



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO
PARA DETERMINAR
LA FACTIBILIDAD
DE CONSTRUCCIÓN
DE UN POZO DE AGUA
EN EL POBLADO
EL NUEVO CARACOL, GRO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

JOSUÉ MATA GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS:

ALBERTO ARIAS PAZ



MÉXICO, D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*“Empero por la gracia de Dios soy lo que soy;
no por mi, sino por la gracia de Dios que fué conmigo.....
porque no es del que quiere, ni del que corre,
sino de Dios que tiene misericordia.”*

Fragmento tomado de las Epístolas del Apóstol Pablo; 1ª a los Corintios 15.10 y a los Romanos 9.16



Agradecimientos

A Dios primeramente, porque ha puesto los medios para que pueda culminar lo que empecé hace mucho tiempo, lo que pensaba era imposible, Él lo hace ahora posible.

A mis Padres, por la inversión financiera y moral que hicieron en mi, sé que se van a sentir complacidos y satisfechos. Gracias pas.

A mi esposa, Dra. Hortensia Cedillo, la oración que elevaste hace mas de 11 años fue contestada, gracias por tu paciencia y por estar a mi lado en las buenas y en las malas. Hemos aprendido mucho, como que uno mas uno es uno. Juntos seguiremos aprendiendo.

A Sául y Eunice, dos bendiciones provenientes directamente de Dios, han sido en gran parte el motor del esfuerzo que he realizado para llegar a la meta.

A mis hermanos: Martha, Esther y David, gracias por su cariño. Estoy seguro que comparten mi gratitud a Dios y se alegran junto conmigo y no solo ellos, sino sé que tambien compartirán conmigo este acontecimiento mis sobrinos Carlos Josué, Astrid, Eber y Cesia, así como mis cuñados Carlos Manuel, Mara, Javier y Edith y mi suegra Emma, quien ha sido de mucho apoyo en el seno familiar. A todos ustedes gracias.

A la Máxima Casa de Estudios del país, la UNAM, quién a través de los profesores de la Facultad de Ingeniería (todos ellos excelentes ingenieros), me dio la formación académica para desarrollarme profesionalmente. Es un orgullo y un honor ser universitario y pertenecer a la Facultad de Ingeniería. En particular agradezco al Ing. Alberto Arias Paz por aceptar ser el director de este trabajo y a los ingenieros Héctor Macías González, Emiliano Campos Madrigal, Javier Arellano Gil y Martín C. Vidal Gracia por su participación como Sinodales.

A la Comisión Federal de Electricidad, cuyo título de empresa de clase mundial, se debe al excelente cuerpo de ingenieros que la integran. Gracias porque aún sin tener el título de ingeniero, me dieron un voto de confianza y me han permitido hasta el momento colaborar con ustedes. En particular le doy las gracias a los señores ingenieros Víctor M. Mata Villavicencio, Juan M. Nieto Calleja, J. Francisco Gama Martínez y agradezco los regaños del ingeniero Melvin Hernandez Mancilla, cuyo método creo que funcionó, aprendí mucho con usted.

A mis compañeros de la Facultad, que para evitar omitir nombres no los menciono. Así mismo agradezco a mis compañeros de trabajo el haber colaborado conmigo en los proyectos que se me asignaron, las experiencias vividas y todo lo que experimentaros han contribuido en gran parte a mi crecimiento profesional y como persona. También a mi compañero de la universidad de la vida, Ruben Camacho, que eres parte de la familia y espero verte allá arriba.



Índice

Índice de Figuras, Tablas, Fotografías y Gráficas
Resumen
Introducción

	Pág
1. Generalidades	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Localización	1
1.3 Climatología	3
1.4 Hidrología superficial	8
2. Marco Geológico	11
2.1 Geología regional	11
2.2 Tectónica regional	16
2.3 Geología local	19
3. Exploración Geofísica	21
4. Censo de Aprovechamientos	28
5. Unidades Geohidrológicas	31
6. Calidad Química del Agua	38
7. Conclusiones y Recomendaciones	42
7.1 Conclusiones	42
7.2 Recomendaciones	43
Bibliografía	47



Índice de Figuras

	Pág.
1. Localización de zona de estudio	2
2. Localización de afluentes del río Balsas (Garrido 1986)	9
3. Ubicación de SEV y líneas de geofísica	21
4. Arreglo eléctrico Schlumberger	22
5. Sección geofísica Línea 1	25
6. Sección geofísica Línea 2	26
7. Sección geofísica Línea 3	27
8. Localización de pozos	28
9. Ubicación de secciones geohidrológicas	34
10. Sección AA´	35
11. Sección BB´	36
12. Sección CC´	37

Índice de Tablas

1. Lámina de precipitación mensual en milímetros	3, 4
2. Lámina de evaporación mensual en milímetros	4, 5
3. Temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales en grados centígrados	5-7
4. Interpretación de las unidades geoelectricas identificadas	24
5. Características de los pozos propiedad de la PGR	29
6. Características del pozo P-3	30
7. Resumen de resultados de análisis químicos	41



Índice de Fotografías

	Pág.
1. Afloramiento de lutita de la Formación Mezcala	19
2. Material producto del acarreo del río	20
3. Contacto entre material fluvial y finos	20
4. Pozo P-1	29
5. Pozos destruidos localizados sobre el cauce del río Balsas	30
6. Vista de la Formación Mezcala	31
7. Unidad geohidrológica RPMB	32
8. Unidad geohidrológica GPM sobreyaciendo a la unidad GPA	33
9. Toma de muestra de agua en el pozo P-1	38
10. Mediación de parámetros físico-químicos en campo pozo P-1	39

Índice de Gráficas

1. Datos de la estación climatológica de la C.H. Ing. Carlos Ramírez Ulloa, periodo 1975-2004	7
2. Composición química de muestras de agua	40



INTRODUCCIÓN

El aumento sostenido de la población y de las actividades tecnológicas encaminadas a elevar el nivel de vida conlleva una mayor demanda de agua, por lo que en nuestro país, al igual que en todo el mundo, las necesidades de agua son cubiertas explotando los acuíferos a través de pozos, sin embargo, la construcción de una obra hidráulica de este tipo representa un gasto considerable y por otro lado, no siempre el subsuelo reúne las características apropiadas para almacenar y transmitir agua.

Por esta razón, se hace necesario evaluar previamente la zona en donde se proyecte perforar un pozo para establecer su viabilidad. El resultado obtenido es útil para identificar el mejor sitio para la construcción del pozo y proponer un diseño constructivo preliminar, con lo cual la explotación del acuífero será efectuada de la manera más eficiente y racional posible. En caso de que la evaluación del sitio muestre que la zona no presenta condiciones propicias, se evita realizar gastos infructuosos.

Partiendo de las consideraciones anteriores, se realizó un Estudio Geohidrológico en el poblado El Nuevo Caracol, Gro., con la única finalidad de cubrir la demanda de una población aproximada de 400 habitantes.

Este estudio esta integrado por actividades tales como la recopilación de información cartográfica, consulta de informes técnicos y artículos del sitio o cercanos a este, reconocimiento geológico del área con la finalidad de identificar las unidades litológicas y estimar su grado de permeabilidad y porosidad (unidades geohidrológicas), ejecución de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), censo de aprovechamientos y toma de muestras de agua para determinar la calidad química del agua.

La descripción y alcance de cada actividad así como el resultado obtenido se presentan en este escrito, esperando contribuya en la evolución de trabajos de este tipo que sin duda alguna seguirán llevándose a cabo.



RESUMEN

Con el objetivo de determinar la factibilidad de construcción de un pozo de abastecimiento de agua para el Nuevo Poblado El Caracol, se llevó a cabo un Estudio Geohidrológico en los terrenos pertenecientes a este poblado, consistente en una serie de actividades cuya integración permitió definir los sitios con las características geohidrológicas más apropiadas para la construcción de un pozo.

Primeramente se estableció un marco geológico, con lo cual se determinó que en la zona de estudio existen dos unidades. La primera corresponde a una lutita con escasas intercalaciones de limonitas y areniscas pertenecientes a la Formación Mezcala. La segunda unidad, esta integrada por material producto del acarreo del río y en la parte superior por material de tamaño de limos y arcillas generado por los efectos de la erosión e intemperismo de la roca lutita principalmente. De manera simultánea al levantamiento geológico, se identificaron aspectos físicos en las unidades litológicas para establecer sus características geohidrológicas.

Posteriormente se llevó a cabo un estudio geoeléctrico consistente en sondeos eléctricos verticales con lo cual se identificaron ocho unidades geoeléctricas con base a los valores de resistividad registrados.

La información obtenida en las actividades mencionadas anteriormente se integró y analizó obteniendo como resultado la identificación de cuatro unidades geohidrológicas de las cuales, dos ellas son de interés: la unidad granular de permeabilidad alta (GPA), que por su granulometría predominantemente gruesa y bajo grado de compactación, es altamente permeable, sin embargo, por su posición respecto al lecho del río, una obra de captación ubicada sobre estos materiales está en riesgo de ser destruida por una crecida del río. La otra unidad identificada esta constituida por rocas de permeabilidad media a baja (RPMB), es una unidad cuya permeabilidad esta asociada al grado de fracturamiento en la roca, se considera que si se localiza cercana al lecho del río, puede aportar caudales de hasta 2 l/s.

Parte importante del estudio fue el censo de pozos con lo cual se efectuó una valoración del régimen de explotación del agua subterránea. Se identificaron un total de ocho aprovechamientos de los cuales solo dos están operando con caudales entre 1.5 l/s y 2.5 l/s, ya que los restantes se encuentran dañados por las avenidas máximas que ha tenido el río Balsas.

Para determinar la calidad química del agua se tomaron cuatro muestras de agua, tres procedentes de pozos y una del río. Los resultados indicaron que existen concentraciones mayores a 3000 UFC/100 ml de coniformes totales en todas las muestras, así mismo, en todas ellas se detectó Cromo en concentraciones de 0.050 mg/l y en el pozo P-3 se encontraron concentraciones de Hierro, Manganeso y Sulfatos en



concentraciones de 9.429 mg/l, 3.272 mg/l y 532.09 mg/l respectivamente. Las concentraciones mencionadas exceden el límite máximo permisible que indica la NOM-127-SSA1-1994. Lo anterior hace suponer que es muy probable, que en el pozo que se construya, el agua que se extraiga tenga la misma composición, haciendo necesaria la aplicación de un proceso de potabilización, para que sea adecuada para el uso y consumo humano.

Se considera como principal fuente de abastecimiento de agua al subsuelo el río Balsas. Esto debido a la similitud en la composición química de las muestras de agua analizadas, así mismo, del análisis de la información climatológica se determinó que debido al alto grado de evaporación potencial, el limitado periodo de lluvias, así como lo abrupto de la topografía y la baja permeabilidad de las rocas en el área, el potencial geohidrológico en la zona es bajo.

Con base a todo lo anterior, se establece que es factible la construcción de un pozo para abastecimiento de agua para el poblado, identificando dos sitios.

La alternativa 1 se localiza en las coordenadas geográficas 17° 57' 29.77" latitud norte, 100° 01' 28.40" longitud oeste, en el extremo poniente del poblado, y el prediseño que se propone consiste en un pozo de 20 m de profundidad, ademado con tubería de PVC de 25.4 cm de diámetro, colocando en la parte superior 10 m de tubería lisa y en los restantes 10 m tubería ranurada de abertura de 2 mm.

La alternativa 2 se ubica en las coordenadas geográficas 17° 57' 36.46" latitud norte, 100° 01' 20.08" longitud oeste, este punto se encuentra al norte del poblado. En este sitio se propone la construcción de un pozo de 25 m de profundidad, ademado con tubería de PVC de 25.4 cm de diámetro, los primeros 15 m son de tubería lisa y los 10 m restantes de tubería ranurada de abertura de 2 mm.

En ambas alternativas el objetivo es explotar la unidad RPMB. Al finalizar la construcción del pozo se deberá de realizar su aforo y la toma de muestras de agua para determinar su calidad química en laboratorio.



1. GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO

Este trabajo tiene el siguiente objetivo general:

Evaluar los aspectos Geohidrológicos de los terrenos que ocupa el poblado El Nuevo Caracol, Gro., para determinar la factibilidad de construir un pozo que aporte un gasto mínimo de 1.5 l/s, con lo cual se cubriría las necesidades de agua de este asentamiento humano.

En el desarrollo de las actividades se cubrirán los objetivos particulares que a continuación se mencionan:

- a) Identificar y evaluar unidades geohidrológicas con capacidad de almacenamiento y con la permeabilidad suficiente para ser explotadas.
- b) De acuerdo a la distribución espacial de las unidades geohidrológicas, seleccionar el sitio mas apropiado para la construcción de un pozo.
- c) Proponer la profundidad y diseño del pozo para que la eficiencia del pozo y la explotación del acuífero sean los óptimos.
- d) Determinar la calidad del agua por medio de análisis físico-químicos y bacteriológicos para establecer si es posible utilizarla directamente para consumo humano o es necesario recomendar un método de potabilización.

1.2 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se encuentra dentro de los terrenos pertenecientes al Poblado de El Nuevo Caracol, Municipio de Tepecoacuilco, Estado de Guerrero.

Se ubica a una distancia aproximada de 225 Km al sur de la Cd. de México, a 125 Km al suroeste de la Cd. de Iguala y a 72 Km del Poblado de Telolóapan, entre las coordenadas geográficas 17º 57' y 17º 58' latitud norte y 100º 01' y 100º 02' longitud oeste. Figura 1.

Cabe hacer mención que este poblado fue reubicado en el área que actualmente ocupa debido a que los terrenos en los cuales se asentaba quedaron dentro de la zona de embalse de la Central Hidroeléctrica Ing. Carlos Ramírez Ulloa.



Figura 1. Localización de zona de estudio (Tomado de INEGI)



1.3 CLIMATOLOGÍA

El clima en el Estado de Guerrero esta controlado por los efectos que producen la Sierra Madre del Sur y la Zona Neovolcánica Transmexicana. Presenta una gama variada de climas, sin embargo, el que predomina en la zona de estudio es el Cálido Subhúmedo, con lluvias en verano, que coincide en su mayor parte con altitudes que van desde el nivel del mar a los 1 000 m.

De los parámetros climatológicos, los que se consideran que inciden en mayor medida con el agua subterránea y por tanto se consideran importantes son: precipitación pluvial, evaporación potencial y temperatura ambiente media.

Para tener un panorama climatológico general de la zona, se recopilaron los datos de los parámetros antes mencionados registrados durante el periodo de 1975 a 2004 en la estación climatológica El Caracol, cuya localización geográfica en coordenadas es: Latitud Norte: 17° 57' 30", Longitud Oeste: 100° 01' 20". Esta estación pertenece al Centro Meteorológico de la C.F.E. y se encuentra instalada dentro de la Central Hidroeléctrica "Ing. Carlos Ramírez Ulloa". Tablas 1, 2 y 3.

