

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Río Zanjón (2626),
Estado de Sonora***

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

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

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

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

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

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

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE SONORA							
2626	RÍO ZANJÓN	94.8	7.8	100.115218	115.6	0.000000	-13.115218

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

ACUIFERO 2626 RIO ZANJON

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	110	52	26.8	29	16	51.0
2	110	52	17.1	29	13	40.0
3	110	58	18.0	29	11	31.5
4	111	5	59.4	29	28	18.8
5	111	8	3.7	29	39	22.3
6	111	14	39.5	29	45	28.8
7	111	23	38.8	29	49	22.8
8	111	20	11.2	29	52	34.2
9	111	15	40.4	29	54	45.0
10	111	10	41.5	29	55	3.6
11	111	11	5.8	30	1	5.9
12	111	2	37.8	30	12	46.2
13	110	49	28.3	30	22	6.9
14	110	45	27.8	30	4	44.0
15	110	46	38.2	29	59	6.1
16	110	42	42.5	29	58	35.4
17	110	41	27.8	29	50	35.9
18	110	37	56.3	29	43	38.5
19	110	41	16.5	29	32	57.5
20	110	48	7.1	29	29	26.3
1	110	52	26.8	29	16	51.0



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO RIO ZANJÓN,
ESTADO DE SONORA***

México, D.F., 30 de abril de 2002

CONTENIDO

- 1 GENERALIDADES
 - 1.1 LOCALIZACIÓN
 - 1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO
- 2 ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD
- 3 FISIOGRAFIA
 - 3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA
 - 3.2 CLIMA
 - 3.3 HIDROGRAFÍA
 - 3.4 GEOMORFOLOGÍA
- 4 GEOLOGIA
 - 4.1 ESTRATIGRAFÍA
 - 4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL
 - 4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO
- 5 HIDROGEOLOGIA
 - 5.1 TIPO DE ACUÍFERO
 - 5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS
 - 5.3 PIEZOMETRÍA
 - 5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
 - 5.5 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA
- 6 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS
- 7 DISPONIBILIDAD
 - 7.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL
 - 7.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA
 - 7.3 VOLUMEN ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA
 - 7.4 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

El acuífero Río Zanjón se encuentra localizada en la porción norcentral del Estado de Sonora. Limita al norte, con las Sierras Azul, El Manzanal, Los Ajos y Buenos Aires; al sur, con la Presa Abelardo L. Rodríguez y Las Sierras Santa Teresa y Mazatán; al oriente con las Sierras Cobriza, Cucurpe, Madera y Méndez y al poniente con el intrusivo granítico Espinazo Prieto.

1.1.1 COORDENADAS

El área cubre íntegramente la cuenca alta del Río Sonora con sus cuencas tributarias de los Ríos San Miguel y Zanjón. Las coordenadas del polígono para enmarcar el área se presentan en la tabla siguiente:

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	110	52	26.4	29	16	22.8	
2	110	51	10.8	29	15	50.4	
3	110	55	19.2	29	12	32.4	
4	110	57	39.6	29	12	10.8	
5	111	5	52.8	29	28	37.2	
6	111	8	9.6	29	36	0.0	
7	111	12	46.8	29	40	30.0	
8	111	17	16.8	29	46	33.6	
9	111	24	0.0	29	47	13.2	
10	111	20	34.8	29	51	7.2	
11	111	16	44.4	29	52	58.8	
12	111	10	33.6	29	53	20.4	
13	111	10	58.8	30	0	7.2	
14	111	2	27.6	30	13	22.8	
15	110	51	14.4	30	18	57.6	
16	110	38	24.0	29	39	32.4	
17	110	49	12.0	29	23	56.4	
1	110	52	26.4	29	16	22.8	

1.1.2 Municipios

El acuífero, abarca parcialmente los municipios de Santa Ana, Benjamín Hill, Opodepe, y Carbó, San Miguel de Horcasitas, y, Hermosillo.

1.1.3 Población

Dentro de la cuenca del Río Zanjón se encuentran las poblaciones de Querobabi, Carbó, Opodepe y Pesqueira así como poblaciones menores como Meresichic, Zamora y El Saucito y otras rancherías de menor importancia. La población global se calcula en 11,500 habitantes, según cifras de INEGI correspondientes al censo del año de 1995.

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO.

1.2.1 Decretos de Veda

El acuífero Río Zanjón se encuentra dentro de la zona de veda publicada en el Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación del 2 de junio de 1967, para la apertura de nuevos aprovechamientos de aguas subterráneas. Esta disposición fue ratificada en el Decreto de fecha 19 de septiembre de 1978.

1.2.2 Decretos de reserva o Reglamento

Aparte de la disposición oficial señalada en el inciso anterior, no existen declaratorias de reserva o reglamentos internos.

1.2.3 Zonas de disponibilidad

El acuífero Río Zanjón abarca parcialmente algunos municipios. De acuerdo a la clasificación de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, quedan dentro de las siguientes Zonas de Disponibilidad: Santa Ana (6), Benjamín Hill (7), Opodepe (7), Carbó (6), San Miguel de Horcasitas (5) y Hermosillo (4).

1.2.4 Organización de Usuarios

Los usuarios del sector agrícola del acuífero Zanjón son ejidales y particulares; los ejidales se encuentran afiliados a Organizaciones Campesinas como la CCI, CNC, etc., en tanto que los particulares no cuentan con una organización aún bien definida, salvo que la Comisión Nacional del Agua está promoviendo la integración de los Consejos de Cuenca. La SAGAR, brinda apoyo Técnico agropecuario a los usuarios del sector social en forma permanente a través Centros de Apoyo Agropecuario que se localizan en Carbó y Hermosillo. El usuario agrícola es el de mayor importancia y está representado por pequeños propietarios productores de frutales, destacando la uva de mesa de exportación así las distintas Unidades de Riego ejidales; el uso público urbano está representado por la Comisión Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Sonora, COAPAES, y por Organismos Operadores Municipales.

1.2.5 Distritos y Unidades de Riego

La zona de este acuífero queda dentro de la jurisdicción de los Distritos de Desarrollo Rural No 142.-Ures y 144 - Hermosillo, dependientes de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Estructuralmente, la SAGAR cuenta con la oficina del distrito de Desarrollo Rural con sede en la población de Ures, además de Centros de Apoyo Técnico en San Miguel de Horcasitas y en Carbó. La propia Dependencia ha organizado a los usuarios del sector agrícola en Unidades de Riego, las cuales se benefician con obras de aguas subterráneas como norias, galerías y pozos someros.

1.2.6 Usuarios mayores de agua subterránea

El mayor usuario de este acuífero está representado por el uso agrícola, seguido por el uso público urbano de las poblaciones descritas anteriormente y finalmente por los usuarios del sector doméstico y pecuario.

2 ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el año de 1970, la Secretaría de Recursos Hidráulicos llevó a cabo el estudio denominado “Estudio de Hidrología superficial de los valles de los Ríos San Miguel, Sonora, Zanjón, Bacoachi y Mátape, Sonora” por la Compañía Ariel Construcciones, S.A.

En el mismo año de 1970, la Secretaría de Recursos Hidráulicos llevó a cabo el estudio denominado “Censo de Aprovechamientos Hidráulicos (superficiales y subterráneos) en los valles del Río San Miguel, desde San Miguel de Horcasitas hasta Opodepe, Sonora” por la Compañía Ariel Construcciones, S.A.

En el año de 1977, la secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos encomendó a la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. el estudio denominado Informe Final del “Estudio geohidrológico de las cuencas Altas de los Ríos Sonora, Zanjón y San Miguel”, que se llevó a cabo en el año de 1977.

