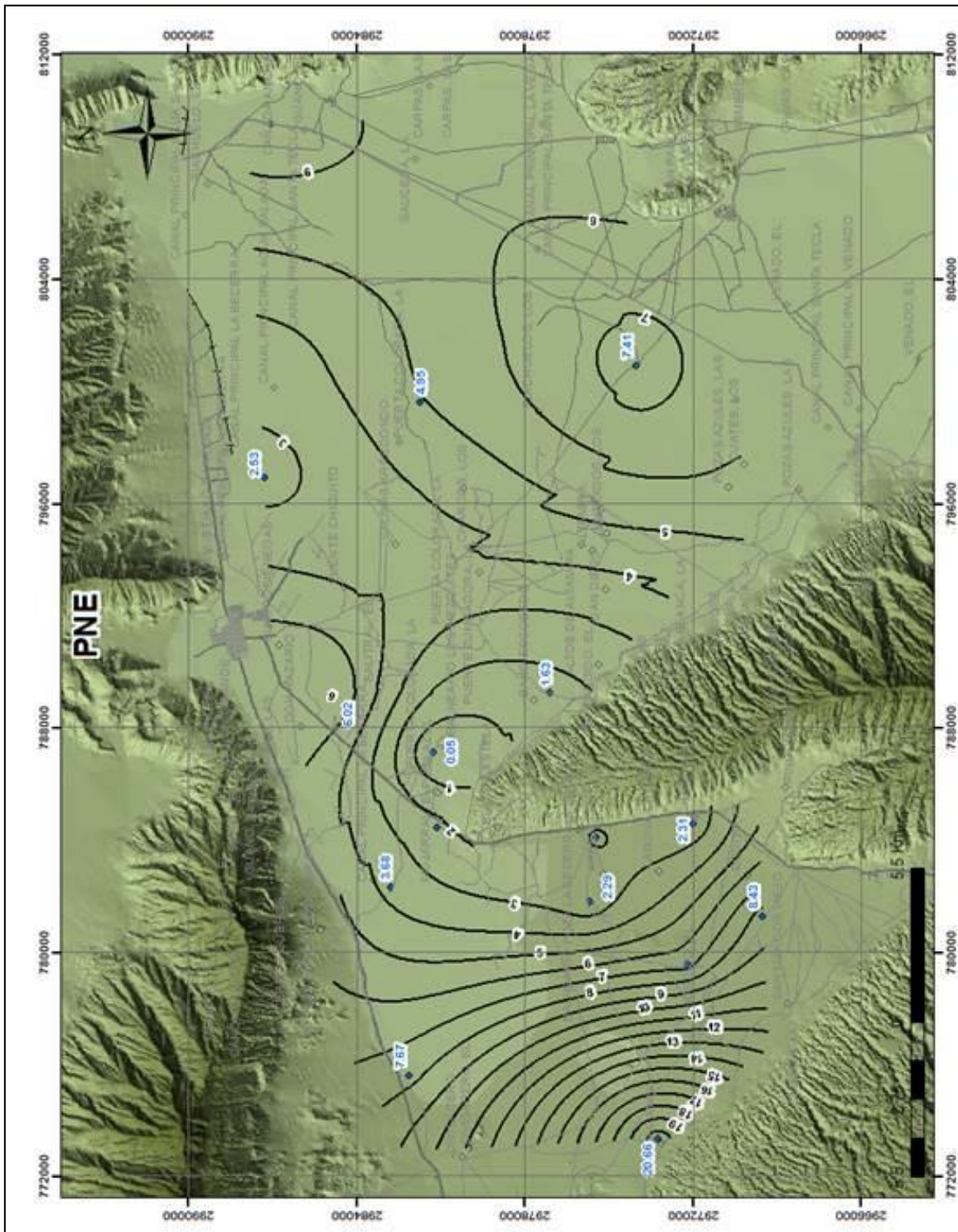


Figura 3.6 Profundidad al nivel estático (septiembre 2014).

Curvas de igual elevación del nivel estático

Para septiembre del 2014, de manera general la elevación del nivel estático fluctúa entre 773.998 msnm (pozo 10) a los 690.54 msnm (pozo 12).