TABLA 1.- LÁMINA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL EN MILIMETROS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1975	***	***	***	***	73.0	138.9	217.5	181.3	118.9	90.7	0.0	0.0	820.3
1976	0.0	0.0	0.0	4.5	19.4	92.8	137.4	274.3	171.1	120.5	17.9	3.6	841.5
1977	0.0	0.0	0.0	2.4	54.0	214.0	257.7	250.6	152.6	20.9	0.0	2.7	954.9
1978	6.0	0.2	3.1	0.0	28.4	140.0	157.8	165.0	321.3	234.1	5.5	0.0	1061.4
1979	0.0	0.0	0.0	1.0	68.1	106.6	233.5	121.4	145.0	16.7	0.0	0.9	693.2
1980	78.0	0.0	0.0	3.9	31.5	212.2	244.2	121.6	198.7	19.8	10.7	0.0	920.6
1981	26.7	3.8	0.0	10.6	8.7	251.8	348.4	139.4	194.4	86.2	1.7	0.0	1071.7
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	***	143.1	188.6	262.6	211.3	57.1	0.0	0.0	862.7
1983	17.0	2.3	4.5	0.0	7.5	114.9	234.0	131.6	75.2	124.6	1.8	2.3	715.7
1984	7.5	0.0	0.0	0.0	89.9	110.9	305.0	158.2	225.6	35.5	0.0	0.0	932.6
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	74.6	155.0	271.2	223.9	167.5	95.3	0.0	0.0	987.5
1986	0.0	0.0	0.0	2.8	30.2	169.3	235.0	152.5	115.8	24.8	3.1	3.4	736.9
1987	0.0	0.6	0.0	2.1	37.7	233.0	253.9	126.1	233.0	0.0	0.0	0.0	886.4
1988	0.0	0.0	***	***	0.0	***	213.5	238.9	306.4	44.1	0.0	0.0	802.9
1989	0.0	0.0	0.0	1.0	15.9	280.4	197.6	165.5	246.4	148.7	1.8	3.0	1060.3
1990	0.0	4.2	8.1	17.7	71.6	240.6	101.5	145.9	205.0	159.7	2.3	1.3	957.9
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	33.6	123.6	177.6	154.5	240.1	135.1	53.5	0.0	918.0
1992	37.2	3.5	0.0	2.4	20.0	132.2	123.1	190.4	187.9	76.1	22.8	6.0	801.6
1993	0.0	0.0	1.0	0.0	5.6	119.5	192.8	137.3	343.6	111.5	14.5	0.0	925.8
1994	0.0	0.0	0.0	17.5	19.1	268.7	196.0	185.8	191.1	44.2	0.5	0.0	922.9
1995	19.0	1.0	2.0	0.5	71.6	118.8	171.5	150.8	355.5	79.8	1.0	42.5	1014.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	109.2	229.0	131.3	300.1	119.3	69.7	1.5	3.0	963.1
1997	0.0	0.0	17.5	15.0	30.5	186.7	106.7	209.9	238.8	119.3	0.6	4.0	929.0

**TABLA 1.- LÁMINA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL EN MILIMETROS**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.5	293.4	283.3	211.4	158.0	22.2	0.0	1125.8
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	133.4	146.5	211.4	106.2	137.8	0.0	0.0	746.8
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	81.1	202.0	115.0	175.1	139.6	3.8	2.3	0.0	718.9
2001	17.5	0.0	26.0	20.0	91.8	267.7	304.7	86.5	198.5	95.0	0.0	1.3	1109.0
2002	13.2	4.6	0.0	0.0	78.6	223.1	242.8	186.9	182.2	116.4	84.5	0.0	1132.3
2003	0.0	0.0	11.5	0.0	11.1	158.5	330.4	338.2	282.5	171.5	4.0	0.0	1307.7
2004	27.2	0.0	7.0	0.5	60.0	115.1	191.9	413.1	294.2	38.1	0.0	0.0	1147.1
MAX	78.0	4.6	26.0	20.0	109.2	280.4	348.4	413.1	355.5	234.1	84.5	42.5	1307.7
MED	8.6	0.7	2.9	3.6	42.6	173.8	210.7	196.1	206.0	87.8	8.4	2.5	935.6
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.8	101.5	86.5	75.2	0.0	0.0	0.0	693.2

TABLA 2.- LÁMINA DE EVAPORACIÓN MENSUAL EN MILÍMETROS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1975	***	***	***	***	266.41	196.48	149.82	149.61	134.93	151.19	172.74	176.88	1398.06
1976	204.40	233.50	323.47	329.89	363.42	254.40	201.56	169.83	160.61	133.50	127.83	167.58	2669.99
1977	206.59	248.03	350.79	348.54	311.60	185.28	177.46	165.00	150.93	171.63	172.48	175.04	2663.37
1978	210.71	239.69	333.40	385.98	368.99	226.67	181.88	189.80	128.24	118.58	147.95	171.47	2703.36
1979	221.05	248.39	339.41	380.85	334.61	257.80	185.94	162.93	129.08	177.29	196.74	205.79	2839.88
1980	193.88	235.36	370.50	370.94	357.55	304.46	199.59	167.60	135.52	165.62	184.51	193.89	2879.42
1981	189.54	164.84	340.60	359.98	371.92	229.81	189.62	166.82	183.03	153.98	171.98	199.47	2721.59
1982	233.52	261.48	367.15	398.29	***	257.28	187.90	170.87	149.68	150.31	175.27	183.10	2534.85
1983	200.92	195.38	287.31	310.60	296.41	281.24	186.66	165.10	164.69	183.81	164.20	176.92	2613.24
1984	199.14	228.43	329.97	363.91	337.58	202.12	149.87	130.37	109.96	153.65	168.49	183.98	2557.47
1985	194.73	217.29	320.09	324.06	296.10	180.89	169.47	146.55	133.04	127.30	144.06	163.32	2416.90
1986	190.14	211.44	307.17	321.45	285.02	202.57	168.60	140.60	135.77	162.50	158.97	160.38	2444.61
1987	201.35	218.32	295.33	317.50	335.73	175.48	133.20	144.60	127.34	157.24	163.57	165.95	2435.61
1988	186.71	229.32	***	***	289.75	***	154.25	132.52	119.11	123.45	143.15	169.73	1547.99
1989	187.40	223.90	286.37	316.30	330.37	197.80	141.80	140.48	95.07	106.14	119.76	144.69	2290.08
1990	186.13	206.53	290.74	311.31	240.13	156.18	141.33	141.96	105.62	105.32	129.54	156.88	2171.67
1991	187.48	213.80	299.10	298.93	311.58	190.64	145.88	143.75	79.59	109.05	116.85	129.57	2226.22
1992	119.89	171.40	277.30	286.10	274.90	194.70	176.10	137.30	113.80	100.75	95.50	130.75	2078.49
1993	184.85	210.20	278.85	292.00	311.30	232.30	154.00	148.60	100.45	111.90	123.40	142.42	2290.27
1994	165.98	203.00	286.00	283.45	294.50	169.35	153.45	132.70	111.36	119.20	145.15	162.05	2226.19
1995	167.30	198.80	287.70	300.50	271.30	190.90	176.90	123.00	103.00	112.20	126.10	121.83	2179.53
1996	146.57	209.90	277.90	292.30	260.90	134.50	141.70	121.50	130.40	117.00	145.60	139.20	2117.47
1997	168.90	203.80	252.60	262.20	260.05	180.60	162.15	150.25	95.35	97.50	118.70	133.00	2085.10
1998	158.50	185.50	266.20	291.39	279.13	223.51	141.45	135.43	91.32	100.12	105.35	122.57	2100.47
1999	159.06	186.96	267.00	299.15	302.64	199.98	161.85	150.84	127.06	120.11	138.38	145.48	2258.51
2000	170.08	200.27	260.47	302.92	257.51	155.94	242.56	216.18	198.79	205.84	216.38	193.40	2620.34
2001	213.35	239.48	329.99	350.29	341.22	221.77	214.49	208.43	184.78	194.81	182.13	180.00	2860.74
2002	203.79	233.25	354.14	369.92	339.18	243.90	206.74	208.70	169.91	178.17	143.24	164.36	2815.30
2003	209.37	242.09	343.88	380.69	368.57	215.57	250.02	207.65	201.72	165.50	158.40	155.63	2899.09

**TABLA 2.- LÁMINA DE EVAPORACIÓN MENSUAL EN MILÍMETROS**

2004	169.73	228.06	303.38	332.10	335.11	208.00	204.34	137.50	147.61	148.30	167.27	179.26	2560.66
MAX	233.52	261.48	370.50	398.29	371.92	304.46	250.02	216.18	201.72	205.84	216.38	205.79	2899.09
MED	187.28	216.84	308.10	327.91	310.12	209.31	175.02	156.88	133.93	140.73	150.79	163.15	2401.58
MIN	119.89	164.84	252.60	262.20	240.13	134.50	133.20	121.50	79.59	97.50	95.50	121.83	1398.06

TABLA 3.- TEMPERATURAS MAXIMAS, MEDIAS Y MINIMAS MENSUALES EN GRADOS CENTÍGRADOS

AÑO	TEMP. C°	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1975	MAX	***	***	***	***	42.2	38.6	35.1	36.0	35.2	36.6	37.9	36.9	42.2
	MIN	***	***	***	***	19.9	19.5	18.2	19.2	15.0	15.2	11.9	12.1	11.9
	MED	***	***	***	***	31.1	28.7	26.7	26.7	26.9	26.7	26.4	24.2	18.1
1976	MAX	36.0	38.0	42.0	42.3	44.1	41.7	37.4	37.1	36.0	35.6	36.0	36.6	44.1
	MIN	12.1	13.4	15.0	19.9	21.9	21.0	20.0	18.4	20.1	17.9	14.2	15.8	12.1
	MED	24.7	25.9	29.7	31.6	32.5	30.5	27.9	26.9	27.4	26.4	24.8	26.3	27.9
1977	MAX	39.1	39.0	43.7	42.3	42.4	40.2	37.6	34.7	36.0	38.0	39.0	37.1	43.7
	MIN	12.1	16.5	17.4	17.5	19.2	18.6	18.0	19.5	19.2	15.5	13.0	11.9	11.9
	MED	26.0	27.3	30.0	30.8	31.1	27.8	27.1	27.0	27.2	27.5	26.7	25.6	27.8
1978	MAX	37.0	39.0	42.0	43.5	43.5	39.5	35.5	37.5	34.0	34.0	36.2	38.9	43.5
	MIN	14.0	13.0	12.5	21.5	18.5	19.0	18.5	19.0	18.5	18.0	15.3	14.0	12.5
	MED	25.3	26.2	27.9	32.4	32.7	28.6	27.4	28.0	26.7	25.70	26.1	25.6	27.7
1979	MAX	38.0	39.7	41.7	43.5	42.5	42.2	38.0	37.0	35.1	39.8	37.8	37.5	43.5
	MIN	11.2	16.8	17.5	19.9	17.5	19.7	19.1	19.1	17.5	14.5	15.2	15.8	11.2
	MED	24.5	27.7	29.5	31.7	31.7	31.0	28.2	27.7	27.2	27.6	26.5	26.5	28.3
1980	MAX	38.6	39.5	41.5	42.5	44.0	42.0	36.0	35.0	35.5	36.5	36.0	36.0	44.0
	MIN	13.7	15.0	18.0	20.5	22.0	20.0	19.0	20.0	20.0	16.5	17.5	12.0	12.0
	MED	25.4	26.5	29.8	32.0	33.5	31.3	27.4	27.3	26.9	27.0	26.8	25.0	28.2
1981	MAX	35.5	40.5	40.5	42.5	43.0	41.0	34.0	36.0	36.5	35.0	36.0	36.5	43.0
	MIN	12.5	16.0	17.5	21.0	21.0	20.0	19.5	19.0	19.0	17.0	12.0	14.5	12.0
	MED	23.6	27.7	29.7	32.3	32.6	29.2	26.6	27.5	27.6	27.2	26.0	25.7	28.0
1982	MAX	38.0	39.5	41.5	42.5	***	43.0	38.0	36.0	36.0	36.0	38.0	37.0	43.0
	MIN	16.5	16.0	17.0	22.0	***	19.0	19.0	18.0	19.0	15.0	12.0	9.0	9.0
	MED	26.7	28.3	30.3	32.7	***	30.9	27.6	27.0	27.2	27.0	25.8	24.7	25.7
1983	MAX	38.0	38.0	41.0	42.0	45.0	42.0	37.0	36.0	37.0	39.0	38.0	38.0	45.0
	MIN	9.0	11.0	13.0	17.0	17.0	22.0	21.0	10.0	20.0	16.0	17.0	13.0	9.0
	MED	24.8	24.0	26.7	29.8	31.9	31.2	28.7	28.0	28.4	28.3	27.5	26.2	28.0
1984	MAX	38.0	39.0	43.0	44.0	43.0	39.0	35.0	35.0	35.0	38.0	37.0	37.0	44.0
	MIN	12.0	16.0	17.0	19.0	14.0	21.0	20.0	20.0	19.0	17.0	12.0	12.0	12.0
	MED	25.9	27.2	29.7	31.6	31.6	29.2	27.3	27.1	26.8	28.1	25.9	25.5	28.0
1985	MAX	38.0	34.0	42.0	44.0	43.0	42.0	36.0	35.0	35.0	36.0	37.0	37.0	44.0
	MIN	15.0	14.0	18.0	20.0	21.0	21.0	18.0	20.0	20.0	18.0	14.0	15.0	14.0
	MED	26.0	26.7	29.9	32.2	32.4	29.3	27.3	27.3	27.5	27.4	25.9	25.8	28.1
1986	MAX	37.0	40.0	41.0	44.0	46.0	40.0	36.0	36.0	37.0	38.0	40.0	37.0	46.0

**TABLA 3.- TEMPERATURAS MAXIMAS, MEDIAS Y MINIMAS MENSUALES EN GRADOS CENTÍGRADOS**

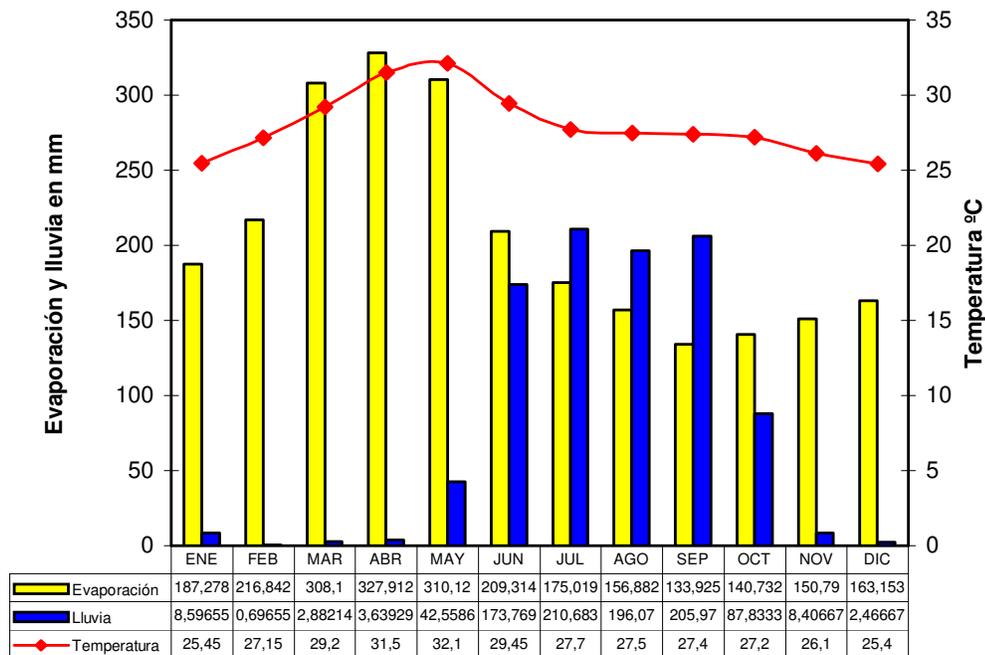
AÑO	TEMP. C°	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	MIN	7.0	14.0	15.0	21.0	21.0	21.0	20.0	20.0	19.0	14.0	14.0	14.0	7.0
	MED	24.9	27.5	28.4	32.8	32.6	29.4	27.8	27.8	28.1	28.1	28.3	25.9	28.5
	MAX	38.0	41.0	43.0	44.0	44.0	40.0	36.0	38.0	37.0	38.0	39.0	39.0	44.0
1987	MIN	10.0	12.0	17.0	18.0	19.0	21.0	21.0	21.0	21.0	14.0	13.0	16.0	10.0
	MED	25.9	26.9	29.1	31.5	33.4	29.6	28.1	28.4	28.5	26.6	27.0	26.6	28.5
1988	MAX	38.0	42.0	***	***	44.0	***	37.0	36.0	35.0	36.0	37.0	38.0	44.0
	MIN	12.0	13.0	***	***	21.0	***	21.0	21.0	21.0	17.0	15.0	12.0	12.0
	MED	25.0	28.1	***	***	32.2	***	28.2	28.2	27.9	27.3	26.5	25.3	20.7
1989	MAX	38.0	39.0	41.0	43.0	44.0	44.0	37.0	26.0	35.0	34.0	36.5	36.0	44.0
	MIN	13.0	12.0	14.0	18.0	22.0	19.0	20.0	26.0	20.0	16.0	15.5	11.0	11.0
	MED	26.4	27.0	28.0	31.0	33.0	29.5	27.6	28.0	27.2	26.3	26.6	25.0	28.0
1990	MAX	39.0	39.0	42.0	44.0	43.0	41.0	36.0	38.0	36.0	36.0	36.0	36.0	44.0
	MIN	13.0	14.0	16.0	19.0	21.0	21.0	20.0	20.0	20.0	19.0	12.0	12.0	12.0
	MED	26.3	27.2	29.6	31.5	31.5	29.1	27.8	28.5	27.8	27.4	26.0	25.0	28.1
1991	MAX	38.0	40.0	42.0	44.0	44.0	44.0	36.0	38.0	35.0	35.0	35.0	36.0	44.0
	MIN	12.0	16.0	16.0	19.0	23.0	21.0	21.0	20.0	19.0	17.0	14.0	14.0	12.0
	MED	25.6	28.2	29.8	31.8	33.2	30.1	27.7	28.1	26.7	26.8	25.4	25.0	28.2
1992	MAX	37.0	37.0	43.0	43.0	44.0	42.0	38.0	35.0	35.0	35.0	36.0	37.0	44.0
	MIN	15.0	11.0	17.0	17.0	22.0	20.0	19.0	21.0	21.0	19.0	15.0	14.0	11.0
	MED	24.2	24.6	29.7	30.7	32.1	30.1	28.4	27.5	27.4	26.7	26.1	25.7	27.8
1993	MAX	39.0	40.0	41.0	42.0	44.0	45.0	37.0	39.0	34.0	35.0	36.0	37.0	45.0
	MIN	13.0	12.0	12.0	17.0	20.0	22.0	21.0	21.0	20.0	20.0	15.0	12.0	12.0
	MED	25.6	27.1	28.5	30.8	32.4	31.7	27.8	28.4	27.5	27.5	26.7	25.0	28.3
1994	MAX	38.0	38.0	42.0	43.0	44.0	41.0	36.0	35.0	35.0	36.0	37.0	38.0	44.0
	MIN	11.0	16.0	18.0	19.0	28.0	15.0	15.0	18.0	19.0	19.0	16.0	15.0	11.0
	MED	25.8	27.5	29.3	31.0	32.1	28.3	27.2	27.3	27.4	27.6	26.8	26.8	28.1
1995	MAX	38.0	41.0	42.0	43.0	43.0	43.0	37.0	37.0	35.0	35.0	38.0	38.0	43.0
	MIN	15.0	16.0	17.0	18.0	22.0	22.0	20.0	21.0	20.0	15.0	11.0	11.0	11.0
	MED	26.3	28.0	29.2	31.0	30.4	30.4	28.3	28.1	27.7	26.8	26.8	24.1	28.1
1996	MAX	37.0	41.0	41.0	42.0	43.0	37.0	36.0	37.0	38.0	38.0	38.0	38.0	43.0
	MIN	8.0	12.0	17.0	17.0	20.0	19.0	20.0	20.0	20.0	17.0	12.0	14.0	8.0
	MED	22.8	26.2	28.1	29.8	31.6	27.4	27.1	27.3	27.8	26.7	26.0	25.7	27.2
1997	MAX	37.0	40.0	43.0	40.0	43.0	42.0	36.0	38.0	36.0	37.0	36.0	38.0	43.0
	MIN	9.0	15.0	16.0	17.0	19.0	20.0	20.0	20.0	20.0	16.0	14.0	12.0	9.0
	MED	24.2	27.2	29.0	29.4	31.2	30.0	27.9	27.5	27.0	26.3	26.0	25.1	27.6
1998	MAX	37.0	43.0	41.0	43.0	43.5	42.5	37.5	35.0	35.0	34.5	35.0	36.5	43.5
	MIN	10.0	9.0	13.0	18.0	18.0	22.0	20.0	19.5	21.5	20.0	13.5	11.5	9.0
	MED	23.4	24.1	28.2	30.8	31.4	31.6	28.0	27.5	27.3	27.3	26.8	24.4	27.6
1999	MAX	37.0	39.0	42.5	44.5	43.5	42.0	37.5	36.0	36.0	34.5	35.5	36.5	44.5
	MIN	10.5	12.0	15.0	17.5	20.5	21.0	18.5	20.5	19.5	11.5	9.5	10.0	9.5
	MED	23.9	26.7	28.7	30.8	32.1	29.7	27.6	27.5	27.6	25.9	24.8	23.9	27.4
2000	MAX	38.0	40.0	41.5	43.5	42.5	38.5	38.5	36.5	36.0	38.0	38.0	37.0	43.5



