



III y IV. INFORME HIDROGEOLÓGICO E HIDROLÓGICO

SEGH-DECA-K1330-I-02/2021 (Rev. 00)



Eugenio Hernández Rico
9M4D5

JUNIO 2021

ÍNDICE

Capítulo		Pág.
1.	GENERALIDADES	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Objetivo	1
1.3.	Alcances	1
1.4.	Localización	1
2.	HIDROLOGÍA	2
2.1.	Región hidrológica	2
2.2.	Climatología	4
3.	RECONOCIMIENTO DEL SITIO	6
3.1.	Caminamientos	6
3.2.	Monitoreo de la profundidad del agua subterránea	7
3.3.	Monitoreo de la conductividad eléctrica del agua subterránea	8
3.4.	Sitios de reconocimiento	9
3.5.	Uso del agua subterránea	16
4.	MARCO HIDROGEOLÓGICO	17
4.1.	Unidades Hidrogeológicas	17
4.2.	Funcionamiento hidrogeológico	23
4.3.	Acuífero Mina Pasta de Conchos	25
4.3.1.	Hidrodinámica y permeabilidad del acuífero	26
4.4.	Profundidad del nivel del agua subterránea y base del acuífero en la zona del Portal, rampa de acceso y ramal principal	33

5.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS	36
5.1.	Instalación de piezómetros	36
5.2.	Desarrollo de pruebas de funcionalidad	38
6.	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	45
6.1.	Muestreo de agua	45
6.2.	Resultados de los análisis de las muestras de agua	47
7.	CONCLUSIONES	52

ANEXOS

- 1.- Tabla del Censo de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento
- 2.- Plano de localización de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento
- 3.- Fotografías de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento
- 4.- Resultados de los análisis de las muestras de agua

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Como parte de las actividades del “Desarrollo de los estudios e Ingeniería básica junto con el proyecto ejecutivo para el proyecto de rescate de los cuerpos de los mineros en Pasta de Conchos, estado de Coahuila”, se contempló la ejecución de un estudio Hidrogeológico de la zona de la mina y entorno de esta.

El presente estudio estuvo integrado por varias actividades, las cuales iniciaron con la recopilación, consulta y análisis de información técnica antecedente; posteriormente se realizó un reconocimiento del sitio y censo de obras hidráulicas, establecimiento de una red de monitoreo del acuífero, piezometría, análisis de pruebas de permeabilidad y estudio de calidad del agua subterránea.

A continuación se mencionan las actividades ejecutadas, actualmente, y los resultados obtenidos.

1.2 Objetivo

Definir el modelo de funcionamiento hidrogeológico que permita evaluar y determinar las condiciones hidrogeológicas integradas del área de la mina y su entorno (comportamiento del agua subterránea y su relación hidráulica con los materiales litológicos, así como la línea base de la calidad de esta).

1.3 Alcances

- a).- Consulta y recopilación de información
- b).- Reconocimiento del sitio (Caminamientos, censo de obras hidráulicas, identificación de pozos, norias, manantiales, obras de captación y de abastecimiento, represas, cuerpos de agua, etc.).
- c).- Definición de unidades hidrogeológicas
- d).- Establecimiento de red de monitoreo
- e).- Monitoreo piezométrico y Conductividad Eléctrica (CE) del agua subterránea
- f).- Pruebas de funcionalidad de piezómetros
- g).- Análisis de resultados de pruebas de permeabilidad
- h).- Caracterización del agua subterránea (muestreo y análisis)

1.4 Localización

El área de estudio se localiza en la Cuenca Carbonífera de Sabinas al noroeste del poblado de Nueva Rosita, en el municipio de San Juan de Sabinas en el estado de Coahuila; comprende varios predios, incluyendo en el que se ubican las instalaciones de la Mina Pasta de Conchos (Industrial Minera Mexicana SA (IMMSA), actualmente fuera de operación). Figura No. 1.



Figura No. 1. Localización del área de estudio, mina Pasta de Conchos

La principal vía de acceso al área de estudio es por la carretera Federal No. 57, que conecta la ciudades de Piedras Negras y Nueva Rosita, de esta última se desprende la carretera estatal No. 20 que conduce a las ciudades de Palau y Múzquiz, en la que a una distancia de 9 km entronca carretera vecinal que conduce al predio de la mina Pasta de Conchos.

2. HIDROLOGÍA

Como rasgos hidrográficos de la zona de estudio, se tiene que ésta es flanqueada al norte y sur por dos corrientes de tipo perenne e intermitente; el río Álamos o mejor conocido como “El Coyote” y el río Sabinas, respectivamente (figura anterior). Se le refiere como río Álamos por las referencias cartográficas, sin embargo, localmente se le conoce también como El Coyote, debido a que se encuentra en el ejido del Coyote. Fotografía No. 1.

2.1 Región Hidrológica

La zona de estudio se encuentra en la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, Cuenca Presa Falcón-Río Salado y Subcuenca Río Álamos y Río Sabinas (conforme a la regionalización hidrológica definida por la Comisión Nacional del Agua, CONAGUA 2018). Figura No. 2.

Los escurrimientos superficiales (El Coyote y Sabinas) fluyen en dirección sureste y se unen a la altura del poblado de Cloete, para formar un solo escurrimiento denominado río Sabinas.

De manera general el río Sabinas es la principal corriente que drena el área de Pasta de Conchos. Nace en la Sierra de Múzquiz, al descender de la montaña se le une por su

margen izquierda el arroyo de Santana, que se forma en la Sierra de la Encantada y atraviesa la Sierra.



Fotografía No. 1. Ríos Sabinas (imágenes superiores) y El Coyote (imágenes inferiores)

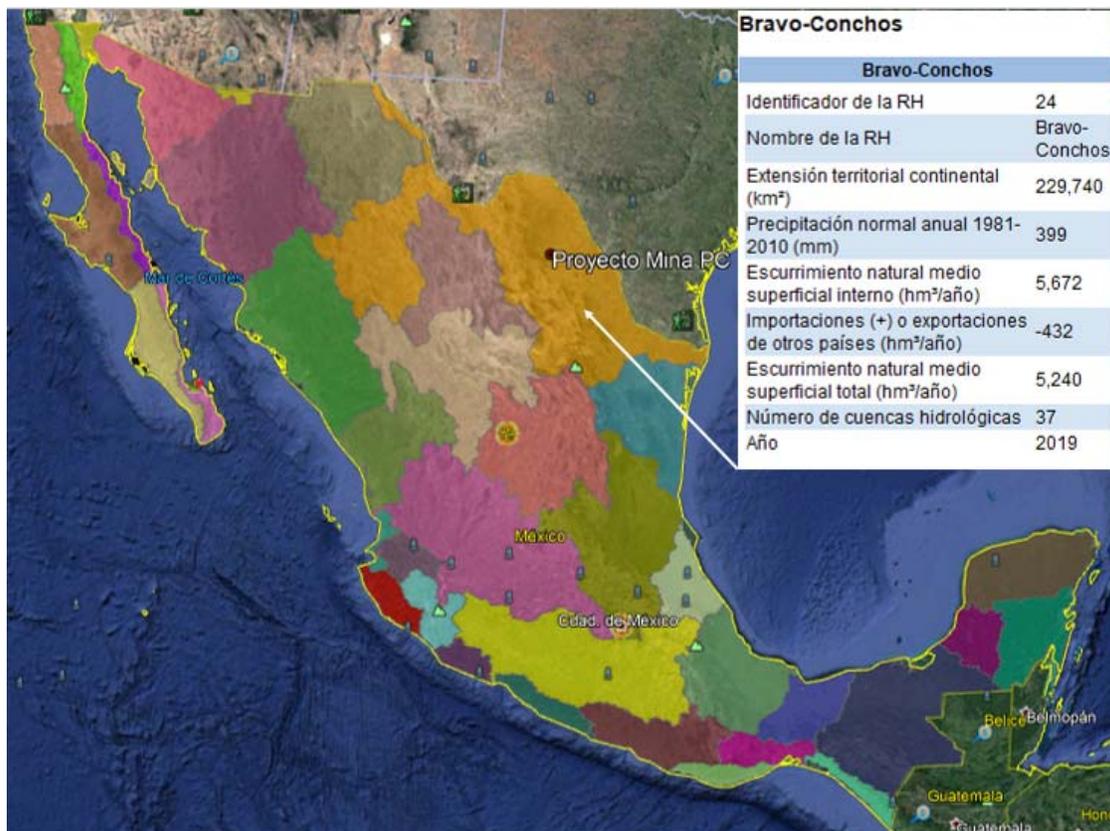


Figura No. 2. Regiones hidrológicas. CONAGUA

2.2 Climatología

El clima que predomina en el municipio de San Juan de Sabinas y específicamente en la zona donde se localiza el área de estudio se clasifica como “Seco semicalido” (clasificación climatológica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI)”.

La información de climatología que se integra en el presente estudio es la consultada en la estación climatológica Conchos, perteneciente a la red de observación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA), localizada en el municipio de San Juan de Sabinas (estación más cercana al área de estudio) con un período de observación de 59 años (1951 a 2010). Los parámetros climatológicos analizados fueron la Precipitación pluvial (*P en mm*), la Temperatura ambiente (*T en °C*) y la Evaporación potencial (*E en mm*). Tabla No. 1.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS													
ESTADO DE: COAHUILA DE ZARAGOZA											PERIODO: 1951-2010		
ESTACION: 00005008 CONCHOS				LATITUD: 27°57'40" N.				LONGITUD: 101°22'30" W.				ALTURA: 380.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PRECIPITACION													
NORMAL	12.0	14.0	7.1	35.7	51.2	53.4	48.7	49.3	66.6	52.1	20.4	12.2	422.7
MAXIMA MENSUAL	74.0	79.0	37.0	239.0	223.0	374.0	481.0	176.5	272.0	183.5	96.0	67.0	
AÑO DE MAXIMA	1980	1973	1981	1981	1957	1971	1976	1960	1958	1958	1965	1976	
MAXIMA DIARIA	25.0	45.0	34.0	101.6	154.0	75.0	213.0	125.0	125.0	135.0	75.0	30.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	16/1980	11/1960	08/1953	10/1969	26/1957	24/1971	06/1976	14/1960	25/1970	03/1973	07/1965	13/1976	
AÑOS CON DATOS	30	32	32	30	28	30	32	29	32	30	28	26	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	10.6	13.1	17.1	21.4	24.7	27.7	28.4	28.3	25.9	20.9	15.0	11.4	20.4
AÑOS CON DATOS	30	32	32	30	28	30	32	29	32	30	28	26	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL	87.6	99.0	147.4	178.0	202.3	213.7	230.3	217.2	170.4	126.9	93.7	74.2	1,840.7
AÑOS CON DATOS	29	27	26	25	24	25	26	26	26	26	25	24	

Tabla No. 1. Parámetros climatológicos (Precipitación, Temperatura y Evaporación)

La temperatura media anual es de 20.40 °C, la evaporación total de 1840.70 mm y una precipitación media anual de 422.70 mm, con régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y escasas en noviembre y diciembre; los vientos predominantes tienen dirección noroeste con velocidad de 10 km/hr. La frecuencia de heladas es de 0 a 2 días y granizadas de uno a dos días.

De los datos observados se apreció que la precipitación registró un valor máximo mensual de 481 mm y un máximo diario de 213 mm, ambos valores en el mes de julio del año de 1976. La temperatura mínima correspondió al mes de enero con 10.60 °C y la máxima se registró en el mes de julio con 28.4 °C. Respecto a la evaporación total, el valor máximo se registró en julio con 230.30 mm y el mínimo de 74.20 mm en el mes de diciembre.

Con la finalidad de contar con información de referencia acerca de la precipitación, específicamente en el sitio del proyecto y durante la excavación de las obras subterráneas, se instalaron dos pluviómetros (analógicos de lectura simple y directa) en sitios estratégicos en el área. En la Fotografía. No. 2 se presentan los pluviómetros instalados y en la Figura No. 2 la ubicación de éstos en el área.



Fotografía No. 2. Instalación de pluviómetros

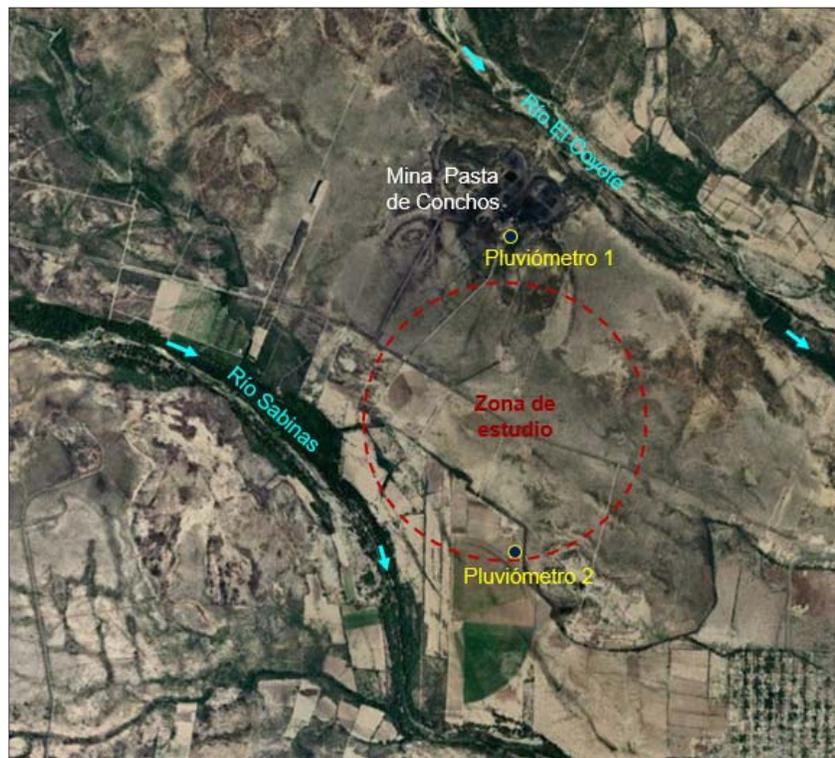


Figura No. 3. Localización de pluviómetros

3. RECONOCIMIENTO DEL SITIO

3.1 Caminamientos

Mediante los recorridos de campo se cubrió un área aproximada de 25 km² (Figura No. 4) en donde se identificaron 156 sitios de interés (incluyendo obras hidráulicas). La descripción detallada de cada uno de los sitios (características de las obras, localización, datos de medición, etc.) en el área de estudio, se indican en los anexos del presente informe (Tabla, Plano y Fotografías de Censo de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento).

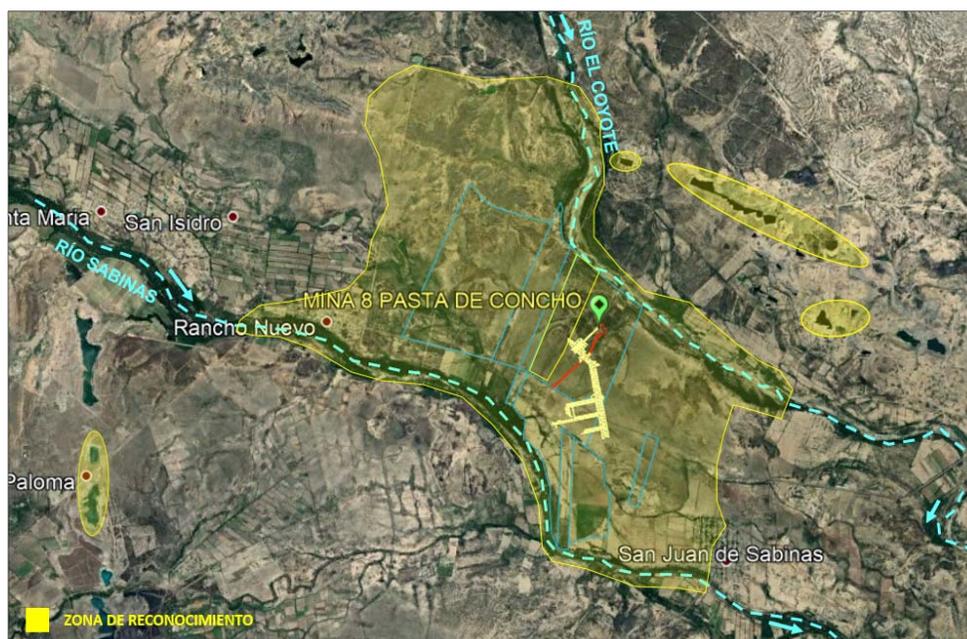


Figura No. 4. Área de reconocimiento cubierta con los recorridos de campo

Los caminamientos se realizaron en los siguientes predios (particulares y públicos o de carácter Federal):

José Luis Guadiana
Jorge Guajardo
Raúl Flores
Juan Carlos Siller
José Luis Siller
Andrés Siller
Grupo México y predio de "Varios propietarios".
Ejidos Rancho Nuevo, Paso del Coyote y San Juan de Sabinas
Tajos a cielo abierto: Cisneros, Rancho Nuevo, La Sauceda
Minas El Bote y Santa Isabel
Causas y márgenes de los ríos Sabinas y El Coyote
Bancos de materiales

3.2 Monitoreo de la profundidad del agua subterránea

Una vez identificados y localizados los pozos y norias, se procedió a realizar la medición de la profundidad del nivel del agua subterránea (nivel estático (NE) o dinámico (ND)) con referencia al nivel del terreno natural (NTN) y en algunos casos al nivel de piso terminado (NPT). Lo anterior mediante el empleo de sonda eléctrica constituida de cables de acero cubiertos con cinta graduada al milímetro, sensor luminoso y auditivo, lo que permitió tomar lecturas precisas y confiables. Fotografía No. 3.



Fotografía No. 3. Equipo de monitoreo (Sonda eléctrica)

El nivel del agua subterránea se considera estático cuando no existe alteración en su comportamiento derivado de esfuerzos hidráulicos que lo modifiquen, tales como bombeo o inyección de agua, en estos casos el nivel será dinámico. En la Fotografía No. 4 se presenta el desarrollo de las actividades de monitoreo de la profundidad del agua subterránea.



Fotografía No. 4. Monitoreo de la profundidad del agua subterránea

En total se realizó la identificación y monitoreo de 69 obras hidráulicas de abastecimiento, de las cuales 61 fueron pozos y 8 norias, todas las obras fueron propiedad de particulares.

3.3 Monitoreo de la conductividad eléctrica del agua subterránea

Con la finalidad de contar con información referente a la calidad del agua (superficial y subterránea) y como parte integral de las actividades de reconocimiento se efectuó de forma conjunta con el monitoreo de la profundidad del nivel del agua subterránea la medición de la conductividad eléctrica de ésta (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$). Lo anterior mediante el empleo de conductivímetro portátil. Fotografía No. 5.



Fotografía No. 5. Conductivímetro portátil

La recolección de muestras de agua se realizó con tubo muestreador de acero inoxidable, en el rango de profundidad de 0,50 a 1,0 m por debajo del NE en los pozos y norias, así como de forma superficial en los ríos, arroyos y tajos. En la Fotografía No. 6 se presenta parte del desarrollo de las actividades.



Fotografía No. 6. Monitoreo de la conductividad eléctrica del agua

En los ríos Sabinas y El Coyote la medición de la CE del agua se realizó en los sitios ubicados y distribuidos de forma estratégica que cubrieran el área de estudio y su entorno. Para el río Sabinas las mediciones de la CE estuvieron distribuidas en una longitud aprox. de 10 km y de 7.5 km para El coyote.

3.4 Sitios de reconocimiento

Durante los recorridos de reconocimiento se identificaron y ubicaron sitios de interés y de aporte de información relevante de carácter hidrogeológico, entre estos se tiene:

a).- Afloramientos de roca (clasificada como arenisca) en el lecho y márgenes de los ríos. Fotografía No. 7.



Fotografía No. 7. Afloramiento de roca en lecho y márgenes de los ríos

b).- Cortes litológicos en ríos, bancos de materiales y tajos. Los materiales que se apreciaron en estos sitios fueron: aluvión, conglomerado, areniscas, lutitas y estratos de carbón. En los tajos se apreció la presencia de agua almacenada (producto de la precipitación y posible aporte de escurrimientos subterráneos) en la que se realizó monitoreo de la CE. Fotografía No. 8.