La misma SARH, llevó a cabo en el año de 1987 el “Estudio de Integración Geohidrológica en el Valle del Río Zanjón y Zonas Aledañas para proporcionar Agua en Bloque a la Ciudad de Hermosillo, Sonora.” Por medio de la empresa Consultores en Agua Subterránea, S.A.

3 FISIOGRAFIA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

El Río Zanjón con una superficie de cuenca de 4350 km², nace en el flanco occidental de la Sierra de Cucurpe, a una altitud de 1,150 metros sobre el nivel del mar. Su desarrollo lo efectúa en el extremo occidental de la Sierra de Cucurpe, a una altitud de 1,150 metros sobre el nivel del mar. Su desarrollo lo efectúa en el extremo occidental del área de estudio, limitada en este extremo por las Sierras de Caracahui, Méndez y la Cobriza, constituidas por rocas ácidas intrusivas. Al pie de

estas sierras, localizadas en la margen derecha del río Zanjón y representando un bajo tectónico del bloque constituido por las sierras, se encuentra expuesta una terraza erosional que se extiende desde Querobabi a Hermosillo, compuesta por materiales de diferente granulometría que han sido acarreados y depositados por la gran cantidad de arroyos que descienden de las sierras antes mencionadas.

Sobre la margen izquierda de este Río Zanjón existe la misma morfología, siendo en este caso los conglomerados quienes forman a las terrazas localizadas al pie de las serranías.

En conjunto puede decirse, que el Río Zanjón presenta características topográficas simétricas hacia ambos lados del río hasta antes de su confluencia con el Río San Miguel, a la altura del Ejido de Zamora.

En conjunto, las principales formas morfológicas que se encuentran expuestas en el área de estudio están representadas por valles, sierras y terrazas. Los valles están constituidos por materiales de relleno Terciarios y Cuaternarios; las sierras por rocas intrusivas, sedimentarias, volcánicas y metamórficas y las terrazas por los conglomerados de la Formación Báucarit (King, 1939).

3.2 CLIMA

El análisis climatológico se efectuó por medio de los datos de precipitación pluvial, temperatura y evaporación, registrados en 17 estaciones climatológicas, de las cuales 11 se encuentran localizadas dentro del área de estudio y las 6 restantes fuera de ella.

Con base en la información disponible, se seleccionó el período 1960-1976; el cual comprende los últimos 16 años. Para intervalo de tiempo se efectuó el análisis de la precipitación, la temperatura y la evaporación del área. Este análisis, se llevó a cabo para la superficie total de estudio y también para cada una de las subcuencas que integran el área. El método utilizado fue básicamente el de Polígonos de Thiessen, aunque también se construyeron las isoyetas e isotermas anuales con el objeto de conocer la distribución de la lluvia y la temperatura media anual en el área de estudio.

3.2.1 Temperatura media anual

Para el período 1960-1976, la temperatura media anual en el área de estudio varía de unos 17° C en la cabecera de la cuenca del río Sonora, a unos 24° C en las inmediaciones de la Ciudad de Hermosillo. En términos generales las temperaturas más bajas corresponden a las zonas montañosas y las más altas a la zona de planicie en la Mesa del Seri.

La temperatura media anual del área de estudio es de unos 21° C, registrándose la más alta temperatura en la estación climatológica Abelardo L. Rodríguez (24.2° C); y la más baja, en la estación Cananea (16.3° C) localizada en el extremo norte del área.

La temperatura cálida se presenta de Junio a Septiembre con temperaturas medias entre 27 y 31° C; y la temporada fría, se presenta durante los meses de Diciembre y Enero, con temperaturas medias entre 12.8 y 14.6° C.

3.2.2 Precipitación Media Anual

La precipitación media anual del área de estudio en el período 1960-1976 fue de 400.6 mm. Las precipitaciones promedio registradas en las estaciones climatológicas, varían entre 268.6 y 542.6 mm/año, presentándose las más altas en las estaciones Cananea (504.6 mm) y Mazatán (542.6 mm) localizadas en los límites hidrográficos norte sureste respectivamente. Las más bajas precipitaciones se registran en la subcuenca del río Zanjón: estación Querobabi 268.6 mm y estación Carbó 294.3 mm. En la estación Presa Abelardo L. Rodríguez también se registró una de las más bajas precipitaciones anuales: 273.3 mm.

De acuerdo con el número y distribución de las estaciones climatológicas las más representativas por su área de influencia y por su precipitación media anual más próxima a la media anual del área de estudio son:

3.2.3 Evaporación Potencial media anual

La mayoría de las estaciones climatológicas del área de estudio, no miden la evaporación potencial. Sin embargo, de acuerdo con la información disponible en algunas de ellas, se estima que la evaporación potencial es de unos 2400 mm/año.

3.3 HIDROGRAFÍA

3.3.1 Región hidrológica

El acuífero Río Zanjón queda comprendido dentro de la Región Hidrológica RH-9, Sonora Sur.

3.3.2 Subregión

De acuerdo con la clasificación hidrológica que se dispone para esta zona, no se tiene información sobre subregiones hidrológicas.

3.3.3 Cuenca

El acuífero Río Zanjón, se ubica dentro de la cuenca 9A-Río Sonora.
Esgurrimiento Superficial

Los esgurrimientos del Río Sonora a la altura de la Presa Abelardo L. Rodríguez se determinaban antes de la construcción de ésta, por la suma de los esgurrimientos registrados en la estación hidrométrica de Hermosillo, situados en el Río y sobre el Canal Principal. El esgurrimiento medio anual total observado fue de 216.2 millones de m³, para dos años de información (1945 y 1946). La avenida máxima fue de 1240 m³/s. Y el gasto mínimo de 0.68 m³/s.

Los principales aportadores del Río San Miguel son el Río Sarachi y el Río Zanjón, que nace en el parteaguas común con los Río San Miguel y el arroyo de La Tinaja, situados al oriente de la cuenca del Asunción en el Cerro Encarnado y a una elevación de 1,780 msnm. Su curso general es sur, pasa por Querobabi y Carbó, Son. Y confluye al Río San Miguel. Los principales aportadores del Río Zanjón son el arroyo El Pinito por la margen derecha, a 17 km aguas debajo de Carbó, Son., Y el arroyo Moreno, que desemboca por la margen izquierda, a 18 km aguas arriba de Zamora, Son.

El hidrograma para Julio de 1944 a Abril de 1947 que es la única historia hidrométrica del escurrimiento superficial antes de ser construida la presa. Se determinó que en esta porción del río el régimen de escurrimiento es perenne.

El volumen escurrido durante el período de recesión se estimó del orden de 28.7 millones de m³, y contribuye con el 12% del volumen total escurrido.

Comparando el volumen de flujo base entre las estaciones hidrométricas El Orégano y Hermosillo para los mismos años, se nota que para períodos homogéneos en tiempo (180 días considerados de la Estación Hermosillo), por la estación El Orégano pasarán 2.4 millones de m³, contra los 28.7 millones de m³ que se registran en la Estación Hermosillo, que equivale a un incremento de 26.3 millones de m³ en la Estación Hermosillo.

Si se considera un tiempo de duración del flujo base igual al registrado en la Estación El Orégano de 150 días, bajo la condición de contabilizar el volumen escurrido en el período de invierno, se tiene un volumen escurrido en la Estación El Orégano es de 2 millones de m³, mientras que en la Estación Hermosillo se registra un volumen de 23.9 millones de m³.

Como se puede apreciar, existe una alimentación de 1690 lps. Entre las estaciones El Orégano y Hermosillo, debido posiblemente a la alimentación del Río San Miguel de Horcasitas.