Para los pozos ubicados en la porción poniente, se observa que la elevación del nivel estático fluctúan entre los 773.988 msnm, registrado en el pozo numero 10 ubicado en Palmira en el extremo poniente y de 690.54 msnm registrado en el pozo 12 en el rancho Tierra Blanca.

Para la porción oriente la elevación del nivel estático fluctúa entre los 724.08 msnm en el pozo 15, ubicado en el Rancho Orozco a los 677.84 msnm en el pozo 13 ubicado en el Ejido San Vicente.

En la Figura 3.7 se muestra la configuración de la elevación del nivel estático para septiembre del 2014.

Tabla 3.7 Elevación del nivel estático en el acuífero Cuatrociénegas

Pozo	X	Y	Elevación brocal	PNE (sep/2014)	ENE (sep/2014)
1	784578.269	2972003.584	766.589	2.31	764.279
2	781300.638	2969514.434	773.117	8.43	764.687
3	779581.071	2972226.893	769.309	6.62	762.689
4	781787.433	2975677.066	764.043	2.29	761.753
5	784108.836	2975483.708	763.318	3.22	760.098
6	787133.531	2981280.252	724.148	0.05	724.098
7	789150.853	2984829.730	727.791	6.02	721.771
8	782335.701	2982808.929	742.047	3.68	738.367
9	775610.841	2982119.713	769.641	7.67	761.971
10	773337.336	2973271101.000	794.658	20.66	773.998
11	784458.738	2981137773.000	729.679	2.32	727.359
12	204722.899855	2973892.025158	697.95	7.41	690.54
13	213950.030954	2986514.161485	684.44	6.6	677.84
14	796924.284999	2987306.649477	706.94	2.53	704.41
15	789246.269122	2977092.779453	725.71	1.63	724.08
16	203788.379289	2981662.102277	699.52	4.95	694.57