Fotografía No. 8. Sitios de reconocimiento. Bancos de materiales y tajos a cielo abierto

Es importante mencionar que la mayoría de las obras de captación de agua (bordos o embalses) construidos por los propietarios de los predios, estaban vacíos durante el período en el que se realizaron las actividades de reconocimiento (noviembre 2020).

c).- Uno de los sitios de reconocimiento fue la obra subterránea denominada como tiro vertical de ventilación no. 2, ubicada al suroeste de la Mina Pasta de Conchos (PC), misma que se encuentra actualmente con agua (prof. del NE de 11.50 m, lectura 4 jun 2021) y equipado, en temporada de estiaje, con bomba sumergible con tubería de descarga de 0.0508 m (2") de diámetro. La profundidad total de esta obra es superior a los 160 m (prof. a la que se introdujo el equipo de monitoreo) con un diámetro de 5.0 m. Fotografía No. 9.



Fotografía No. 9. Tiro vertical de ventilación no. 2

d).- Se identificó sobre la margen derecha del río Sabinas una obra de toma (sitio CFE-29) que abastece a la lavadora de carbón ubicada en el predio del Grupo México (IMMSA). Se apreció la existencia de dos equipos de bombeo de tipo vertical instalados sobre una plataforma a una altura de 2.7 m sobre el terreno natural. El caudal que se aprovecha de este escurrimiento superficial se estimó de 10 a 12 l/s (tubería de conducción de 0.1016 m (4") de diámetro). Actualmente se desconoce si el agua empleada en el lavado de carbón se vierte a un sistema de tratamiento antes de su disposición final, mismo que también se desconoce. Fotografía No. 10.



Fotografía No. 10. Obra de toma (Lavadora de carbón)

En la Tabla No. 2 y Figura No. 5 se presenta la cantidad y localización de obras hidráulicas y sitios de interés identificados y en la Tabla No. 3 se indica la descripción específica de cada una de ellas.

Obra/Actividad	Cantidad	%
Pozos	61	39.1
Norias	8	5.1
Medición de CE en los ríos, arroyo, tajos, obras hidráulicas y de captación	43	27.6
Obras Hidráulicas (represas, canales derivadores y obras de toma y de captación)	21	13.5
Tajos	6	3.8
Afloramientos	2	1.3
Bancos de Material	2	1.3
Minas	4	2.6
Fosas	6	3.8
Tiros	3	1.9
Total	156	100

Tabla No. 2. Obras hidráulicas y sitios de reconocimiento

Respecto a la información consultada, se identificó y complementó la información de 34 sitios mencionados en el informe geohidrológico del Servicio Geológico Mexicano (SGM), de éstos 25 correspondieron a pozos, 6 a mediciones de CE, un Tajo, un Tiro y una noria. Tabla No. 4.

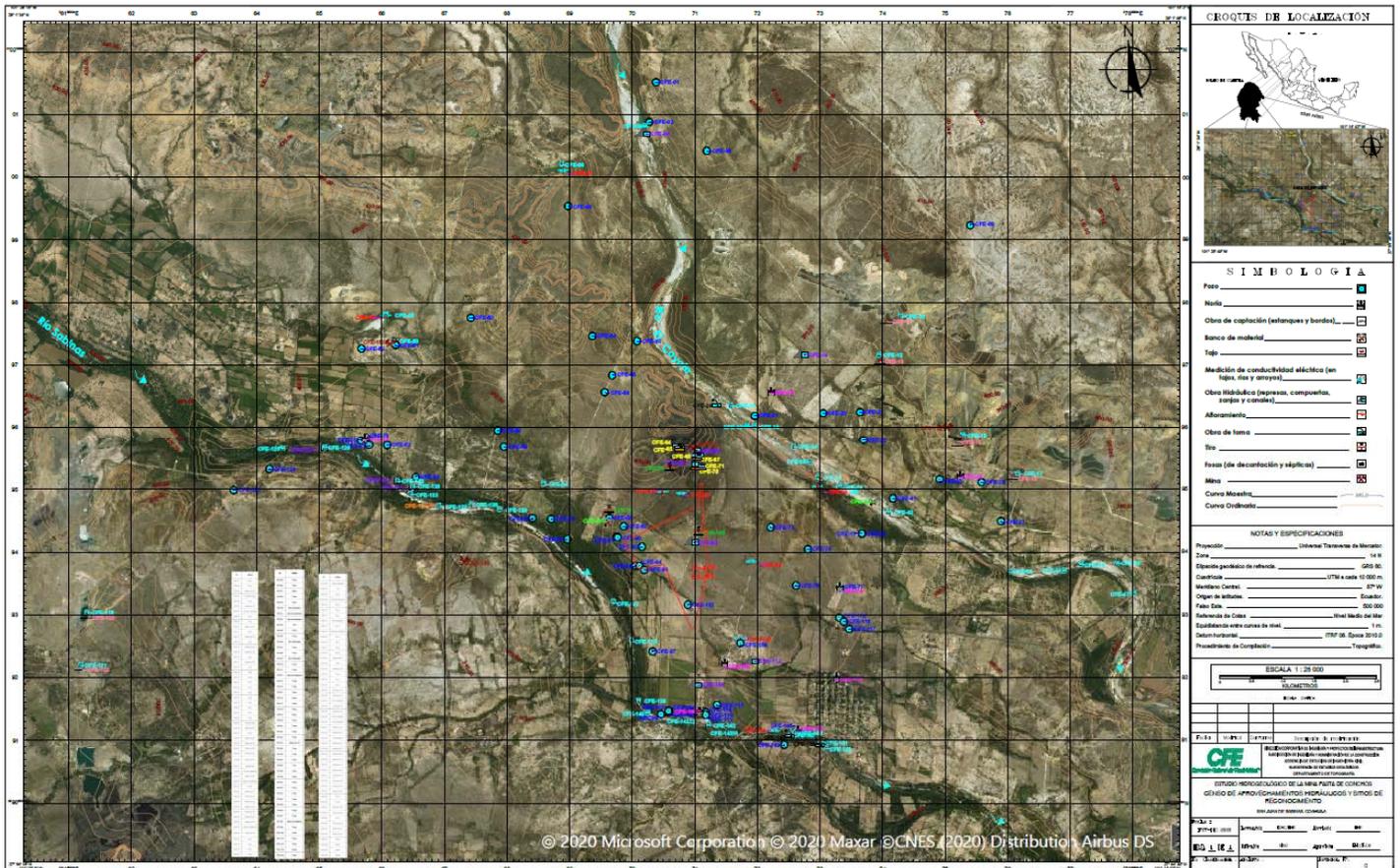


Figura No. 5. Localización de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento

No.	ID	COORDENADAS		OBRA/ACTIVIDAD	PREDIO	No.	ID	COORDENADAS		OBRA/ACTIVIDAD	PREDIO
		X	Y					X	Y		
1	CFE-01	270382,00	3101516,00	Pozo	Cornelio Cardenas	40	CFE-40	273852,00	3094794,00	Banco de Material	Río El Coyote
2	CFE-02	270273,00	3100879,00	Pozo	J. Luis Siller	41	CFE-41	274165,00	3094857,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote
3	CFE-03	270199,00	3100798,00	Medición CE	J. Luis Siller	42	CFE-42	274102,00	3094632,00	Medición CE	Río El Coyote
4	CFE-04	270231,00	3100694,00	Obra Hidráulica/represa	Río El Coyote	43	CFE-43	276038,00	3093683,00	Medición CE	Río El Coyote
5	CFE-05	271193,00	3100420,00	Pozo	J. Luis Siller	44	CFE-44	276906,00	3093693,00	Medición CE	Río El Coyote
6	CFE-06	268871,00	3100201,00	Medición CE	J. Luis Siller	45	CFE-45	277177,00	3093795,00	Medición CE	Río El Coyote
7	CFE-07	268900,00	3100108,00	Obra de captación	J. Luis Siller	46	CFE-46	277742,00	3093808,00	Medición CE	Río El Coyote
8	CFE-08	268977,00	3099538,00	Pozo	J. Luis Siller	47	CFE-47	278011,00	3093334,00	Medición CE	Río El Coyote
9	CFE-09	275402,00	3099230,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	48	CFE-48	266066,00	3097792,00	Medición CE	Mina el Bote
10	CFE-10	274292,00	3097773,00	Medición CE	Tajo Santa Isabel	49	CFE-49	266066,00	3097792,00	Obra de captación	Mina el Bote
11	CFE-11	274073,00	3097731,00	Tajo	Tajo Santa Isabel	50	CFE-50	266177,00	3097354,00	Medición CE	Mina el Bote
12	CFE-12	273938,00	3097143,00	Medición CE	Tajo Santa Isabel	51	CFE-51	266225,00	3097320,00	Pozo	Mina el Bote
13	CFE-13	273964,00	3097075,00	Tajo	Tajo Santa Isabel	52	CFE-52	265677,00	3097262,00	Pozo	Mina el Bote
14	CFE-14	272753,00	3097159,00	Obra Hidráulica	Al (NE) del río el Coyote	53	CFE-53	267424,00	3097753,00	Pozo	J. Luis Siller
15	CFE-15	275289,00	3095870,00	Medición CE	Ejido Paso del Coyote	54	CFE-54	269365,36	3097462,08	Pozo	J. Carlos Siller
16	CFE-16	275199,00	3095761,00	Tajo	Al (NW) del río el Coyote	55	CFE-55	269681,19	3096835,43	Pozo	J. Carlos Siller
17	CFE-17	276159,00	3095236,00	Medición CE	Al (NE) del río el Coyote (en Tajo)	56	CFE-56	269562,14	3096566,36	Pozo	J. Carlos Siller
18	CFE-18	276078,00	3095222,00	Tajo	Al (NE) del río el Coyote	57	CFE-57	270967,00	3095649,00	Mina	Grupo México
19	CFE-19	272220,00	3096574,00	Noria	Ejido Paso del Coyote	58	CFE-58	267854,00	3095954,00	Pozo	J. Carlos Siller
20	CFE-20	273054,00	3096228,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	59	CFE-59	267950,00	3095682,00	Pozo	Raúl Flores/José David
21	CFE-21	273641,00	3096245,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	60	CFE-60	270998,00	3094155,00	Obra Hidráulica	Grupo México
22	CFE-22	273696,00	3095794,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	61	CFE-61	270486,00	3094964,00	Obra de captación	Grupo México
23	CFE-23	274912,00	3095164,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	62	CFE-62	270785,00	3094939,00	Obra de captación	Grupo México
24	CFE-24	275241,00	3095225,00	Noria	Ejido Paso del Coyote	63	CFE-63	270599,00	3095361,00	Tiro	Grupo México
25	CFE-25	275582,00	3095115,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	64	CFE-64	270732,00	3095696,00	Fosa/Pila	Grupo México
26	CFE-26	273673,00	3094293,00	Pozo	Raúl Wong	65	CFE-65	270759,00	3095669,00	Fosa/Pila	Grupo México
27	CFE-27	275891,00	3094495,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	66	CFE-66	271032,00	3095629,00	Obra Hidráulica	Grupo México
28	CFE-28	270078,00	3097381,00	Pozo	Raúl Flores/José David	67	CFE-67	271059,00	3095544,00	Fosa	Grupo México
29	CFE-29	271369,00	3096376,00	Obra de toma	Lavadora (Grupo México)	68	CFE-68	271035,00	3095523,00	Fosa	Grupo México
30	CFE-30	271569,00	3096342,00	Medición CE	Río El Coyote	69	CFE-69	270996,00	3095404,00	Obra Hidráulica	Grupo México
31	CFE-31	271960,00	3096187,00	Pozo	Ejido Paso del Coyote	70	CFE-70	271026,00	3095371,00	Fosa	Grupo México
32	CFE-32	271830,00	3096009,00	Medición CE	Río El Coyote	71	CFE-71	271095,00	3095371,00	Fosa	Grupo México
33	CFE-33	271954,00	3096010,00	Medición CE	Río El Coyote	72	CFE-72	271901,00	3093852,00	Obra de captación	J. Luis Guajardo
34	CFE-34	272577,00	3095674,00	Medición CE	Río El Coyote	73	CFE-73	272214,17	3094396,68	Pozo	J. Luis Guajardo
35	CFE-35	272839,00	3095429,00	Medición CE	Río El Coyote	74	CFE-74	272806,34	3094046,47	Pozo	J. Luis Guajardo
36	CFE-36	272964,00	3095184,00	Medición CE	Río El Coyote	75	CFE-75	271641,00	3095926,00	Pozo	Grupo México
37	CFE-37	272964,00	3095184,00	Afloramiento	Río El Coyote	76	CFE-76	273317,78	3093443,71	Noria	Raúl Wong
38	CFE-38	272957,00	3095047,00	Obra de captación	J. Luis Guajardo	77	CFE-77	273322,00	3093441,00	Pozo	Raúl Wong
39	CFE-39	273303,00	3095034,00	Medición CE	Río El Coyote	78	CFE-78	265747,00	3095836,00	Pozo	Rancho Nuevo

(Tabla 1 de 2)

Tabla No. 3. Identificación de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento

No.	ID	COORDENADAS		OBRA/ACTIVIDAD	PREDIO	No.	ID	COORDENADAS		OBRA/ACTIVIDAD	PREDIO
		X	Y					X	Y		
79	CFE-79	265730,00	3095824,00	Noría	Rancho Nuevo	118	CFE-118	273266,00	3092002,00	Noría	s/d
80	CFE-80	265668,00	3095784,00	Pozo	Rancho Nuevo	119	CFE-119	261291,00	3093023,00	Medición CE	Rancho la sauceda
81	CFE-81	265799,00	3095714,00	Pozo	Rancho Nuevo	120	CFE-120	261291,00	3093023,00	Tajo	Rancho la sauceda
82	CFE-82	266088,00	3095710,00	Pozo	Rancho Nuevo	121	CFE-121	261193,00	3092188,00	Medición CE	Rancho la sauceda
83	CFE-83	266545,00	3095197,00	Pozo	J. Luis Siller	122	CFE-122	261193,00	3092188,00	Tajo	Rancho la sauceda
84	CFE-84	268583,00	3095084,00	Medición CE	A un costado de puente vehicular de carretera (arroyo)	123	CFE-123	263637,00	3094987,00	Pozo	Rancho la sauceda
85	CFE-85	268704,00	3094529,00	Pozo	J. Carlos Siller	124	CFE-124	264205,00	3095326,00	Pozo	Rancho la sauceda
86	CFE-86	268407,00	3094542,00	Pozo	J. Carlos Siller	125	CFE-125	264421,00	3095642,00	Medición CE	Río Sabinas
87	CFE-87	268967,00	3094207,00	Pozo	J. Carlos Siller	126	CFE-126	265092,00	3095656,00	Medición CE	Río Sabinas
88	CFE-88	269635,21	3094687,67	Tiro	Raúl Flores	127	CFE-127	265076,00	3095660,00	Obra Hidráulica	Río Sabinas
89	CFE-89	269636,45	3094544,40	Pozo	Raúl Flores	128	CFE-128	266247,00	3095127,00	Medición CE	Río Sabinas
90	CFE-90	269750,13	3094247,42	Pozo	Raúl Flores	129	CFE-129	266495,00	3095019,00	Medición CE	Río Sabinas
91	CFE-91	269766,35	3094238,40	Pozo	Raúl Flores	130	CFE-130	266255,00	3095137,00	Obra Hidráulica	J. Carlos Siller
92	CFE-92	269865,00	3094411,59	Pozo	Raúl Flores	131	CFE-131	266495,00	3095019,00	Obra Hidráulica	J. Carlos Siller
93	CFE-93	270156,67	3094085,85	Pozo	Raúl Flores	132	CFE-132	266905,00	3094728,00	Medición CE	Río Sabinas
94	CFE-94	270056,02	3093784,89	Pozo	Raúl Flores	133	CFE-133	266462,00	3094918,00	Medición CE	Río Sabinas
95	CFE-95	270115,46	3093783,08	Pozo	Raúl Flores	134	CFE-134	266905,00	3094728,00	Afloramiento	Río Sabinas
96	CFE-96	270193,27	3093718,39	Pozo	Raúl Flores	135	CFE-135	267429,00	3094755,00	Medición CE	Río Sabinas
97	CFE-97	270328,39	3092418,25	Pozo	J. Carlos Siller	136	CFE-136	267880,00	3094671,00	Medición CE	Río Sabinas
98	CFE-98	269610,00	3094472,00	Banco de Material	Raúl Flores	137	CFE-137	269700,00	3093202,00	Medición CE	Río Sabinas
99	CFE-99	270460,94	3091417,43	Pozo	J. Luis Guadiana	138	CFE-138	269989,00	3092585,00	Medición CE	Río Sabinas
100	CFE-100	270581,96	3091454,30	Pozo	J. Luis Guadiana	139	CFE-139	270105,00	3091628,00	Medición CE	Río Sabinas
101	CFE-101	270586,00	3091470,00	Pozo	J. Luis Guadiana	140	CFE-140	270249,00	3091426,00	Medición CE	Río Sabinas
102	CFE-102	270583,14	3091469,76	Pozo	J. Luis Guadiana	141	CFE-141	270961,00	3091281,00	Medición CE	Río Sabinas
103	CFE-103	271078,00	3091456,00	Noría	San Juan de Sabinas	142	CFE-142	271223,00	3091246,00	Medición CE	Río Sabinas
104	CFE-104	271147,00	3091462,00	Pozo	San Juan de Sabinas	143	CFE-143	271643,00	3091093,00	Medición CE	Río Sabinas
105	CFE-105	271049,00	3091883,00	Obra Hidráulica	J. Luis Guadiana	144	CFE-144	272568,00	3091130,00	Medición CE	Río Sabinas
106	CFE-106	271059,00	3094330,00	Tiro	Grupo México	145	CFE-145	272645,00	3091162,00	Pozo	Particular, San Juan de Sabinas
107	CFE-107	270889,49	3093161,38	Pozo	J. Luis Guadiana	146	CFE-146	272643,00	3091159,00	Noría	Particular, San Juan de Sabinas
108	CFE-108	271728,00	3092629,00	Obra de captación	J. Luis Guajardo	147	CFE-147	272542,00	3091087,00	Medición CE	Río Sabinas
109	CFE-109	271478,90	3092236,61	Noría	J. Luis Guajardo	148	CFE-148	272542,00	3091087,00	Obra de toma	Río Sabinas
110	CFE-110	271178,41	3091446,33	Pozo	J. Luis Guajardo	149	CFE-149	272430,00	3090932,00	Pozo	Particular, San Juan de Sabinas
111	CFE-111	271174,37	3091408,49	Pozo	J. Luis Guajardo	150	CFE-150	273020,00	3090951,00	Obra de toma	Río Sabinas
112	CFE-112	271958,00	3092264,00	Obra Hidráulica	J. Luis Guajardo	151	CFE-151	273020,00	3090951,00	Medición CE	Río Sabinas
113	CFE-113	271356,85	3091568,22	Pozo	J. Luis Guajardo	152	CFE-152	273097,00	3090872,00	Medición CE	Río Sabinas
114	CFE-114	272273,00	3091158,00	Obra de captación	J. Luis Guajardo	153	CFE-153	266130,00	3097336,00	Mina	s/d
115	CFE-115	273309,48	3092956,48	Pozo	s/d	154	CFE-154	275034,00	3095999,00	Mina	s/d
116	CFE-116	273381,80	3092894,10	Pozo	Raúl Wong	155	CFE-155	267317,00	3093846,00	Mina	s/d
117	CFE-117	273466,14	3092776,77	Pozo	s/d	156	CFE-156	271727,77	3092551,16	Pozo	J. Luis Guajardo

(Tabla 2 de 2)

Tabla No. 3. Identificación de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento

No.	ID CFE	ID SGM	COORDENADAS		OBRA/ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN/UBICACIÓN	PREDIO
			X	Y			
1	CFE-08	SGM-42	268977	3099538	Pozo	Al NE del predio	J. Luis Siller
2	CFE-10	SGM-58	274292	3097773	Medición CE	Medición de Conductividad, al N del Río El Coyote	Tajo Santa Isabel
3	CFE-11	SGM-59	274073	3097731	Tajo	Tajo donde se aprecia la estratificación (mina)	Tajo Santa Isabel
4	CFE-15	SGM-50	275289	3095870	Medición CE	Medición de Conductividad, al NW del río el Coyote	Ejido Paso del Coyote
5	CFE-20	SGM-45	273054	3096228	Pozo	Al NE del río el Coyote	Ejido Paso del Coyote
6	CFE-21	SGM-52	273641	3096245	Pozo	Al NE del río el Coyote	Ejido Paso del Coyote
7	CFE-22	SGM-51	273696	3095794	Pozo	Al NE del río el Coyote	Ejido Paso del Coyote
8	CFE-23	SGM-28	274912	3095164	Pozo	Al NE del río el Coyote	Ejido Paso del Coyote
9	CFE-50	SGM-67	266177	3097354	Medición CE	Medición de Conductividad en agua subterránea del Interior de la mina El Bote	Mina el Bote
10	CFE-52	SGM-54	265677	3097262	Pozo	Pozo ubicado al E de la mina El Bote	Mina el Bote
11	CFE-53	SGM-43	267424	3097753	Pozo	Pozo de abastecimiento	J. Luis Siller
12	CFE-55	SGM-41	269681,19	3096835,43	Pozo	Al NW de la Mina Pasta de Conchos	J. Carlos Siller
13	CFE-58	SGM-31	267854	3095954	Pozo	Al W de la Mina Pasta de Conchos	J. Carlos Siller
14	CFE-85	SGM-44	268704	3094529	Pozo	Al SW de la Mina Pasta de Conchos	J. Carlos Siller
15	CFE-86	SGM-53	268407	3094542	Pozo	Al SW de la Mina Pasta de Conchos	J. Carlos Siller
16	CFE-88	SGM-10 A	269635,21	3094687,67	Tiro	Obra Hidráulica al SW de la Mina	Raúl Flores
17	CFE-89	SGM-11	269636,4497	3094544,398	Pozo	A un costado (N) del banco de materiales	Raúl Flores
18	CFE-90	SGM-09	269750,1256	3094247,423	Pozo	A un costado (SE) del banco de materiales	Raúl Flores
19	CFE-91	SGM-10	269766,35	3094238,40	Pozo	A un costado (SE) del banco de materiales	Raúl Flores
20	CFE-92	SGM-08	269864,999	3094411,588	Pozo	Al E del banco de materiales, zona sin sembradio	Raúl Flores
21	CFE-93	SGM-07	270156,67	3094085,85	Pozo	Ubicado en parcela de sembradio	Raúl Flores
22	CFE-94	SGM-04	270056,02	3093784,89	Pozo	A un costado de corral de ganado	Raúl Flores
23	CFE-95	SGM-05	270115,4621	3093783,076	Pozo	A un costado de corral de ganado	Raúl Flores
24	CFE-96	SGM-06	270193,2693	3093718,394	Pozo	A un costado de corral de aves	Raúl Flores
25	CFE-97	SGM-12	270328,39	3092418,25	Pozo	Acceso al pozo mediante el predio de Raúl Flores	J. Carlos Siller
26	CFE-99	SGM-15	270460,9439	3091417,43	Pozo	Margen izquierda del río Sabinas	J. Luis Guadiana
27	CFE-102	SGM-14	270583,1365	3091469,765	Pozo	Margen izquierda del río (N)	J. Luis Guadiana
28	CFE-107	SGM-67	270889,49	3093161,38	Pozo	Pozo de abastecimiento para el rancho	J. Luis Guadiana
29	CFE-117	SGM-17	273466,1359	3092776,767	Pozo	A un costado de la carretera	s/d
30	CFE-118	SGM-33	273266	3092002	Noria	Ubicada en zona urbana del poblado de San Juan de Sabinas	s/d
31	CFE-119	SGM-55	261291	3093023	Medición CE	Medición de Conductividad en tajo	Rancho la sauceda
32	CFE-121	SGM-54	261193	3092188	Medición CE	Medición de Conductividad en tajo	Rancho la sauceda
33	CFE-147	SGM-59	272542	3091087	Medición CE	Medición de Conductividad en Río Sabinas, en Obra de toma	Río Sabinas
34	CFE-149	SGM-37	272430	3090932	Pozo	Al S del río Sabinas, margen derecha	San Juan de Sabinas

Tabla No. 4. Identificación de obras hidráulicas y sitios de reconocimiento mencionados por el SGM

Durante el reconocimiento la profundidad del nivel del agua subterránea (noviembre 2020), en los pozos y norias, estuvo en el rango de 3.60 m (valor detectado en el sitio

CFE-58) a 25.5 m (CFE-09) y la Conductividad Eléctrica (CE) fue de 416 a 1145 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores registrados en pozos operando CFE-31 y CFE-45, respectivamente.

Referente a la zona de la Mina de Pasta de Conchos, la profundidad del nivel del agua estuvo en el rango de 8.36 (CFE-91) a 10.59 m (CFE-89) y la CE de 389 a 1154 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en los pozos CFE-91 y CFE-90, respectivamente, ambos fuera de operación.

Los caudales de extracción, en las norias y pozos van desde 0.15 (bombas eólicas - papalotes-) a 18 l/s (bombas sumergibles). Estos valores fueron estimados con base en las características hidráulicas de los pozos y norias, registradas durante las actividades de reconocimiento.

En el río El Coyote la CE del agua varió de 351 a 497 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para el río Sabinas se registró un valor mínimo de 583 y máximo de 1 044 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En ambos ríos el valor tendió a incrementarse en zonas de agua estancada. Los valores máximos de la CE se registraron en los Tajos, en donde este parámetro estuvo en el rango de 2 650 (CFE-121) a 5 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CFE-15).

3.5 Uso del agua subterránea

En la zona que abarcó el reconocimiento, el agua se emplea en su mayoría, para uso agrícola y ganadero y en menor proporción para uso doméstico. En algunos casos las obras están fuera de operación; por lo que no tienen instalado equipo de bombeo ni suministro de energía eléctrica.

En la Tabla No. 5 se indica el tipo de uso que se le da al agua subterránea (pozos y norias). Aunado a lo anterior existe una obra de toma sobre la margen derecha del río El Coyote que abastece de agua a la lavadora de carbón instalada en el predio del Grupo México; por lo que a esta agua que proveniente de un escurrimiento superficial se le da un uso de tipo industrial. En los anexos 1, 2 y 3, se presenta una descripción más detallada, localización y fotografías de las obras hidráulicas y sitios de reconocimiento, en el área de la mina Pasta de Conchos y su entorno.

Obra	Uso	Cantidad	%
Pozos	Ganadero	20	29.0
	Agrícola	32	46.4
	Doméstico	5	7.2
	Fuera de operación	4	5.8
Norias	Ganadero	0	0.0
	Agrícola	2	2.9
	Doméstico	2	2.9
	Fuera de operación	4	5.8
Total		69	100

Tabla No. 5. Uso del agua subterránea

4. MARCO HIDROGEOLÓGICO

Las unidades litológicas identificadas en el sitio de estudio están constituidas por rocas sedimentarias y depósitos recientes no consolidados. Superficialmente se aprecia suelo residual (Qsr) conformado por materiales que van de arcilla limoarenosa a limo arenoso con cierto contenido de materia orgánica; posteriormente se identifican materiales aluviales (Qal) constituidos por gravas y arenas, que ocasionalmente también afloran en superficie, subyace el conglomerado Sabinas (TplCgo) el cual sobreyace discordante sobre la Formación Olmos (KmLu-Ar).

La descripción específica de cada una de estas unidades se indica en el apartado de la Geología del sitio, donde se mencionan en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente (Cretácico superior - Cuaternario).

4.1 Unidades Hidrogeológicas

Éstas se determinaron con base en la información recopilada y analizada, tanto de gabinete como de campo (información de perfiles litológicos obtenidos en barrenos exploratorios).

Materiales granulares de baja permeabilidad (GBP).- Unidad hidrogeológica que está constituida por materiales granulares no consolidados (arcillas y limos que forman parte de los suelos residuales -Qsr-). La distribución de esta unidad, es la más extendida cubre amplias zonas de pendiente suave con espesores de 0.20 a 0.60 m. Esta unidad integra un acuitardo con recarga directa de la precipitación pluvial. Fotografía No. 11.



Fotografía No. 11. Materiales granulares de baja permeabilidad

Materiales granulares permeables (GP).- Integra los materiales granulares no consolidados compuestos por gravas y arenas (aluviales -Qal-). Fragmentos subangulosos y redondeados de tamaños variables (hasta 0.10 m) se encuentran distribuidos en gran parte de la zona de estudio, encontrándose espesores de hasta 7.50 m (Barreno PC-20). No obstante que esta unidad hidrogeológica constituye un acuífero libre, se considera de bajo rendimiento debido a su espesor. Fotografía No. 12.

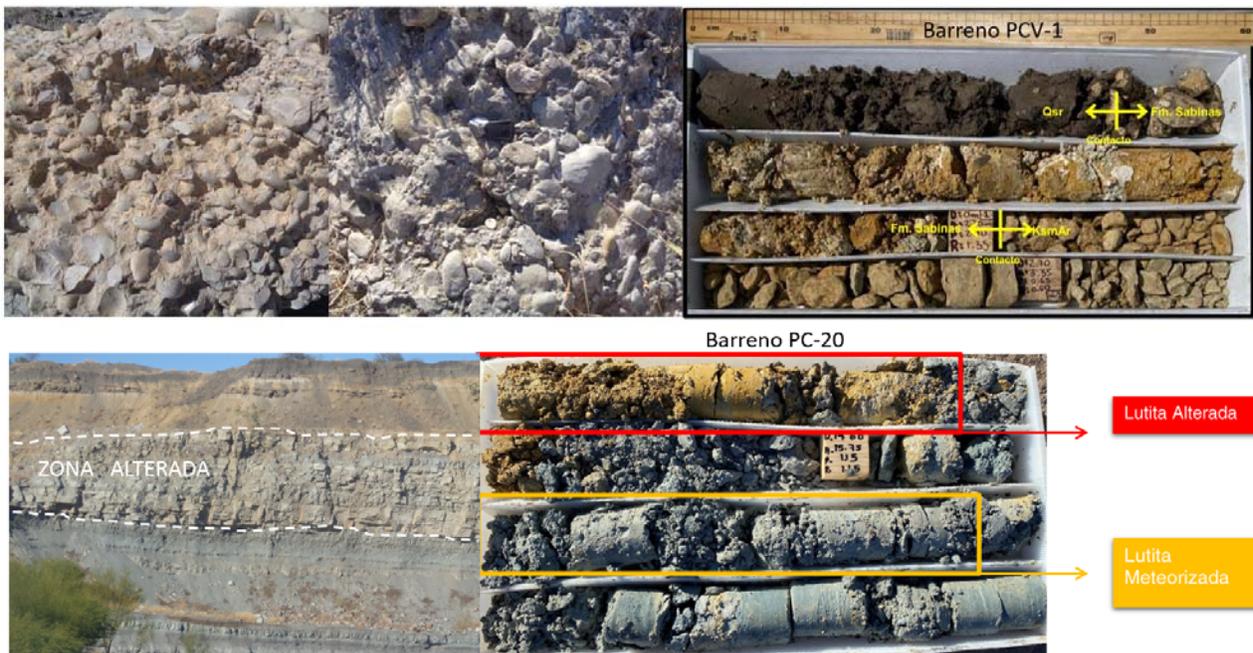


Fotografía No. 12. Materiales granulares permeables

Rocas Semipermeables (RSP).- Unidad hidrogeológica que conforma un acuífero pobre y que está constituida por los siguientes materiales:

a).- Conglomerado Sabinas (gravas de caliza subredondeadas envueltas en una matriz calcárea semicompacta y ocasionalmente en forma masiva, cohesivo y sin materia orgánica) con espesores que van hasta los 2.3 m (Barreno PCV-1).

b).- Lutitas, limolitas y areniscas (Formación Olmos), que presentan un fracturamiento de moderado a intenso en contacto con la Formación Sabinas a la que subyace, su espesor es variable y está regido por el grado de alteración de la roca (hasta 8.0 m detectado en el Barreno PCV-1); por lo que habrá zonas donde se profundice. Fotografía No. 13.



Fotografía No. 13. Rocas semipermeables

c).- Roca alterada del Carbón (fracturamiento de moderado a intenso). El manto carbonífero registra un espesor aprox. de 2 m y su ubicación fluctúa entre las elevaciones 226 a 243 msnm. Se localizan estratos menores (espesor de 0.08 a 0.50 m) cercanos y sobreyaciendo al manto principal de carbón (Barreno PC-1A'). Fotografía No. 14.



Fotografía No. 14. Rocas semipermeables

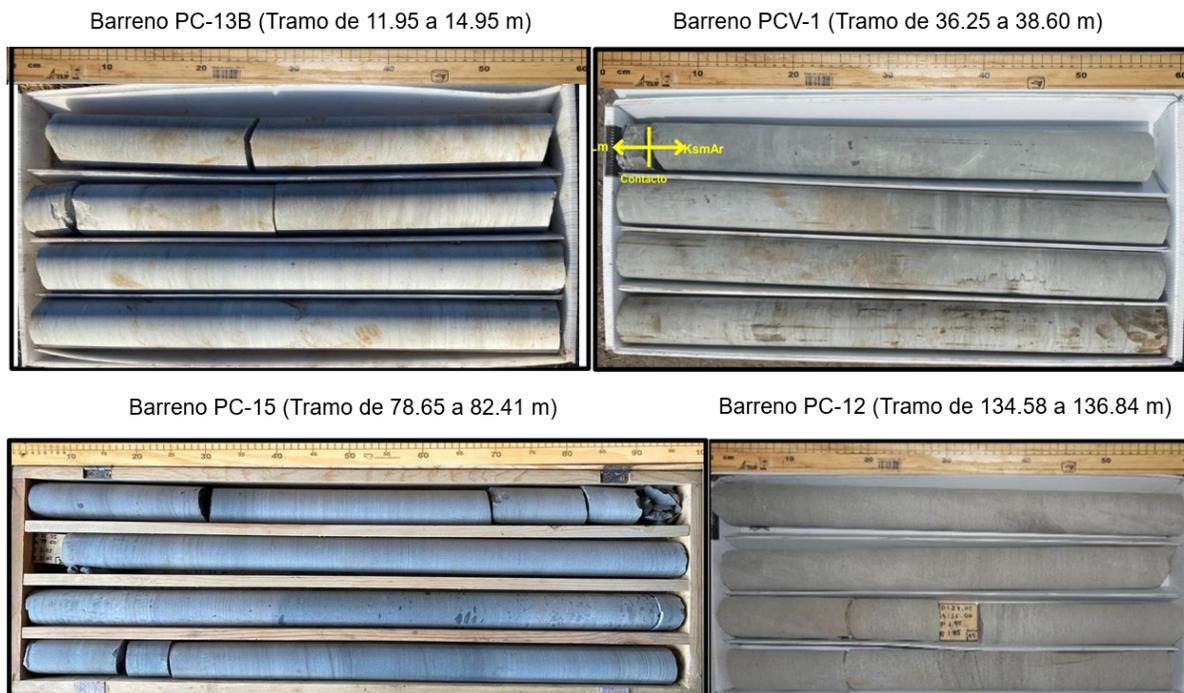
En la Fotografía No. 15 se presentan cortes en tajos a cielo abierto (obras mineras), aledaños al área de estudio. Lo anterior únicamente como referencia de la presencia de estratos de carbón y lutita carbonosa.



Fotografía No. 15. Estratos de carbón en tajos a cielo abierto

Rocas impermeables (RI).- Está formada por las rocas sanas y masivas de la Formación Olmos. Lutitas, limolitas y areniscas de buena calidad (los núcleos muestran una roca sana, dura y grado de resistencia alto a medio al golpe del martillo, con tamaño de partícula de media a fina y más fino aún para la limolita (Fotografía No. 16), que son el basamento del acuífero alojado en el conglomerado Sabinas y en el aluvión (debido a su muy baja a nula permeabilidad con base en su consistencia y desarrollo de pruebas de permeabilidad). Se considera que este tipo de rocas se localizan, de forma irregular, en el intervalo de los 11.0 a los 163.0 m de profundidad aprox. (Barrenos PC-13B y PC-1A', respectivamente).

En la Fotografía No. 17 se presenta el afloramiento de rocas masivas (areniscas) en zonas aledañas al área de estudio.



Fotografía No. 16. Rocas impermeables

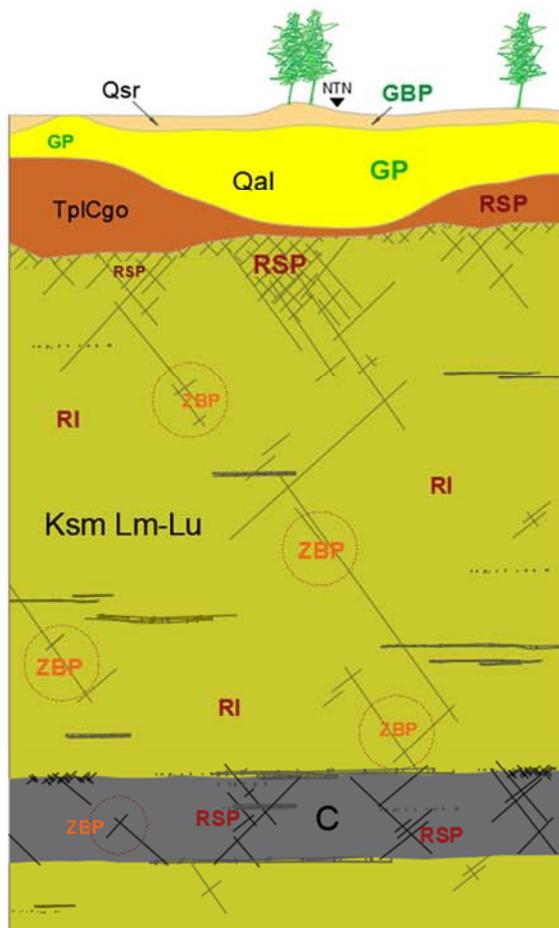


Fotografía No. 17. Afloramiento de rocas masivas, zonas aledañas al área de estudio

Zonas de baja Permeabilidad (ZBP).- Esta unidad hidrogeológica considera, únicamente, las zonas de la Formación Olmos, incluyendo las rocas de carbón y la lutita carbonosa, que registran o poseen permeabilidad secundaria (permeabilidad asociada a planos de fracturas, fallas o estratificación) y que permiten el almacenamiento y circulación del agua subterránea en forma puntual (zonas saturadas aisladas y en medios fracturados de bajo a nulo rendimiento). Una manifestación de esta unidad es la detección de zonas de humedad (indicativo de la presencia de agua) que al desarrollarse y tener contacto con otras zonas similares permiten la acumulación y posible circulación del agua con dirección preferencial de la discontinuidad.

No obstante que, las rocas de esta unidad presentan cierto grado de fracturamiento, éste comúnmente se encuentra sellado, o bien no existe separación suficiente para permitir la circulación del agua con facilidad y dar a esta roca el carácter de acuífero. La distribución de esta unidad obedece al arreglo y condiciones de las discontinuidades en el sitio, en donde frecuentemente el contacto roca-roca es cerrado.

En la Figura No. 6 y Tabla No. 6. Se presenta la relación entre las unidades geológicas e hidrológicas, así como el valor de la permeabilidad "K", obtenido mediante la ejecución de pruebas tipo Lefranc y Lugeon.



TIPO DE MATRIZ	UNIDAD GEOLÓGICA		COMPOSICIÓN Y CONDICIONES DE ALTERACIÓN	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA		RANGO DE PERMEABILIDAD (K)*	
	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	(m/d)	
Materiales granulares	Qsr	Suelo residual	Arcillas y limos		GBP	Granulares de Baja Permeabilidad	6.56X10-3 a 1.09X10-3
	Qal	Aluvión	Grava y arenas		GP	Granulares Permeables	0.179 a 4.08X10-2
Rocas	TplCgo	Conglomerado	Roca constituida por gravas de caliza subredondeadas envueltas en una matriz calcarea semicompacta y ocasionalmente en forma masiva, cohesivo y sin materia orgánica		RSP	Rocas semipermeables	0.2260 a 7.13X10-3
	KmLu-Ar	Formación Olmos	Lutitas, limolitas y areniscas	Alteradas (fracturamiento de moderado a intenso en contacto con la Fm Sabinas)	RI	Rocas impermeables	< 4.26X10-5
				Sanas y masivas			
	C	Carbón	Carbón y lutita carbonosa	Permeabilidad asociada a planos de fracturas, fallas o estratificación de (bajo o nulo rendimiento)	ZBP	Zona de baja permeabilidad	2.65X10-4 a 4.26X10-5
				Fracturamiento de moderado a intenso	RSP	Rocas semipermeables	0.243 a 7.13x10-3

(*) Valores preliminares de K, obtenidos mediante pruebas de permeabilidad tipo Lefranc y Lugeón.

Figura No. 6 y Tabla No. 6. Unidades hidrogeológicas y valores de permeabilidad

4.2 Funcionamiento Hidrogeológico

A continuación se describen las condiciones y funcionamiento hidrogeológico, que rigen en el sitio. Para una mejor comprensión, se distinguen tres zonas:

Zona del acuíardo

El acuíardo comprende la mayor extensión en la zona de estudio, su comportamiento (almacenamiento hidráulico) se asocia a la variación del espesor de material granular no consolidado constituido por arcillas y limos (suelo residual, Qsr), su recarga es directa de la precipitación, la cual una vez saturado el medio genera escurrimientos superficiales que fluyen acorde al relieve topográfico y de forma significativa en dirección y descarga a los ríos El coyote (al norte) y Sabinas (al sur) contribuyendo, previamente, a la recarga del acuífero libre.