TABLA 3.- TEMPERATURAS MAXIMAS, MEDIAS Y MINIMAS MENSUALES EN GRADOS CENTIGRADOS

AÑO	TEMP. C°	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
	MIN	11.5	12.0	13.5	19.0	18.0	21.0	20.0	17.5	20.0	18.0	16.5	14.5	11.5
	MED	24.5	26.6	28.4	30.8	30.8	27.7	27.8	27.1	27.3	27.7	27.6	25.4	27.6
	MAX	37.0	38.5	41.0	42.5	41.5	37.0	35.0	37.0	36.5	36.5	35.5	37.0	42.5
2001	MIN	16.0	17.5	15.5	18.5	19.5	19.0	19.0	19.5	19.0	15.0	14.0	15.0	14.0
	MED	25.8	27.9	28.1	30.9	31.0	27.4	27.0	27.8	27.2	26.8	25.4	25.4	27.6
2002	MAX	39.0	39.0	42.5	42.0	41.5	38.5	38.0	37.0	36.0	37.0	34.0	35.5	42.5
	MIN	14.5	16.0	19.0	22.0	19.0	20.0	19.5	19.5	19.0	19.0	10.0	13.5	10.0
	MED	25.5	27.3	30.2	32.3	31.8	28.9	27.1	27.5	27.3	27.6	24.2	24.4	27.8
	MAX	36.0	37.5	42.5	43.5	41.5	40.0	38.5	35.5	36.0	39.5	35.5	34.5	43.5
	MIN	15.5	16.0	15.5	19.0	22.5	20.0	19.0	18.5	20.5	17.0	15.5	12.0	12.0
2003	MED	25.5	27.0	28.4	32.0	32.4	29.1	28.1	27.0	27.8	27.2	26.0	23.7	27.9
	MAX	36.0	38.0	41.0	41.5	42.0	38.0	36.5	36.0	35.5	36.0	36.5	36.0	42.0
2004	MIN	14.0	12.0	18.0	20.5	21.5	20.0	19.5	20.5	20.0	20.0	15.5	12.0	12.0
	MED	23.8	25.6	30.1	31.0	32.5	28.9	27.8	27.7	27.5	27.8	26.3	24.9	27.8
MAXMAX		39.1	43.0	43.7	44.5	46.0	45.0	38.5	39.0	38.0	39.8	40.0	39.0	46.0
MEDMED		25.5	27.2	29.2	31.5	32.1	29.5	27.7	27.5	27.4	27.2	26.1	25.4	27.9
MINMIN		7.0	9.0	12.0	17.0	14.0	15.0	15.0	10.0	15.0	11.5	9.5	9.0	7.0

Para facilitar el manejo e interpretación de los datos de lluvia, evaporación potencial y temperatura se calculó el promedio por mes de los años que comprende el periodo y se construyó la gráfica siguiente. Grafica 2



Gráfica1. Datos de la estación climatológica de la C.H. Ing. C. Ramírez Ulloa periodo 1975-2004



La relación entre estos tres parámetros climáticos se aprecia a simple vista en la gráfica; el descenso de la temperatura está relacionado con el periodo de lluvia, así mismo, el comportamiento de los valores de evaporación potencial se encuentra vinculado directamente con la temperatura.

Si se analiza individualmente cada uno de los parámetros climatológicos considerados se tiene lo siguiente:

El periodo de lluvias inicia en el mes de mayo y finaliza en el mes de octubre, durante los meses de junio a septiembre se concentra el 98% del total de lluvia, también se observa que en los meses de enero y noviembre se presenta precipitación escasa. La lámina de precipitación pluvial anual promedio es de 943.6 mm.

El registro de evaporación potencial muestra que los mayores valores son de 308.1 mm, 327.912 mm, y 310.12 mm que corresponden a los meses de marzo, abril y mayo, respectivamente, mientras que los más bajos corresponden a los meses de septiembre con 133.925 mm y octubre con 140.732 mm. El promedio anual es de 2 401.58 mm.

En relación con la temperatura se observa que los promedios máximos se presentan en los meses de marzo, abril, mayo y junio, alcanzando valores de 29.2°C, 31.5°C, 32.1°C y 29.45°C, respectivamente, en tanto que la temperatura mínima promedio se presenta en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero con valores de 27.2°C, 26.1°C, 25.4°C y 25.45°C respectivamente. La temperatura media anual es del orden de 27.98°C.

Cabe resaltar que únicamente durante los meses de julio, agosto y septiembre, los valores de precipitación pluvial son mayores que los de evaporación potencial y que por lo tanto, el aporte de agua a subsuelo por infiltración de agua de lluvia se lleve a cabo en estos meses.

1.4 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

El área de estudio se encuentra dentro de la Cuenca Río Balsas-Mezcala, tres kilómetros aguas abajo en línea recta de la cortina de la Central Hidroeléctrica Ing. Carlos Ramírez Ulloa, en la Región Hidrológica N° 18 denominada "Río Balsas".

El Río Balsas es una de las corrientes más importantes de la República Mexicana, por su longitud y caudal. El 31% de su longitud está dentro del estado de Guerrero, distribuyéndose el resto entre los estados de Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Morelos, México, Michoacán y Jalisco. Aparte del Río Balsas, en la región existen pocos elementos perennes de la red hidrográfica. La apreciación cualitativa de la densidad de la red hidrográfica indica en cambio que esta densidad es alta y que la región se puede considerar como bien drenada. Esta característica pone en evidencia una avanzada disección en la región, aunque exista muy poca precipitación pluvial.



El Río Balsas tiene tres afluentes perennes que se encuentran cercanos al área de estudio (Figura 1): los ríos Tepecoacuilco, Cocula y Oxtotitlán (San Gaspar). Estos fluyen desde el norte y vierten sus aguas al Río Balsas, a la altura de los poblados de Mezcala, Estación Balsas y Tétela del Río, respectivamente. Desde el sur, los afluentes perennes son los ríos Zopilote y Xochipala que desembocan en el Río Balsas cerca del poblado de Mezcala; los ríos Carrizalillo y Amatlán que desembocan uno al oriente y otro al poniente.

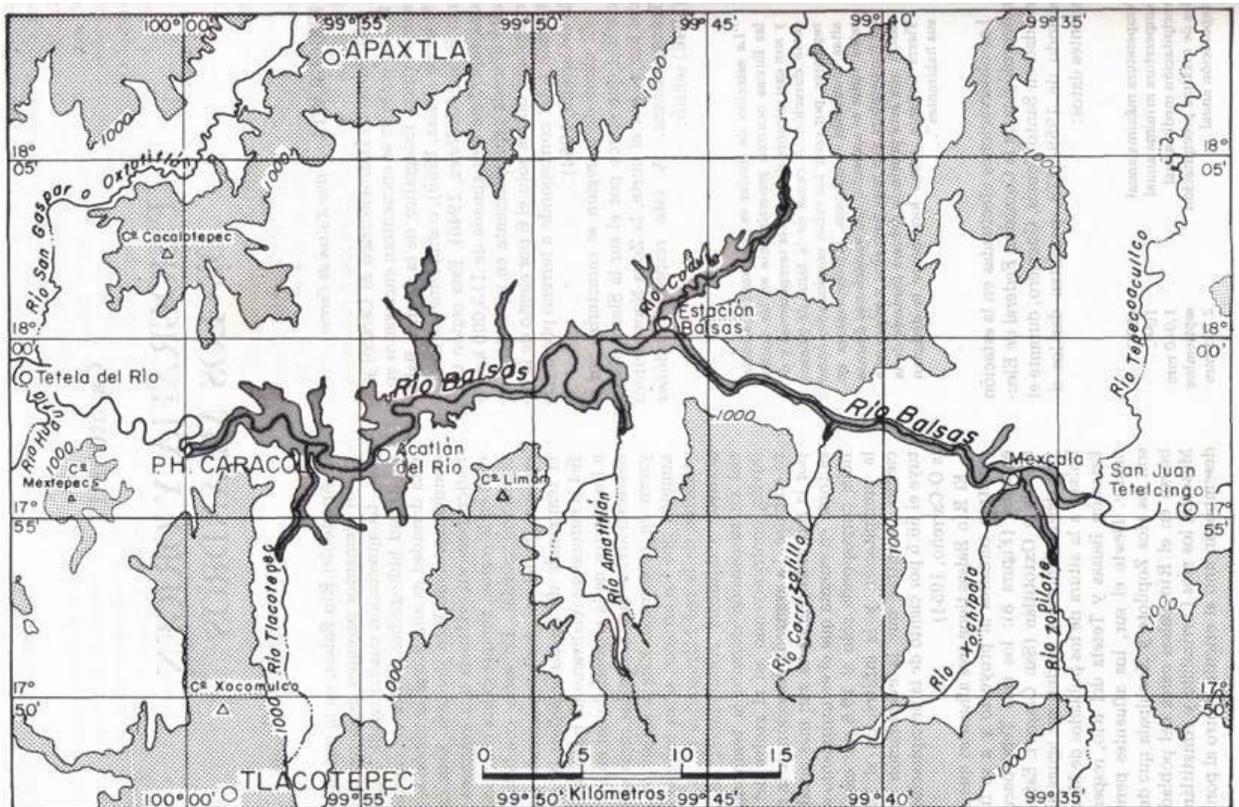


Figura 2. Localización de Afluentes del Río Balsas (Garrido 1986)

Todos estos afluentes del Río Balsas tienen una dirección general N-S, que coincide con las estructuras plegadas de la región. En cambio, el curso del Río Balsas es de E-W, siendo claramente perpendicular a la tendencia de orientación estructural de la región.

La red de drenaje es de tipo dendrítico, los cauces principales tienen un desarrollo del orden de cinco kilómetros de longitud con una pendiente del orden de 0.03. Los arroyos tributarios son de segundo orden, con un desarrollo promedio de 400 m y sus pendiente varía de 0.1 en los arroyos ubicados en margen izquierda a 0.15 en la margen derecha, que se considera de moderada a fuertes.



Las observaciones hidrométricas efectuadas por la Comisión Federal de Electricidad en la estación de aforo El Caracol, de 1958 a 1986, indican que el Río Balsas en este sitio tiene un gasto de $246 \text{ m}^3/\text{seg}$ durante los meses de junio a septiembre, de $130.1 \text{ m}^3/\text{seg}$ durante los meses de octubre a enero, y de $43.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ durante los meses de febrero a mayo. El material que lleva en suspensión corresponde a $29,323,872 \text{ m}^3$ anuales (período de 1960-1973 en la Estación de Santo Tomás).

De la O-Carreño, 1954, estima que el escurrimiento superficial corresponde sólo al 19.6% de la precipitación y la infiltración al 14%, mientras que la evaporación constituye el 66.5%, lo cual concuerda con lo deducido al analizar la grafica de representación de parámetros climáticos.



2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En el inicio de los estudios para determinar las características geológicas de las alternativas contempladas para construir la central hidroeléctrica El Caracol, como era llamado comúnmente, se contaba con poca información de la zona. Existía un mapa geológico que contenía una descripción geológico-minera realizada por Santillán (1929) así como un levantamiento geológico de una faja de unos 5 Km de ancho a lo largo del Río Balsas, a la escala de 1:30,000, hecho por Pantoja-Alor (1970) para el Consejo de Recursos Naturales no Renovables. Posteriormente la Comisión Federal de Electricidad inicio estudios en conjunto con los Institutos de Geología y de Geofísica de la UNAM, así como con la compañía Paal Exploraciones, S. A. y la Universidad de Columbia Británica, Canadá.

La información que se obtuvo fue abundante y determinante para elegir de entre las alternativas planteadas en el inicio del proyecto la más adecuada y conveniente. Parte de esta información geológica se presenta a continuación con el objeto de contar con un panorama de la geología regional que enmarca la zona de estudio.

El basamento que subyace a la región es inferido ya que no aflora en la zona y está formado por esquistos de bajo grado, cubiertos por rocas volcánicas marinas andesíticas. Al basamento se le asigna una edad del Paleozoico tardío, mientras que a las rocas volcánicas sobreyacentes son del Mesozoico temprano.

La región localiza en la zona de transición entre dos regiones paleo-ambientales que existieron en esta parte de México durante el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano. Por consiguiente, la secuencia estratigráfica que aflora en la parte oriental de la región es sensiblemente diferente de la de la parte occidental (de Cserna et al., 1978). La región hacia el oriente constituyó primero un área positiva y, posteriormente, una plataforma, mientras que la región hacia el poniente fue el sitio de una cuenca. Una diferenciación regional se observa también en las rocas del Cretácico Superior, ya que éstas contienen elementos volcánicos en su mitad inferior en el poniente, mientras que en el oriente, éstos están ausentes.

El espesor total de las rocas marinas sedimentarias y volcánicas mesozoicas que afloran en la región alcanza unos 3,000 m. Los depósitos continentales del Terciario, tanto volcánicos como sedimentarios, tienen un espesor cercano a los 1,000 m.



Cretácico Inferior

Las unidades estratigráficas más antiguas que afloran en la región y que pudieran ser correlativas entre sí, son la Anhidrita Huitzucó y la Formación Acahuizotla. La primera constituye una acumulación sobre la Plataforma de Morelos-Guerrero durante el Aptiano (?)- Albiano temprano, mientras que la segunda sobre el borde occidental de este rasgo paleo-geográfico.

Anhidrita Huitzucó

Esta unidad estratigráfica fue nombrada por de Cserna y colegas (1980), para designar formalmente las evaporitas, esencialmente anhidritas, que afloran en la parte occidental de la cuenca del alto Río Balsas y que subyacen o intrusionan en forma diapírica a la Formación Morelos.

En sus afloramientos, la Anhidrita Huitzucó se presenta como yeso deleznable de color blanco o gris muy claro. Sin embargo, en catas abiertas, o a lo largo de cauces de arroyos bien deslavados, la anhidrita sí se observa con bandeamiento gris oscuro.

Formación Acahuizotla

Las rocas más antiguas que afloran debajo de la Formación Morelos en la parte meridional del Anticlinorio de Chilacachapa, al norte de la Estación Balsas, consisten en calizas

arcillosas, lutitas calcáreas y limolitas, así como en unos horizontes de calizas bioclásticas. Estas rocas fueron descritas en la parte central de esta estructura mayor por Ontiveros-Tarango (1973) con el nombre de Formación Acahuizotla (de Cserna, 1965), con un espesor incompleto de 650 m.

La litología y la fauna de la parte expuesta de la Formación Acahuizotla indican una edad aptiana tardía para esta formación y permiten inferirle una acumulación encima de una plataforma somera (Ontiveros-Tarango, 1973). Esta interpretación es congruente con el cuadro paleogeográfico regional del Aptiano tardío-Albiano temprano de esta región y la de la cuenca del alto Río Balsas, en donde la Anhidrita Huitzucó se acumuló en ambiente lagunar, mientras que, más al oriente, la Formación Zicapa en ambiente de planicie costera (de Cserna et al., 1980).