Debido a que este análisis fue hecho con datos de 1945 a 1947, es muy factible que la alimentación del acuífero Río Zanjón al escurrimiento superficial, en la actualidad, sea inferior debido al fuerte incremento de la extracción de agua subterránea por norias y pozos a lo largo de los valles intermontanos en la cuenca del Río Zanjón.

El volumen de flujo base que contribuye al escurrimiento anual en un porcentaje muy bajo, únicamente aporta el 1.6% del escurrimiento superficial.

Los hidrogramas en papel semilogarítmico de gastos medios diarios (escala logarítmica) contra tiempo donde se determinaron los períodos de recesión o descenso del flujo base del río. Durante el período de estiaje el escurrimiento superficial sigue una ley exponencial del tipo

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (a)$$

Donde

Q_t es el caudal en el instante t en función del caudal Q_0 en un instante t_0 anterior, tomado como origen el período de recesión

Es el coeficiente de decaimiento igual a:

$$\alpha = \frac{\ln Q_0 / Q_t}{t}$$

t

La fórmula (a) puede escribirse bajo la forma:

$$\text{Log } Q_t = \text{Log } Q_o - \text{Log } e$$

Que muestra que en coordenadas semilogarítmicas la curva de descenso está representada por líneas rectas.

En el período de recesión se detectaron dos rectas, la primera que comprende de fines de Octubre a Marzo, cuya pendiente de descenso es muy suave debido a las lluvias invernales que se efectúan durante este período y que sostienen el flujo superficial.

Del mes de Marzo a Junio la pendiente de la recta se vuelve más fuerte hasta que llega a agotarse el escurrimiento superficial. El período que se considero para el período de estiaje fue el segundo tramo con una duración promedio de 94 días y un volumen medio escurrido de 0.8 millones de m³.

3.3.4 Subcuenca

La subcuenca hidrológica a la que pertenece este acuífero está identificada como 9A – 3. Río Zanjón.

3.3.5 Infraestructura hidráulica

La infraestructura hidráulica que se tiene en este acuífero consiste de obras de captación de agua subterránea del tipo pozos profundos y someros, así como norias en su mayoría, algunos manantiales obras de toma directa del río. Los pozos se utilizan para fines agrícolas, domésticos y pecuarios; las norias son en general para usos domésticos. Hacia la parte baja del acuífero, se localiza la zona agrícola de frutales y forrajes que se benefician con pozos profundos los cuales operan con energía eléctrica.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

En conjunto, las principales formas morfológicas que se encuentran expuestas en el área de estudio están representadas por valles, sierras y terrazas. Los valles están constituidos por materiales de relleno Terciarios y Cuaternarios; las sierras por rocas intrusivas, sedimentarias, volcánicas y metamórficas y las terrazas por los conglomerados de la Formación Báucarit (King, 1939). Se caracteriza geomorfológicamente por la presencia de una serie de sierras y lomas paralelas, con orientación Noreste-Sur y separadas entre sí por valles angostos. Los valles están constituidos por materiales de relleno Terciarios y Cuaternarios; las sierras por rocas intrusivas, sedimentarias, volcánicas y metamórfica; y las terrazas, por conglomerados de la formación Báucarit.

En conjunto, las principales formas morfológicas que se encuentran expuestas en el área de estudio están representadas por valles, sierras y terrazas. Los valles están constituidos por materiales de relleno Terciarios y Cuaternarios; las sierras por rocas intrusivas, sedimentarias, volcánicas y metamórficas y las terrazas por los conglomerados de la Formación Báucarit (King, 1939).

4 GEOLOGIA

4.1 ESTRATIGRAFÍA.

Se utilizaron durante los reconocimientos hidrogeológicos de campo, criterios de interpretación basados en las características morfológicas (estructura) de las rocas, tipo y grado de erosión e intemperismo, arreglo de drenaje y en forma estimativa densidad; clasificación megascópica de campo y posición relativa entre formaciones.

Una descripción estratigráfica muy generalizada y enfocada directamente al aspecto hidrogeológico. Tomando como base esta descripción, se agruparon las formaciones expuestas en grupos según su grado de permeabilidad.

Paleozoico

Las rocas más antiguas que afloran en el área de estudio, son las correspondientes al tipo Paleozoico. Por su antigüedad, estas rocas se encuentran cubiertas por depósitos más jóvenes o muy erosionadas, por lo cual sus afloramientos se encuentran distribuidos en poca proporción con respecto a la columna geológica del área. Refiriéndose a éstas, en el estudio realizado por la Universidad Nacional, las nombra solamente como unidades del Paleozoico Metamórfico, en tanto que en el realizado en 1970, se les identifica como cuarcitas y calcarenitas con cierto grado de metamorfismo, que se indica en las calcarenitas por una marmolización.

Esta descripción coincide bastante bien con la que se realizó en el estudio elaborado por Carl Fries Jr. (1962), para Petróleos Mexicanos, en el que se refieren a ellas como capas de calizas con pedernal e intercalaciones de cuarcita y rocas pizarrosas correspondientes al Paleozoico Inferior.

Los afloramientos de la Era Paleozoica dentro del área de estudio, tienen su mayor expresión en el borde norte de la cuenca y en una línea de dirección sensiblemente norte-sur, siguiendo aproximadamente la traza del cauce del Río San Miguel; la ocurrencia de estos afloramientos Paleozoicos en una línea, se debe probablemente a los movimientos originados hacia fines del Mesozoico y principios del Terciario, que elevaron el bloque tectónico sobre el que se encontraban estos afloramientos, por lo que actualmente pueden encontrarse expuestos sobre una traza de falla. Por sus características físicas de compacidad, estas rocas son de naturaleza impermeable.

Mesozoico

Sobreyaciendo a estas rocas del Paleozoico, se encuentran las correspondientes al Mesozoico, las que en el área de estudio tienen una distribución muy restringida y están representadas por sedimentos clásticos del Grupo Barranca, cuya edad ha sido asignada al Triásico y por calizas y areniscas del Cretácico Inferior. Los afloramientos de rocas triásicas se encuentran expuestas en el extremo noreste de la cuenca y los del Cretácico medio en su porción sur.

Hacia esta misma Era y hacia fines del Periódico Cretácico, tuvo lugar la aparición de las rocas plutónicas representadas por granitos y granodioritas que intrusieron a las rocas Paleozoicas y a las correspondientes a la parte inferior y media del Mesozoico. Estas masas intrusivas tienen una extensa distribución en el área, sobre todo en la parte oriental y central donde forman cadenas montañosas.

El conjunto de rocas del Paleozoico y Mesozoico descritas en los párrafos anteriores, constituyen el basamento geológico regional; sobre ellas, se depositó una potente columna de sedimentos Cenozoicos, que transformó notablemente sus propiedades físicas debido al peso ejercido sobre ellas, anulando prácticamente la permeabilidad intersticial de los sedimentos y sellando las fracturas de los granitos y calizas.

Cenozoico (Terciario)

Dentro del área de estudio, son las rocas del Cenozoico las que tienen mayor distribución horizontal, ya que entre rocas sedimentarias y volcánicas cubren aproximadamente dos terceras partes de la superficie de la cuenca. Las rocas volcánicas están compuestas por emisiones lávicas de naturaleza ácida e intermedia como son riolitas y andesitas. Casi contemporáneo con estas emisiones lávicas, debe haberse sucedido las correspondientes a emisiones de piroclásticos finos que dieron lugar a la formación de las tobas volcánicas que afloran en la porción norte de la cuenca.