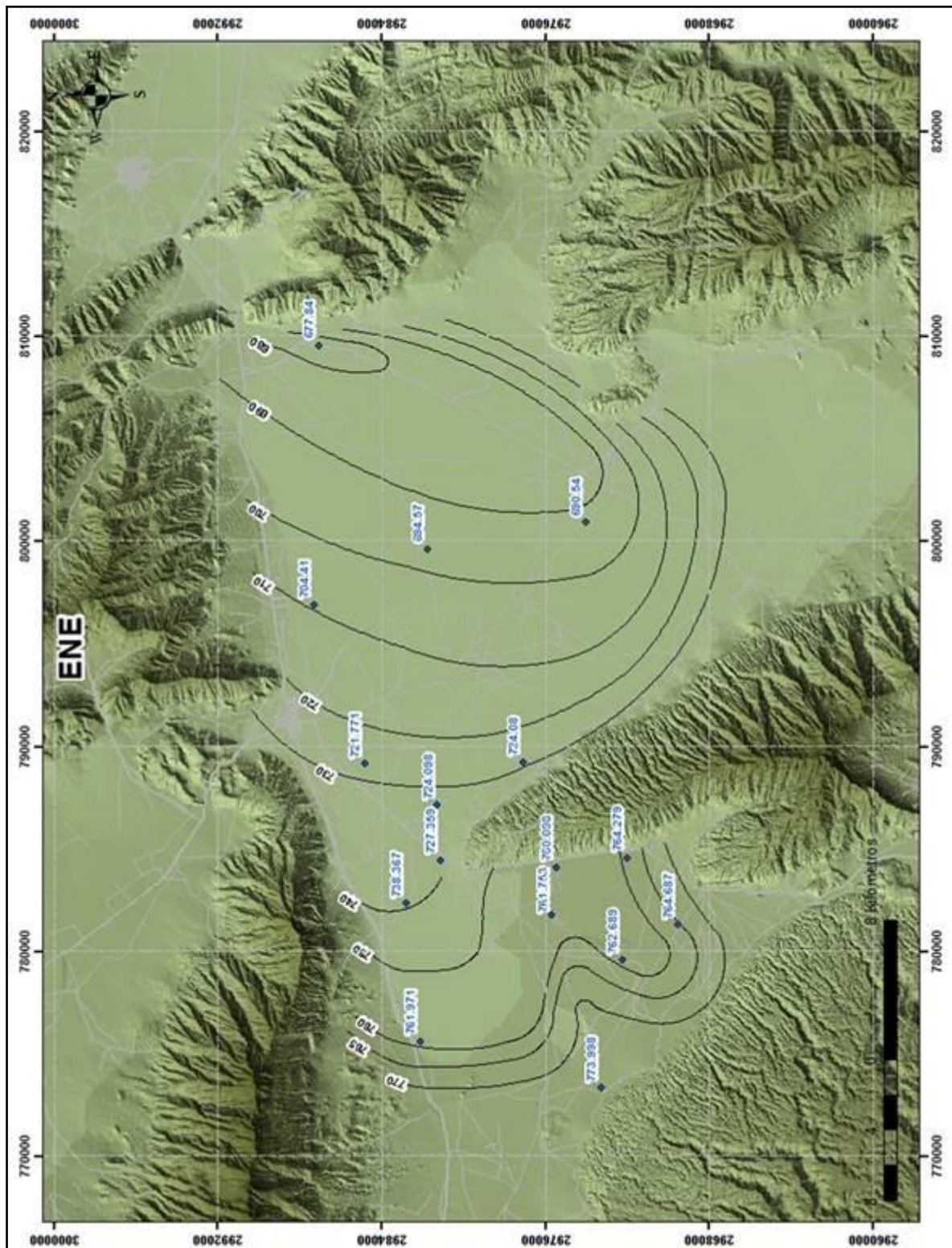


Figura 3.7 Elevación del nivel estático (2014)

Red de flujo subterráneo

La red de flujo consiste de dos series de líneas. La primera serie, referida como líneas equipotenciales unen puntos de igual carga y representan la altura de la superficie piezométrica. La segunda serie, referida como líneas de flujo, describe los patrones idealizados seguidos por las partículas de agua, en su movimiento a través del acuífero. De acuerdo con la red de flujo (Figura 3.8) construida a partir de la configuración de la elevación del nivel estático tenemos que:

Para la porción poniente del Valle de Cuatrociénegas, las líneas equipotenciales fluctúan de 770 a 740 msnm, presentando una dirección de flujo del oeste del valle hacia las pozas la Becerra y Churince. Otras líneas de flujo cruzan de la porción poniente a la oriente del valle de Cuatrociénegas.

En la porción oriente tenemos que las líneas equipotenciales fluctúan entre los 730 a 690 msnm, presentando un flujo concéntrico hacia el centro del esta porción oriente del valle.

Medidores de nivel automáticos

En el mes de septiembre se realizó la reposición de los medidores automáticos de presión y temperatura (levelloggers) por los instalados con anterioridad en el año 2008 en los pozos de observación emplazados en la porción poniente del acuífero y la instalación en los pozos recién construidos en la porción oriente.

Los medidores automáticos corresponden al nuevo Levellogger Edge modelo 3001, el cual es un dispositivo automatico auto-contenido para registrar nivel de agua y temperatura. Tiene un sensor de presión Hastelloy, sensor de temperatura, batería de litio para diez años y un registrador con memoria FRAM para 40,000 juegos de registros o 120,000 utilizando la nueva opción de compresión de muestreo lineal. Todos los componentes se encuentran dentro de un housing de acero inoxidable sellado de 22 mm por 159 mm con revestimiento PVD a base de titanio.

La programación del levellogger se realiza mediante la conexión del instrumento al lector óptico con el programa adecuado del instrumento, apareciendo una ventana donde se puede iniciar el instrumento de inmediato o en el futuro, sincronización, intervalo de medición, etc.

Compensación barométrica exacta

El levelogger edge mide presión absoluta (presión del agua + presión barométrica) expresada en metros, centímetros, pies, psi, kPa, o mBar.