Zona del acuífero libre (Acuífero Mina Pasta de Conchos)

Este acuífero se aloja en el aluvión (Qal), en el conglomerado Sabinas (TplCgo) y en la zona de contacto y alterada de la Formación Olmos (KmLu-Ar). Su recarga es producto de la combinación del flujo subterráneo que aportan los ríos (Sabinas y El Coyote) y de la precipitación (agua que cede el acuíardo que lo sobreyace y la que se infiltra directamente desde la superficie).

Zonas con presencia de agua en medio fracturado

La recarga de estas zonas (de forma esbelta e irregular) se infiere, proviene de la infiltración de agua que fluye del acuífero que las sobreyace o están en contacto con las discontinuidades.

En este tipo de zonas es común que su permeabilidad se reduzca conforme se incrementa su profundidad, debido al cierre de las fracturas y/o relleno de fallas con arcilla, clorita y calcita (Barreno PC-1A'), dando origen a zonas saturadas aisladas, en donde frecuentemente no se tiene conexión con otra discontinuidad (los materiales tienden, gradualmente, a tener un comportamiento hidráulico característico de un acuíardo y finalmente como un acuícludo). Para las zonas donde se identifica una mayor densidad de la red de fracturamiento y existe conexión hidráulica entre éstas, el movimiento local del agua subterránea es errático acorde a la orientación de las discontinuidades (medio heterogéneo).

Respecto a la superficie de la fractura, en ésta existe una variación importante de la resistencia al flujo, producto de la variabilidad de la abertura y de las áreas de contacto, lo cual genera tortuosidad de las líneas de flujo sobre el plano de la fractura.

En la Figura No. 7 se presentan un esquema, preliminar, del funcionamiento hidrogeológico en el sitio de estudio.

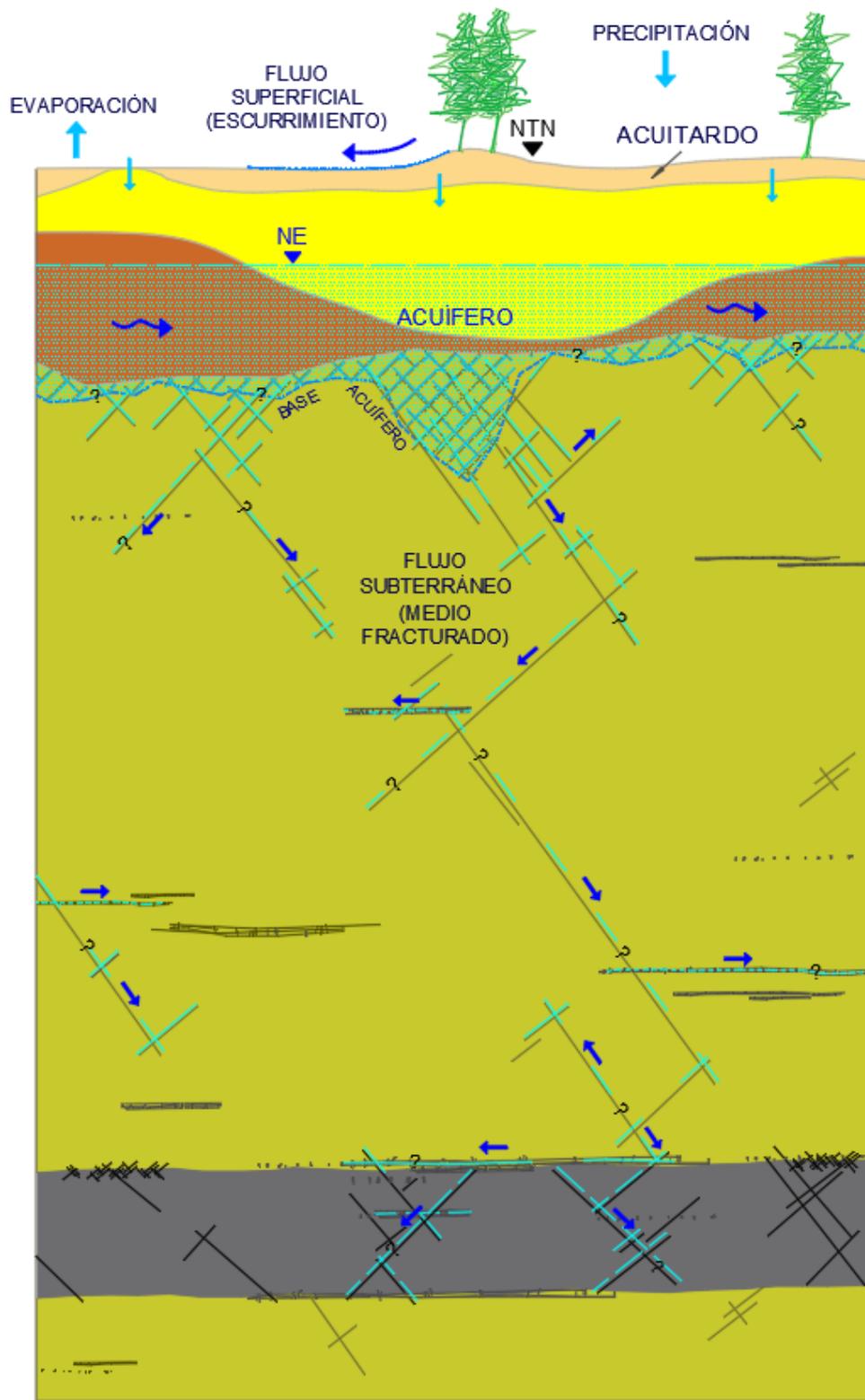


Figura No. 7. Esquema representativo del funcionamiento hidrogeológico

4.3. Acuífero Mina Pasta de Conchos

Clasificación y geometría del acuífero

El Acuífero Mina Pasta de Conchos se clasifica como tipo libre (sedimentario de origen detrítico, Tabla No. 7), alojado en: Materiales aluviales, en la Fm Sabinas constituida por un conglomerado con diferentes grados de consolidación y en la zona alterada y de contacto con la Fm Olmos, esta última conformada por lutitas y areniscas.

Origen	Composición mineral predominante	Tamaño de las partículas	Tipo de Roca
Detrítico	Fragmentos de rocas más antiguas sedimentarias	> 2 mm	Conglomerado
		$0.06 < X < 2$ mm	Areniscas
		< 0.06 mm	Lutitas (arcillitas y limolitas)

Custodio/Llamas. Hidrología Subterránea. Tomo II. 1996

Tabla No. 7. Medio geológico donde se aloja parte del acuífero Mina Pasta de Conchos

La extensión del acuífero se definió con base en el área donde se desarrollará la construcción de las obras subterráneas objeto del presente estudio y su entorno; por lo que éste se encuentra acotado por las fronteras hidráulicas que son: El Coyote en la parte norte y el Sabinas al sur. De oeste a este, se extiende desde el predio de “Varios propietarios” hasta el del Sr. Raúl Wong, respectivamente, cubriendo una superficie aproximada de 15.4 Km². Figura No. 8.

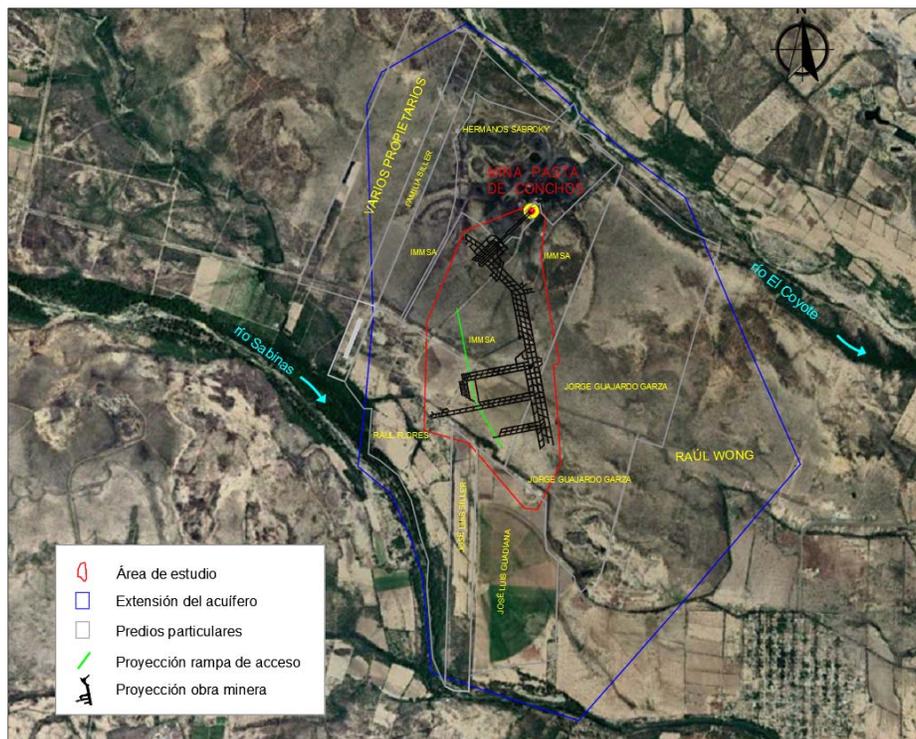


Figura No. 8. Extensión del acuífero Mina Pasta de Conchos

Con la información generada mediante el monitoreo piezométrico en las obras hidráulicas (pozos y norias) identificadas y localizadas con el censo de pozos y el estudio topográfico, se determinó la profundidad del nivel del agua subterránea. La profundidad del nivel estático (NE) en el área de estudio estuvo en el rango de 10.50 a 12.50 m (monitoreo junio 2021).

En las zonas próximas a los ríos, la profundidad disminuye acorde al relieve topográfico; de igual forma la profundidad variará de acuerdo con las condiciones de recarga o descarga que experimente el acuífero.

Con base en los resultados de los estudios de geología y geofísica (perfiles de barrenos, secciones, descripción del medio, pruebas de permeabilidad, sondeos y registros verticales, interpretación de resultados, etc.) se determinó el espesor del acuífero. Se considera que la base del acuífero no es uniforme, ya que se rige por las condiciones de alteración y grado de fracturamiento de la roca en la Fm Olmos; por lo que el límite es la zona donde la roca es más densa (buena calidad) con permeabilidad más baja a nula (valores que clasifican a la roca o medio geológico como impermeable), registrándose variaciones en su espesor (en el sitio del Barreno PC-13 resulto de 4.90 m y de 32.50 m en la zona del PC-20).

En la parte inferior del acuífero, el agua satura la zona alterada de la roca, y en el caso de existir fracturas y fallas no selladas, ésta penetrará hasta donde la permeabilidad del medio disminuya y sea nula; es en estas zonas donde los materiales tienden, gradualmente, a tener un comportamiento hidráulico característico de un acuitardo y finalmente como un acuícludo. Figura No. 9.

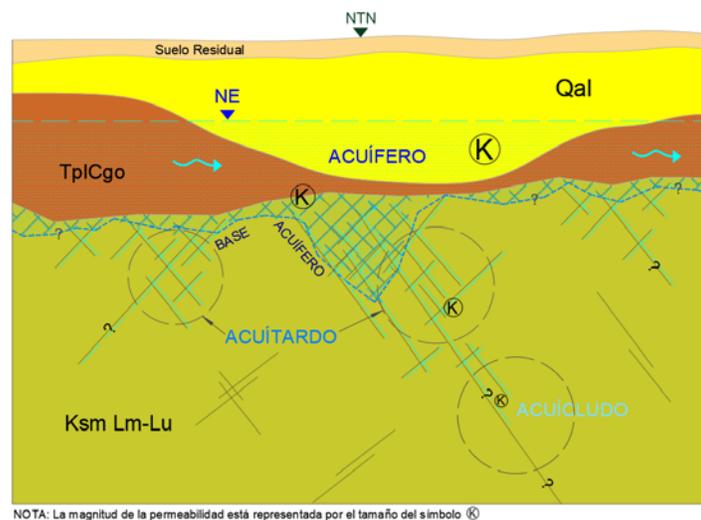


Figura No. 9. Esquema representativo del agua subterránea en la zona inferior del acuífero

4.3.1 Hidrodinámica y permeabilidad del acuífero

La dinámica del acuífero se determinó mediante el monitoreo piezométrico efectuado en la red de observación establecida en el área de estudio y su entorno, misma que considera

18 puntos de observación del agua subterránea (13 obras, entre pozos y norias propiedad de particulares y 5 Piezómetros construidos por CFE (Pzs-1, 7 y 8, actualmente los Pzs-2 y 4 se encuentran en desarrollo) y 4 puntos de referencia en los ríos (2 en El Coyote y 2 en el Sabinas). Figura No. 10.

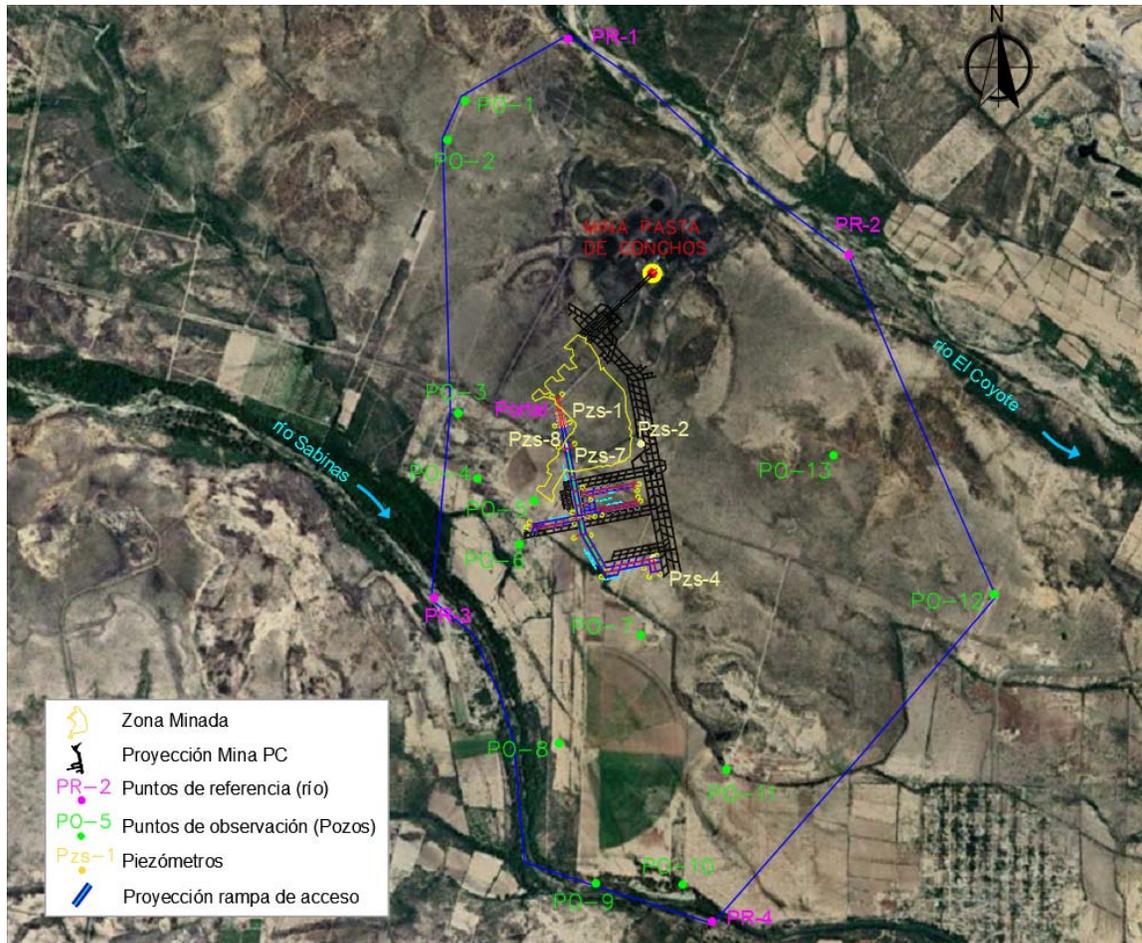


Figura No. 10. Red de monitoreo del acuífero Mina Pasta de Conchos

Establecida la red de monitoreo se procedió a realizar la medición de la profundidad del nivel del agua subterránea (nivel estático (NE) o dinámico (ND) con referencia al nivel del terreno natural (NTN).

El nivel del agua subterránea se considera estático cuando no existe alteración en su comportamiento derivado de esfuerzos hidráulicos que lo modifiquen, tales como bombeo o inyección de agua, en estos casos el nivel será dinámico. En la Fotografía No.18 se presenta parte del desarrollo de las actividades de monitoreo de la profundidad del agua subterránea.



Fotografía No. 18. Monitoreo de la profundidad del agua subterránea

La información de la profundidad y elevación del NE del acuífero (por zonas y obras de excavación), correspondiente al monitoreo efectuado en el mes de junio 2021 (información más actual) se indica en la Tabla No. 8 y en las Figuras Nos. 11 y 12 se presentan las configuraciones respectivas.

Tipo de Obra	Obra específica	Prof. NE (m)		Elev. NE (msnm)		Obra hidráulica que se asocia o cercana a ésta	Observaciones
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.		
Proyectadas para construcción	Portal	12.32	-	374.32	-	Piezómetro Pzs-1 (valor puntual)	Se impermeabilizará la zona de cruce del portal con la zona saturada (acuífero)
	Rampa	12.32	11.60	374.32	373.50	Piezómetros Pzs-1, 7, 8 y PO-5	Conforme se profundice la rampa se alejará del acuífero
	Túneles de aproximación	12.50	10.40	373.90	373.10	Piezómetros Pzs-7, PO-5 y PO-6	Obra subterránea por debajo de los 100 m de profundidad del acuífero

Tabla No. 8. Profundidad y Elevación del NE en obras subterráneas, proyectadas y existentes