Dentro del grupo de rocas Cenozoicas, específicamente de la época Terciaria, se encuentran expuestos enormes espesores de conglomerados continentales de la Formación Báucarit, nombrada así por King en 1939 y quien distinguió dos miembros en esta unidad; el superior, que consiste de arenas, arcillas y conglomerados poco consolidados y el inferior que se compone de conglomerados bien consolidados.

Cenozoico (Cuaternario)

Sobreyaciendo a los conglomerados de la Formación Báucarit, se encuentran los depósitos aluviales y fluviales del Cuaternario; formados por boleos, gravas, arenas, arcillas y limos. Tienen una distribución horizontal muy reducida, ya que se encuentran supeditados a los cauces de los ríos y arroyos y a las vegas y planicies de inundación de los mismos.

Estos materiales aluviales y fluviales del Cuaternario, constituyen un acuífero libre de alta transmisividad y de altos valores de caudales específicos, donde quedan alojadas la mayor parte de las obras de explotación de aguas subterráneas de la cuenca estudiada.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Formación de la Cuenca.

Hacia fines del Cretácico y principios del Terciario, el paisaje geológico de la región estaba conformado por enormes plegamientos de rocas Paleozoicas, Triásicas y Cretácicas, que se extendían hacia el oriente, casi hasta la cuenca de Chihuahua. Hacia esa misma época, la Orogenia Laramide con su fase compresiva. Dio origen a un proceso de afallamiento en bloques

debilitando la corteza terrestre, lo que permitió intrusión de enormes masas de rocas graníticas que levantaron los bloques afallados. Las profundas y extensas fisuras producidas por la deformación de la corteza terrestre, sirvieron de vía de escape a emisiones de lavas riolíticas y andesíticas que cubrieron con sus emisiones extensas superficies.

Al rejuvenecerse el paisaje y por el efecto de las pulsaciones de la gran revolución, se inició una intensa y prolongada etapa de erosión, que acumuló en las fosas tectónicas y sobre las tierras menos elevadas grandes espesores de conglomerados, arenas y arcillas que componen parte inferior de la Formación Báucarit.

Hacia la parte media del Terciario, Eoceno-Oligoceno, las últimas pulsaciones de la Revolución Larámide, propiciaron el asentamiento y nuevo afallamiento de los bloques tectónicos, formándose así el “graben” de la subcuenca del Río Zanjón, y los bajos tectónicos de los ríos San Miguel y Sonora.

La última etapa del proceso geológico de la región, está representada por un nuevo ciclo de erosión, cuyo mayor desarrollo se ubica dentro del Terciario, pues abarcó todo el Oligoceno y parte del Mioceno, cubriendo aproximadamente unos 30 millones de años; tiempo durante el cuál tuvo lugar el depósito de la parte superior de la Formación Báucarit, bajo diversos ambientes de depósito y condiciones climatológicas alternadas de humedad y sequías prolongadas, que dieron como resultado, los cambios de facies litológicas que se encuentran expuestos en esta Formación, dentro los que destacan por su funcionamiento hidrogeológico, fuertes espesores de arcillas que producen un confinamiento hidráulico en algunos pozos de la zona de Pesqueira.

Con la información que se dispone sobre la geología del subsuelo en esta zona, parece lícito inferir que los paquetes arcillosos de hasta 100 metros de espesor que confinan los lentes arenosos ó antiguos cauces sepultados, tuvieron su origen en áreas bajas inundadas, hacía donde se acumularon materiales finos predominantemente. Estas condiciones de depósito solo se han encontrado en esta zona, tal vez por ser ella donde se localizan los pozos más profundos de la subcuenca y donde existe mayor información sobre geología del subsuelo. En el resto de la subcuenca no se cuenta con esta información, no pudiéndose asegurar que la zona de Pesqueira represente una anomalía local ó que por el contrario, en toda la subcuenca existan a profundidad las mismas condiciones de depósito, lo cuál podría esperarse dado que esta subcuenca fue la más baja de las tres. En las subcuencas de los ríos San Miguel y Sonora no se ha detectado esta condición hidrogeológica.

El término del depósito de la Formación Báucarit, en las postrimerías del Mioceno, marca el fin de los efectos de la Revolución Laramide, terminando la época Terciaria con emisiones de tobas riolíticas y andesíticas en el Plioceno.

Al abrirse el Cuaternario, ya se encontraba prácticamente delineado el sistema de drenaje actual, iniciándose el modelado del paisaje de las tierras altas y de corte y depósito sobre los calle rellenos de conglomerados, de depósitos aluviales y fluviales Cuaternarios, los que por el corto tiempo transcurrido desde el inicio de la Era, forman apenas una cubierta de poco espesor sobre el relleno Terciario.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

La mayor parte de los cortes litológicos de pozos se encuentran concentrados en la parte baja de las subcuencas de los ríos San Miguel y Zanjón y principalmente en los alrededores de Pesqueira.

Con el objeto de aprovechar de la mejor forma esta valiosa información existe sobre la geología del subsuelo y con los antecedentes que se tenían de la zona sobre algunas manifestaciones de artesianismo, se decidió ampliar el conocimiento de las características hidrogeológicas a profundidad, con la ejecución de 14 sondeos eléctricos de resistividad agrupados en los perfiles geoelectricos. Estos Perfiles están emplazados más bien en la zona de confluencia con el Río Zanjón.

Tomando como base la interpretación de los resultados obtenidos con estos perfiles geoelectricos y con el apoyo de 11 cortes litológicos de pozos se formó el bloque diagramático, en el cual se ilustran las estructuras de estos valles.

La integración e interpretación de resultados derivados de sondeos directos e indirectos, puso de manifiesto la existencia de materiales, que por su granulometría, pudieron ser divididos en dos grandes miembros hidrogeológicos: el A, al que pertenecen gravas y arenas permeables y el B, donde los bajos valores de resistividad indican un predominio de material arcilloso que reduce considerablemente la permeabilidad del miembro. A su vez, ambos miembros fueron divididos en dos capas, atendiendo a la compacidad de las gravas y arenas para el miembro A y al aumento de arenas y limos en el B.

El bloque diagramático, el subsuelo del área investigada esta conformado por una alternancia de capas de diferente litología, sucediéndose inclusive cambios de facies dentro de una misma capa.

Por otra parte puede observarse que la distribución horizontal y vertical de las capas permeables (a1 y A2) y la semipermeable (B2), tienen una distribución errática dentro de la capa impermeable (B1) de mayor persistencia en esas dos dimensiones. Esta circunstancia origina la ocurrencia de niveles de agua subterránea a diferentes presiones por la existencia de capas permeables confinadas y semiconfinadas.

El bloque ilustra la posición de los niveles piezométricos de los acuíferos Inferior y confinado; este último observado en los pozos 387 y 399, detectado en el pozo 371* del Ferrocarril de la Estación Pesqueira.

Así mismo, la traza del nivel piezométrico del acuífero inferior; corresponde a la proyección del nivel del Pozo Enrique situado en la terraza estructural occidental; y la correspondiente al nivel ubicado en los depósitos inferiores al cauce del Río San Miguel.

5 HIDROGEOLOGIA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

Como se mencionó al inicio del capítulo, la mayor parte de los cortes litológicos de pozos se encuentran concentrados en la parte baja de las subcuencas de los ríos San Miguel y Zanjón y principalmente en los alrededores de Pesqueira.

Con el objeto de aprovechar de la mejor forma esta valiosa información existe sobre la geología del subsuelo y con los antecedentes que se tenían de la zona sobre algunas manifestaciones de artesianismo, se decidió ampliar el conocimiento de las características hidrogeológicas a profundidad, con la ejecución de 14 sondeos eléctricos de resistividad.