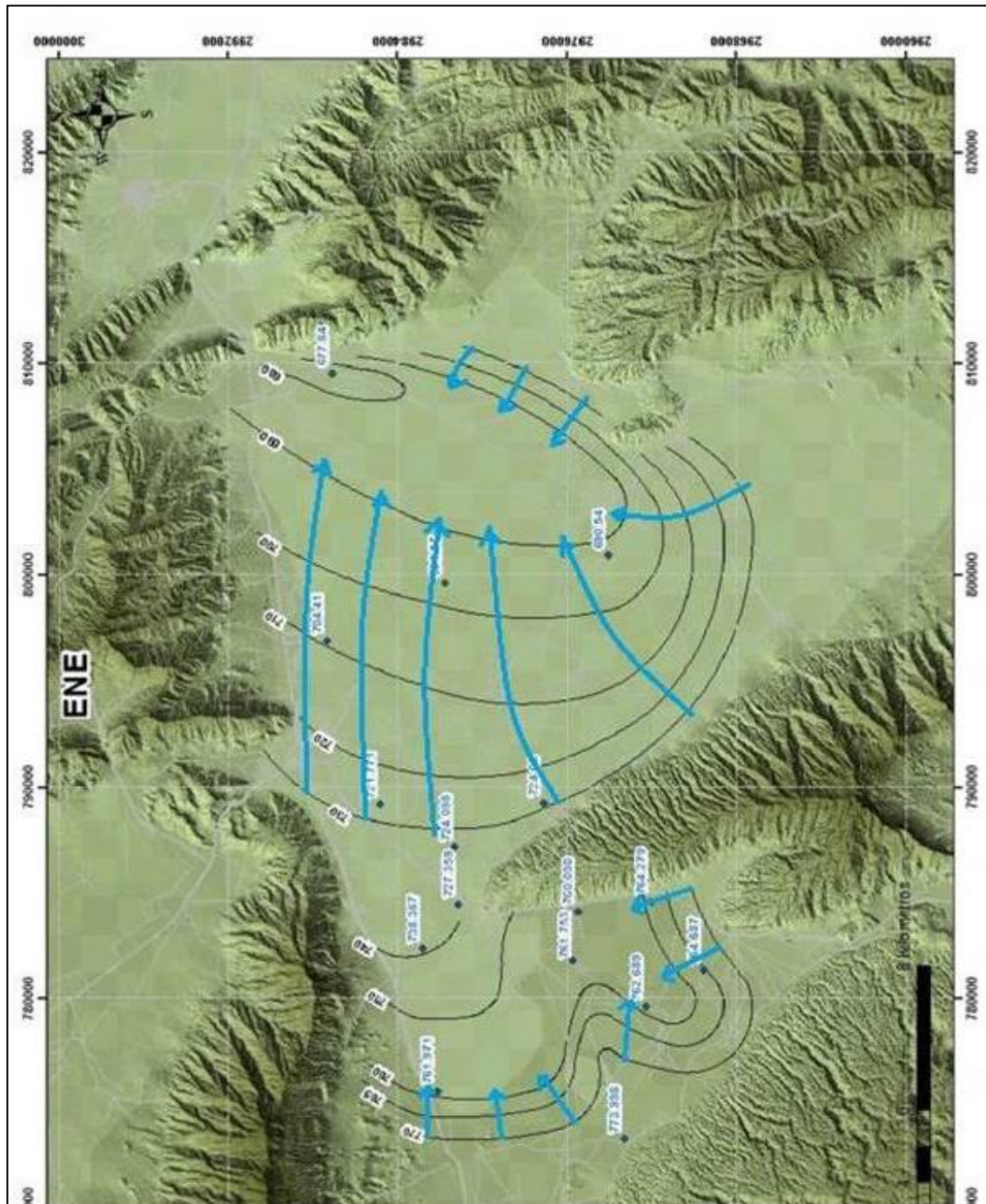


Figura 3.8 Dirección del flujo subterráneo (2014)

El método más exacto para obtener cambios de nivel de agua es compensar por las fluctuaciones de presión atmosférica utilizando un barologger edge, y así evitar rezagos en tiempo de compensación.