Formación Morelos

Las calizas y calizas dolomíticas de la Formación Morelos constituyen las prominencias topográficas más notables de la región estudiada (Frías, 1960), y forman grandes estructuras plegadas, modificadas por cabalgaduras y fallas. Estas rocas carbonatadas descansan estratigráficamente sobre la Anhidrita Huitzucó y la Formación Acahuizotla. La cima de la Formación Morelos en esta región está en contacto con tres unidades litoestratigráficas, que son las formaciones Cuautla, Xochipala y Mezcala, todas del Cretácico Superior. Este contacto en algunos sitios es claramente erosional, mientras que en otros es sumamente difícil establecer tales relaciones.



En el Anticlinorio de Chilacachapa, la Formación Morelos consiste en calizas y calizas dolomíticas de color gris mediano que se presentan en estratos gruesos a masivos. Estas rocas carbonatadas consisten en calizas arrecifales que representan bancos de rudistas y depósitos retrabajados penecontemporáneos de éstos, que se acumularon en la prolongación meridional del Arrecife de Ixcateopan (Figura 14), localizado en el borde occidental de la Plataforma de Morelos-Guerrero. Hacia el oriente de esta estructura mayor, las calizas son de textura más fina, contienen abundantes miliólidos y la dolomitización está ampliamente distribuida. En cambio, hacia el poniente, el espesor de los estratos muestra una disminución paulatina y las calizas adquieren tonalidades más oscuras e interestratos arcillosos. En el oriente, el espesor de la Formación Morelos es cercano a los 1,000 m, mientras que en el poniente se reduce a unos 500 m.

La presencia de los macrofósiles (Carprina, Toucasia, Actaeonella) y los miliólidos (Nunmoloculina, Quinqueloculina) en términos generales coloca a la Formación Morelos en esa región en el Albiano y, posiblemente, en el Cenomaniano inferior. No obstante, este alcance estratigráfico no está registrado en la totalidad del área de su afloramiento, ya que hacia el final del Cenomaniano la cima de esta formación sufrió erosión en grados variables, sobre todo a lo largo del borde occidental de la Plataforma de Morelos-Guerrero (de Cserna et al, 1978).

Cretácico Superior

Las rocas más antiguas del Cretácico Superior en la región se presentan en dos facies, una formada por calcarenitas y calcilimolitas que constituyen la Formación Cuautla, y otra de rocas volcánicas, limolitas y algo de calizas, que corresponden a la Formación Xochipala.

Formación Cuautla

La Formación Cuautla (Frías, 1960) consiste principalmente en calcarenita y calcilimolita y, en menor proporción, en calcilutita y material arcilloso algo carbonoso, cuyo espesor varía de 0-220 m (Seijas-Iribarren, 1965; Chávez Quirarte, 1980) y corresponden a la tercera facies de esta formación, tal como la describió Frías (1960). Los afloramientos de esta formación son poco sobresalientes debido a su litología poco resistente a la erosión y a su reducido espesor, en contraste con las prominencias topográficas desarrolladas en la Formación Morelos. Las calcarenitas están formadas por granos de caliza y dolomita, lo que indica que se derivaron de un terreno de carbonates que estaba expuesto a la erosión. En general, estas rocas se presentan con estratificación media a delgada y forman con frecuencia innumerables pliegues de arrastre.



Formación Xochipala

Con este nombre de Cserna y colegas (1978) designaron una secuencia que está formada por rocas volcánicas y volcanoclásticas, lutitas y calizas, que sobreyacen con contacto erosional a las calizas de la Formación Morelos y está cubierta concordantemente por lutitas y areniscas de la Formación Mezcala. Su localidad-tipo está unos 30 Km al norte de la Central Hidroeléctrica “Ing. Carlos Ramírez Ulloa”, donde tiene un espesor aproximado de 500 m, donde sus afloramientos intemperizados tienen aspectos muy semejantes a los de la Formación Mezcala.

La parte inferior de esta formación consiste en toba, conglomerado, brecha y lava, todos de composición andesítica y de color verde. Encima de estas rocas se encuentra un intervalo de lutita con unos cuantos horizontes de la caliza delgada. La parte superior de la formación consta de caliza en estratos delgados a medianos, con intercalaciones de lutita.

El espesor de esta formación no fue medido, sin embargo, las relaciones de campo que fueron observadas indican, que su espesor es considerablemente mayor que en su localidad-tipo, lo cual se debe al engrosamiento estructural que produjeron numerosos pliegues casi isoclinales, sobre todo en la parte media lutítica de la formación, y al aumento de su espesor a medida que se interna hacia la cuenca de su depósito que se encontraba hacia el poniente y surponiente.

Formación Mezcala

La Formación Mezcala (Fries, 1960) sobreyace concordantemente a la Formación Cuautla, con la cual tiene un contacto transicional en su área-tipo que se localiza cerca del poblado de Mezcala (Bohnenberger-Thomas, 1955; Fries, 1960; Chávez-Quirarte, 1980). En la parte central del área, en el Anticlinorio de Chilacachapa, esta formación descansa con contacto erosional directamente sobre la Formación Morelos (Ontiveros-Tarango, 1973), mientras que en la parte occidental, concordantemente sobre la Formación Xochipala. Esta formación se presenta en las estructuras sinclinales que forman la parte occidental de la región.

La Formación Mezcala constituye un depósito rítmico formado por la alternancia de conglomerado, arenisca, limolita y lutita. Los conglomerados y areniscas se presentan en valles. No obstante, alcanzan alturas considerables en estratos delgados a medianos aunque, ocasionalmente se observan también conglomerados arenosos en estratos gruesos y hasta masivos. Los clastos de los conglomerados están formados por cuarzo, rocas ígneas (volcánicas y plutónicas) de composición intermedia y calizas y dolomitas. Las areniscas acusan una composición semejante y corresponden a las grauvacas de rango bajo (Fries, 1960). Las limolitas generalmente son de color gris o gris verdoso claro, mientras que las lutitas se presentan con tonalidades oscuras y hasta negras.



En algunas partes esta formación presenta elementos volcánicos y cuerpos intrusivos que consisten en tobas, diques y diquestratos penecontemporáneos (de Cserna et al, 1978).

La Formación Mezcala constituye un depósito flysch, originado por levantamientos coincidentes con el emplazamiento de cuerpos plutónicos graníticos, erosión y volcanismo félsico (de Cserna et al., 1978).

Cretácico (?) — Terciario

Formación Balsas

Las rocas cretácicas plegadas están cubiertas discordantemente por una secuencia continental formada por conglomerados calizos, areniscas, arcosas, limolitas y lodolitas, de coloración roja, morada, crema y verde claro, que contienen intervalos de rocas volcánicas de composición andesítica, dacítica y basáltica. A estas rocas Fries (1960) las denominó como "Grupo Balsas", sin que nombrara las formaciones que constituían a este grupo. Por esta razón, de Cserna (1965) optó por llamar a este conjunto de rocas como Formación Balsas, para estar en armonía con las reglas de la nomenclatura estratigráfica.

Los conglomerados están formados por guijas de las calizas principalmente de la Formación Morelos, aunque también se presentan algunas derivadas de otros tipos litológicos de las demás formaciones cretácicas de la región. La matriz del conglomerado consiste en limo y arena, generalmente de color rojizo. El conglomerado se presenta en estratos gruesos a masivos que en algunas ocasiones alcanzan más de 10 m de espesor. Otra litología de las rocas sedimentarias clásticas de la Formación Balsas consiste en una secuencia de limolita, arenisca y lutita poco litificadas en las que se presentan interestratos de conglomerado calizo de grano fino, con mezcla considerable de materia tobácea. Las capas de esta secuencia varían de delgadas a gruesas y son de color pardo rojizo, amarillento y verdoso.

Terciario

Riolita

Estas rocas cubren discordantemente a las rocas clásticas y volcánicas de la Formación Balsas. Fueron cartografiadas informalmente como "Formación Coacoyula" (Seijas-Iribarren, 1965). El color dominante de estas rocas es rosado. Sus fenocristales constituyen un 35-40 por ciento de la roca y son cuarzo, andesina, sanidino y biotita. A menudo contienen fragmentos de pómez aplastados y también fragmentos líticos. El espesor máximo de estos derrames piroclásticos es de unos 250 m.

Estas rocas riolíticas, por estar encima de la Formación Balsas en la parte oriental de la región estudiada, fueron correlacionadas con la Riolita Tilzapotla (Fries, 1960), cuya edad según los datos actualmente disponibles es oligocénica.



Formación Oapan

La Formación Oapan consiste en arenisca tobácea, yeso de colores rojizo, blanco y gris, caliza lacustre y pedernal. El espesor total de esta formación es de unos 200 m.

Por su posición estratigráfica y cuadro geomorfológico de depósito, la Formación Oapan es de edad miocénica o mio-pliocénica.

Cuaternario

Aluvión

En el mapa geológico regional los depósitos aluviales sólo se muestran donde su desarrollo es lo suficientemente grande en relación con la escala del mapa. Estos depósitos consisten en gravas, arenas y limos no o poco consolidados, depositados a lo largo del cauce de los ríos y arroyos principales.

Rocas ígneas

En la región se identificaron cuerpos intrusivos que corresponden a troncos someros que intrusionan a las rocas mesozoicas plegadas. Consisten en monzonitas, monzonitas cuarcíferas, granitos y granodioritas, con texturas que varían desde hipidiomórficas hasta porfídicas. Todos estos cuerpos tienen contactos con una aureola de metamorfismo, cuyo desarrollo varía en espesor desde unos cuantos metros hasta cerca de 100m, que se manifiesta por la presencia de marmorización de las calizas, por corneanas y por la presencia de mineralización metalífera con matriz cuarzosa.

No existen datos radiométricos referentes a la edad de estos cuerpos intrusivos; por ser posteriores al plegamiento de las rocas cretácicas, se les considera tentativamente del Terciario temprano, probablemente del Eoceno.

También se cartografiaron dos diques de felsita, uno al norte de Apaxtla y el otro al norte de Tétela del Río. El primero está alojado en una zona de falla, entre las formaciones Morelos y Balsas, mientras que el segundo en la Formación Mezcala. Estos cuerpos intrusivos podrían estar relacionados con el magmatismo que produjo los cuerpos granitoides, o bien ser un poco posteriores y estar relacionados con el volcanismo riolítico que se manifiesta en la región.

2.2 TECTÓNICA REGIONAL

La variación que se observa en la secuencia estratigráfica a través de la región desde el oriente hacia el poniente influyó de manera trascendental sobre el desarrollo de las estructuras que se presentan en ella. Es por ello que la Formación Morelos, en los sitios donde está representada por más de 1,000 m de calizas en estratos gruesos,



correspondiendo éstas a una acumulación sobre el borde y encima de la Plataforma de Morelos-Guerrero, los pliegues siguen una dirección N-S, son amplios y de tipo concéntrico y tienen un componente vertical importante, que probablemente refleje el flujo plástico de grandes masas de la Anhidrita Huitzucó al núcleo de estas estructuras.

El emplazamiento de los troncos granitoides, que se efectuó después del plegamiento de la secuencia cretácica, indudablemente contribuyó también al relieve estructural que se observa actualmente en esa región.

La mitad occidental de la región se caracteriza por la presencia de pliegues de poca amplitud, orientados de N-S, principalmente de tipo de cizallamiento en forma de chevrón, cuyo desarrollo fue facilitado por la litología estructuralmente incompetente de la secuencia cretácica, la cual está formada principalmente por clastos marinos y tiene intercalaciones de lutitas que muestran la transición hacia una acumulación en cuenca.

La zona limítrofe entre estas dos regiones, tanto estratigráfica como estructuralmente diferentes, está caracterizada por el desarrollo de una cabalgadura que atraviesa la región con dirección NNE-SSW y que marca, en una forma general y paralela, el contorno del borde occidental de la mencionada plataforma. Los estudios geológicos de reconocimiento revelaron sólo este rasgo mayor de cabalgamiento en la región, pero suponían la posible existencia de otros que permitirían establecer la presencia de una verdadera zona de cabalgaduras que forman una estructura imbricada. El acortamiento estructural, que se desarrolló sobre una superficie de "*décollement*" se calcula como cercano al 50 por ciento. La mitad de este acortamiento se logró mediante el plegamiento y la otra por cabalgamiento, por lo que el engrosamiento estructural es evidente en varias unidades litoestratigráficas cretácicas.

Tanto los pliegues como las cabalgaduras observadas en la región, resultaron de deformación comprensiva con tendencia estructural (*Vergenz*) desde el poniente hacia el oriente, que afectó toda esta región probablemente hacia el final del Cretácico Tardío, entre Cenomaniano y el Maestrichtiano (de Cserna. et al., 1980; Ortega-Gutiérrez, 1980) o muy a principios del Terciario. Esta deformación parece haber estado relacionada con la evolución tectónica del borde occidental de México y con la zona de subducción que estaba activa en aquellos tiempos.

Los troncos granitoides invariablemente intrusionan las estructuras plegadas o cabalgadas; y no muestran en su textura un alineamiento secundario, por lo que se concluye que son post-tectónico. Se han cartografiado sólo unos cuantos cuerpos intrusivos, granitoides pequeños en la cuenca del alto Río Balsas (de Cserna et al, 1980), por lo que pudiera pensarse que la distribución de éstos podría reflejar diferencias importantes en la constitución del basamento que subyace a estas dos regiones. Se necesitan datos geofísicos para esclarecer este problema.

Las estructuras plegadas y cabalgadas están cortadas por un gran número de fallas, de éstas, las más recientes incluso cortan las unidades litoestratigráficas terciarias más



recientes. Estas fallas definen un sistema conjugado de cizallamiento oblicuo y dos juegos de tensión, burdamente perpendiculares entre sí. Este arreglo regional de las fallas evidentemente resultó en un campo de esfuerzos en donde la compresión relativa actuó en dirección E-W, mientras que la tensión actuó en dirección N-S. Para explicar en forma satisfactoria este campo de esfuerzos activos desde finales del Terciario, es necesario recurrir a las relaciones que se observan en el contexto tectónico regional.

Si bien en esta parte meridional de México los depósitos continentales y volcánicos del Terciario inferior fueron afectados por ladeo producido por fallamiento penecontemporáneo, y los depósitos volcánicos y continentales del Terciario medio por combamiento y fallas, sería sumamente difícil, si no imposible, explicar el origen de esas estructuras como resultantes de compresión lateral, que hubiera actuado en dirección E-W. Esas estructuras resultaron en la parte exterior de la litosfera por tectónica vertical relacionada con procesos magmáticos en la corteza que, en muchas ocasiones, permitieron incluso el ascenso de magmas a lo largo de profundas fracturas de tensión para formar derrames de basalto de olivino o diques y diquestratos de diabasa. Este tipo de rocas se presenta a lo largo de la columna estratigráfica del Terciario inferior y medio y es característico de ambientes de tensión y no de compresión (e, g. Belousov, 1962).

La explicación más viable del origen de ese patrón de fracturamiento que se observa en la región, la constituyen las condiciones de tensión que han venido actuando desde fines del Mioceno en dirección N-S en la parte exterior de la litosfera como resultado de abombamiento o combamiento hacia arriba, producido en la placa continental en su proceso de cabalgamiento hacia el sur sobre la placa oceánica. Esto es un proceso en cierto modo comparable al de empujar una losa de concreto en una dirección sobre una superficie que le ofrece fricción, sobre todo en su frente. En estas condiciones, al no poder avanzar la losa, comenzará a abombarse hacia arriba, permitiendo que en su superficie hacia arriba se desarrollen fracturas que atestiguan claramente condiciones de tensión, mientras que la superficie inferior está bajo condiciones de compresión. Considerando que la placa continental en la región abarcada por el mapa geológico es del orden de los 30-40 Km de espesor, es razonable suponer que en los primeros 5 a 10 Km desde la superficie hacia abajo deben existir condiciones relativas de tensión que actúan en dirección N-S, excediendo éstas en magnitud a las de compresión orientadas en dirección E-W. La falta de manifestaciones volcánicas, sobre todo básicas, desde finales del Mioceno en esta región, relacionadas con las fallas cartografiadas, indican que estas fallas no son rasgos estructurales profundos, que se desvanecen a una profundidad relativamente somera. El relativamente pequeño desplazamiento vertical que se registra a lo largo de las fallas que fueron cartografiadas en la región también apoya esta conclusión

Las principales estructuras de la región son: el Sinclinorio de Tonalapa-Mezcala, el Anticlinal de Apipilulco-Coacoyula-Atzala, el Sinclinorio de Cocula, el Anticlinal de Chilacachapa, el Sinclinal de Cuetzála, el Anticlinal de Tlatzala-Michapa y su continuación meridional representada por las cobijaduras del Cerro Limón y del Cerro Apintla, el Anticlinal de Tlacotepec, el Sinclinorio del Caracol, el Anticlinal de La



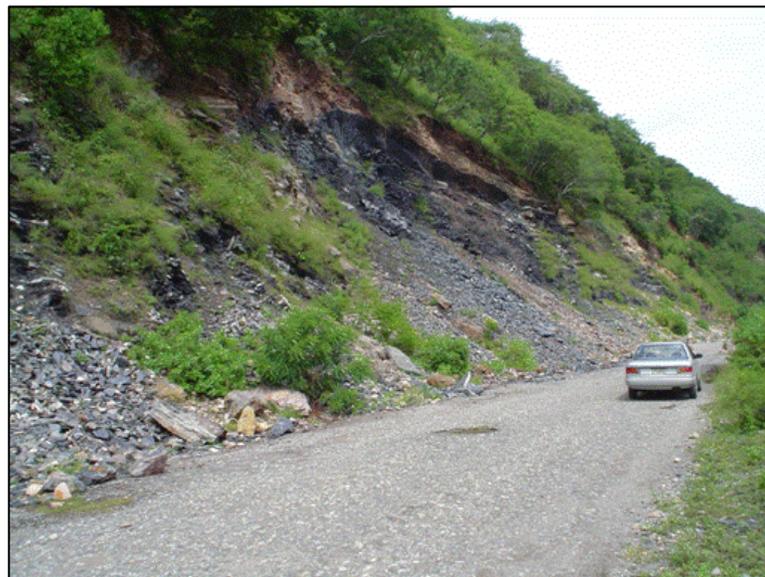
Cieneguilla, el Sinclinorio de Hueyatlalco, el Anticlinorio de El Querunque-Cacalotepec y los domos de Media Luna y Amatitlán.