La integración e interpretación de resultados derivados de sondeos directos e indirectos, puso de manifiesto la existencia de materiales, que por su granulometría, pudieron ser divididos en dos grandes miembros hidrogeológicos: el A, al que pertenecen gravas y arenas permeables y el B, donde los bajos valores de resistividad indican un predominio de material arcilloso que reduce considerablemente la permeabilidad del miembro. A su vez, ambos miembros fueron divididos en dos capas, atendiendo a la compacidad de las gravas y arenas para el miembro A y al aumento de arenas y limos en el B.

El subsuelo del área investigada esta conformado por una alternancia de capas de diferente litología, sucediéndose inclusive cambios de facies dentro de una misma capa.

Por otra parte la distribución horizontal y vertical de las capas permeables (a1 y A2) y la semipermeable (B2), tienen una distribución errática dentro de la capa impermeable (B1) de mayor persistencia en esas dos dimensiones. Esta circunstancia origina la ocurrencia de niveles de agua subterránea a diferentes presiones por la existencia de capas permeables confinadas y semiconfinadas.

La correlación especial entre los diferentes planos que componen el bloque es aventurada; por una parte, debido a la separación existente entre ellas y por otra, como se consignó anteriormente, a la errática distribución de las capas originada por las condiciones de depósito de la Formación Báucarit. Sin embargo, en términos generales, parece existir una cierta correlación entre las capas que componen los planos, lo cual solamente podría asegurarse por medio de un programa de exploraciones complementario que permita inferir con mayor aproximación la correlación espacial entre las capas.

Esta exploración complementaria cobra especial importancia, si se toma en cuenta que esta área ha sido contemplada tentativamente como una fuente adicional de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Hermosillo.

La exploración propuesta, conlleva un objetivo dual: delimitación espacial de las capas permeables de la Formación Báucarit donde se aloja el acuífero inferior y confinado del área. De esta manera, podría definirse el sistema geométrico de los acuíferos de la zona, a partir de la cual

y utilizando el conocimiento sobre las características físicas de ellos, realizar una evaluación local de la potencialidad hidráulica.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

5.2.1 Pruebas de Bombeo

De acuerdo con la información contenida en los estudios, las pruebas de bombeo que se llevaron a cabo consistieron en una etapa de abatimiento y una de recuperación; su duración dependió del comportamiento del nivel del agua y de la disponibilidad de los pozos.

Con el objeto de determinar las características hidráulicas de los acuíferos: coeficientes de transmisividad T , caudal específico Q_e y coeficiente de almacenamiento S , se llevaron a cabo 12 en la cuenca del río Zanjón.

En ninguna de las pruebas realizadas se contó con pozos de observación; las observaciones se limitaron al pozo de bombeo. La utilidad de las pruebas sin pozos de observación es limitada, pues la interpretación del comportamiento del nivel del agua en el pozo de bombeo solo permite estimar, en el mejor de los casos, deducir el coeficiente de transmisividad, y no proporciona información respecto al coeficiente de almacenamiento.

Método de Interpretación.

Para su interpretación las observaciones se graficaron en trazado semilogarítmico. Los métodos de interpretación utilizados fueron el de Jacob, Hantush en pozos y el de Papadópulos en norias. En cada gráfica se anotan las expresiones matemáticas utilizadas según el método elegido. Como información complementaria de mucha utilidad, se calculó el valor de caudal específico o caudal por unidad de abatimiento. Este parámetro representa en una forma más objetiva la capacidad transmisora del acuífero; un caudal específico alto refleja una alta transmisividad y viceversa. Esto permite utilizarlo como un indicador de ésta, cuando las pruebas no resultan interpretables; o cuando se carece de ellas. Presenta, además, la ventaja de no ser afectado por errores de interpretación, ya que está dado por el coeficiente de dos términos medidos (Caudal y abatimiento).

En algunos casos, el caudal específico permite inferir el valor del coeficiente de transmisividad, mediante expresiones matemáticas deducidas en la teoría de la Hidráulica de Pozos.

Se cree que en la mayoría de las pruebas realizadas, el sistema de flujo real debe de ser más complicado que los analizados por Theis, Jacob y Hantush. La presencia de estratos arcillosos entre el nivel freático y el cedazo del pozo, da lugar a un comportamiento tipo semiconfinado; la cementación de una parte del espesor del acuífero induce efectos de penetración parcial; el movimiento del nivel freático en materiales finos implica un retraso en el drenado vertical, etc. Pero, para efectos prácticos, los resultados de las pruebas dan una idea aproximada de la distribución de las características hidrodinámicas, advirtiéndose que las transmisividades deducidas corresponden a la porción del acuífero captado por el cedazo del pozo, y que el coeficiente de

almacenamiento corresponde al área afectada por el bombeo y a tiempos cortos, no reflejando necesariamente el tipo de comportamiento que deben tener los acuíferos a escala regional y para tiempos largos.

Distribución de Transmisividad

La distribución de los valores de Transmisividad en este acuífero fue de 2×10^{-4} y 2×10^{-2} m²/s.

5.3 PIEZOMETRÍA

En este acuífero se cuenta con información piezométrica correspondiente a los meses de Octubre de 1970, 1975, 1976 y del período Marzo – Agosto de 1977. Los datos de 1970 fueron obtenidos por la Cía. Ariel Construcciones, S.A., durante el estudio de esta zona que realizaron en ese año; la información de 1975 y 1976 es muy escasa y fue obtenida por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

La Comisión Nacional del Agua ha realizado actividades de piezometría en coordinación con los Distritos de Riego y de Desarrollo Rural la parte baja del acuífero, propiamente en el área cercana de Pesqueira y hacia las proximidades con el acuífero Mesa del Seri-La Victoria. Hacia la parte alta del acuífero, la información de piezometría es aislada y escasa.

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

5.4.1 Profundidad al Nivel Estático.

Dentro de esta subcuenca en el área que se localiza entre la confluencia de los ríos Zanjón y San Miguel y la Población de Pesqueira, se definieron tres sistemas acuíferos: Acuífero superior, constituido por los depósitos aluviales y fluviales del río; Acuífero Inferior, constituido por materiales del Terciario: terrazas erosionales por la margen derecha del río y conglomerados de la formación Báucarit, por la margen izquierda; Acuífero Confinado, constituido por materiales granulares (Gravas y arenas), alojados dentro de la misma formación Báucarit, que se encuentran confinados por facies arcillosas características de dicha formación. En el resto de la subcuenca, los depósitos aluviales del río, las terrazas de la margen derecha y los conglomerados de la margen izquierda, forman una sola unidad acuífera.

Acuífero Superior (Depósitos Aluviales y Fluviales del Río)

En este acuífero, las profundidades al nivel estático varían entre 5 y 15 metros, en términos generales, las profundidades menores se encuentran en las cercanías del cauce, incrementándose hacia las márgenes y hacia arriba del río.

Acuífero Inferior (Terrazas y Conglomerados).

En las terrazas, el nivel del agua subterránea se encuentra a profundidades entre 20 y 40 metros, aumentando desde las márgenes del río, hacia los bordes de la cuenca. En los conglomerados de la profundidad al nivel estático varía entre 20 y 30 metros, encontrándose las mayores profundidades hacia la confluencia de los ríos Zanjón y San Miguel.

Acuífero Confinado.

Los niveles del agua en este acuífero de extensión probablemente muy reducida y limitada a los antiguos cauces que labraron el conglomerado de la Formación Báucarit, se han puesto de manifiesto solamente en 5 pozos, los números 371, 385, 386, 387 y 399, localizados a unos 15 kilómetros al norte de la confluencia de los ríos Zanjón y San Miguel, entre la población de Pesqueira y el Rancho Cerro Pelón.