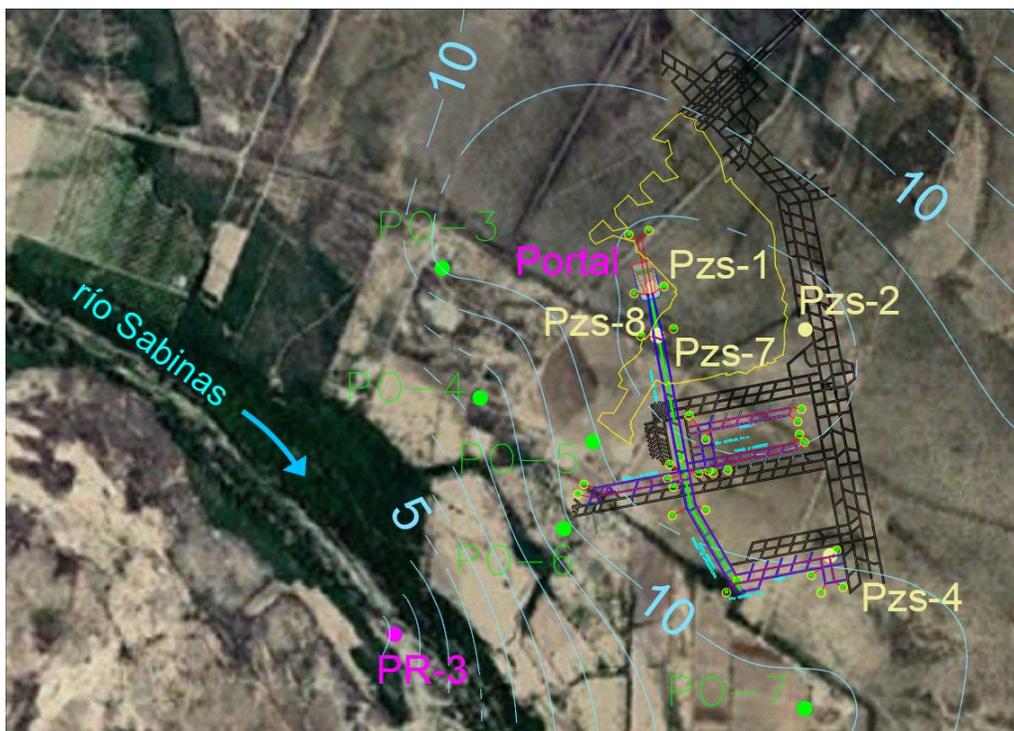
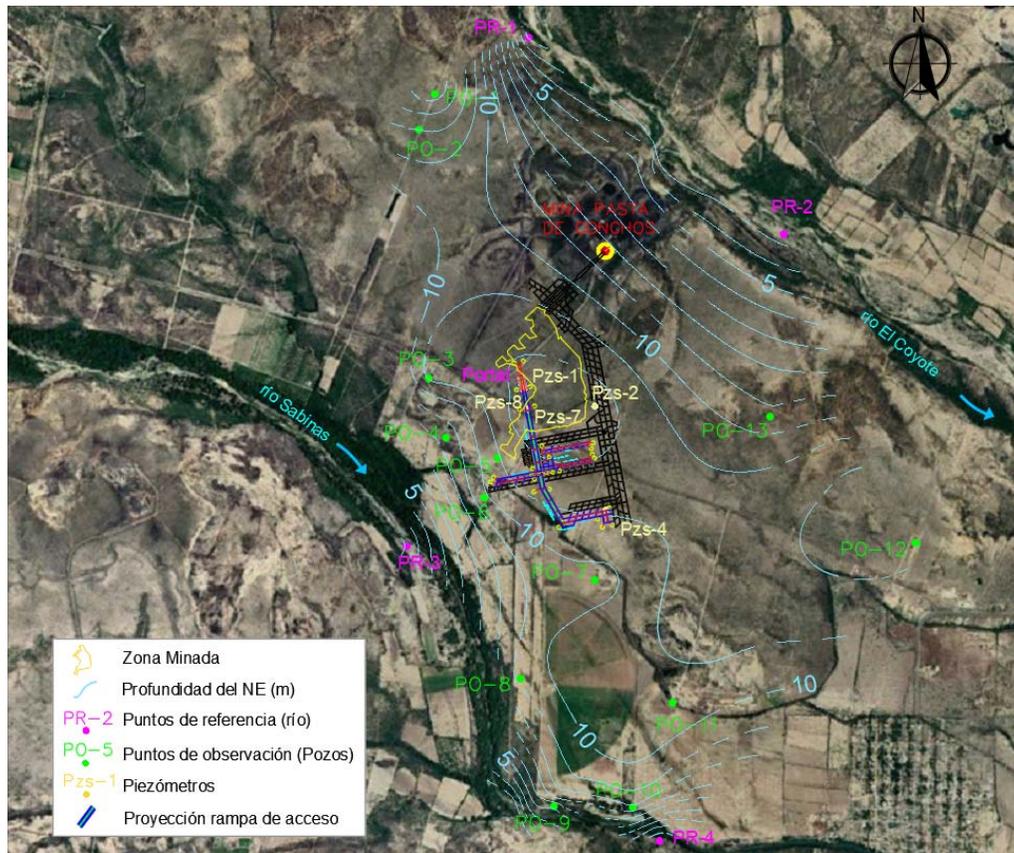


Figura No. 11. Profundidad del NE, acuífero Mina Pasta de Conchos

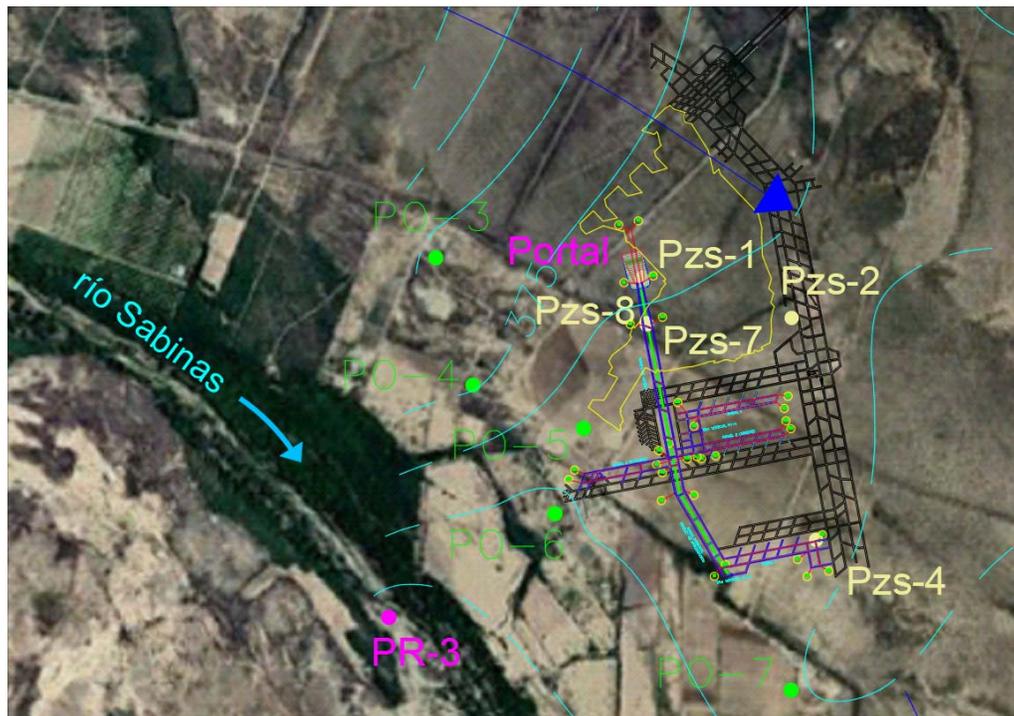
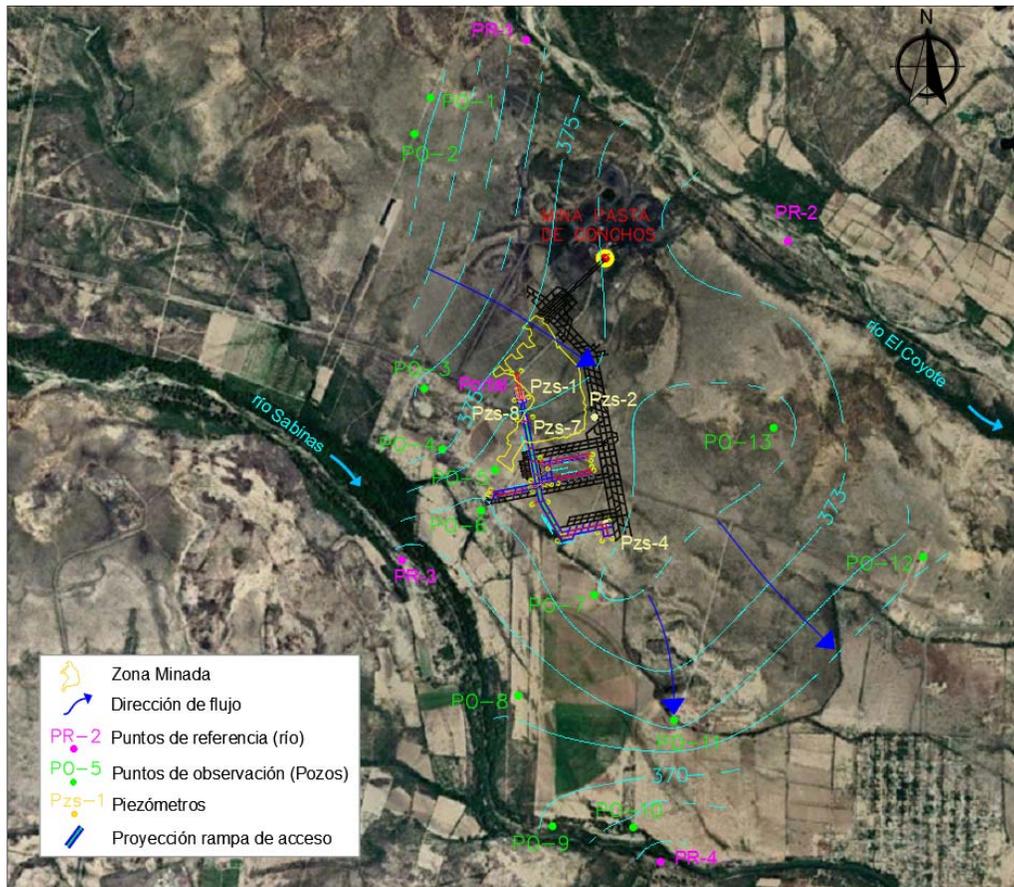


Figura No. 12. Elevación del NE, acuífero Mina Pasta de Conchos

De forma general la dirección preferencial del flujo subterráneo fue al sureste; sin embargo, registra componentes de acuerdo a las zonas de descarga, producto de la extracción (bombeo de agua para uso agrícola, ganadero y en menor proporción uso doméstico). El gradiente hidráulico (i) fue de 0.0028.

Con base en la información generada durante el periodo de monitoreo (diciembre 2020 a junio 2021) se aprecia que el patrón de la configuración de la elevación y dirección del flujo subterráneo se mantienen, sin presentar cambios extraordinarios en su comportamiento; no obstante, se deberá de continuar con su observación, para evaluar su comportamiento de forma anual (temporadas de lluvia y estiaje) y durante el proceso constructivo de las obras subterráneas.

Una vez concluida la construcción de los pozos de monitoreo (programados) dentro del área de estudio se complementará la información hasta ahora generada.

Permeabilidad

Con la finalidad de conocer la permeabilidad (K) que rige al acuífero, se realizaron diversas pruebas hidráulicas de tipo Lefranc y Luegon (personal técnico del área de Geología), en barrenos exploratorios ubicados y distribuidos estratégicamente en el área de estudio. Fotografía No. 20.



Fotografía No. 20. Ejecución de pruebas de permeabilidad

Los resultados de las pruebas de permeabilidad indicaron valores en el rango de 0.2260 a 7.13×10^{-3} m/d, por lo que se consideran materiales de “Baja permeabilidad, clasificándose en el rango de Acuitardo a Acuífero pobre”. En la Tabla No. 8 se presentan los valores de permeabilidad obtenidos, así como la profundidad ensayada en cada barreno.

Como referencia se tiene que los valores de permeabilidad obtenidos con las pruebas ejecutadas en diferentes barrenos se encuentran dentro del rango de los valores estimados por diferentes autores para algunas rocas sedimentarias. Tabla No. 9.

No. Barreno	Profundidad de ensayo (m)	Medio geológico	Tipo de prueba	Valor Permeabilidad "K" (m/d)	Calificación según su permeabilidad "K"	Clasificación de materiales y acuíferos según su permeabilidad "K"
PC-1A'	5.00 - 11.22	Conglomerado - Arenisca	Lefranc	4.12X10 ⁻²	Poco a algo permeable K = Baja	Acuitardo - acuífero pobre
PC-5	5.00 - 8.35	Aluvión	Lefranc	4.08X10 ⁻²	Poco a algo permeable K = Baja	Acuitardo - acuífero pobre
PC-13B	5.22 - 9.50	Aluvión	Lefranc	0.1797	Algo permeable K = Baja	Acuífero pobre
	9.50 - 14.40	Arenisca (meteorizada y sana)	Lefranc	2.73X10 ⁻²	Poco a algo permeable K = Baja	Acuitardo - acuífero pobre
	15.00 - 20.00	Arenisca - limolita	Lugeon	1.61X10 ⁻²		
PC-14	6.00 - 10.00	Conglomerado	Lefranc	3.11X10 ⁻²	Poco a algo permeable K = Baja	Acuitardo - acuífero pobre
PC-20	9.00 - 13.00	Conglomerado - lutita alterada	Lefranc	7.13X10 ⁻³	Poco permeable K = Baja	Acuitardo
	25.00 - 30.00	Lutita	Lugeon	0.2260	Algo permeable K = Baja	Acuífero pobre
PC-21	5.00 - 10.30	Arenisca	Lugeon	0.1350	Algo permeable K = Baja	Acuífero pobre
	10.30 - 14.80	Arenisca - lutita	Lugeon	3.13X10 ⁻²	Poco a algo permeable K = Baja	Acuitardo - acuífero pobre
	15.00 - 19.40	Lutita - Arenisca	Lugeon	4.87X10 ⁻²		
	20.50 - 25.40	Arenisca - Lutita carbonosa	Lugeon	0.1020	Algo permeable K = Baja	Acuífero pobre

Tabla No. 9. Valores y clasificación materiales y acuíferos según su permeabilidad

Tipo de Roca	Autor (Permeabilidad en m/d)		
	Domenico-1998	Smith & W-1993	Freeze-1979
Areniscas	3X10 ⁻⁵ a 0.5	1X10 ⁻⁵ a 1	1X10 ⁻⁵ a 1
Limolitas	1X10 ⁻⁶ a 0.001		
Lutitas (fracturasdas/alteradas)		1X10 ⁻⁴ a 1	

Tabla No. 10. Valores estimados de permeabilidad por diferentes autores

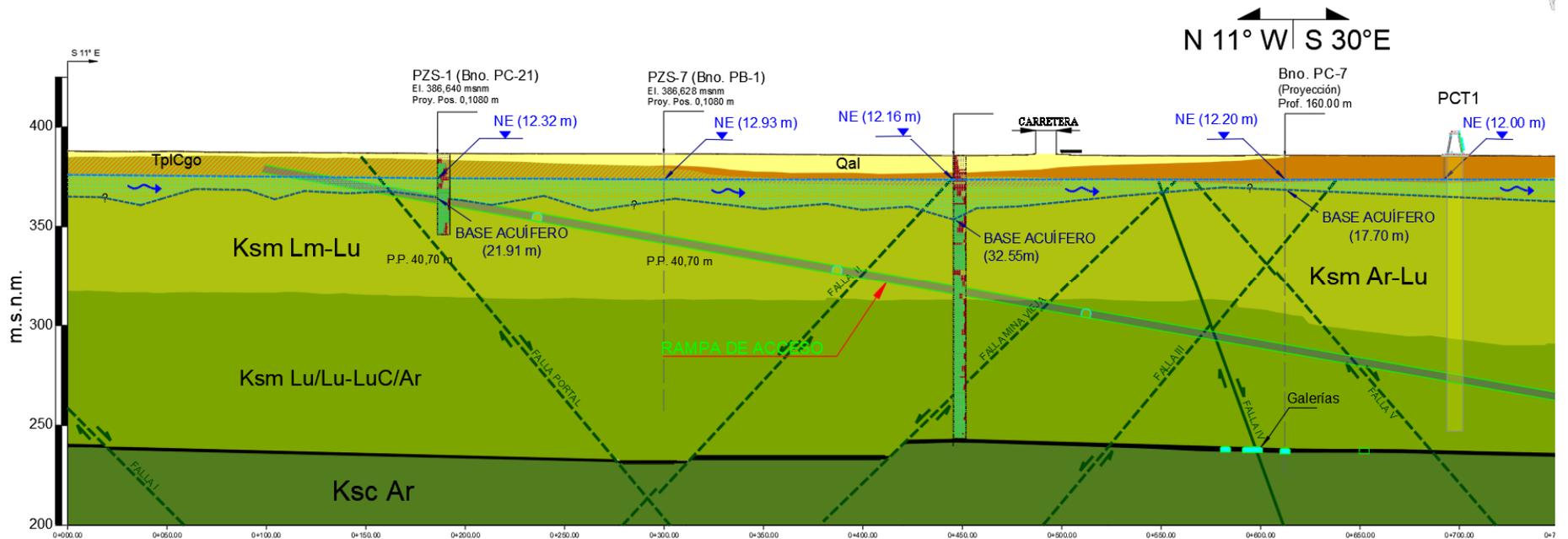
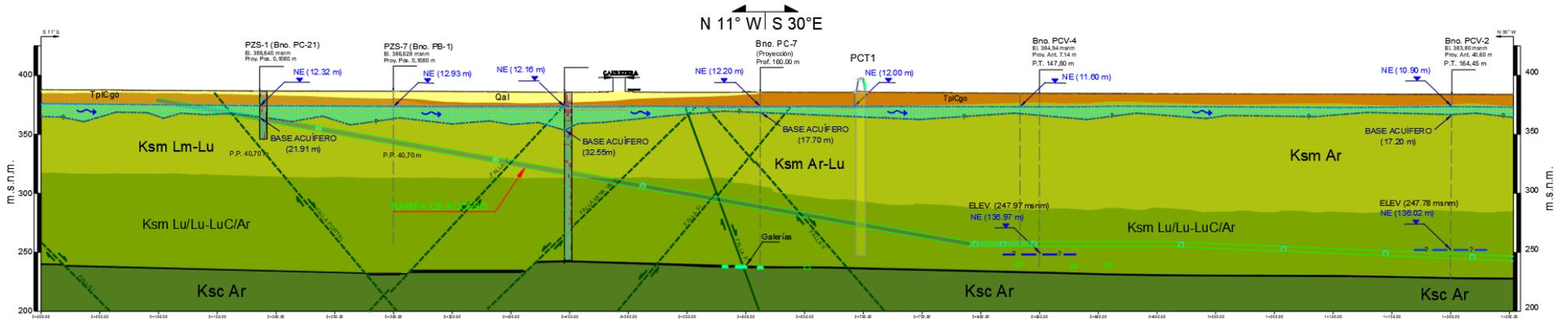
4.4 Profundidad del nivel del agua subterránea y base del acuífero en la zona del Portal, rampa de acceso y ramal principal (túneles de aproximación).

En la zona del portal el NE fue de 12.32 m (Pzs-1), en la rampa de acceso el valor va de 12.32 a 12.16 m y la profundidad de la base del acuífero de 21.90 a 32.50 m, para el ramal principal (túneles de aproximación) el NE fue de 11.60 a 10.90 m y la profundidad de la base del acuífero se estima en los 17.20 m.

Los valores de la profundidad del NE (junio 2021), tanto máximos como mínimos, la base y espesor del acuífero, se indican en la Tabla No. 11 y Figuras Nos. 13 y 14.

Prof. NE (m)			Base Acuífero (m)	Espesor acuífero (m)		Unidades Hidrogeológicas donde se aloja el acuífero	Permeabilidad	
							Calificación "K"	Rango "K" (m/d)
Portal	Valor puntual	12.32	21.9	Valor Puntual	9.58	RSP Rocas semipermeables	Poco a algo permeable K = Baja	0.2260 a 7.13X10-3
Rampa	Max.	12.32	21.9 - 32.5	Min.	9.58			
	Min.	12.16		Max.	20.3			
Ramal Ppal. (túneles de aproximación)	Max.	11.60	17.20	Min.	5.60			
	Min.	10.90		Max.	6.30			

Tabla No. 11. Profundidad del NE y base del acuífero en la zona del portal, rampa de acceso y ramal principal (Túneles de aproximación)



Figuras Nos. 13 y 14. Profundidad del NE y base del acuífero en la zona de portal y rampa de acceso

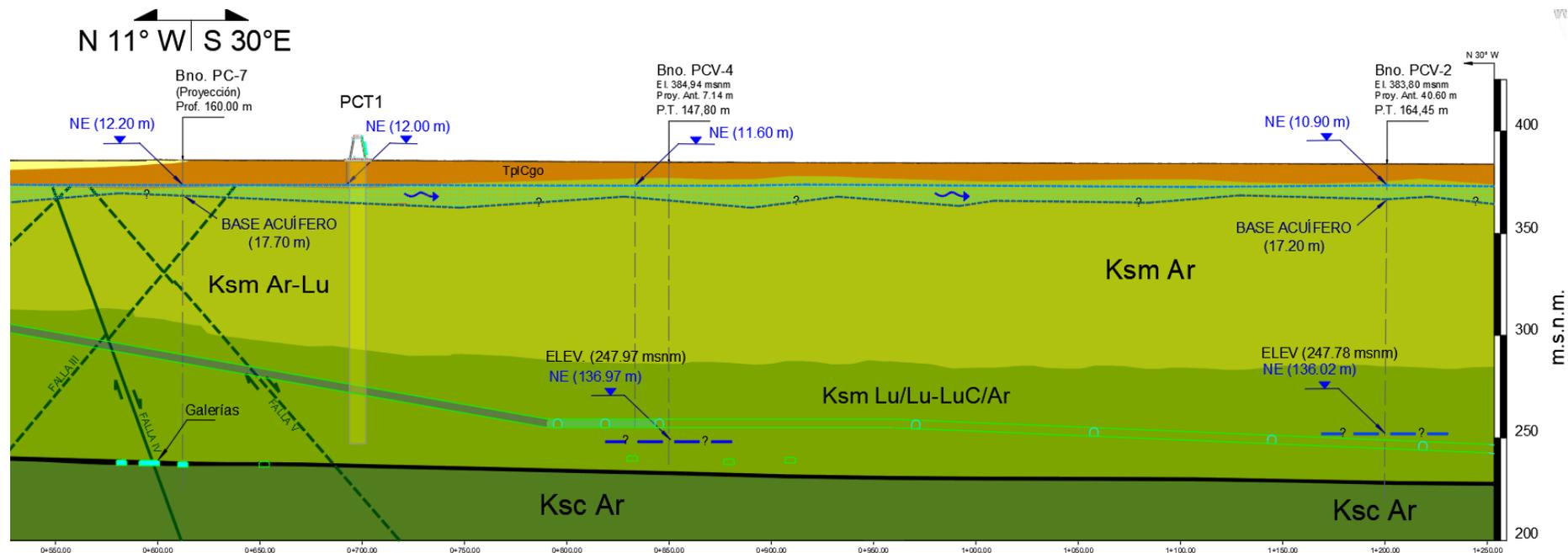


Figura No. 15. Profundidad del NE y base del acuífero en la zona del ramal principal (túneles de aproximación)

Respecto al nivel del agua detectado en los barrenos efectuados para el corrimiento de registro de video (PCV-1, 2, 3, 4 y 6) y a la información antecedente consultada, se asume la existencia de agua en las galerías abandonadas de la Mina Pasta de Cochos (donde ocurrió el evento en el año 2006), inundadas a partir de la zona donde se localiza el PCV-5 (elevación del fondo del barreno de 249.93 msnm), ya que en dicho barreno no se detectó un nivel de agua (seco) que fuera indicativo de la ocurrencia de esta.