De Cserna interpreta la evolución geológica regional como un cambio de facies de oriente a poniente con actividad volcánica entre ellas, mientras que Ma. F. Campa presenta un modelo apoyado en la tectónica global situando a la región dentro de un terreno tectonoestratigráfico (Teloloapan- Ixtapan) debido a su homogeneidad en la columna estratigráfica y al estilo de deformación con respecto a terrenos adyacentes.

2.3 GEOLOGÍA LOCAL

En la zona de estudio se identificó la presencia de dos tipos de unidades litológicas las cuales se describen a continuación de acuerdo a su posición ascendente.

Lutitas. Este tipo de roca es la que predomina en la zona de estudio y forma parte de la Formación Mezcala, la cual, como ya se mencionó anteriormente, agrupa capas de lutitas, limonitas, areniscas y conglomerados que se alternan rítmicamente formando una secuencia tipo Flish. El color que presentan es gris, gris oscuro y negro, e intemperizan a un color café pardo. La unidad se presenta en estratos que van desde 0.05 m a 0.70 cm de espesor, siendo muy físilas, las capas presentan un rumbo general NE-SW y echados hacia el NW de que varían de 40° hasta 85° y en algunas zonas, donde presentan foliación, se ocultan los planos verdaderos de estratificación. En función del grado de deformación que tenga la unidad, se observa fracturamiento con una abertura promedio de 1 mm, que en algunos casos se encuentra relleno con calcita o sílice.



Fotografía 1. Afloramiento de Lutita de la Formación Mezcala



Depósito aluvial: Se identificaron dos miembros cuyo espesor de ambos varía de 1 m a 10 m y constituye el subsuelo del poblado de Nuevo Caracol.

El primer miembro se ubica principalmente en el lecho del río, en él abundan fragmentos de rocas, principalmente caliza, de forma semiredondeada con tamaños del orden de 10 cm así como arenas que van desde finas a gruesas. Estos materiales se encuentran con un grado de compactación de bajo a moderado.



Fotografía 2. Material producto del acarreo del río

El segundo miembro se constituye por material producto de la degradación de la lutita presente en la zona, por efecto de erosión e intemperismo y que da lugar a limos y arcillas que forman el suelo sobre el que esta asentado el poblado, la compactación de este material es nula.

El contacto entre ambos miembros esta oculto por el material fino sin embargo se hace evidente por la presencia de un cambio de pendiente, producto de la diferencia de tamaño del material y de la compactación de cada miembro.



Fotografía 3. Contacto entre material fluvial y finos

3 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

Como parte importante de la prospección del sitio de estudio, se programó y llevó a cabo la exploración geofísica mediante la medición de la resistividad del subsuelo hasta una profundidad de investigación de 50 m, aplicando el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). El objetivo era contar con mayores elementos para construir un modelo hidrogeológico.

Cabe mencionar que la Geofísica aplica técnicas de exploración del subsuelo que se basan en la observación de fenómenos físicos, bien sea natural o artificial. En un principio la Geofísica fue desarrollada como un método efectivo para la prospección del petróleo y otros depósitos de minerales, y poco a poco se han encontrado otras aplicaciones entre las que se incluye la exploración de mantos acuíferos.

Para cubrir la mayor parte posible de superficie se seleccionaron 6 sitios para en ellos ejecutar sondeos eléctricos verticales, formando tres líneas de investigación, su ubicación se muestra en la Figura 3



Figura 3. Ubicación de SEV y líneas de geofísica (Base topográfica INEGI)



Es importante mencionar que el sondeo de la parte norte de la línea 1, localizado en terrenos propiedad de la PGR, se considera de suma importancia debido a que se encuentra junto a un pozo que se encuentra operando.

Las curvas de resistividad aparente observadas fueron obtenidas utilizando el arreglo Schlumberger (Figura 4), con distancias electródicas ($AB/2$) desde 1 m hasta 200 m. La separación entre las estaciones de SEV varió entre 80 y 500 m a lo largo de las líneas y la determinación de sus coordenadas se hizo mediante un sistema de posicionamiento satelital.

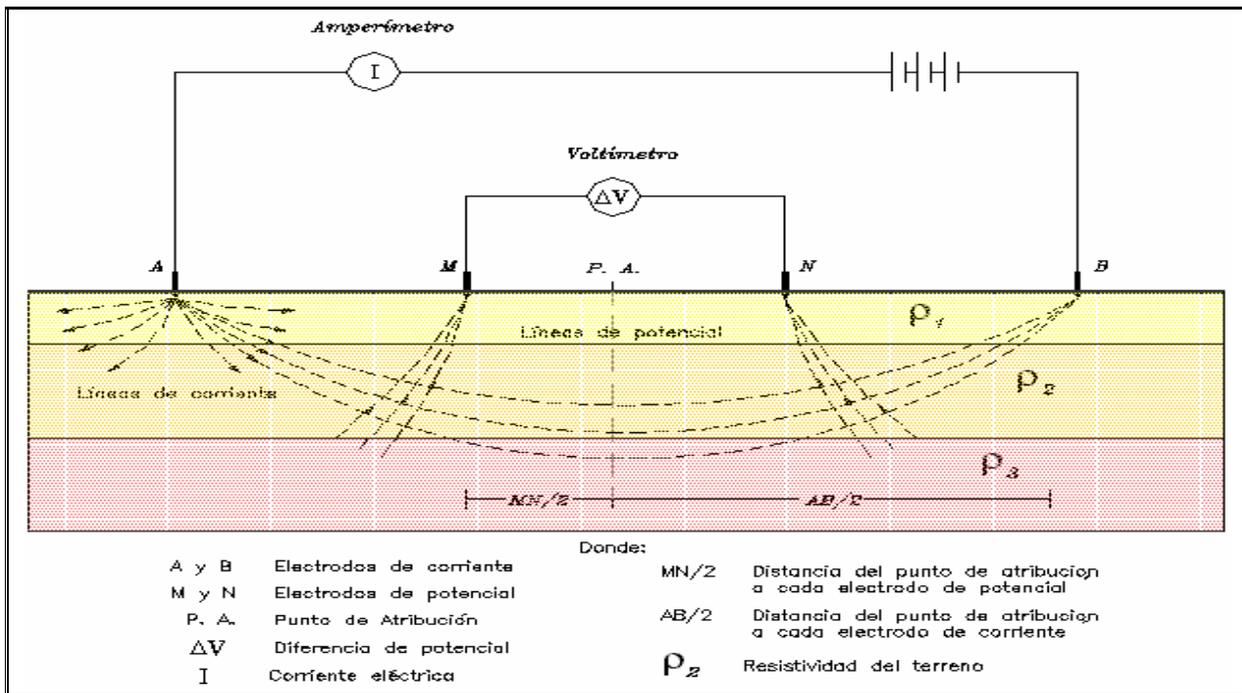


Figura 4. Arreglo electródico Schlumberger.

Para la lectura de los datos geoelectrónicos se utilizó el siguiente equipo geofísico: un transmisor GGT-3 de corriente directa, marca Zonge-Scintrex, de 3 KW, que es alimentado por un motogenerador de 8 HP y un alternador de 110 VCA a 400 Hz, trifásico. El equipo puede entregar hasta 15 amperes con 1 000 volts de salida. Un receptor de diferencias de potencial IPR-10, de lectura digital, con resolución de 0.1 mV y un selector para escalas en volts, milivolts y microvolts. Electrodo, cables, calculadora de bolsillo y radios portátiles.

Las curvas de campo de resistividad aparente fueron capturadas e invertidas con el programa de cómputo IX-1D. Los modelos electroestratigráficos que resultaron de este proceso fueron correlacionados entre sí en las secciones correspondientes.



Como resultado del análisis realizado a la información generada se identificaron ocho unidades geoelectricas, las características de cada unidad se describen a continuación y se resumen en la tabla 4, su distribución en el subsuelo se presenta en las figuras 5 a la 7.

Unidad U1.- Constituye la capa superficial formada por suelos, rocas altamente intemperizadas y materiales aluviales (boleos, gravas, arenas y arcillas limosas), que se encuentran arriba del nivel freático. Es por esta heterogeneidad que muestra un amplio intervalo de resistividad de 20 Ωm a 139 Ωm , con espesores de menores a 2.7 m.

Unidad U2.- Está formada por depósitos de acarreo, principalmente de grano grueso, que se ubican bajo el cauce del río, en la sección 1. Muestran una resistividad de 67 Ωm a 75 Ωm y un espesor de 0.8 m a 3.5 m.

Unidad U3A.- Capa delgada (0.8 m a 2.4 m) de rocas que se encuentra sobre el nivel freático y corresponde a una alternancia de lutitas, que aparece solamente en algunas partes de las secciones 1, y 2, ya sea aflorando o bajo la unidad geofísica U1, mostrando una resistividad de 294 Ωm a 1 000 Ωm .

Unidad U3B.- Se le encuentra en todas las secciones geoelectricas realizadas, ya sea aflorando o subyaciendo a las unidades geofísicas U1, U2 o U3A, con espesores de 0.6 m a 14.2 m. Por su intervalo de resistividad (108 Ωm - 937 Ωm), se le interpreta como una parte de la unidad de lutitas.

Unidad U3C.- Se distingue por su baja resistividad, probablemente compuesta por una porción en la que predominan las lutitas. Su espesor varía de 5m a 13 m y su resistividad va de 12 Ωm a 20 Ωm , apareciendo sólo en las secciones 1 y 3 bajo la unidad geofísica U2 o la unidad geofísica U3B.

Unidad U3D.- Se le interpreta como un paquete de rocas relativamente fracturado que aparece subyaciendo a la unidad geofísica U3B o a la unidad geofísica U3C en las secciones investigadas, con un espesor que varía de 6.5 m a 21.8 m. Por las resistividades que presenta (28 Ωm – 100 Ωm), se considera como una parte de la unidad de lutitas.

Unidad U3E.- Constituye la base de las unidades identificadas, se presenta como un paquete cuyo espesor es mayor a la profundidad de investigación. Esta constituida por la unidad de lutitas. Su intervalo de resistividad sugiere que se trata de una porción de rocas con poco fracturamiento.

Unidad U3F.- Se le encuentra solamente en la estación SEV-3 (secciones 1 y 2), bajo la unidad geofísica U3E, a una profundidad de 28.5 m. Su resistividad de 30 Ωm puede interpretarse como una parte de la formación Mezcala con importante fracturamiento.



Tabla 4. Interpretación de las unidades geoelectricas identificadas

UNIDAD GEOELÉCTRICA	RESISTIVIDAD (Ωm)	ESPESOR (m)	INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA
U1	20 - 139	< 2.7	Capa superficial de suelos, rocas sumamente alteradas y materiales aluviales diversos, que se encuentran sobre el nivel freático.
U2	67 - 75	0.8 - 3.5	Depósito de acarreo fluvial, predominantemente de grano grueso, es decir, de permeabilidad alta.
U3A	294 - 1000	0.8 - 2.4	Rocas fracturadas que se les encuentra siempre sobre el nivel freático.
U3B	108 - 937	0.6 - 14.2	Rocas pocas fracturadas, con una permeabilidad de baja a media.
U3C	12 - 28	5 - 13	Rocas fracturadas con permeabilidad media a baja.
U3D	32 - 100	6.5 - 21.8	Rocas con un importante grado de fracturamiento y permeabilidad media.
U3E	66 - 287	> 15	Rocas con escaso fracturamiento y una permeabilidad de media a baja.
U3F	30	—	Rocas relativamente fracturadas con una permeabilidad media.