Se sabe que tres de estos pozos, los números 371, 385 y 389, fueron brotantes, los dos restantes encontraron el nivel del agua a unos 15 metros; actualmente la profundidad de los niveles del agua de estos pozos en la siguiente: 7 metros en el pozo 371 (F.C. Pesqueira), 13 metros en el pozo 385 (pozo de estudio Ariel Construcciones, S.A.), 18 metros en el pozo 399 (Cerro Pelón) y de 27 metros en los pozos 386 y 387, estos últimos localizados en una porción topográficamente más alta que los otros 3 pozos.

En el resto de la subcuenca (Parte alta), desde la confluencia del arroyo Moreno con el río San Miguel, hasta la población de Querobabi, en el nivel del agua subterránea se encuentra a profundidades que varían de 20 a 70 metros. Las profundidades menores, se encuentran a la altura de dicha confluencia, incrementándose gradualmente hasta la población de Querobabi. Independientemente de esta variación de la profundidad al nivel estático, regulada por el desarrollo topográfico del río Zanjón hacia aguas arriba; en términos generales, también se observan variaciones laterales dentro del mismo rango, encontrándose las profundidades menores entre 20 y 30 metros, en las áreas cubiertas por los depósitos aluviales del río, incrementándose estas profundidades hasta 40 ó 65 metros en las terrazas y conglomerados por la margen derecha e izquierda del río, respectivamente. Aguas arriba de la población de Carbó, es muy posible que las profundidades al nivel del agua de los conglomerados aumente gradualmente hasta unos 100 metros, pero esto no es posible aseverarlo, puesto que no hay obras que lo confirmen. Esta hipótesis se basa únicamente en la profundidad al nivel estático de 95 metros, encontrada en el pozo 622 que se localiza en Santa Elena, a unos 35 kilómetros al noroeste de Carbó, Son.

5.4.2 Elevación del nivel estático.

Con apoyo de los datos de niveles del agua subterránea referidos al nivel del mar, se trazaron curvas de igual elevación del nivel estático. Las configuraciones así obtenidas permiten inferir las direcciones del flujo subterráneo: en el subsuelo el agua sigue trayectorias normales a dichas curvas y en el sentido en que decrece la carga hidráulica.

Dentro de esta subcuenca, en el área comprendida entre la confluencia con el río San Miguel y con el Arroyo Moreno, existen los mismos tres sistemas acuíferos definidos en los párrafos anteriores: superior, inferior y confinado.

En esta área las elevaciones del nivel estático de los acuíferos superior e inferior tienen una diferencia de unos 10 metros en las inmediaciones de Pesqueira. Esta diferencia se va reduciendo gradualmente hacia aguas abajo del Río Zanjón, y aún después de su confluencia con el Río San Miguel, hasta El Alamito, donde los dos sistemas acuíferos superior e inferior se unen formando un acuífero único.

Las elevaciones del nivel estático del acuífero superior varían desde 340 msnm en las cercanías de la confluencia del Río San Miguel y Arroyo Moreno hasta 265 msnm en El Alamito. El flujo subterráneo sigue sensiblemente la misma dirección que el Río Zanjón con una gradiente medio de flujo de 3.5 al millar. En general, la explotación no ha modificado notablemente el esquema natural del flujo subterráneo, solamente en las proximidades con el Río San Miguel, el bombeo ha provocado un cono de abatimiento, interceptando gran parte de la descarga subterránea del acuífero. En condiciones naturales, esta descarga constituía las aportaciones del Río San Miguel, procedentes de su afluente principal del Río Zanjón.

Por lo que respecta al acuífero inferior, las elevaciones del nivel estático varían entre 330 msnm en la confluencia del Arroyo Moreno y 260 msnm en la confluencia con el Río San Miguel. El esquema de flujo subterráneo no se ha visto fuertemente modificado por la explotación, tiene una dirección predominante noroeste – suroeste. Pueden apreciarse las aportaciones que el acuífero recibe por la margen derecha del Río Zanjón, procedentes de las terrazas erosionales.

Cabe señalar que el esquema de flujo subterráneo obtenido, solamente proporciona una idea muy aproximada de las direcciones dominantes del flujo subterráneo, debido a que la distribución de los pozos ubicados en las terrazas y en los conglomerados es inadecuada para la construcción de una mejor red de flujo, que muestre las condiciones más reales del esquema. Sin embargo los datos disponibles fueron suficientes para determinar la existencia de este acuífero inferior, puesto que como ya se mencionó anteriormente, en pozos que captan este acuífero y que se localizan dentro de los límites de los depósitos aluviales del río tienen elevaciones del nivel estático, inferiores hasta en 10 metros en el área de Pesqueira.

El probable esquema de flujo del acuífero confinado, se describió en el párrafo anterior al hablar del pozo 399 que se encuentra en el Río San Miguel.

En la parte alta del Río Zanjón, desde la confluencia con el Arroyo Moreno hasta Querobabi, los depósitos Cuaternarios y Terciarios funcionan a escala regional como una sola unidad acuífera. Es decir, en esta área no se encontraron diferencias notables entre las elevaciones del nivel estático, que definen dos sistemas, como en los casos anteriores.

Las elevaciones del nivel estático de esta unidad acuífera, varían desde unos 620 msnm en la cabecera de la subcuenca, por las proximidades de Querobabi; hasta 340 msnm en la confluencia del arroyo Moreno, El flujo subterráneo sigue sensiblemente las mismas direcciones que el escurrimiento superficial; el gradiente medio de flujo es de 3.5 al millar. Pueden apreciarse las

aportaciones subterráneas que recibe el acuífero por la margen derecha del Río Zanjón, aportaciones procedentes de las Terrazas erosionales.

En general, la explotación no ha modificado notablemente el esquema natural del flujo, solamente en las inmediaciones del poblado de Carbó, el bombeo ha provocado dos conos de abatimientos interceptando el flujo subterráneo que constituye las aportaciones al área que se localiza aguas debajo de Carbó.

5.4.3 Evolución del Nivel estático

En esta subcuenca, el principal acuífero lo constituyen los depósitos terciarios de la formación Báucarit. El análisis del comportamiento de los niveles de este acuífero se llevó a cabo para una superficie de unos 223 km², localizada entre las poblaciones de Carbó y Querobabi. Los límites de esta superficie se fijaron con base en la distribución de los pozos con información piezométrica. Se seleccionaron los intervalos Octubre- 1970-Mayo 1977 y Mayo Octubre 1977 para configuraciones de evolución de los niveles estáticos.

Para el intervalo de Octubre 1970-Mayo 1977, los niveles del agua descendieron entre 1 y 10 metros, provocándose los mayores abatimientos en la porción norte del área y los menores en el sur. El abatimiento medio resultó de 2.85 m, los cuales representan una velocidad media de abatimiento, de unos 43 cm/año.

La configuración de evolución del nivel estático, correspondiente al intervalo Mayo - Octubre de 1977 refleja los efectos de la recarga del acuífero en ese intervalo: los niveles del agua se recuperaron entre 0.5 y 3.0 metros, presentándose las mayores en la porción norte del área y las menores al sur. La recuperación media del nivel estático en la superficie total del área analizada fue de 0.66 m

Las piezometrías que se han realizado en los últimos años, indican que los niveles estáticos han continuado un descenso progresivo sobre todo en las zonas donde se ha concentrado el bombeo que corresponde a las zonas cultivadas con vid principalmente en las cercanías de Pesqueira. Estos abatimientos se han registrado entre 0.50 y hasta 5.0 m en los últimos años. Los abatimientos más fuertes se han presentado hacia la parte poniente del acuífero y hacia las zonas de concentración del bombeo.

Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La concentración de STD, en esta subcuenca, varía entre 200 ppm en la cabecera de la subcuenca (Querobabi) y 500 ppm en las proximidades de la confluencia con el Río San Miguel. Esta variación permite inferir que la dirección dominante del flujo subterráneo es en el sentido del río Zanjón, aseveración deducida también por medio de la posición de los niveles del agua.

Cabe señalar que el agua subterránea en esta subcuenca es de muy buena calidad, tanto la que se aloja en el acuífero aluvial como la que se encuentra en los materiales Terciario.

Por último, debe mencionarse también, que los análisis de 3 muestras de agua obtenidas en 3 de los 5 pozos en que se ha identificado el acuífero confinado, reportaron una concentración de STD de 319 ppm en el pozo No. 389, 339 ppm en el pozo No. 386 y 521 ppm en el pozo No. 385, por lo que el agua de este acuífero puede considerarse de muy buena calidad. Estos pozos se encuentran localizados entre Pesqueira y Cerro Pelón.

Sulfatos (SO_4).

La concentración de aniones sulfato varían de menos de 10 a más de 1,300 ppm, los contenidos menores se encuentran aguas arriba de Pesqueira, de esta población hacia aguas abajo hasta la Victoria se presentan contenidos de 50 a 250 ppm.

Las mayores concentraciones se detectan en la parte baja de la Mesa del Seri, cerca del arroyo La Brea.

Bicarbonato (HCO_3)

En esta cuenca se presentan contenidos de 150 a 400 ppm, estas concentraciones de bicarbonato van aumentando hacia aguas abajo, cerca de la Presa Abelardo L. Rodríguez.

Calcio (Ca).

Los contenidos de Calcio varían de menos de 10 a más de 400 ppm, las menores concentraciones se encuentran de la cabecera de la cuenca hasta el arroyo Moreno; entre el arroyo Moreno a su confluencia con el río Sonora la concentración de Calcio varía de 50 a 200 ppm, y los contenidos más altos se localizan sobre la Mesa del Seri, aguas arriba de la presa Abelardo L. Rodríguez.

Sodio (Na)

Los contenidos de Sodio, entre Querobabi a Pesqueira varían de 30 a 80 ppm. Sin embargo, aguas abajo de Pesqueira se incrementan los contenidos de Sodio hasta 300 ppm; este mismo fenómeno se observa en los ríos San Miguel y Sonora.

En la parte oriental de la Mesa del Seri se detectan las concentraciones más altas con valores superiores a 1,00 ppm.

Diagramas Triangulares.

Los diagramas triangulares son un tipo de representaciones de los resultados su análisis químicos practicados al agua. Estos diagramas proporcionan medios útiles para poder contrastar las diferentes o similitudes entre varias aguas. En el caso que nos ocupa, el número elevado de muestras obtenidas da lugar a un volumen de datos de difícil manejo; por lo que después de un minucioso análisis de las determinaciones químicas efectuadas a las muestras de agua, se seleccionaron las más representativas con el objeto de facilitar su manejo e interpretación.

Mediante los diagramas triangulares pueden observarse los efectos de mezcla entre dos aguas, ya que la representación de una mezcla entre dos aguas, ya que la representación de una mezcla caerá dentro del intervalo de recta que una a las dos aguas primitivas.

Los diagramas triangulares correspondientes a la representación ionica del agua subterránea en los valles altos del río Sonora, en los valles altos del río San Miguel, en el valle del río Zanjón y en la Mesa del Seri. En estos diagramas triangulares se indican las posiciones medias del agua subterránea potable y del agua mar. Cada análisis de agua de las muestras seleccionadas, se representa por tres puntos, dos de los cuales se sitúan en las superficies triangulares y el tercero en el rombo. En los dos triángulos equiláteros se representan los distintos porcentajes en que aparecen los aniones y cationes fundamentales, mientras que en la superficie rómbica aparece la representación combinada del conjunto de tales iones. Los porcentajes citados se obtienen del total de ppm. De los iones fundamentales.

Interpretación de los Diagramas.

Los iones fundamentales del agua subterránea en el valle del río Zanjón y en la Mesa del Seri. Como puede apreciarse en el triángulo de los cationes, los puntos se agrupan en la zona de aguas cálcico-sódicas y en el triángulo de los aniones se agrupan en la zona de aguas bicarbonatadas.

Los iones principales en el agua subterránea de estos valles son el calcio, el sodio y el bicarbonato. El promedio de calcio bicarbonato en el agua subterránea, de esta zona, se debe a condiciones similares a las de los valles altos de los ríos Sonora y San Miguel. El sodio al igual que el calcio, tiene su origen primordialmente en la liberación de productos solubles que tienen lugar durante la descomposición meteórica de los feldespatos. En esta zona el contenido de sodio en las aguas subterráneas es de unas 75 ppm. En promedio.

Por último, cabe señalar que en este diagrama triangular, los puntos presentados tanto en los triángulos como en el rombo, se agrupan en las inmediaciones de los puntos medios y que representan el agua subterránea potable.

Calidad del Agua para Riego.

Para tener una idea de la calidad del agua para riego, se utilizó la gráfica de la clasificación de aguas propuesta por Wilcox.

En estas gráficas puede apreciarse que la mayoría de las muestras corresponden a la clase C2 –S2 y C3 –S1. Esta agua tiene baja y media cantidad de sales y bajo peligro de llegar a acumular cantidades peligrosas de sodio intercambiable. La principal razón de que el agua es de buena calidad para el riego, se debe a que los cationes se encuentran distribuidos proporcionalmente, resultando una baja relación de adsorción de sodio.

5.5 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

Según el censo de pozos realizado en el estudio del año de 1987, en esta subcuenca existían 540 captaciones de agua subterránea. Del total de captaciones, 336 se destina para usos agrícolas, 20 para usos pecuarios, 7 para uso industrial, 17 de uso público urbano y 160 inactivos.

Las profundidades de los pozos varían entre 25 y 300 metros; las norias, por regla general de gran diámetro, tienen profundidades entre 10 y 25 metros.

Los caudales de extracción de los pozos son superiores a 80 lps en la gran mayoría de los casos y los de las norias, varían entre 10 y 30 lps.

Actualmente y de acuerdo con información proporcionada por la Subgerencia de Administración del Agua, a la fecha se tienen comprometidos los siguientes volúmenes de agua subterránea según se desglosa en el siguiente cuadro:

Aprovechamientos inscritos en el REPDA

Usos	No. Aprov.	Volumen (m ³)
Agrícola	224	71'597,511.65
Agroindustrial	-	-
Doméstico	25	9,252.00
Industrial	1	200.00
Múltiples	97	7'802,741.50
Pecuario	113	898,435.50
Público Urbano	105	1'091,446.78
Servicios	1	90,000.00
Total	566	81'489,587.43

Volumen de extracción considerado en el balance

No. Aprov.	Volumen (m ³)
540	109'174,000.00

6 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

7.1.- Entradas

7.2.- Salidas

Valle Querobabi-Carbó

Este valle se localiza en la porción alta de la subcuenca del río Zanjón desde la cabecera de la subcuenca hasta el poblado de Carbó. El acuífero principal está constituido por los conglomerados de la Formación Baucarit, el cual explotado por las obras de captación más importantes (pozos profundos). En los depósitos Cuaternarios fluviales del río, existen algunas norias cuyo volumen de extracción es poco significativo del volumen total de extracción.