En los barrenos PCV-4 y PCV-2, proyectados en la sección del ramal principal, la profundidad del agua fue de 136.97 y 136.02 m, respectivamente (monitoreo junio 2021); por lo que el nivel mencionado se ubicó por encima de la clave de las galerías. Con base en lo anterior se continuará con el monitoreo piezométrico en ambas obras, con la finalidad de verificar la presencia y comportamiento del agua en esta zona.

5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE PIEZÓMETROS

5.1 Instalación de piezómetros

Con la finalidad de contar con una red de observación del acuífero de la Mina Pasta de Conchos y de la presencia de agua subterránea en la zona de estudio, se realizó la instalación de piezómetros (abiertos tipo Casagrande) con diferentes profundidades y características constructivas específicas (Tabla No. 12). En la Figura No. 16, se indican los piezómetros actualmente instalados (junio 2021) y los que están en proceso de construcción.

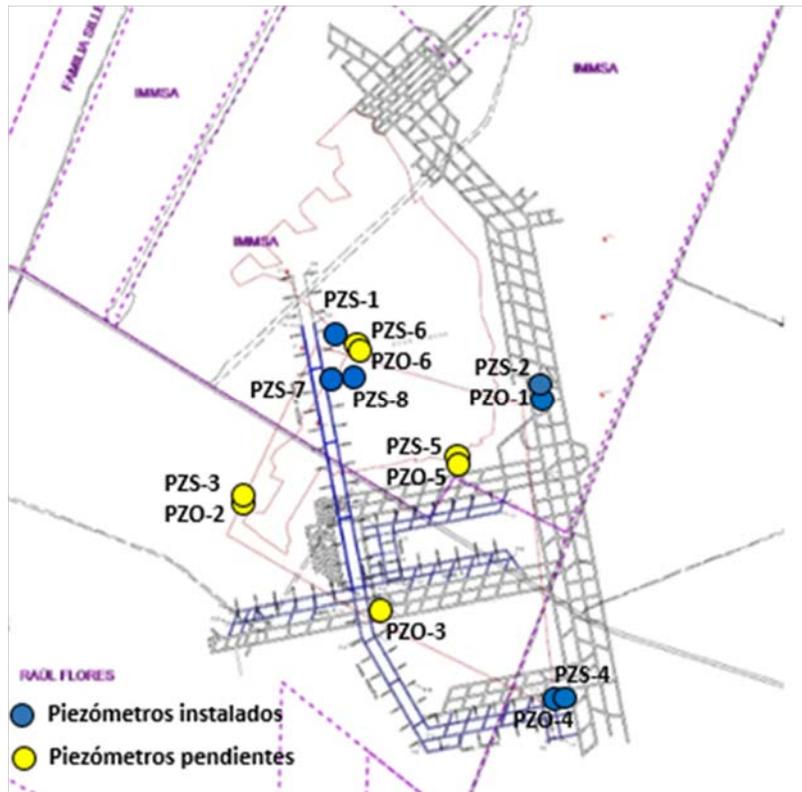


Figura No. 16. Piezómetros instalados y en proceso de construcción

Piezómetro	Zona de monitoreo	Prof. del barreno (m)	Prof. de instalación (m)	Elev. NTN (msnm)
PZS-1	Acuífero Mina Pasta de Conchos	31.25	30.5	386.936
PZS-2		40	39.93	385.442
PZS-4		40	39.76	384.64
PZS-7		36.4	35.98	386.564
PZS-8		30.3	29.85	386.571
PZO-1	Fm Olmos	140	144.27	384.778
PZO-4		160	159.43	384.76

Tabla No. 12. Piezómetros instalados

Las profundidades y longitudes a las que se instaló la zona filtrante de cada piezómetro (tubería ranurada o bulbo) fueron determinadas con base en la litología del sitio (resultados del estudio geológico y profundidad de obras subterráneas existentes y a construir). En la Figura No. 17 se muestran los diseños constructivos, tanto para el monitoreo del acuífero de la Mina Pasta de Conchos como de la presencia de agua en la Fm Olmos y en la Fotografía No. 21 se presentan imágenes de la instalación de los piezómetros.

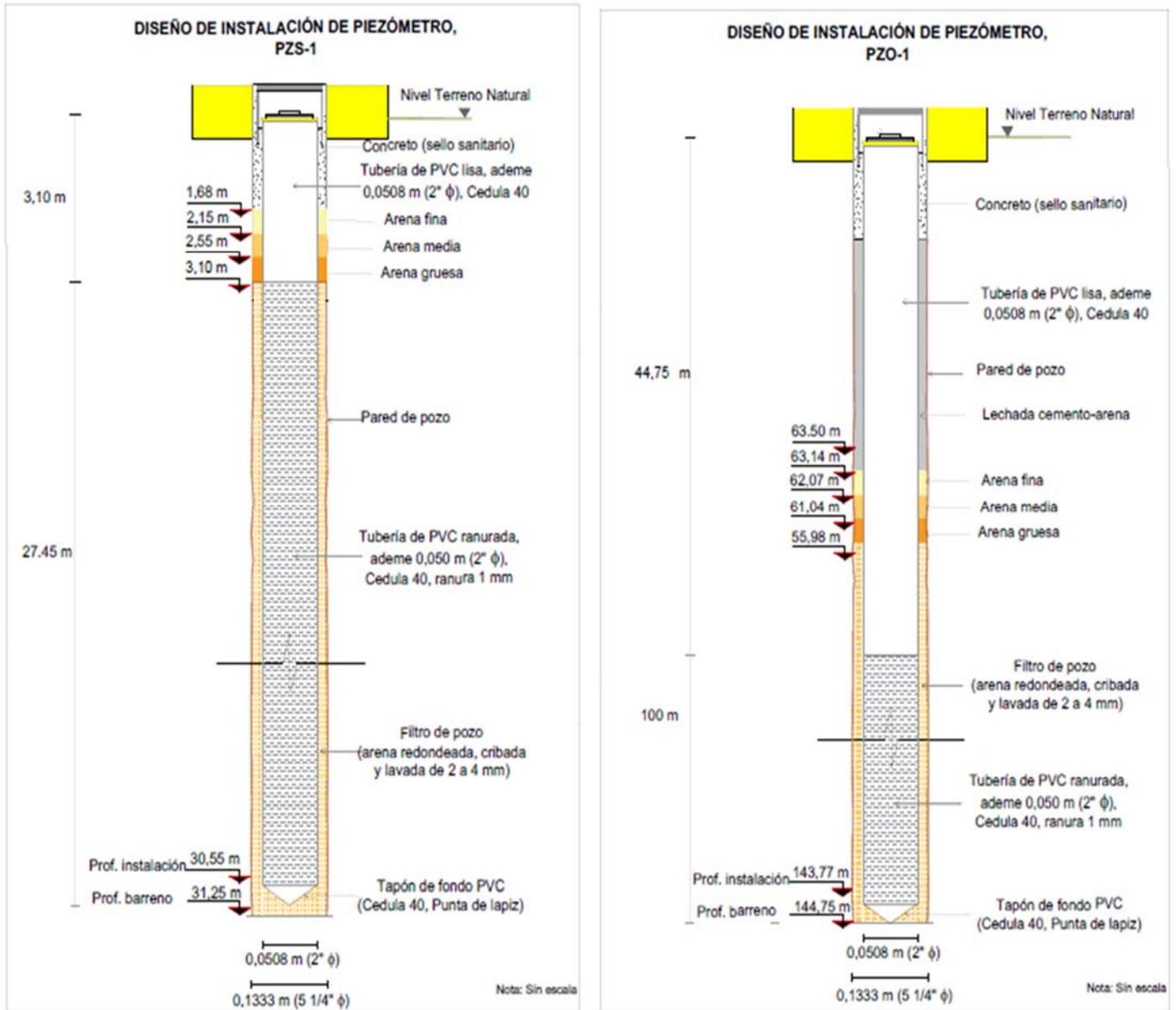


Figura No. 17. Diseño constructivo de piezómetros



Fotografía No. 21. Instalación de piezómetros

5.2 Desarrollo de pruebas de funcionalidad

Posterior a la instalación de piezómetros se procedió a realizar una serie de pruebas de funcionalidad de estos. Lo anterior para verificar que el nivel del agua registrado en estas obras fuera el representativo del medio geológico donde se alojan y no el generado con la inyección de agua producto de las actividades de perforación e instrumentación.

Las pruebas se efectuaron en dos modalidades: Ascendente (Inyección) y descendente (extracción), en ambas se verificó la evolución de la profundidad del nivel del agua, hasta que éste se estabilizó, asegurando que fuera el representativo del medio. En la Tabla No. 13 se indican las pruebas ejecutadas y la localización de piezómetros en la Figura No. 17.

Piezómetro	Zona de monitoreo	Tipo de prueba	Prof. Nivel de agua inicial (m)	Prof. Nivel de agua final (m)	Volumen de agua extraída/inyectada (lts)	Tiempo de inyección/extracción (min)	Tiempo de recuperación (min)
PZS-1	Acuífero Mina Pasta de Conchos	Descendentes	12.32	12.320	200	1	35
		Ascendentes	12.32	12.749	66	19	4
PZS-2		Descendentes	24.04	21.83	200	10	75
		Ascendentes	23.96	25.41	42	27	25
PZS-4		Ascendentes	15.69	15.87	48	47	20
PZS-7		Descendentes	12.88	12.56	200	10	80
		Ascendentes	12.75	13.255	84	56	70
PZS-8		Descendentes	12.27	12.55	160	4	3
		Ascendentes	13.95	12.755	62	5	2
PZO-1		Fm Olmos	Ascendentes	67.39	78.56	68	160
PZO-4	Ascendentes		73.75	73.785	54	23	3

Tabla No. 13. Pruebas de funcionalidad de piezómetros

Parte del desarrollo de las pruebas de funcionalidad se presentan en la Fotografía No. 22 y en las gráficas siguientes se aprecia la evolución del nivel del agua durante la ejecución de las pruebas en cada piezómetro.



Fotografía No. 22. Desarrollo de pruebas de funcionalidad de piezómetros

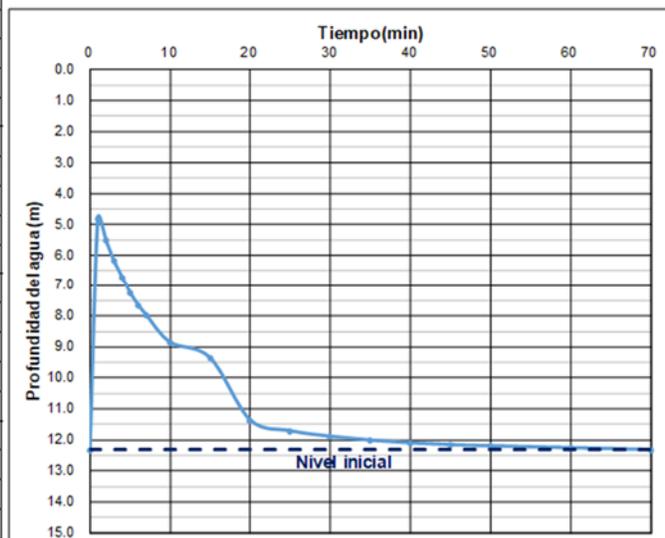
ID Búbo:	<u>PZS-1</u>	ID BARRENO	<u>PC-21A</u>	Ascendente:	<input type="checkbox"/>	Vol. Agua retirada:	<u>200 lts</u>
Fecha de prueba:	<u>18 de mayo de 2021</u>	Hora de inicio:	<u>15:30</u>	Descendente:	<input checked="" type="checkbox"/>	Vol. Agua agregada:	<u> </u>
Nivel piezométrico inicial:	<u>12.320 m</u>	Hora de término:	<u>16:40</u>				
Nivel piezométrico final:	<u>13.320 m</u>	Duración (min):	<u>70.00</u>				

PZS-1				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	15:00	0.00	12.320
1	200.000	15:01	1	4.810
2		15:02	2	5.510
3		15:03	3	6.180
4		15:04	4	6.710
5		15:05	5	7.230
6		15:06	6	7.635
7		15:07	7	7.955
8		15:10	10	8.850
9		15:15	15	9.350
10		15:20	20	11.360
11		15:25	25	11.710
12		15:30	30	11.890
13		15:35	35	12.015
14		15:40	40	12.100
15		15:45	45	12.160
16		15:50	50	12.195
17		16:00	60	12.255
18		12:10	70	12.320

Notas

Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.

Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



Gráfica No. 2. Prueba descendente en piezómetro Pzs-1

ID Bubo: PZS-1
Fecha de prueba: 18 de mayo de 2021
Nivel piezométrico inicial: 12.320 m
Nivel piezométrico final: 12.749 m

ID BARRENO: PC-21
Hora de inicio: 17:00
Hora de término: 19:49
Duración (min): 169.00

Ascendente: X
Descendente:

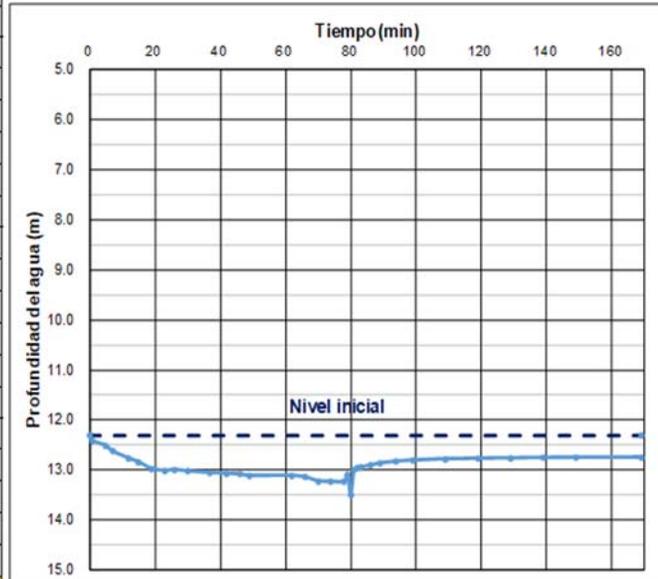
Vol. Agua retirada: _____
Vol. Agua agregada: 66.00 litros

PZS-1				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (ts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	17:00	0.00	12.320
1	2.000	17:02	1	12.420
2	2.000	17:05	5	12.520
3	2.000	17:07	7	12.630
4	4.000	17:12	12	12.770
5	4.000	17:15	15	12.850
6	4.000	17:19	19	12.980
7	4.000	17:23	23	13.020
8	4.000	17:26	26	13.002
9	4.000	17:30	30	13.030
10	4.000	17:37	37	13.060
11	4.000	17:42	42	13.080
12	4.000	17:46	46	13.090
13	4.000	17:49	49	13.120
14	4.000	18:02	62	13.120
15	4.000	18:06	66	13.150
16	4.000	18:10	70	13.230
17	4.000	18:14	74	13.240
18	4.000	18:18	78	13.240
19		18:19	79	13.095
20		18:20	80	13.510
21		18:21	81	13.010
22		18:22	82	12.975
23		18:23	83	12.954
24		18:26	86	12.915
25		18:29	89	12.871
26		18:34	94	12.834
27		18:39	99	12.812
28		18:49	109	12.785
29		19:59	119	12.772
30		19:09	129	12.766
31		19:19	139	12.758
32		19:29	149	12.755
33		19:49	169	12.749

Notas

Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.

Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



Gráfica No. 3. Prueba ascendente en piezómetro Pzs-1

ID Bulbo: PZS-2
Fecha de prueba: 27 de mayo de 2021
Nivel piezométrico inicial: 24.040 m
Nivel piezométrico final: 21.830 m

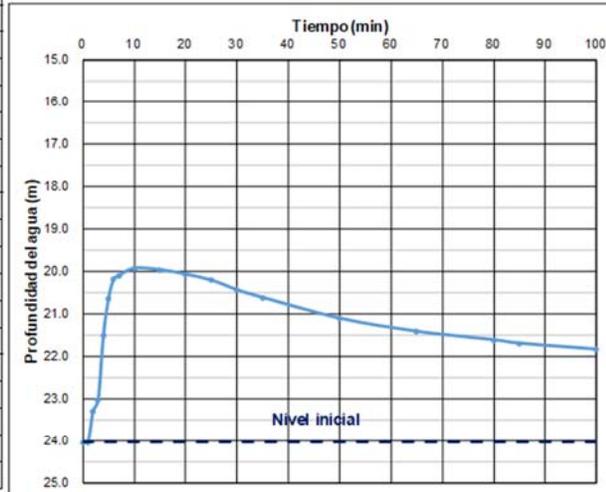
ID BARRENO PC-5A
Hora de inicio: 15:00
Hora de término: 16:40
Duración (min): 100.00

Ascendente:
Descendente:

Vol. Agua retirada: 200 lts
Vol. Agua agregada:

PZS-2				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	15:00	0.00	24.040
1	200.000	15:01	1	24.040
2		15:02	2	23.300
3		15:03	3	23.020
4		15:04	4	21.510
5		15:05	5	20.640
6		15:06	6	20.180
7		15:07	7	20.100
8		15:10	10	19.920
9		15:15	15	19.955
10		15:20	20	20.060
11		15:25	25	20.200
12		15:30	30	20.430
13		15:35	35	20.610
14		15:50	50	21.100
15		16:05	65	21.410
16		16:20	80	21.610
17		16:25	85	21.690
18		16:40	100	21.830

Notas
Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida a agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.
Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



ID Bulbo: PZS-2
Fecha de prueba: 26 de mayo de 2021
Nivel piezométrico inicial: 23.960 m
Nivel piezométrico final: 25.410 m

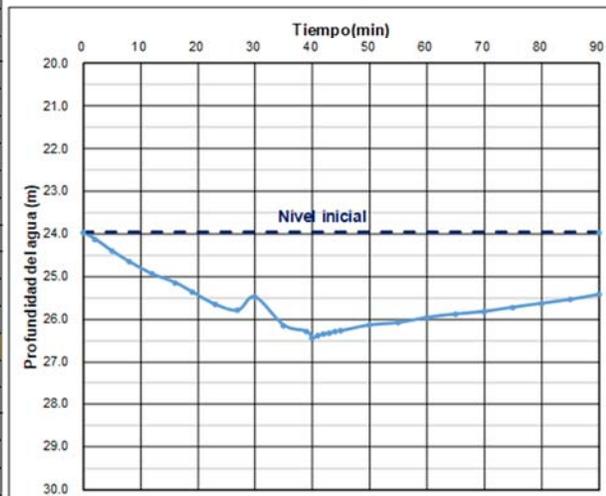
ID BARRENO PC-5A
Hora de inicio: 17:30
Hora de término: 19:30
Duración (min): 120.00

Ascendente:
Descendente:

Vol. Agua retirada: 42.00 litros
Vol. Agua agregada:

PZS-2				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	17:00	0.00	23.960
1	2.000	17:02	2	24.110
2	2.000	17:05	5	24.390
3	2.000	17:07	8	24.640
4	4.000	17:12	12	24.930
5	4.000	17:16	16	25.130
6	4.000	17:19	19	25.350
7	4.000	17:23	23	25.640
8	4.000	17:27	27	25.780
9	4.000	17:30	30	25.470
10	4.000	17:35	35	26.130
11	4.000	17:39	39	26.270
12	4.000	17:40	40	26.420
13		17:41	41	26.374
14		17:42	42	26.340
15		17:43	43	26.315
16		17:44	44	26.280
17		17:45	45	26.262
18		17:50	50	26.125
19		17:55	55	26.070
20		19:00	60	25.950
21		19:05	65	25.870
22		19:10	70	25.810
23		19:15	75	25.710
24		19:20	80	25.620
25		19:25	85	25.530
26		19:30	90	25.410