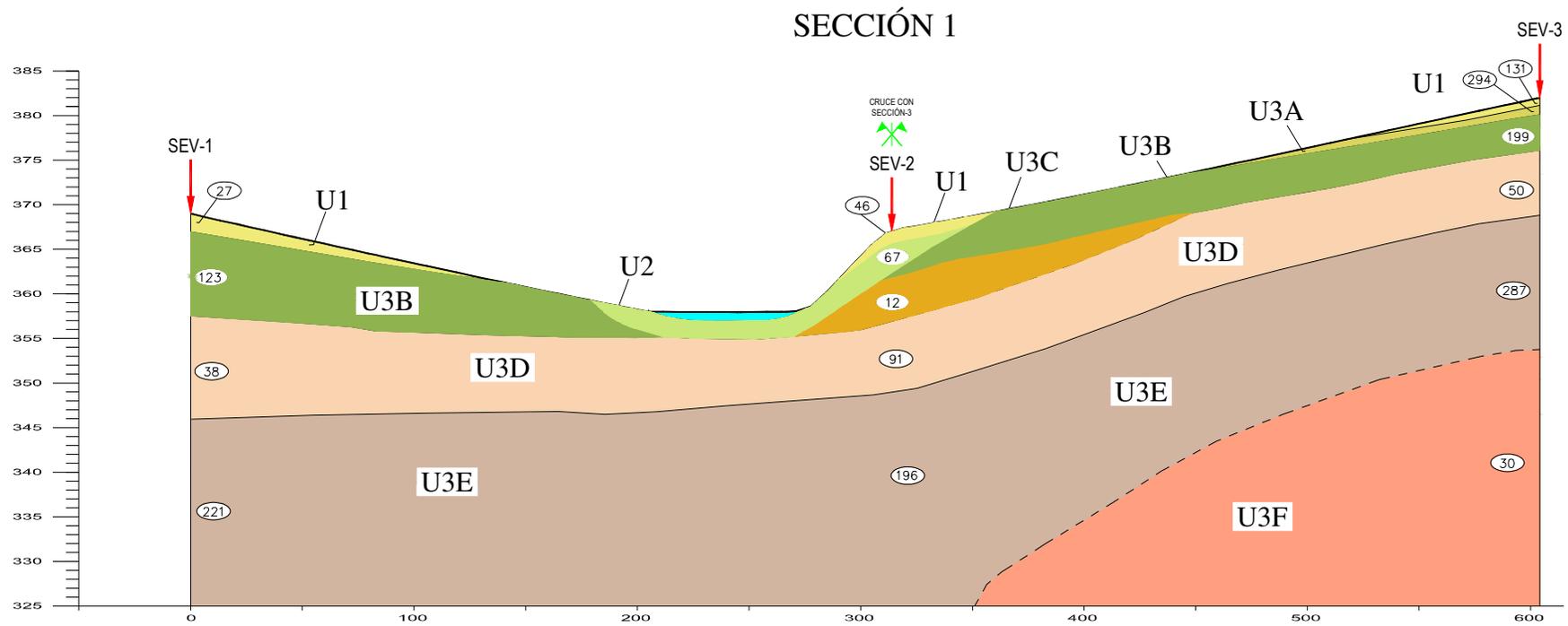


Figura 5. Sección geofísica. Línea 1



SECCIÓN 2

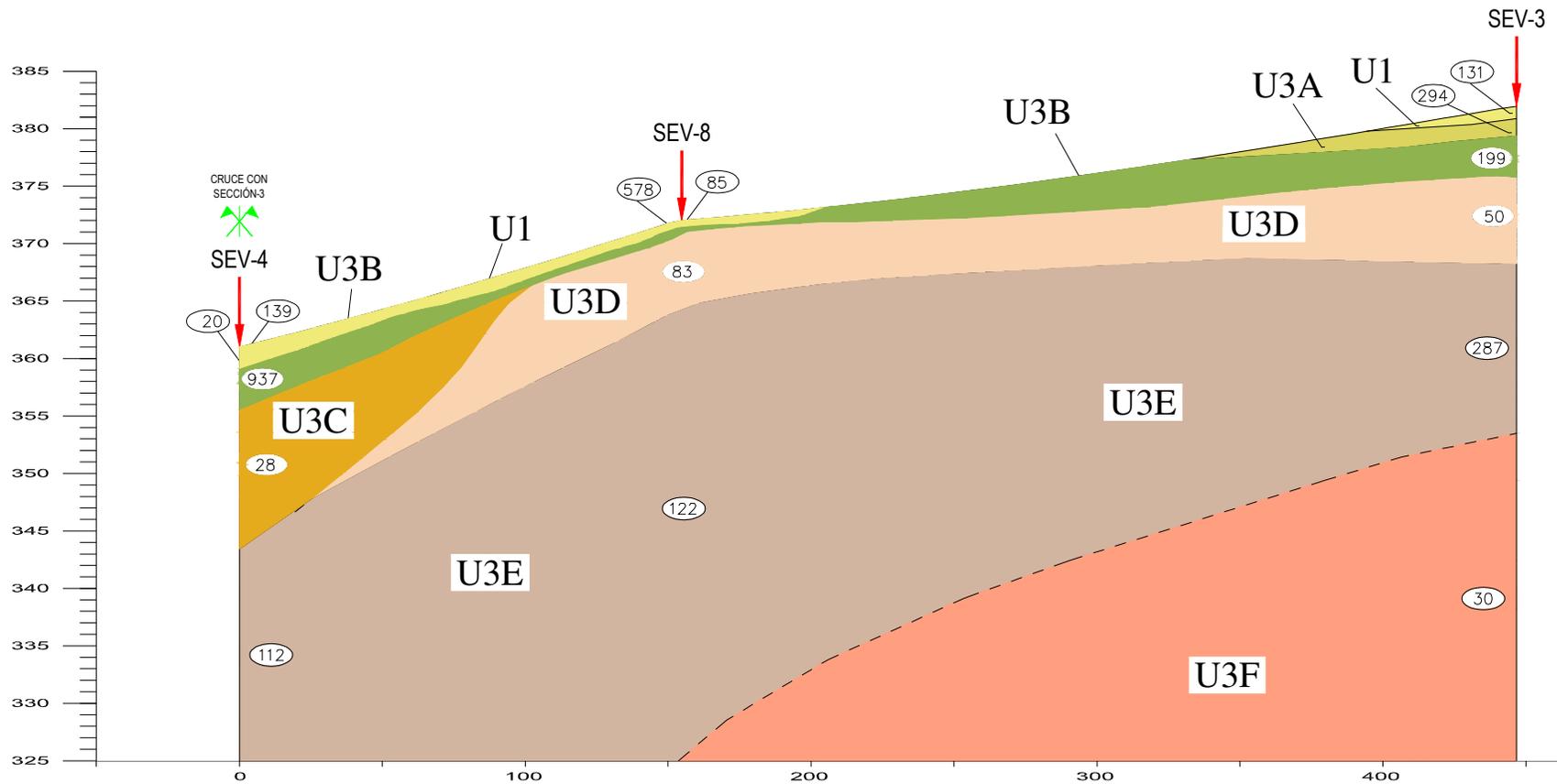


Figura 6. Sección geofísica. Línea 2



SECCIÓN 3

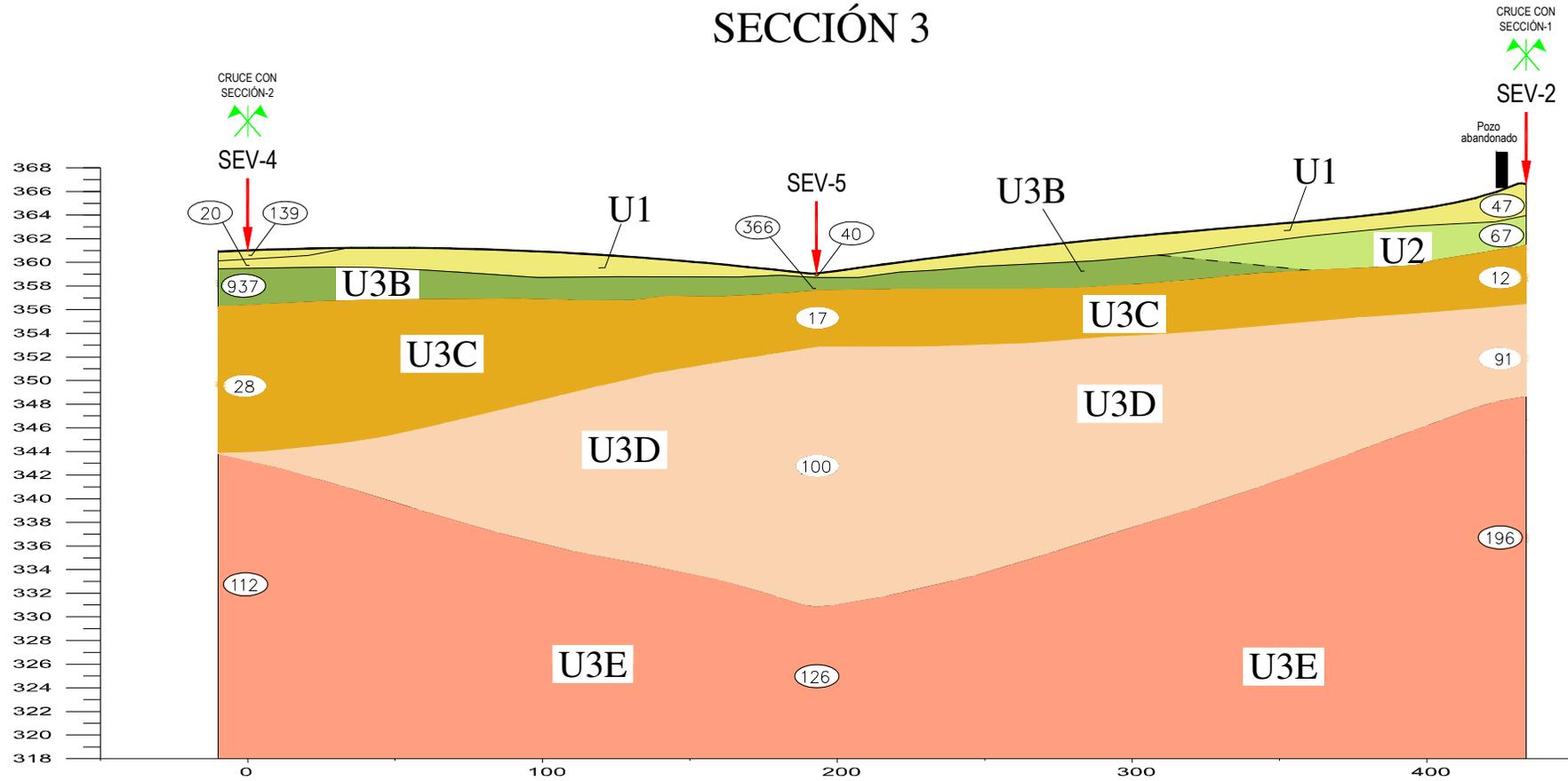


Figura 7. Sección geofísica. Línea 3



4. CENSO DE APROVECHAMIENTOS

Para realizar una valoración del régimen de explotación del agua subterránea se efectuó un recorrido en el área de estudio para identificar los aprovechamientos que actualmente están siendo utilizados. La zona se limitó al poblado, a la Unidad de Adiestramiento de la PGR y parte aguas arriba del Río Balsas, ya que se obtuvo información de que durante la construcción de la central fue necesario contar con agua para los servicios de los campamentos y oficinas, y que ésta fue obtenida de pozos que se perforaron dentro del área donde se ubica actualmente la central y en sus cercanías.

Como resultado de esta actividad se identificaron ocho de los cuales, únicamente dos se encuentran en operación y suministran agua al campo de entrenamiento de la Procuraduría General de la República (PGR), a los que se les denominó P-1 y P-2, uno se encuentra inactivo, P-3, localizado en terrenos del Poblado y los cinco restantes se están destruidos. Figura 8.

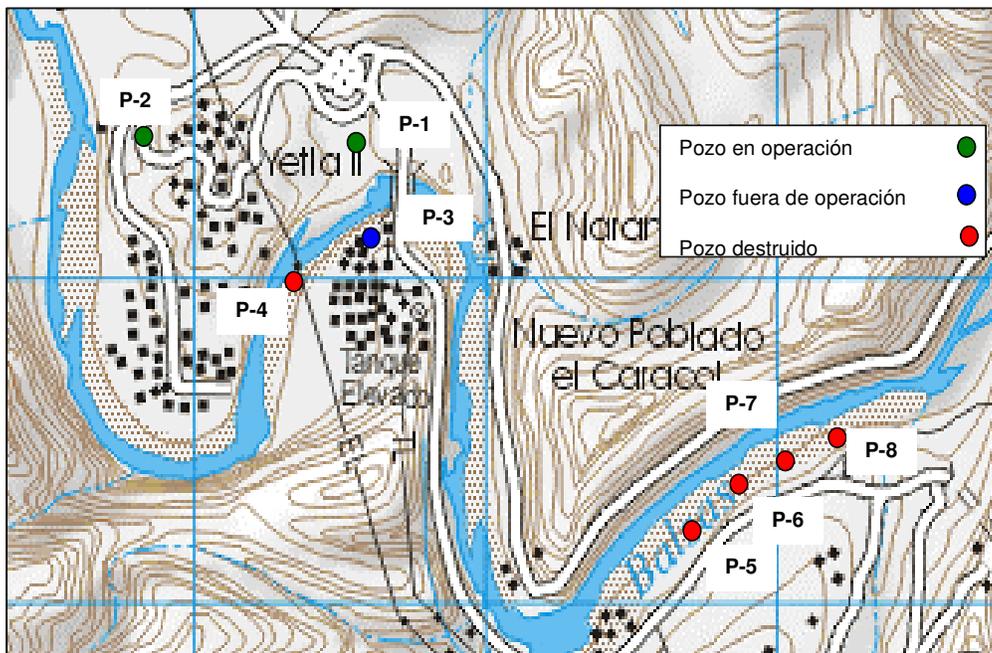


Figura 8. Localización de pozos (Base topográfica INEGI)

Los datos recabados de los pozos que están en operación se presentan en la Tabla 5, de manera resumida. Cabe mencionar que las autoridades de esta dependencia no cuentan con información sobre la construcción de los pozos, tal como diseño de terminación, corte litológico, nivel estático, nivel dinámico, profundidad de colocación de la bomba, etcétera.



Tabla 5.- Características de los pozos propiedad de la PGR

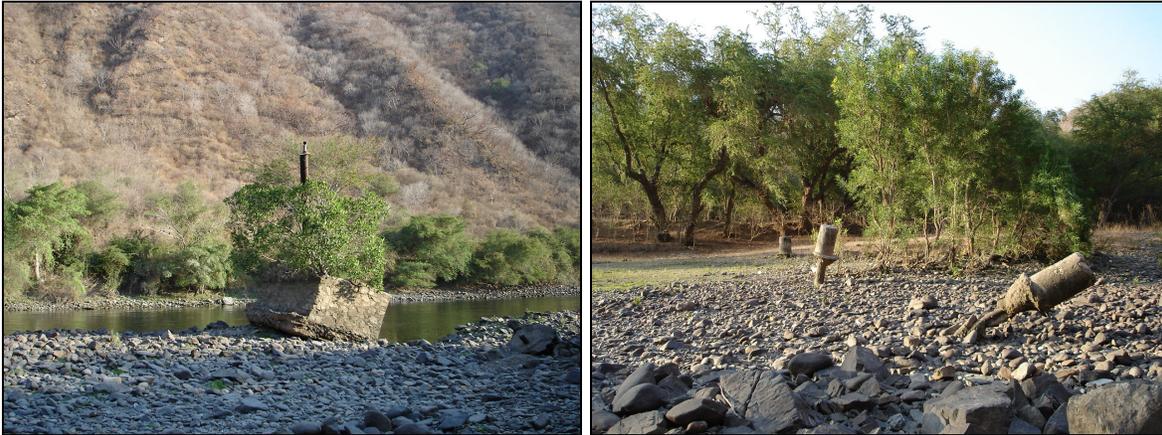
Pozo	Diámetro de ademe (cm)	Diámetro de contrademe (cm)	Tiempo de bombeo (promedio horas/día)	Caudal (l/s)	Tipo de bomba
P-1	20.48	35.84	18	2.5	Sumergible de 15 Hp
P-2	20.48	35.84	18	1.5	Sumergible de 15 Hp

En ambos pozos no fue posible medir la profundidad al nivel del agua ya que se encuentran equipados y no cuentan con dispositivo para realizar esta medición. El caudal de operación de los pozos P-1 y P-2 es 2.5 l/s y 1.5 l/s respectivamente.



Fotografía 4. Pozo P-1
(Al fondo se observa el Poblado El Nuevo Caracol)

En la margen izquierda se identificaron seis pozos, todos ellos sobre la zona de inundación del río, cinco de los cuales están destruidos por las avenidas del mismo, por lo que no fue posible obtener datos de ellos. Fotografía 5.



Fotografía 5. Pozos destruidos localizados sobre el cauce del Río Balsas

El pozo P-3 está equipado de manera improvisada con una bomba de $\frac{3}{4}$ HP, con diámetro de descarga de 2.5 cm. De este pozo se pudieron obtener los siguientes datos Tabla 6.

Tabla 6.- Características del pozo P-3

Pozo	Diámetro de ademe (cm)	Elevación del ademe sobre terreno natural. (m)	Profundidad al nivel estático (m)	Profundidad del pozo medida (m)	Profundidad Total (m)
P-3	25.60	2.1	5.2	10.9	18.0

De acuerdo a la información proporcionada por los habitantes del poblado, este pozo no fue explotado debido a que el agua presentaba un aspecto y olor desagradables, solo en ocasiones se bombea para utilizar el agua para limpieza. Así mismo, se nos comunicó que la profundidad de construcción del pozo fue de 18 m, por lo que de ser fidedigna esta información, se calcula que el espesor de azolve es de 7.1 m.

Litológicamente los pozos P-1 y P-2 se encuentran perforados sobre lutitas pertenecientes a la formación Mezcala y proporcionan caudales del orden de 2 l/s, en tanto que el pozo P-3 esta construido en la ribera del río Balsas, sobre el material granular. Por datos que se obtuvieron en los aflores de algunos de estos pozos, se tiene conocimiento que su gasto fue de hasta 12 l/s, sin embargo, se tiene el inconveniente de que por efectos de una avenida máxima en el río son destruidos.



5. UNIDADES GEOHIDROLÓGICAS

Como se mencionó en el capítulo correspondiente a geología, en la zona de estudio se identificaron dos unidades litológicas. Una que corresponde a la Formación Mezcala que esta constituida por alternancias de lutitas, areniscas y limonitas y en la que se observa un fracturamiento ocasionado por la deformación a la que ha sido sujeta dicha Formación. Los planos de estratificación así como el fracturamiento confieren a esta formación un cierto grado de permeabilidad que facilita la infiltración del agua del Río Balsas al subsuelo, situación que permite que los pozos de la PGR puedan ser productivos. Fotografía 6



Fotografía 6. Vista de la Formación Mezcala

(Se observa que la roca presenta considerable grado de fracturamiento. El echado de los estratos es de 85° y el rumbo así como un rumbo N-S. Al fondo se observa el pozo P-1)

La otra unidad esta constituida por material granular poco compactado de tamaño variado que van desde cantos rodados hasta arcillas, con permeabilidad mayor que la unidad mencionada anteriormente.



Como es fácil establecer, las condiciones hidrodinámicas de ambas unidades son diferentes debido a que los elementos que las otorgan no son los mismos y aún dentro de cada una de ellas se presentan variaciones.

Para identificar las unidades geohidrológicas existen en el sitio así como su extensión y geometría fue necesario integrar la información que se obtuvo al identificar las características litológicas y estructurales de cada unidad y conjuntarlo con la información obtenida en los trabajos de geofísica. Esta integración dio como resultado la identificación de cuatro unidades geohidrológicas, cuya descripción se presenta a continuación.

Roca poco fracturada de permeabilidad baja a nula (RPBN). Esta unidad está constituida por la unidad litológica de lutita, se caracteriza porque su grado de fracturamiento es escaso y cerrado; se asocia con la unidad geoelectrica U3E y U3F identificadas por geofísica con valores de resistividad eléctrica de entre 30 Ωm y 287 Ωm . Se considera que su permeabilidad es de baja a nula. Constituye el basamento geohidrológico en la zona de estudio y su espesor no se identificó.