El barologger se coloca por encima del punto más alto del agua en uno de los sitios de monitoreo. Un solo barologger puede compensar cualquier número de levelloggers colocados dentro de un radio de 30 kilómetros y elevaciones no mayores a 300 metros.

Reposición y colocación de los medidores de nivel automáticos (Levelloggers)

Durante la campaña de medición realizada en septiembre fueron reemplazados los medidores de nivel automáticos instalados en los pozos de monitoreo ubicados en la porción poniente del valle en 2008, el medidor de presión se instaló en el pozo 4. En los pozos de monitoreo ubicados en la porción oriente se instalaron medidores de nivel automático, el medidor de presión (Barologger) se encuentra instalado en el pozo 16, que se encuentra al centro del valle cubriendo de manera radial la distancia a cada uno de los otros pozos de monitoreo.

3.5. Historia piezométrica

Los pozos de observación en la porción poniente fueron construidos en el año 2007 e instrumentados con medidores automáticos. Cada seis meses se realizan recorridos de campo para “bajar” los datos registrados en los medidores automáticos, donde también se realizan mediciones manuales de la profundidad al nivel estático. En la Tabla 3.8 se muestra la historia piezométrica disponible para los pozos de observación instalados en el acuífero Cuatrociénegas. En la Figura 3.9 se muestra el gráfico de la profundidad al nivel estático contra tiempo registrado por los medidores de nivel en pozos de la porción poniente

Tabla 3.8 Profundidad al nivel estático registrada en los pozos de observación

No. Pozo	19/oct/2008	20/ene/2009	24/nov/2009	28/mayo/2010	26/oct/2010	17/mayo/2011	21/nov/2011
1	1.97	1.90	1.99	1.87	1.82	1.96	2.26
2	7.47	7.36	7.57	7.47	7.63	7.60	7.85
3	6.33	6.38	6.41	6.37	6.19	6.30	6.41
4	2.08	1.985	1.99	2.02	1.94	2.08	2.15
5	3.45			3.28	2.83	3.14	3.98
6			-0.15	-0.11	-0.165	-0.23	-0.07
7	5.60		6.11	6.21	5.83	5.87	5.91
8	3.64	3.48	3.28	3.10	2.65	2.98	3.27
9	7.15	7.13	7.25		7.22	7.30	7.31
10						20.50	20.66
11						2.32	

Tabla 3.9 Profundidad al nivel estático registrada en los pozos de observación

No. Pozo	26/mar/2012	2/oct/2012	2/sep/2013	10/mar/2014	11/sep/2014			
1	1.61	2.45		1.81	2.31			
2	7.18	8.05	8.19	8.00	8.43			
3	6.49	6.49	6.55	6.58	6.62			
4	2.22	2.22	2.15	2.16	2.29			
5	3.46	3.46		2.78	3.22			
6	-0.49	-0.49	+0.03		-0.05			
7	5.70	5.70	5.64	5.79	6.02			
8	3.65	3.65	3.13	3.08	3.68			
9	7.48	7.48	7.55	7.52	7.67			
10								
11								
12					7.41			
13					6.60			
14					2.53			
15					1.63			
16					4.95			