Notas
Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida a agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.
Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



Gráficas No. 4 y 5. Pruebas ejecutadas en el piezómetro Pzs-2

ID Bulbo: PZS-4
Fecha de prueba: 2 de junio de 2021
Nivel piezométrico inicial: 15.690 m
Nivel piezométrico final: 15.870 m

ID BARRENO PC-4A
Hora de inicio: 16:00
Hora de término: 18:10
Duración (min): 130.00

Ascendente:
Descendente:

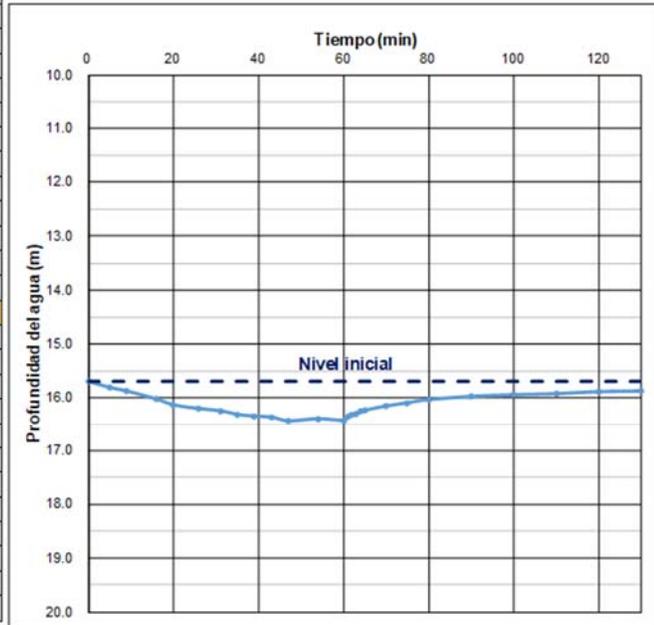
Vol. Agua retirada: 48.00 litros
Vol. Agua agregada: _____

PZS-4				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	16:00	0.00	15.690
1	4.000	16:05	5	15.800
2	4.000	16:09	9	15.870
3	4.000	16:16	16	16.020
4	4.000	16:20	20	16.130
5	4.000	16:26	26	16.200
6	4.000	16:31	31	16.240
7	4.000	16:35	35	16.310
8	4.000	16:39	39	16.340
9	4.000	16:43	43	16.360
10	4.000	16:47	47	16.430
11	4.000	16:54	54	16.390
12	4.000	17:00	60	16.420
13		17:01	61	16.340
14		17:02	62	16.310
15		17:03	63	16.290
16		17:04	64	16.250
17		17:05	65	16.230
18		17:10	70	16.150
19		17:15	75	16.090
20		17:20	80	16.030
21		17:30	90	15.970
22		17:40	100	15.940
23		17:50	110	15.920
24		18:00	120	15.880
25		18:10	130	15.870

Notas

Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.

Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



ID Bulbo: PZS-7
Fecha de prueba: 21 de mayo de 2021
Nivel piezométrico inicial: 12.880 m
Nivel piezométrico final: 12.560 m

ID BARRENO PB-1
Hora de inicio: 12:00
Hora de término: 16:40
Duración (min): 280.00

Ascendente:
Descendente:

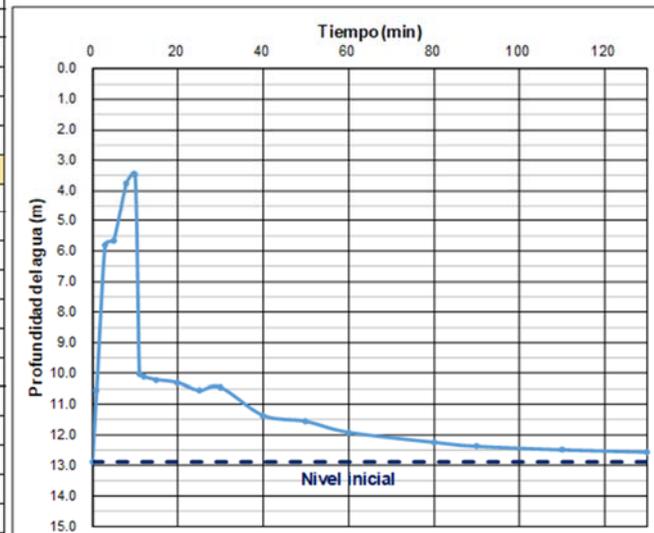
Vol. Agua retirada: 200 lts
Vol. Agua agregada: _____

PZS-7				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	12:00	0.00	12.880
1	20.000	15:01	1	10.535
2	40.000	15:02	3	5.795
3	40.000	15:03	5	5.653
4	40.000	15:04	8	3.740
5	40.000	15:05	10	3.450
6		15:06	11	10.010
7		15:07	12	10.105
8		15:10	15	10.205
9		15:15	20	10.301
10		15:20	25	10.545
11		15:25	30	10.445
12		15:30	40	11.362
13		15:35	50	11.555
14		15:40	60	11.912
15		15:45	80	12.240
16		15:50	90	12.370
17		16:00	110	12.485
18		12:10	130	12.560

Notas

Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.

Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



Gráficas Nos. 6 y 7. Pruebas ejecutadas en los piezómetros Pzs-4 y 7

ID Bulbo: PZS-8
Fecha de prueba: 21 de mayo de 2021
Nivel piezométrico inicial: 12.270 m
Nivel piezométrico final: 12.550 m

ID BARRENO: PB-1
Hora de inicio: 13:00
Hora de término: 15:00
Duración (min): 120.00

Ascendente:
Descendente:

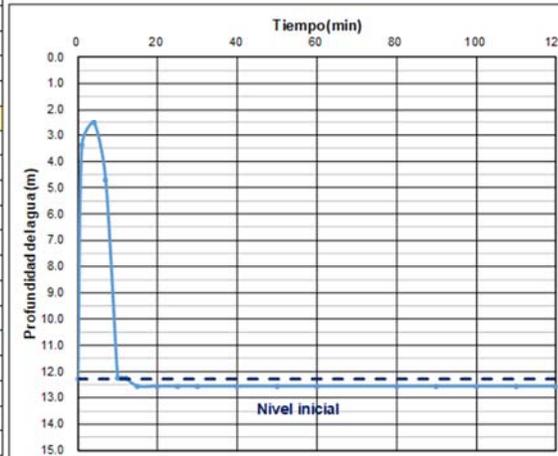
Vol. Agua retirada: 160.00 litros
Vol. Agua agregada: _____

PZS-8				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	13:00	0.00	12.270
1	40.000	13:01	1	3.380
2	40.000	13:04	4	2.500
3	40.000	13:07	7	4.710
4	40.000	13:10	10	12.230
5		13:11	11	12.252
6		13:11	12	12.253
7		13:15	15	12.550
8		13:20	20	12.550
9		13:25	25	12.550
10		13:30	30	12.550
11		13:40	40	12.550
12		13:50	50	12.550
13		14:00	60	12.550
14		14:20	80	12.550
15		14:30	90	12.550
16		14:40	100	12.550
17		14:50	110	12.550
18		15:00	120	12.550

Notas

Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.

Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



ID Bulbo: PZS-8
Fecha de prueba: 22 de mayo de 2021
Nivel piezométrico inicial: 13.950 m
Nivel piezométrico final: 12.755 m

ID BARRENO: PB-1
Hora de inicio: 17:00
Hora de término: 19:00
Duración (min): 120.00

Ascendente:
Descendente:

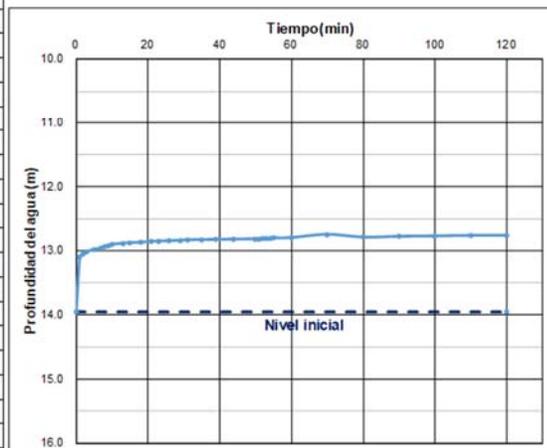
Vol. Agua retirada: _____
Vol. Agua agregada: 62.00 litros

PZS-8				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	17:00	0.00	13.950
1	2.000	17:02	1	13.095
2	2.000	17:02	2	13.051
3	2.000	17:03	3	13.010
4	2.000	17:05	5	12.975
5	2.000	17:07	7	12.954
6	2.000	17:08	8	12.931
7	2.000	17:09	9	12.915
8	2.000	17:10	10	12.895
9	2.000	17:13	13	12.880
10	4.000	17:15	15	12.871
11	4.000	17:18	18	12.865
12	4.000	17:21	21	12.852
13	4.000	17:23	23	12.845
14	4.000	17:26	26	12.840
15	4.000	17:29	29	12.834
16	4.000	17:31	31	12.827
17	4.000	17:35	35	12.822
18	4.000	17:39	39	12.820
19	4.000	17:44	44	12.815
20	4.000	17:50	50	12.812
21		17:51	51	12.819
22		17:52	52	12.807
23		17:23	53	12.801
24		17:54	54	12.800
25		17:55	55	12.795
26		18:00	60	12.792
27		18:10	70	12.741
28		18:20	80	12.785
29		18:30	90	12.772
30		18:40	100	12.766
31		18:50	110	12.758
32		19:00	120	12.755

Notas

Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.

Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



Gráficas Nos. 8 y 9. Pruebas ejecutadas en el piezómetro Pzs-8

ID Bulbo: PZO-1
Fecha de prueba: 2 de junio de 2021
Nivel piezométrico inicial: 67.390 m
Nivel piezométrico final: 78.560 m

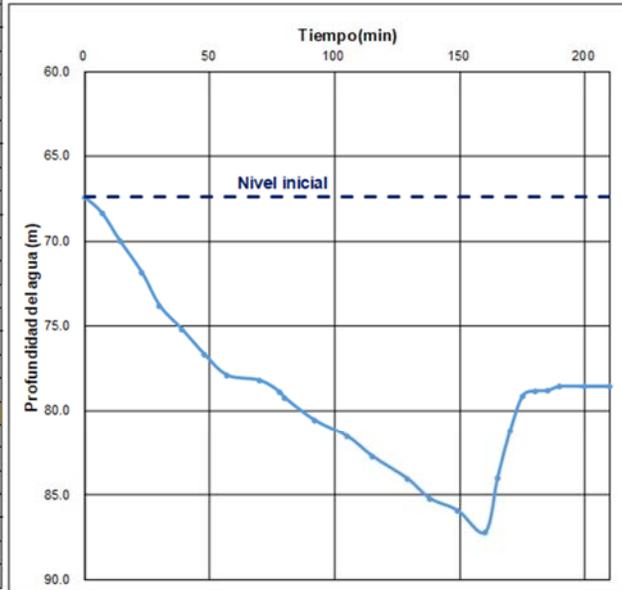
ID BARRENO PC-5
Hora de inicio: 11:00
Hora de término: 14:30
Duración (min): 210.00

Ascendente:
Descendente:

Vol. Agua retirada: 68.00 litros
Vol. Agua agregada:

PZO-1				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	11:00	0.00	67.390
1	4.000	11:07	7	68.350
2	4.000	11:14	14	69.950
3	4.000	11:23	23	71.860
4	4.000	11:30	30	73.800
5	4.000	11:33	39	75.200
6	4.000	11:48	48	76.680
7	4.000	11:57	57	77.900
8	4.000	12:10	70	78.200
9	4.000	12:18	78	78.880
10	4.000	12:20	80	79.230
11	4.000	12:32	92	80.560
12	4.000	12:45	105	81.530
13	4.000	12:55	115	82.720
14	4.000	13:09	129	84.050
15	4.000	13:18	138	85.220
16	4.000	12:29	149	85.920
17	4.000	13:40	160	87.220
18		13:45	165	84.000
19		13:50	170	81.200
20		13:55	175	79.120
21		14:00	180	78.830
22		14:05	185	78.800
23		14:10	190	78.560
24		14:20	200	78.560
25		14:30	210	78.560

Notas
Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.
Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



ID Bulbo: PZO-4
Fecha de prueba: 18 de mayo de 2021
Nivel piezométrico inicial: 73.750 m
Nivel piezométrico final: 73.785 m

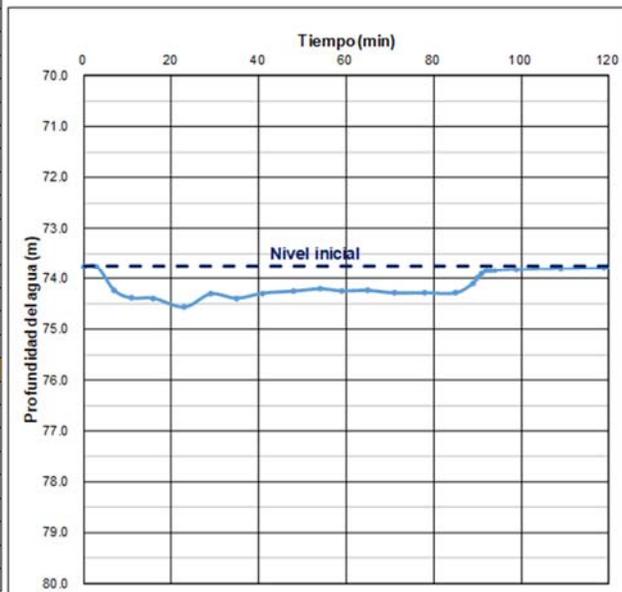
ID BARRENO PC-4
Hora de inicio: 11:00
Hora de término: 12:39
Duración (min): 99.00

Ascendente:
Descendente:

Vol. Agua retirada: 54 lts
Vol. Agua agregada:

PZO-4				
No. Lectura (min)	Volumen de agua retirada/agregada (lts)	Hora (hh:mm)	Tiempo acumulado (min)	Profundidad del agua (m)
Inicio	0.000	11:00	0.00	73.750
1	2.000	11:03	3	73.750
2	2.000	11:07	7	74.230
3	2.000	11:11	11	74.380
4	4.000	11:16	16	74.385
5	4.000	11:23	23	74.560
6	4.000	11:29	29	74.300
7	4.000	11:35	35	74.385
8	4.000	11:41	41	74.285
9	4.000	11:48	48	74.245
10	4.000	11:54	54	74.200
11	4.000	11:59	59	74.240
12	4.000	12:05	65	74.230
13	4.000	12:11	71	74.280
14	4.000	12:18	78	74.277
15	4.000	12:25	85	74.280
16		12:29	89	74.090
17		12:30	90	73.975
18		12:31	91	73.905
19		12:32	92	73.835
20		12:33	93	73.835
21		12:34	94	73.827
22		12:39	99	73.809
23		12:09	109	73.795
24		12:34	119	73.785
25		12:39	139	73.785

Notas
Prueba Descendente: El fundamento de esta prueba es introducir agua al interior de la tubería del piezómetro en caso de que la estación piezométrica se encuentre seca; es introducida agua limpia hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.
Prueba Ascendente: El principio es extraer el agua del interior de la tubería del piezómetro, hasta un nivel en que se pueda tener la carga especificada o requerida.



Gráficas Nos. 10 y 11. Pruebas ejecutadas en los piezómetros Pzo-1 y 4

Una vez realizadas las pruebas de funcionalidad en los piezómetros, se continuó con el monitoreo correspondiente.

6. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Con la finalidad de conocer las características físico químicas del agua subterránea y determinar la línea base de la calidad de ésta, se realizó la recolección y análisis de muestras de agua en las obras hidráulicas seleccionadas y localizadas estratégicamente en la zona de estudio.

6.1 Muestreo de agua

Esta actividad se realizó durante el período del 29 de mayo al 04 de junio 2021, en total se recolectaron 15 muestras (7 en el acuífero Sabinas, 6 en la Fm Olmos, incluyendo 4 muestras en los barrenos que llegan a las galerías y 2 muestras de agua superficial, ríos El Coyote y Sabinas). Las muestras obtenidas se indican en la Tabla No. 14.

Zona	No.	Fuente (Obra hca.)	Profundidad NE (m)	Profundidad de muestreo (m)	Observaciones
Acuífero Sabinas	1	Pzs-1	12.62	13.62	Piezómetro instrumentado en Barreno PC-21A
	2	Pzs-2	11.22	12.22	Piezómetro instrumentado en Barreno PC-5A
	3	Pzs-4	15.71	16.71	Piezómetro instrumentado en Barreno PC-4A
	4	Pzs-8	12.99	13.99	Piezómetro instrumentado en Barreno PB-1
	5	PO-3	10.87	11.87	Antiguo tiro de ventilación. Predio Raúl Flores
	6	PO-5	10.53	11.53	Pozo de abastecimiento para uso agrícola
	7	PO-7	12.44*	16.50	Pozo de abastecimiento al rancho de Guadiana
Fm Olmos	8	Pzo-1	75.80	77.80	Piezómetro instrumentado en Barreno PC-5
	9	Pzo-4	74.48	76.48	Piezómetro instrumentado en Barreno PC-4
Galerías	10	PCV-1	137.45	139.45	Barrenos de videograbación. Los barrenos llegan a la zona de galerías; por lo que el agua recolectada en las muestras se asocia a esta zona
	11	PCV-2	136.16	138.16	
	12	PCV-3	122.36	124.36	
	13	PCV-6	138.65	140.65	
Ríos	14	PARA-2	Superficial	-	El Coyote
	15	PARA-4			Sabinas

(*) Nivel dinámico

Tabla No. 14. Obras hidráulicas muestreadas

En la Figura No. 18 se presenta la ubicación de los piezómetros donde se recolectaron las muestras de agua (acuífero, Fm Olmos y barrenos de videograbación que conectan con las galerías).

Personal técnico del Laboratorio de Desarrollo Químico del Agua perteneciente al DGH-GEIC, se trasladó al sitio del proyecto para efectuar la recolección de muestras, mismas que fueron envasadas en recipientes (botellas de vidrio y polietileno de 1 a 5 litros de capacidad con tapa y contratapa) adecuados, para su posterior traslado al laboratorio donde se realizaron los análisis físico-químicos correspondientes. Respecto a los análisis bacteriológicos, éstos se realizaron in situ.

Las muestras se recolectaron con el empleo de tubos muestreadores de polietileno (bayer) de 1 lt de cap. a una profundidad de 1 a 2 m aprox. por debajo del NE; de forma simultánea a esta actividad se efectuó la medición “in situ” de la CE, Temperatura y pH. Fotografía No. 23.

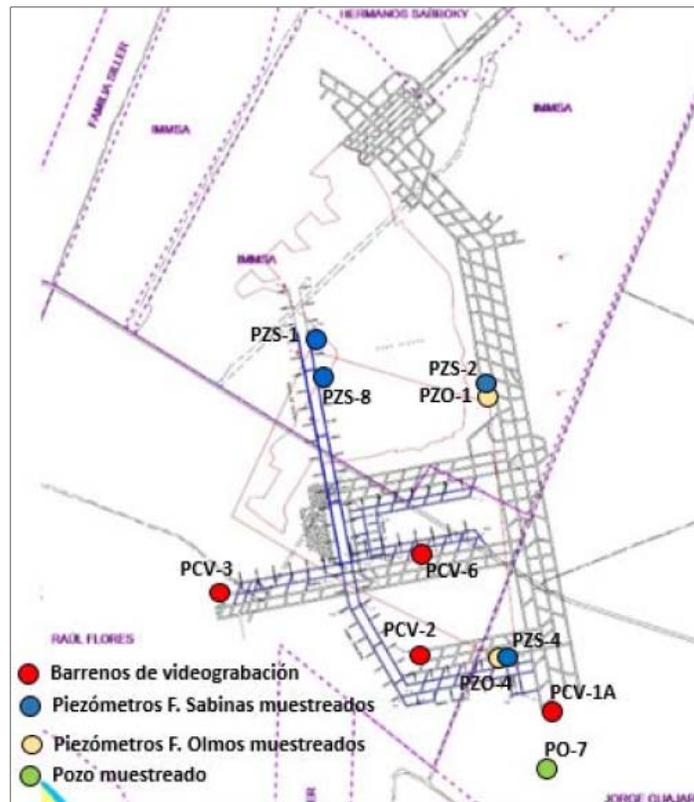


Figura No. 18. Localización de las obras hidráulicas donde se recolectaron las muestras



Fotografía No. 23. Actividades de muestreo

6.2 Resultados de los análisis de las muestras de agua

Los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos obtenidos de las muestras del acuífero Mina Pasta de Conchos (agua subterránea, definición de la línea base de la calidad) y de los ríos El Coyote y Sabinas (agua superficial) fueron comparados con los valores indicados en la norma oficial mexicana NOM127SSA1-1994(Mod 2000), que establece los límites máximos permisibles para un agua de uso y consumo humano; lo anterior únicamente como referencia, debido a que en el entorno del acuífero se realiza la extracción de agua subterránea mediante pozos y norias (particulares) para uso agrícola, abrevadero y doméstico y el agua de los ríos se emplea para uso recreativo y agrícola. Tabla No. 15.