Roca fracturada con permeabilidad media a baja (RPMB). Esta unidad está constituida por la parte somera de la unidad litológica de lutita, la cual presente un grado de fracturamiento moderado y semiabierto, por lo que la permeabilidad se estima como media a baja. Se asocia con las unidades geoelectricas U3A, U3B y U3C, la distinta respuesta geoelectrica, se asocia con el grado de saturación de agua que tiene la roca, los valores de resistividad por encima de los 100 Ωm se asocian a la roca sin saturación de agua. El espesor promedio de esta unidad fluctúa de 0.5 m a 10 m. En la zona no se identificó la presencia de estructuras geológicas que permitan el almacenamiento del agua en esta unidad, sin embargo la permeabilidad que muestra la roca es atractiva cuando esta en contacto con el agua del río Balsas, por lo que en esta condición se considera con posibilidades acuíferas. Los dos pozos que actualmente están operando en la zona, explotan esta unidad con caudales del orden de 2 l/s. Fotografía 7

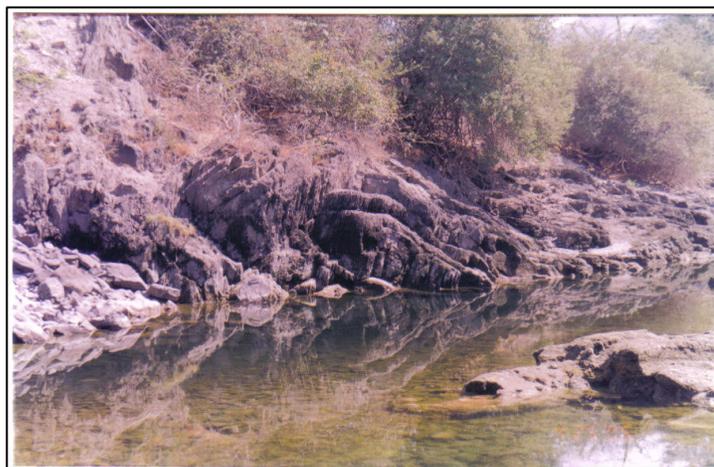


Foto 7. Unidad Geohidrológica RPMB



Material Granular de Permeabilidad Moderada (GPM). Esta unidad esta constituida principalmente por depósitos aluviales con predominancia de material fino. Se asocia con la unidad geoelectrica U1, con valores de resistividad eléctrica de entre 20 Ωm y 12 Ωm , su distribución no es tan amplia como las unidades anteriores, aunque se presenta en ambas márgenes. Aún cuando son materiales poco consolidados, la presencia del material fino reduce su permeabilidad, por lo que se considera que ésta sea media. La mayor parte de esta unidad se encuentra por encima del nivel del río, por lo que se considera que no tiene posibilidades acuíferas.

Material Granular de Permeabilidad Alta (GPA) Los materiales que integran a esta unidad son los depósitos aluviales de tamaño grueso ubicados principalmente en la margen izquierda del río, en el subsuelo se correlaciona con la unidad geoelectrica U2, cuya distribución esta limitada al borde del cauce del río. Por su granulometría y bajo grado de compactación, se considera que su permeabilidad es alta, aunque esta característica y su cercanía con la fuente de recarga que es el río, le otorgan posibilidades acuíferas, existe la evidencia de que las crecidas del río destruyen las obras construidas sobre esta unidad. Fotografía 8



Fotografía 8. Unidad Geohidrológica GPM sobreyaciendo a la Unidad GPA



Con la información antes mencionada se elaboraron tres secciones, tomando como base las líneas consideradas en los trabajos de geofísica, para determinar la distribución de las Unidades Geohidrológicas descritas así como sus dimensiones. En la figura 9 se presenta la ubicación de las tres secciones referidas anteriormente y en las figuras 10 a la 12 se muestra la distribución en el subsuelo de las unidades descritas.

Es conveniente destacar que las condiciones descritas en los temas anteriores, indican que la única fuente de recarga a las unidades permeables es el río Balsas.

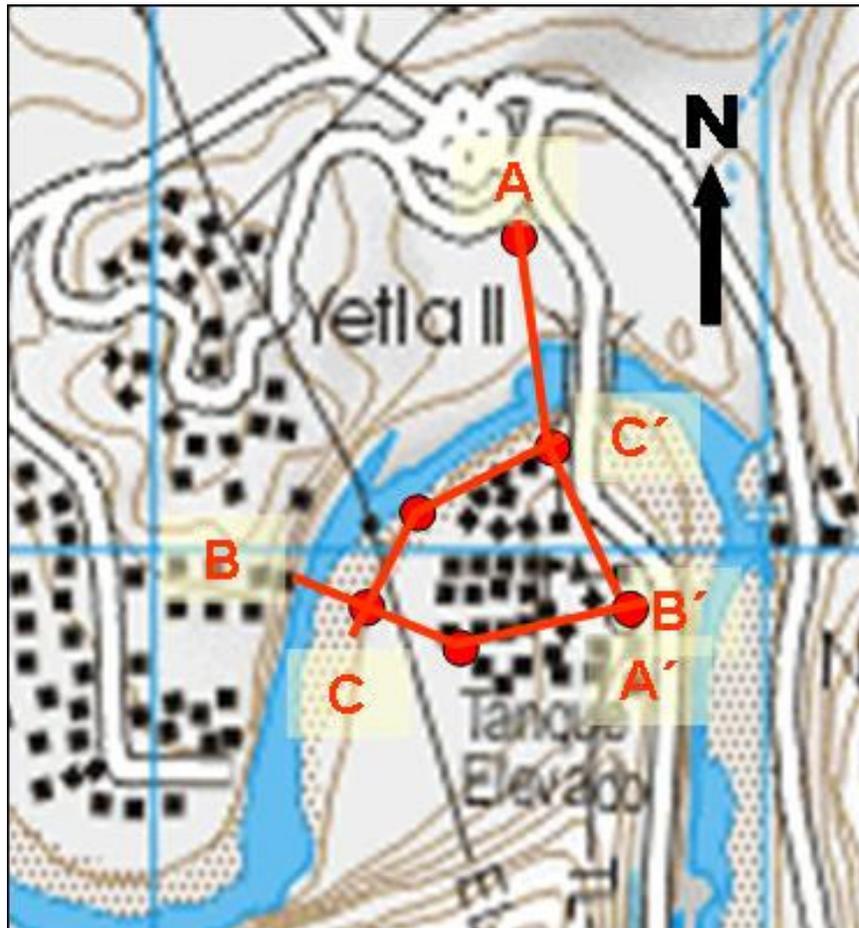


Figura 9. Ubicación de secciones geohidrológicas (Base topográfica INEGI)

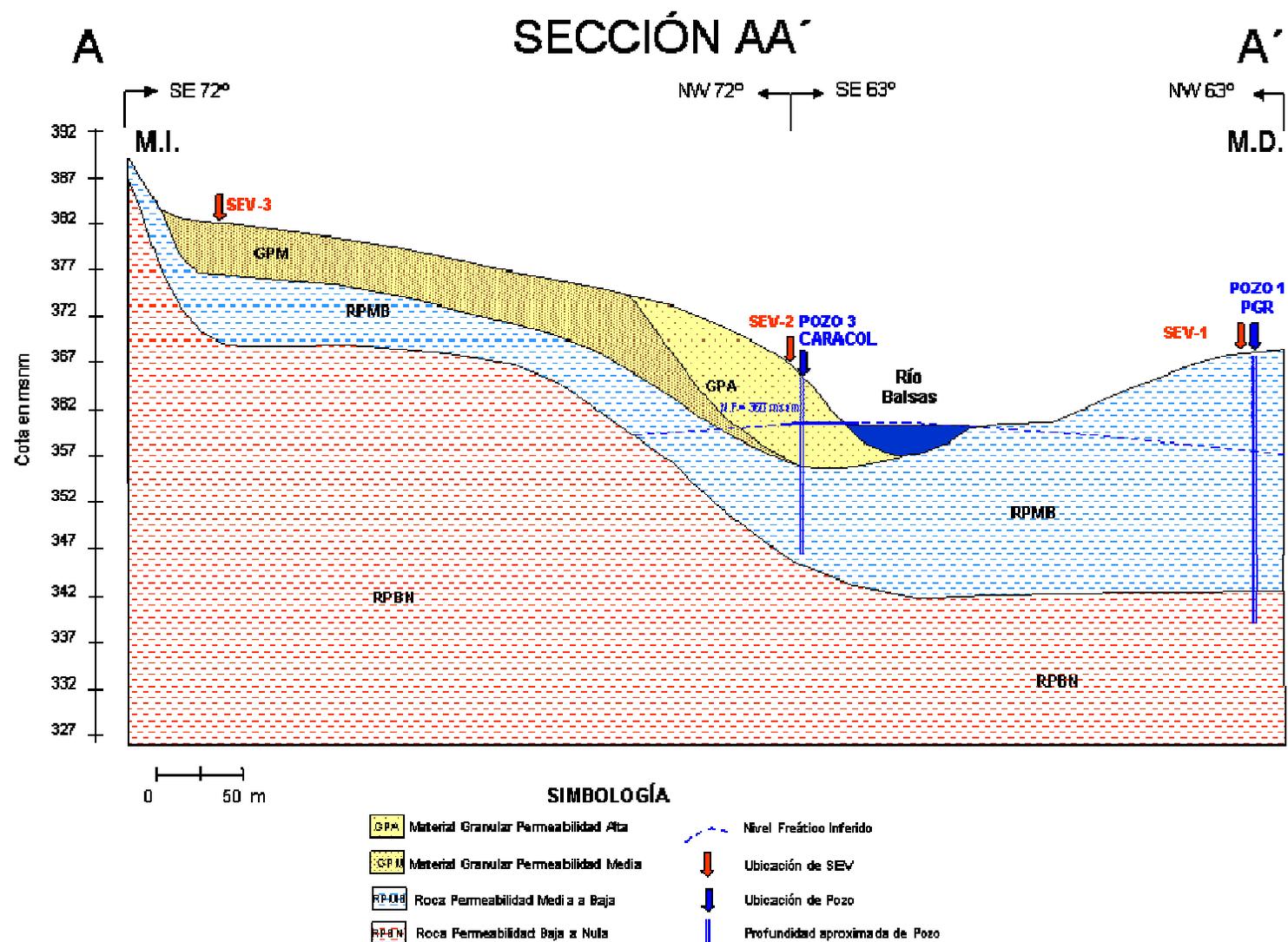


Figura 10

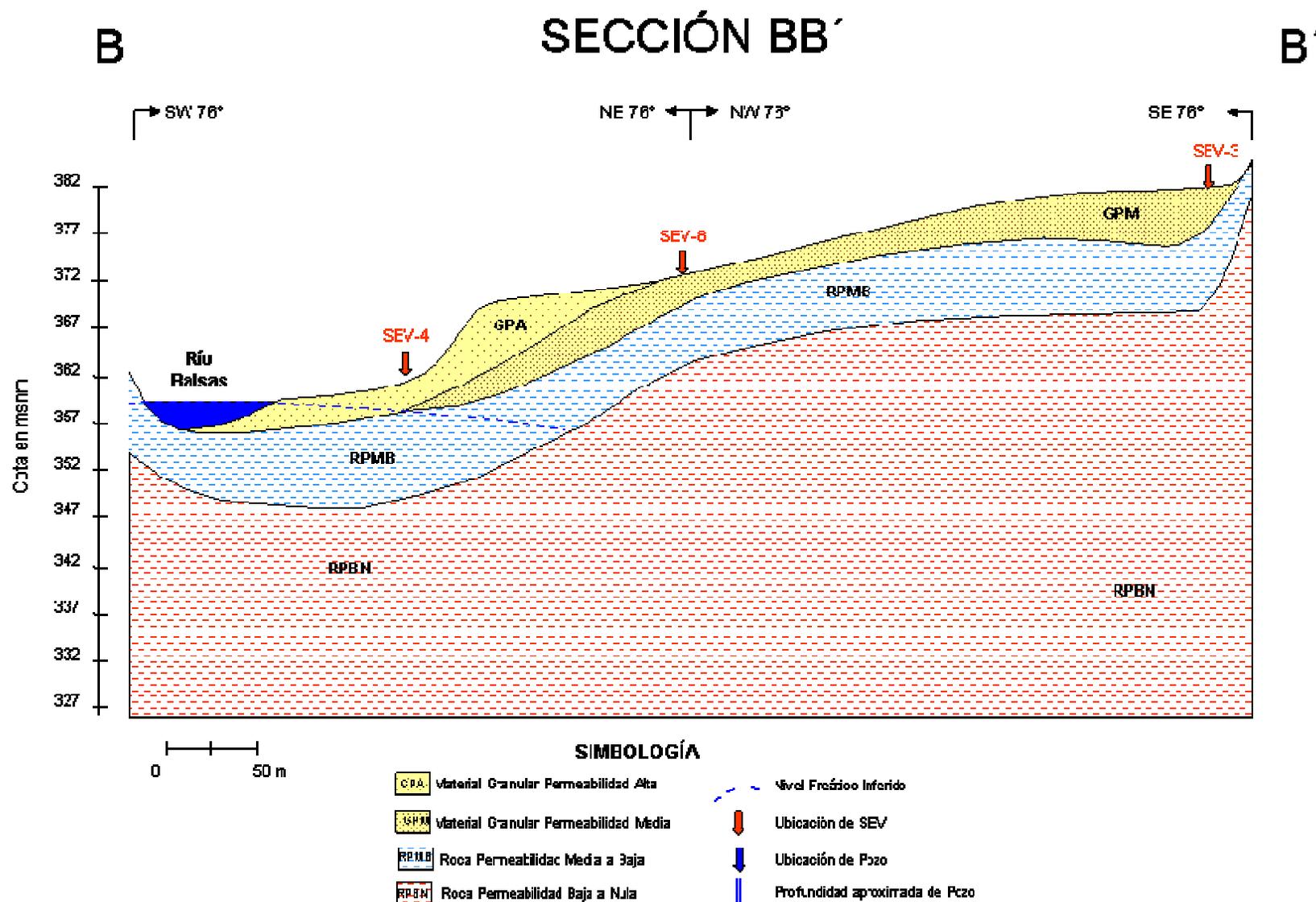


Figura 11

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE UN POZO DE AGUA EN EL POBLADO EL NUEVO CARACOL, GRO.



6. CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA

Un aspecto importante del estudio lo constituye el análisis de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua de la zona, ya que no basta con obtener la cantidad necesaria que se requiere sino también es indispensable asegurar que sea adecuada para uso y consumo humano.

Por tal motivo se llevó a cabo la determinación de los parámetros ya mencionadas tanto en campo como en muestras de agua subterránea que se colectaron en la zona de estudio, con lo cual se obtendría una aproximación de la calidad de agua en caso de que sea factible perforar un pozo.

Con base al número de aprovechamientos se programó la colecta de cuatro muestras, siendo los sitios en donde se tomaron los pozos: P-1, P-2 y P-3, así como el Río Balsas.

La toma de las muestras de agua en los pozos P-1 y P-2 se realizó a la salida de estos, en cambio, para la muestra obtenida en el pozo P-3, se utilizó una botella muestreadora, en tanto que el agua del río Balsas se tomó en forma directa a la orilla de éste. Fotografía 9



Fotografía 9. Toma de muestra de agua en el pozo P-1



Las muestras fueron debidamente preservadas para su traslado al Laboratorio de Desarrollo Químico del Agua (LDQA) de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la C.F.E. Los parámetros determinados para cada una de las muestras de agua fueron: oxígeno disuelto, dióxido de carbono, sólidos suspendidos (fijos, volátiles y totales), carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad total, cloruros, sulfatos, nitratos, sólidos disueltos totales, coliformes fecales, coliformes totales, sodio, potasio, calcio, magnesio, dureza total, sílice, fierro, manganeso, cobre, zinc, cromo arsénico y plomo.

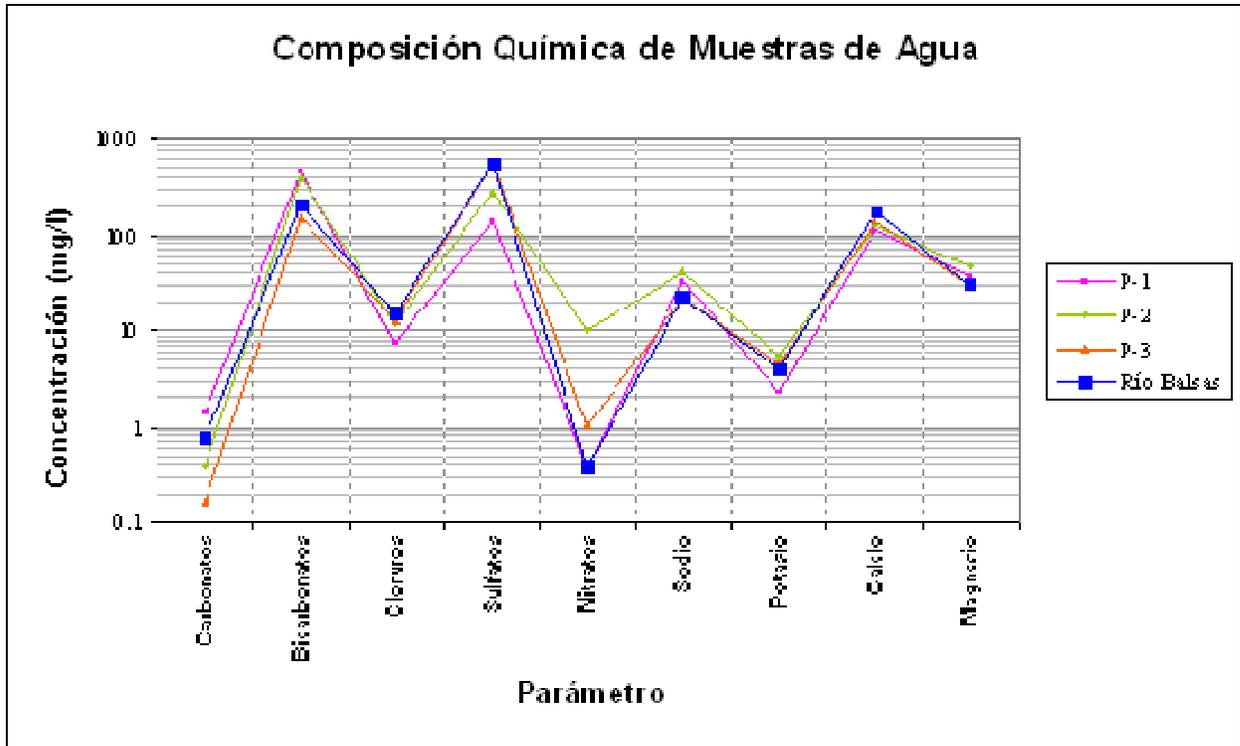
Paralelamente a la toma de muestras se midieron los parámetros de campo, obteniendo los siguientes resultados: El agua presentó valores de conductividad eléctrica de 829 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1040 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que se considera de media baja. Los valores de pH obtenidos fueron de 7.28 a 7.88 que indican su carácter neutro. La temperatura del agua fluctuó entre 27.5 y 33.50 $^{\circ}\text{C}$, que se considera normal para la zona. Fotografía 10.