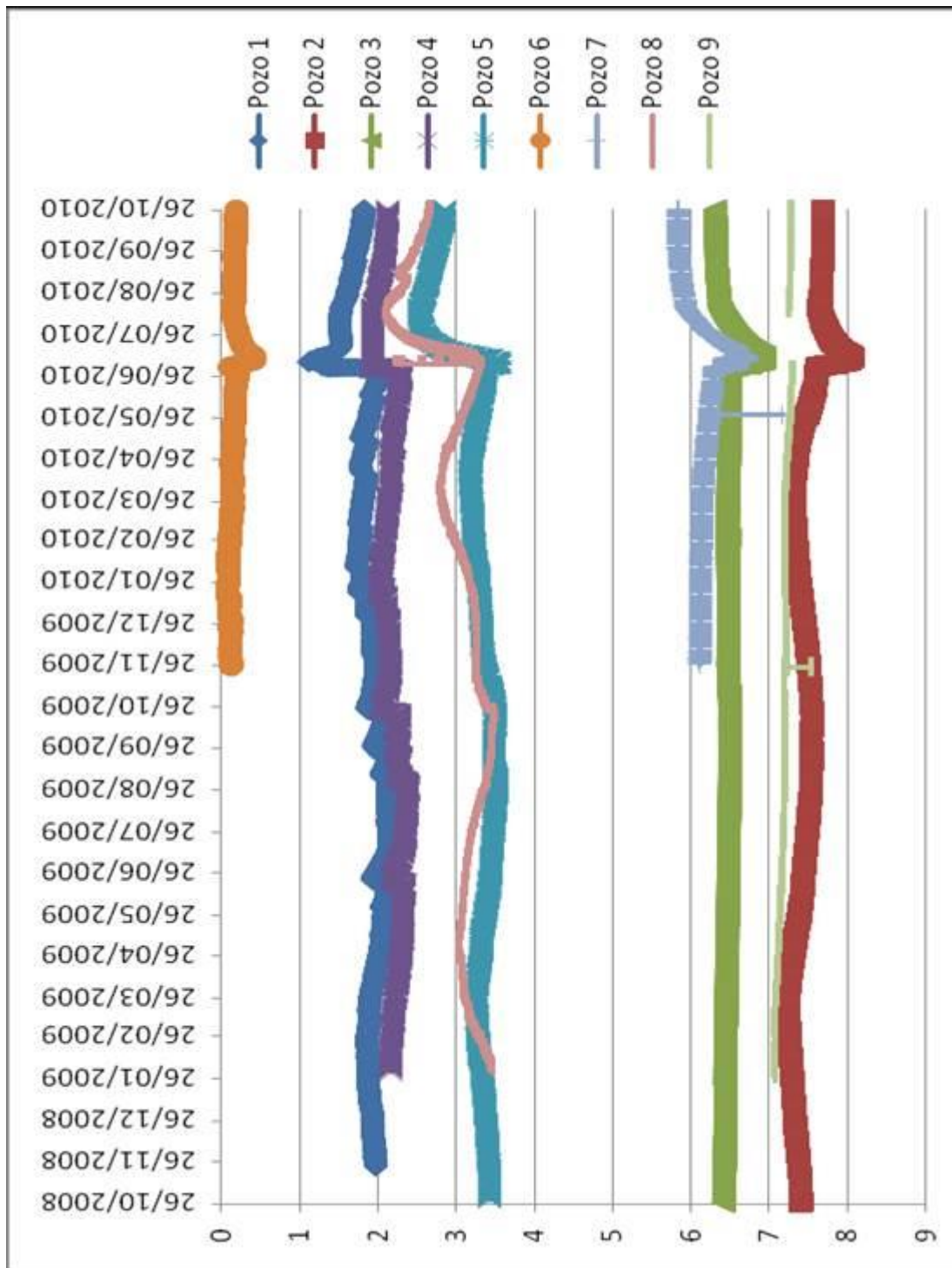


Figura 3.9 Evolución de la profundidad al nivel estático (acuífero poniente)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La perforación de cinco pozos para el monitoreo piezométrico y la calidad del agua, en la porción oriente del acuífero Cuatrociénegas complementa la red de monitoreo iniciada por el IMTA en 2007.

Como un resultado del proyecto de instrumentación del acuífero Cuatrociénegas se tiene perforados 11 pozos en la porción poniente y 5 en la porción oriente del acuífero. Los pozos de observación de la porción poniente fueron instrumentados con medidores de nivel automático (Leveloggers) desde finales del 2008, mismos que han registrado los niveles hasta la fecha y los cuales han presentado problemas con la transferencia de los datos registrados a la computadora portátil, por lo cual han sido reemplazados.

Los pozos de monitoreo recién perforados en la porción oriente también fueron instrumentados con medidores de nivel automático, programando se registren medidas cada 24 horas. El barologger fue instalado en el pozo 16 ubicado en el centro del valle.