Tipo de agua	Cuerpo de agua	Fuentes muestreadas	Parámetros que rebasan la NOM127	Calidad con base a la NOM127
Subterránea	Acuífero Mina Pasta de Conchos	Pzs-1, 2, 4 y 8 PO-3, 5 y 7	En todas las muestras se detectaron Coliformes Totales y Fecales, Nitratos (NO ₃) en el PO-7 y Pzs-1, Sodio (Na) en el Pzs-1 y Pzs-2, Cloruro (Cl) y Hierro (Fe) en el Pzs-2	Mediana a mala calidad
Superficial	Ríos El Coyote y Sabinas	PRA-2 y 4	En ambas muestras se detectaron Coliformes Totales y Fecales	Mediana calidad

Tabla No. 15. Calidad del agua subterránea y superficial con base en la NOM127

No obstante que en los piezómetros (Pzo-1 y Pzo-4) ubicados en la Fm Olmos se continúa con el monitoreo del nivel del agua con la finalidad verificar que éste sea representativo del medio geológico donde se alojan, el agua analizada correspondió a un agua de

mediana a mala calidad (con referencia al NOM127) debido a que en ambas muestras las concentraciones de Sodio (Na) y el valor del PH fueron mayores a los establecidos en la norma mencionada; de igual forma en ambas muestras se registró la presencia de Coliformes Totales y Fecales.

Respecto a los resultados de las muestras recolectadas en los barrenos (PCV-1, 2, 3 y 6), que conectan con las galerías y que en su caso, sería el agua a extraer y tratar, éstos fueron comparados con los valores establecidos para un agua de uso en riego agrícola (NOM-001-SEMARNAT-1996) y para reúso de agua residual tratada (NOM-003-SEMARNAT-1997 límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público).

Con base en lo anterior y a las indicaciones del Laboratorio de Desarrollo Químico del Agua (LQDA), se tiene que los parámetros que rebasan los límites establecidos en las normas mencionadas son el contenido de Sólidos Suspendidos y Coliformes; por lo que el sistema de tratamiento a implementar deberá de considerar la remoción de los sólidos y la desinfección del agua. Tabla No. 16.

No. DE CONTROL:	2106009	RESULTADOS				PROMEDIO	NOM-001	NOM-003
		M-5	M-6	M-7	M-8		RIEGO AGRICOLA	PROMEDIO MENSUAL
Parámetros en Campo		PCV-1	PCV-2	PCV-6	PCV-3			
		271065.5	270660.4	270737.2	270250.1			
		3093580.5	3093664.7	3093981.4	3093889.2			
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)		160	20	120	30	82.5	75	30
COLIFORMES FCALES UFC/100 mL		INCONTABLES	INCONTABLES	INCONTABLES	INCONTABLES	INCONTABLES	1000	1000

Fuente: Laboratorio de Desarrollo Químico del Agua (LQDA).

Tabla No. 16. Parámetros a tratar en el agua que será extraída de las galerías

Para el diseño e implementación del sistema de tratamiento del agua a extraer de las galerías se deberán de considerar los siguientes aspectos (entre otros):

- Concentración de parámetros que rebasan los límites establecidos en las Normas oficiales que se utilicen de referencia.
- Tiempo programado para la extracción del agua de las galerías
- Capacidad de volumen o caudales de tratamiento
- Capacidad de la obra captadora o de almacenamiento temporal del agua tratada antes de su disposición final

El reporte de laboratorio correspondiente a los resultados de los análisis de las muestras de agua, se incluyen en el Anexo 4 del presente informe y un resumen de éstos se presentan en las Tablas Nos. 17 a 19 (los valores en color rojo indican que rebasan los límites permisibles de la Norma oficial de referencia).

Parámetro (unidad)	Acuífero Mina Pasta de Conchos (red de monitoreo)							LÍMITE MÁXIMO NOM 127 SSA1- 1994 (MOD 2000)
	PO-3	PO-5	PO-7	PZS-1	PZS-2	PZS-4	PZS-8	
Temperatura °C en el sitio	23.5	24.6	24.4	25.7	24.2	25.9	25.9	NA
Conductividad μS/cm en el sitio	1009	928	1312	1220	1353	984	1501	NA
Temperatura °C	25.0	25.0	25.0	24.8	25.0	25	25.0	NA
Conductividad μS/cm	1012	899	1267	1185	1340	935	1456	NA
pH (unidades de pH)	7.32	7.28	7.22	7.46	7.69	7.57	7.20	6.5-8.5
Sólidos suspendidos fijos (mg/l)	<8.2	<8.2	<8.2	880	20	880	2630	NA
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	<8.2	50	<8.2	70	40	110	90	NA
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	<8.2	50	<8.2	950	60	990	2720	NA
Carbonatos CO ₃ (mg/l)	<13	<13	<13	<13	<13	<13	<0.13	NA
Bicarbonatos HCO ₃ (mg/l)	474.9	440.3	409.3	440.3	271.1	336.7	629.6	NA
Alcalinidad total como CaCO ₃ (mg/l)	390.1	361.6	336.0	362.2	223.3	277.0	516.9	NA
Cloruros Cl (mg/l)	53.0	43.4	89.2	113.3	253.1	41.0	101.3	250
Sulfatos SO ₄ (mg/l)	178.5	150.0	269.3	141.3	143.6	251.1	231.9	400
Nitratos NO ₃ (mg/l)	7.32	3.63	46.09	11.70	<0.59	<0.59	0.36	10
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	685.1	623.7	833.4	756.1	827.0	686.0	943.7	1000
Sólidos Totales (mg/l)	685.1	673.7	833.4	1706.1	887.0	1676.0	3663.7	NA
Sodio Na (mg/l)	100	70	47	202	244	135	176	200
Potasio K (mg/l)	1.7	1.0	3.8	1.6	1.0	1.1	1.2	NA
Calcio Ca (mg/l)	61	99	129	50	35	79	80	NA
Magnesio Mg (mg/l)	14.3	14.0	19.5	5.8	2.4	4.5	14.4	NA
Dureza Total CaCO ₃ (mg/l)	210.4	304.0	402.7	149.3	97.8	216.8	257.9	500
Sílice SiO ₄ (mg/l)	35.2	26.5	27.3	12.7	13.5	7.5	28.6	NA
Fierro Fe (mg/l)	<0.05	0.07	<0.05	0.052	0.304	<0.05	<0.05	0.3
Manganeso Mn (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.15
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Incontables		144	Incontables				0.3
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Incontables		40	Incontables				0.15

Tabla No. 17. Resultados de análisis de muestras de agua del acuífero Mina Pasta de Conchos

Parámetro (unidad)	Piezómetros en la Fm Olmos		Agua superficial		LÍMITE MÁXIMO NOM 127 SSA1- 1994 (MOD 2000)
	PZO-1	PZO-4	PRA-2 (Coyote)	PRA-4 (Sabinas)	
Temperatura °C en el sitio	27.8	28.7	27.1	22.4	NA
Conductividad µS/cm en el sitio	1443	1163	270	179	NA
Temperatura °C	25.0	25.0	25.0	25.0	NA
Conductividad µS/cm	1332	997	260	195	NA
pH (unidades de pH)	9.10	9.75	7.72	7.87	6.5-8.5
Sólidos suspendidos fijos (mg/l)	90	<8.2	130	470	NA
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	90	60	40	100	NA
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	180	60	170	570	NA
Carbonatos CO ₃ (mg/l)	15.5	76.1	<13	<13	NA
Bicarbonatos HCO ₃ (mg/l)	249.1	274.5	228.5	168.4	NA
Alcalinidad total como CaCO ₃ (mg/l)	229.9	351.9	188.3	139.0	NA
Cloruros Cl (mg/l)	224.2	84.4	9.6	4.8	250
Sulfatos SO ₄ (mg/l)	148.2	195.1	3.9	35.2	400
Nitratos NO ₃ (mg/l)	<0.59	<0.59	2.60	<0.59	10
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	809.4	720.7	180.6	164.3	1000
Sólidos Totales (mg/l)	989.4	780.7	350.6	734.3	NA
Sodio Na (mg/l)	272	205	<4	<4	200
Potasio K (mg/l)	1.1	14.8	2.3	3.0	NA
Calcio Ca (mg/l)	19	<5	43	29	NA
Magnesio Mg (mg/l)	1.9	1.1	2.9	2.6	NA
Dureza Total CaCO ₃ (mg/l)	54.6	14.7	120.6	82.8	500
Sílice SiO ₄ (mg/l)	5.5	9.3	2.7	6.4	NA
Hierro Fe (mg/l)	0.067	0.073	<0.05	0.243	0.3
Manganeso Mn (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.15
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Incontables		Incontables		0.3
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Incontables		Incontables		0.15

Tabla No. 18. Resultados de análisis de muestras de agua en piezómetros ubicados en la Fm Olmos y en los ríos El Coyote y Sabinas

Parámetro (unidad)	Piezómetros en galerías			
	PCV-1	PVC-2	PCV-3	PCV-6
Temperatura °C en el sitio	31.6	28.0	25.9	29.5
Conductividad µS/cm en el sitio	888	701	1245	938
Temperatura °C	25.0	25.0	25.0	25.0
Conductividad µS/cm	741	625	1196	812
pH (unidades de pH)	8.13	7.92	7.68	8.0
Sólidos suspendidos fijos (mg/l)	100	<8.2	<8.2	70
Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	60	20	30	50
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	160	20	30	120
Carbonatos CO ₃ (mg/l)	<13	<13	<13	<13
Bicarbonatos HCO ₃ (mg/l)	309.0	340.5	322.8	329.2
Alcalinidad total como CaCO ₃ (mg/l)	256.7	281.4	265.9	272.5
Cloruros Cl (mg/l)	55.4	77.1	231.4	103.7
Sulfatos SO ₄ (mg/l)	92.6	23.5	74.4	52.4
Nitratos NO ₃ (mg/l)	<0.59	<0.59	0.06	<0.59
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	477.5	419.3	687.7	520.2
Sólidos Totales (mg/l)	637.5	439.3	717.7	640.2
Sodio Na (mg/l)	151	123	170	160
Potasio K (mg/l)	<0.5	<0.5	2.7	0.7
Calcio Ca (mg/l)	8	11	31	9
Magnesio Mg (mg/l)	0.6	0.9	3.5	1.1
Dureza Total CaCO ₃ (mg/l)	23.1	30.6	92.6	27.1
Sílice SiO ₄ (mg/l)	15.7	15.4	14.7	29.8
Fierro Fe (mg/l)	0.504	0.186	1.606	0.729
Manganeso Mn (mg/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Incontable			
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Incontable			

Tabla No. 19. Resultados de los análisis de muestras de agua en las galerías

7. CONCLUSIONES

- a).- Se realizó el reconocimiento del sitio (área cubierta de 25 km²), que permitió la identificación de obras hidráulicas (156 sitios de interés entre pozos, norias, obras de captación de agua, obras de toma en ríos, etc.) ubicadas en la zona de interés y su entorno.
- b).- El agua subterránea en la zona se emplea, en mayor parte, para uso agrícola y ganadero (78 %), en menor proporción uso doméstico (10 %). El agua del río Sabinas se emplea para uso agrícola y la del río El Coyote el uso es agrícola, ganadero e industrial (Lavadora).
- c).- En los caminamientos específicos sobre la proyección en superficie de la trayectoria de las obras subterráneas de la mina Pasta de Conchos no se identificaron hundimientos o depresiones (zonas de subsidencia) que evidenciarán una asociación específica con el evento (explosión) ocurrido en la mina en el año 2006; de igual forma se localizaron grietas sobre material arcilloso, pero sin un patrón definido en su trayectoria, aunado a que en otros sitios (embalses u obras de captación ubicados en el entorno de la mina) se registraron grietas mucho mayores, producto de la desecación de material arcilloso; por lo que también se descartó esta hipótesis.
- d).- Respecto a la información consultada, se identificó y complementó la información de 34 sitios mencionados en el informe geohidrológico del Servicio Geológico Mexicano (SGM), de éstos 25 correspondieron a pozos, 6 a mediciones de CE, un Tajo, un Tiro y una noria.
- e).- En la zona de estudio se identifican las Unidades Hidrogeológicas constituidas por: *Materiales Granulares de Baja permeabilidad (GBP)*. Compuesta por materiales granulares no consolidados (arcillas y limos que forman parte de los suelos residuales -Qsr-). *Materiales Granulares permeables (GP)*.- Integra los materiales granulares no consolidados compuestos por gravas y arenas (aluviales -Qal-). Fragmentos subangulosos y redondeados de tamaños variables. *Rocas Semipermeables (RSP)*.- Unidad constituida por: Conglomerado Sabinas, Lutitas, limolitas y areniscas (Formación Olmos), que presentan un fracturamiento de moderado a intenso en contacto con la Formación Sabinas a la que subyace y Roca alterada del Carbón (fracturamiento de moderado a intenso). *Rocas impermeables (RI)*.- formada por las rocas sanas y masivas de la Formación Olmos. Lutitas, limolitas y areniscas de buena calidad (son el basamento del acuífero alojado en el conglomerado Sabinas y en el aluvión). *Zonas de baja Permeabilidad (ZBP)*.- Esta unidad considera, únicamente, las zonas de la Formación Olmos, incluyendo las rocas de carbón y la lutita carbonosa, que registran o poseen permeabilidad secundaria (permeabilidad asociada a planos de fracturas, fallas o estratificación) y que permiten el almacenamiento y circulación del agua subterránea en forma puntual (zonas saturadas aisladas y en medios fracturados de bajo a nulo rendimiento).
- f).- No obstante que, las rocas de la unidad ZBP presentan cierto grado de fracturamiento, éste comúnmente se encuentra sellado, o bien no existe separación suficiente para

permitir la circulación del agua con facilidad y dar a esta roca el carácter de acuífero. La distribución de esta unidad obedece al arreglo y condiciones de las discontinuidades en el sitio, en donde frecuentemente el contacto roca-roca es cerrado.

g).- El funcionamiento hidrogeológico se integra por la *zona del acuífero*, su comportamiento (almacenamiento hidráulico) se asocia a la variación del espesor de material granular no consolidado constituido por arcillas y limos (suelo residual, Qsr), su recarga es directa de la precipitación, la cual una vez saturado el medio genera escurrimientos superficiales que fluyen acorde al relieve topográfico y de forma significativa en dirección y descarga a los ríos El coyote (al norte) y Sabinas (al sur) contribuyendo, previamente, a la recarga del acuífero libre.

Zona del acuífero libre (Acuífero Mina Pasta de Conchos)

Este acuífero se aloja en el aluvión (Qal), en el conglomerado Sabinas (TplCgo) y en la zona de contacto y alterada de la Formación Olmos (KmLu-Ar). Su recarga es producto de la combinación del flujo subterráneo que aportan los ríos (Sabinas y El Coyote) y de la precipitación (agua que cede el acuífero que lo sobreyace y la que se infiltra directamente desde la superficie).

Zonas con presencia de agua en medio fracturado

La recarga de estas zonas (de forma esbelta e irregular) se infiere, proviene de la infiltración de agua que fluye del acuífero que las sobreyace o están en contacto con las discontinuidades.

En este tipo de zonas es común que su permeabilidad se reduzca conforme se incrementa su profundidad, debido al cierre de las fracturas y/o relleno de fallas con arcilla, clorita y calcita (Barreno PC-1A'), dando origen a zonas saturadas aisladas, en donde frecuentemente no se tiene conexión con otra discontinuidad (los materiales tienden, gradualmente, a tener un comportamiento hidráulico característico de un acuífero y finalmente como un acuícludo). Para las zonas donde se identifica una mayor densidad de la red de fracturamiento y existe conexión hidráulica entre éstas, el movimiento local del agua subterránea es errático acorde a la orientación de las discontinuidades (medio heterogéneo). Respecto a la superficie de la fractura, en ésta existe una variación importante de la resistencia al flujo, producto de la variabilidad de la abertura y de las áreas de contacto, lo cual genera tortuosidad de las líneas de flujo sobre el plano de la fractura.

h).- El acuífero Mina Pasta de Conchos se clasifica como tipo libre (sedimentario de origen detrítico, alojado en Materiales aluviales, en la Fm Sabinas constituida por un conglomerado con diferentes grados de consolidación y en la zona alterada y de contacto con la Fm Olmos, esta última conformada por lutitas y areniscas.

i).- La extensión del acuífero se definió con base en el área donde se desarrollará la construcción de las obras subterráneas objeto del presente estudio y su entorno; por lo que éste se encuentra acotado por las fronteras hidráulicas que son: El Coyote en la parte norte y el Sabinas al sur. De oeste a este, se extiende desde el predio de "Varios

propietarios” hasta el del Sr. Raúl Wong, respectivamente, cubriendo una superficie aproximada de 15.4 Km².

j).- La profundidad del nivel estático (NE) en el área de estudio estuvo en el rango de 10.50 a 12.50 m (monitoreo junio 2021). En las zonas próximas a los ríos, la profundidad disminuye acorde al relieve topográfico; de igual forma la profundidad variará de acuerdo con las condiciones de recarga o descarga que experimente el acuífero.

k).- La dirección preferencial del flujo subterráneo fue al sureste; sin embargo, registra componentes de acuerdo a las zonas de descarga, producto de la extracción (bombeo de agua para uso agrícola, ganadero y en menor proporción uso doméstico). El gradiente hidráulico (i) fue de 0.0028.

l).- Con base en los resultados de los estudios de geología y geofísica (perfiles de barrenos, secciones, descripción del medio, pruebas de permeabilidad, sondeos y registros verticales, interpretación de resultados, etc.) se determinó el espesor del acuífero. Se considera que la base del acuífero no es uniforme, ya que se rige por las condiciones de alteración y grado de fracturamiento de la roca en la Fm Olmos; por lo que el límite es la zona donde la roca es más densa (buena calidad) con permeabilidad más baja a nula (valores que clasifican a la roca o medio geológico como impermeable), registrándose variaciones en su espesor (en el sitio del Barreno PC-13 resultó de 4.90 m y de 32.50 m en la zona del PC-20).

m).- En la parte inferior del acuífero, el agua satura la zona alterada de la roca, y en el caso de existir fracturas y fallas no selladas, ésta penetrará hasta donde la permeabilidad del medio disminuya y sea nula; es en estas zonas donde los materiales tienden, gradualmente, a tener un comportamiento hidráulico característico de un acuitardo y finalmente como un acuicludo.

n).- Con base en la información generada durante el periodo de monitoreo (diciembre 2020 a junio 2021) se aprecia que el patron de la configuración de la elevación y dirección del flujo subterráneo se mantienen, sin presentar cambios extraordinarios en su comportamiento; no obstante, se deberá de continuar con su observación, para evaluar su comportamiento de forma anual (temporadas de lluvia y estiaje) y durante el proceso constructivo de las obras subterráneas.

o).- En la zona del portal el NE fue de 12.32 m (Pzs-1), en la rampa de acceso el valor va de 12.32 a 12.16 m y la profundidad de la base del acuífero de 21.90 a 32.50 m, para el ramal principal (túneles de aproximación) el NE fue de 11.60 a 10.90 m y la profundidad de la base del acuífero se estima en los 17.20 m.

p).- Respecto al nivel del agua detectado en los barrenos efectuados para el corrimiento de registro de video (PCV-1, 2, 3, 4 y 6) y a la información antecedente consultada, se asume la existencia de agua en las galerías abandonadas de la Mina Pasta de Cochos (donde ocurrió el evento en el año 2006), inundadas a partir de la zona donde se localiza el PCV-5 (elevación del fondo del barreno de 249.93 msnm), ya que en dicho barreno no se detectó un nivel de agua (seco) que fuera indicativo de la ocurrencia de esta.