Fotografía 10. Medición de parámetros fisicoquímicos en campo en el pozo P-1



La grafica 2 muestra en forma conjunta la composición química de las cuatro muestras de agua, de donde se define que existe similitud en composición entre el agua del río y de los pozos, así mismo que la concentración de iones es menor en los pozos, por el efecto de filtrado del agua en el medio acuífero, a excepción del ión nitrato que es mayor su concentración en los pozos P-2 y P-3. Por lo anterior se confirma que el agua del río es quién alimenta al acuífero de la zona.



Gráfica 2. Composición química de muestras de agua

Con objeto de determinar la calidad química del agua para su consumo humano, se compararon los resultados de los análisis de agua con los valores indicados en la norma **NOM-127-SSA1-1994. Límites máximos permisibles para agua de consumo humano**. La tabla 7 indica los parámetros que exceden el límite máximos permisibles, por la Norma NOM-127-SSA1-1994.



TABLA 7. Resumen de resultados de análisis químicos

Parámetro (Unidad mg/l cuando no se indique)	Límites máximos indicados en la NOM-127-SSA1- 1994	POZO P-1	POZO P-2	POZO P-3	AGUA DE RÍO
Coliformes totales (UFC/100 ml)	Ausencia o no detectables	>3000	>3000	>3000	>3000
Cromo total	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00	413.6	502.5	462.7	578.4
Hierro	0.30	0.121	<0.094	9.429	0.111
Manganeso	0.15	0.033	<0.020	3.272	0.045
Sulfatos	400	140	269.86	532.09	550.27

Con relación a los parámetros que se encuentran por encima de los límites de la Norma, el efecto a la salud por su consumo directo, trae las siguientes consecuencias: la presencia de coliformes totales, son potenciales productores de enfermedades virales y bacterianas; el cromo produce malestar estomacal, úlceras, convulsiones, daño del hígado y el riñón; la dureza tiende a dañar el sistema renal, el hierro y manganeso generan daños en el sistema circulatorio, riñones e hígado, en tanto que el consumo de sulfatos en altas concentraciones produce problemas al sistema digestivo.

La misma Norma refiere que es posible reducir las concentraciones de estos elementos mediante procesos de potabilización, como son: cloración para reducir el contenido de coliformes, y todos los demás parámetros excedentes mediante procesos de intercambio iónico, sin embargo, es recomendable la aplicación de pruebas de tratabilidad del agua que permita definir el tipo e intensidad de los procesos paralelos.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

1. Se identificaron cuatro unidades geohidrológicas, de las cuales las unidades de Material Granular de Permeabilidad Alta (GPA), y la de Roca fracturada con permeabilidad media a baja (RPMB), cuando están por debajo del nivel del río Balsas, contienen agua y son factibles de ser explotadas.
2. La unidad GPA, por ubicarse en la margen del río y la experiencia en construcción sobre estos materiales, se estima que un pozo en esta unidad puede aportar un caudal del orden de 10 l/s, sin embargo, los pozos que son construidos para explotar agua a través de ella, son destruidos por las crecientes del río, lo cual hace necesario la construcción de una obra civil para protección del aprovechamiento.
3. La unidad RPMB presenta una permeabilidad de media a baja, un pozo en esta unidad, cuando está cerca del río, aporta caudales del orden de 1.5 l/s a 2 l/s, con la ventaja de que no es dañado por las crecientes del río, además de que la extracción de agua subterránea mediante un pozo, permite tener un efecto de filtrado de agua, como se describió en el capítulo de calidad química del agua.
4. Aún cuando se puede abastecer al poblado de agua del río Balsas, previo tratamiento potabilizador, esta posibilidad no se consideró debido a que la planta de tratamiento representa un costo mayor de construcción, operación y mantenimiento, ya que es necesario eliminar los sólidos en suspensión que transporta el agua del río, característica que no se presenta en el agua subterránea, y por otro lado la comunidad exige la construcción de un pozo. Cabe mencionar que los costos de operación y mantenimiento de la obra serán solventados por la comunidad.
5. La fuente más importante y continua de agua es el río Balsas, que alimenta a las unidades permeables que se localizan en el área de estudio. Los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos, muestran valores altos en cromo, manganeso y coliformes totales por lo que el agua subterránea es de esperar que también presente concentraciones similares de estos contaminantes.

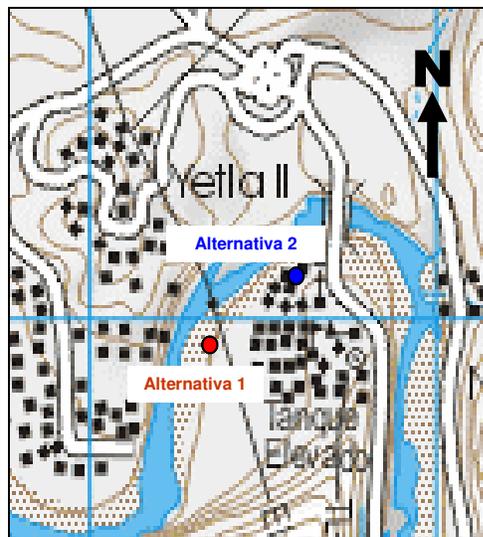


7.2 RECOMENDACIONES

Se proponen dos sitios en los que se puede construir un pozo para abastecimiento de agua la comunidad del Nuevo Poblado El Caracol, en ambos casos, el sitio está sobre una terraza aluvial, que por su posición respecto al río, no es alcanzada por las avenidas máximas del mismo, lo que proporciona protección a la obra. La ubicación de los dos sitios se muestra en la Figura 12.

La primera alternativa se localiza en las coordenadas geográficas $17^{\circ} 57' 29.77''$ latitud norte, $100^{\circ} 01' 28.40''$ longitud oeste, en el extremo poniente del poblado, cercana al sondeo eléctrico SEV-4 y fuera de la ribera del río. Corresponde a un predio que limita al oeste con el camino que conduce al puente peatonal y al norte con el cauce del río Balsas. Su profundidad total sería de 20 m, para explotar la unidad RPMB.

La segunda alternativa se localiza al norte del poblado, en las coordenadas geográficas $17^{\circ} 57' 36.46''$ latitud norte, $W 100^{\circ} 01' 20.08''$ longitud oeste, en el vértice que forman las calles de Heliodoro Castillo e Ixcateopan, dentro del predio que ocupa un centro educativo. Este sitio se encuentra cerca del pozo P-3, aunque en el sitio existe un buen espesor de la unidad GPA y GPM, se recomienda aprovechar únicamente la unidad RPMB, con objeto de contar con un agua de mejor calidad. La profundidad total del pozo sería de 25 m.



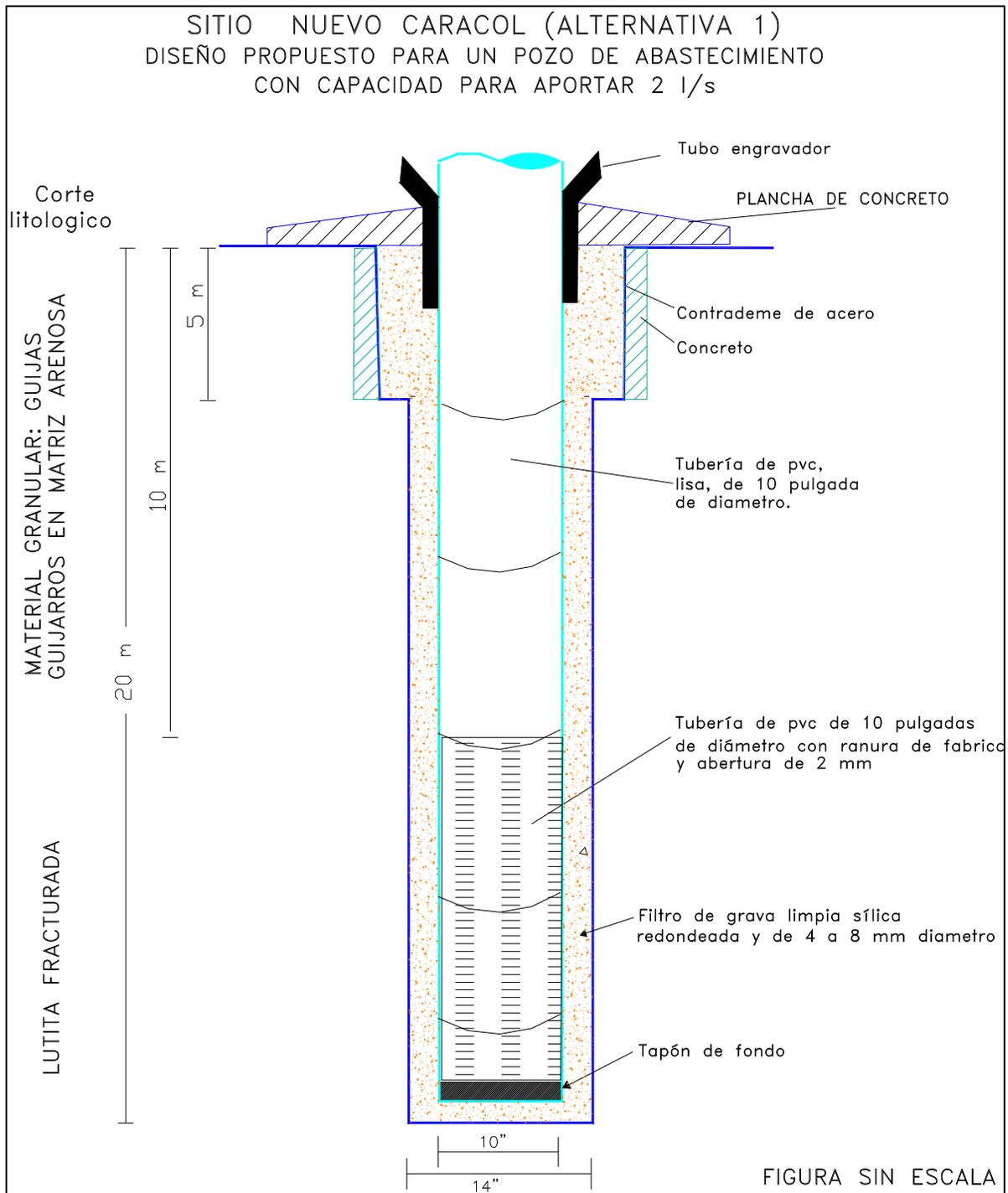
Ubicación de alternativas de perforación (Base topográfica INEGI)

Cabe mencionar que la construcción del pozo deberá realizarse en forma posterior a los permisos otorgados por las autoridades de la Comisión Nacional del Agua y de la autoridad de ecología del estado. Además la empresa que construya el pozo deberá realizarlo con apego a la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, Requisitos

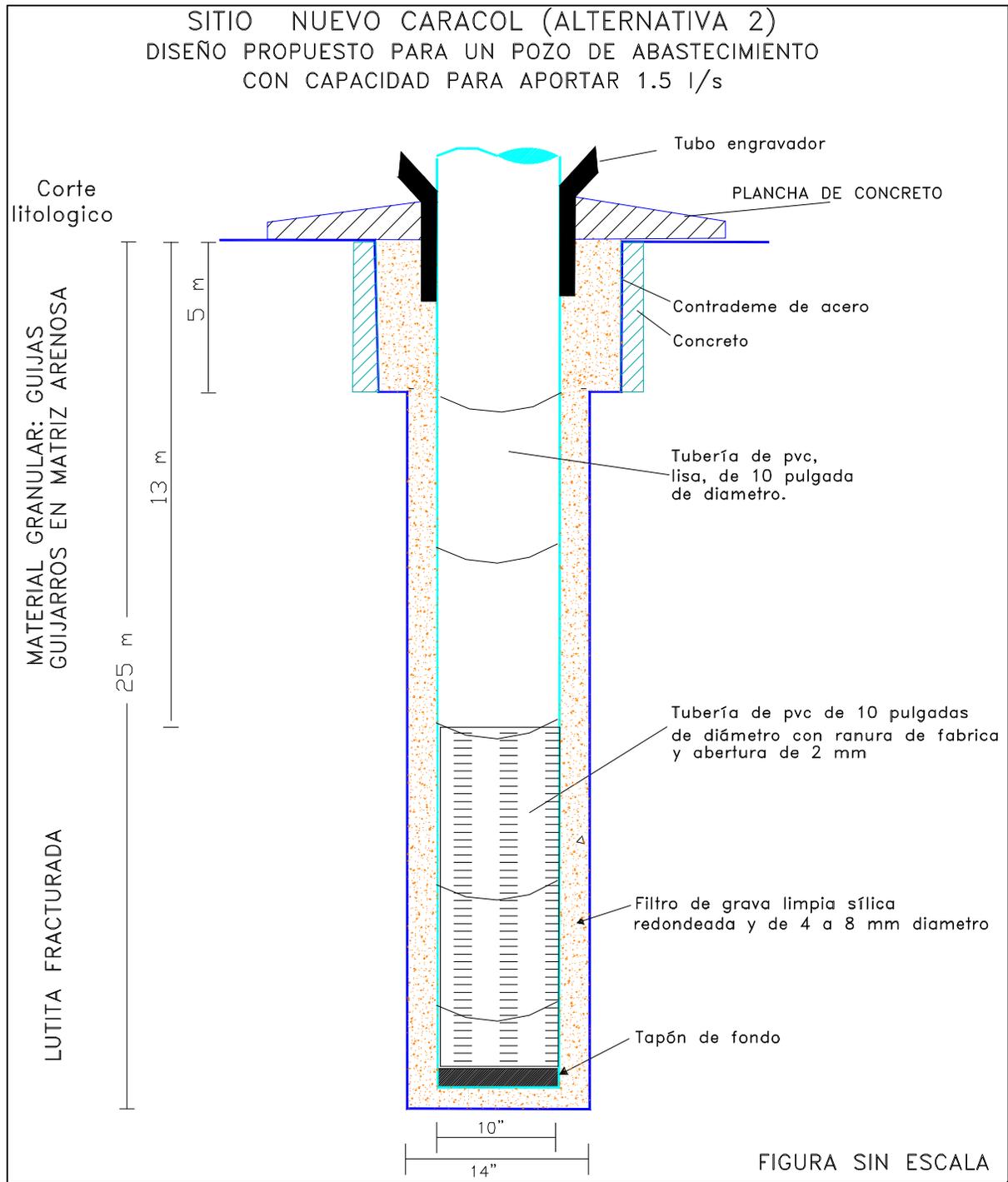


durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.

Se recomienda que al finalizar la construcción del pozo, se realice el aforo y la toma de una muestra de agua para realizar un análisis físico químico y bacteriológico y posteriormente, en caso de ser necesario, las pruebas de tratabilidad del agua con el fin de determinar el proceso de potabilización que se deberá dar al agua antes del consumo humano.



Diseño propuesto para un pozo de abastecimiento Alternativa 1



Diseño propuesto para un pozo de abastecimiento Alternativa 2



BIBLIOGRAFÍA

- Cserna, Zoltan de, 1971, Geología regional alrededor del sitio para el Proyecto Hidroeléctrico El caracol, Guerrero: México D.F., Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Custodio E. y Llamas M., 1994, Hidrología Superficial, Ed. Omega.
- Garrido, U.J. y Bravo G. G., 1986, Geología y Geotecnia Aplicadas a la Construcción del Proyecto Hidroeléctrico Ing. Carlos Ramirez Ulloa en el Caracol, Gro. Comisión Federal de Electricidad.
- Johnson Division, 1975, El Agua Subterránea y los Pozos, Ed. Johnson.
- Maycotte, J.I., 1981 Geología y Geotecnia del Proyecto Hidroeléctrico el Caracol, Gro. Comisión Federal de Electricidad.
- Norma NOM-127-SSA1-1994. Límites máximos permisibles para agua de consumo humano.
- Tinajero-González J.A. 1985. Apuntes de aspectos fundamentales en el estudio del Agua subterránea (Geohidrología). Facultad.de Ingeniería UNAM.
- Ulric P. Gibson y Rexford D. Siger, 1989, Manual de los Pozos Pequeños. Ed. Limusa.