De acuerdo con la configuración piezométrica de septiembre del 2014, tenemos que en el acuífero de Cuatrociénegas se observa que el flujo tiene dos componentes principalmente: i) en la porción poniente del acuífero, la dirección del flujo del agua subterránea muestra una componente semi concéntrica hacia la zona de la poza la Becerra y otra hacia la porción oriente. Cabe señalar que el flujo subterráneo proviene de la recarga ocurrida en la Sierra La fragua, así como el flujo proveniente de las demás sierras circundantes, excepto del flanco occidental de la sierra San Marcos cuya falla no permite el flujo hacia esta porción del acuífero y ii) en la porción oriente la dirección del flujo subterráneo es concéntrico, teniendo aportaciones de todas las sierras circundantes, excepto en la zona de salida.

Como un resultado de las exploraciones se reporta que en las 5 perforaciones fueron “cortados” sedimentos finos como evaporitas y algunos estratos arcillosos. En todos los pozos se encontró agua y su correspondiente nivel piezométrico. En los pozos no se detectó la presencia del basamento o roca dura.

Al final de la etapa de desarrollo y aforo fueron medidos in situ los parámetros de campo pH, Conductividad eléctrica y temperatura y se tomaron muestras de agua para su análisis en laboratorio. Cabe señalar que la conductividad eléctrica medida en los pozos fluctúa entre 2.81 a 2.95. Los pozos ubicados en el Ejido El venado, San Vicente y en el centro del valle registraron valores mayores a los 20.00 $\mu\text{S/cm}$.

Los resultados del balance hidrológico subterráneo, muestran que las entradas al sistema son de 152.60, las salidas de 154,80 y el cambio en el almacenamiento a $- 2.2 \text{ Mm}^3$ anuales, respectivamente, por lo que el acuífero de Cuatrociénegas se encuentra sobreexplotado.

Recomendaciones

Continuar operando los medidores de nivel instalados en los 16 pozos de observación y los pluviómetros instalados en la periferia del valle.

Continuar registrando la información generada en los pozos de observación y pluviómetros para seguir conformando la base de datos del acuífero Cuatrociénegas.

Transferir por medio de un COMODATO los pozos, piezómetros, pluviómetros y registradores de nivel para continuar con el proceso de medición, operación y mantenimiento del equipo.

5. REFERENCIAS

- CNA (2001). Estudio de evaluación hidrogeológica e isotópica en el Valle del Hundido. Coahuila.
- CNA (1998). Metodologías para la estimación de la disponibilidad del agua. Gerencia de Planeación Hidráulica. México D.F.
- CNA. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, “Que establece las disposiciones para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.
- Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila (2002). Estudio geohidrológico en Cuatrociénegas, Coah. Dirección de Proyectos Especiales.
- Custodio, E. y M. R., Llamas (1976). “Hidrología Subterránea”, Ediciones Omega, Barcelona.
- Driscoll, G.F. (1986). “Groundwater and Wells. Johnson Division, St. Paul, Minn.
- ERIC II (*Extractor rápido de información climatológica v.2.0*) (1999), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, versión disco compacto.
- Freeze, R. A., y J.A. Cherry (1979). Groundwater. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.
- Heath, R.C (1982). Basic Ground-Water Hydrology. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2004), extraído de la página web <http://www.inegi.gob.mx>
- IMTA (2004). Estudio hidrogeológico de los acuíferos El Hundido y Cuatrociénegas, Coahuila, Gerencia de Aguas Subterráneas, Comisión Nacional del Agua y Instituto Nacional de Ecología, diciembre 2004.
- Lesser y Asociados, S.A. de C.V. (2001). Estudio de evaluación hidrogeológica e isotópica en el Valle del Hundido, Coahuila, Gerencia de Aguas Subterráneas, Comisión Nacional del Agua, contrato GAS-006-PRO 01, diciembre 2001.

Lesser y Asociados, S.A. de C.V. (2002) *Estudio Geohidrológico en Cuatrociénegas, Coahuila*, Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila, Contrato CEAS IAI-18-02-AP, Noviembre 2002.