El acuífero a nivel regional se comporta como un acuífero libre. De acuerdo con la ubicación de los pozos, se seleccionó una porción del mismo, de unos 223 km² para plantear el balance de agua subterránea. La ecuación de agua subterránea utilizada fue la siguiente:

$$Eh + R - Sh - B = \Delta V'S$$

En la que Eh y Sh, son la entrada y salida por flujo subterráneo; R, la recarga al acuífero en el área de balance; B, el bombeo mediante pozos y $\Delta V'S$ el cambio en el almacenamiento del acuífero en un intervalo de tiempo determinado

TERMINOS DE LA ECUACION DE BALANCE DSE AGUAS SUBTERRANEAS AREA QUEROBABI - CARBO SUBCUENCA RIO ZANJON.

VOLUMEN DE ENTRADA Y SALIDA POR FLUJO SUBTERRANEO						BOMBEO ANUAL B EN 10 ⁶ m ³	CAMBIO DE ALMACENAMIENTO	
FECHA	CAUDALES EN 10 ⁻³ m ³ /s		TIEMPO EN 10 ⁶ s	VOLUMENES EN 10 ⁶ m ³			$\Delta V =$	$\Delta V'S$
	Eh	Sh		Eh	Sh		$\Delta V'$ En 10 ⁶ m ³	Δh EN METROS
Octubre 1970	60.0	90.0						
Ecuación 1	75.0	90.0	208.1	15.6	18.7	372.2	- 636.6	- 2.85
Mayo 1977	90.0	90.0						
Ecuación 2	81.0	69.0	13.2	1.1	0.9	26.1	+ 149.1.	+ 0.66
Octubre 1977	72.0	48.0						

$$ECUACION GENERAL DE BALANCE = Eh + R - Sh - D - B = \Delta V$$

Area de Balance = 223.0 km²

Eh = Recarga por flujo subterráneo.

D = Descargas aflorando en forma de manantiales o corrientes superficiales.

R = Recarga en el área de balance

B = Descarga por pozos de bombeo

Sh = Descarga por flujo subterráneo

ΔV = Cambio en almacenamiento

De Acuerdo con la información disponible y el comportamiento del acuífero, se seleccionaron dos intervalos de tiempo para plantear ecuaciones de balance. El cálculo de los términos de cada ecuación, se muestra en la que sigue y aplicando la ecuación de balance los valores correspondientes, se obtuvo el sistema siguiente:

PERIODO	ECUACION
1) Oct. 1970-Mayo 1977	$15.6 + R - 18.7 - 372.2 = -636.6 S$
2) Mayo - Oct. 1977	$i.1 + R - 0.9 - 26.1 = 149.1 S$

Cálculo de la Recarga Vertical (R)

1ª. Alternativa

En el intervalo Oct. 1970 –Mayo 1977, (6.6 años de precipitación media) la recarga al acuífero tuvo una distribución anual uniforme, y se considera que en el intervalo Mayo-Oct. 1977 (temporada de lluvias) ocurrió la recarga vertical correspondiente al último ciclo anual El sistema de ecuaciones representativo de estas condiciones es el siguiente:

1) Oct. 1970-Mayo 1977	$6.6 R - 375.3 = -636.3 S$
2) Mayo -Oct. 1977	$R - 26.4 = 149.1 S$

Mediante la solución del sistema se obtienen los siguientes valores medios de R y S:

$$R = 44 \text{ Millones de m}^3/\text{año}$$
$$S = 0.12$$

Esta solución podría considerarse aceptable, pues proporciona cifras de R y S, acordes con el comportamiento del acuífero en el intervalo total de observaciones Octubre 1970-Octubre 1977, y con el tipo de materiales que constituyen el acuífero; en efecto, los niveles del agua en ese intervalo tuvieron un abatimiento total de 2.2 metros, indicativo de que la recarga fue menor que el bombeo. La extracción de agua subterránea es de unos 56 millones de m³/año.

Por otra parte, como ya se mencionó, el acuífero de este valle está alojado en la Formación Báucarit; la cual es un medio granular de constitución muy heterogénea. En este valle, según los cortes litológicos de algunos pozos, se encuentran principalmente áreas y arcillas con algunas gravas y pocos boleas. En este tipo de materiales el coeficiente de almacenamiento del acuífero puede variar entre 0.05 y 0.15. La cifra de S = 0.12 obtenida en esta primera alternativa, se encuentra dentro del rango mencionado.

2ª. Alternativa.

Se analizan por separado las ecuaciones de balance originalmente planteadas para cada intervalo considerado, aplicándose diferentes cifras de S, dentro del rango de valores que pueden tomar esta característica del acuífero; de esta manera se deducen los volúmenes de recarga correspondientes a cada intervalo:

PERIODO

- 1) Oct. 1970-Mayo 1977 $R = 375.3 - 636.6 S$
 2) Mayo - Oct. 1977 $R = 26.4 + 149.1 S$

Aplicando diferentes cifras de S del rango de valores mencionado, se obtiene:

Período Octubre 1970 – Mayo 1977 (6.6 años)

	R	Rt	Dt	ΔV	Δh	Δh	
S		R+Eh	B+Sh		(m)	(m)	
	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	Balance		Config.
0.05	343.5	359.1	390.9	-31.8	-2.8	-2.85	
	52.0*						
0.10	311.6	327.2	390.9	-63.7	-2.9		
	47.0*						
0.12	298.9	314.5	390.9	-76.4	-2.83		
	45.0*						
0.15	279.8	295.4	390.9	-95.5	-2.87		
	42.0*						

Recarga Media anual.

Período Mayo-Octubre de 1977

	R	Rt	Dt	ΔV	Δh	Δh	
S		R+Eh	B+Sh		(m)	(m)	
	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	$10^6 m^3$	Balance		Config.
0.05	33.9	35.0	27.5	+7.5	+0.60	+0.66	
0.10	41.3	42.4	27.5	+14.9	+0.70		
0.12	44.3	45.6	27.5	+18.1	+0.67		
0.15	48.8	49.9	27.5	+22.4	+0.67		

En los dos intervalos considerados, los volúmenes de recarga obtenidos al aplicar valores de S entre 0.10 y 0.15 son aceptables, pues proporcionan valores de R, del mismo orden de magnitud, entre 42 y 49 millones de m^3 . El volumen mayor corresponde al intervalo Mayo – Octubre de 1977, lo que es lógico ya que en ese intervalo se presentó una de las temporadas de lluvias más altas de la zona. Para fines prácticos podría adoptarse un coeficiente de almacenamiento S igual a 0.12, mismo valor que fue obtenido al plantear la primera alternativa.

Aplicando el coeficiente de almacenamiento adoptado, en una ecuación de balance planteada para el período total de observaciones (Oct. 1970- Oct. 1977) se obtienen las condiciones de explotación en que se encuentra actualmente el acuífero:

ECUACION DE BALANCE $Eh + R - B - Sh = \Delta V'S$

1) Oct. 1970 – Mayo 1977 $15.6 + R - 372.2 - 18.7 = -636.6 S$

2) Mayo 1977-Oct. 1977 $\underline{1.1 + R - 26.6 - 0.9 = 149.1 S}$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Oct. 1970} - \text{Oct. 1977} \quad 16.7 + R - 398.8 - 19.6 &= -487.5 \text{ S} \\ R &= 401.7 - 487.5 \text{ S} \end{aligned}$$

Como $S = 0.12$

$$\begin{aligned} R &= 343 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año} = \underline{R = 49 \text{ millones de m}^3/\text{año}} \\ \text{Recarga Vertical} \quad R &= 49 \text{ millones de m}^3/\text{año} \\ \text{Recarga Total } R_t = R + E_h &= 51.4 \text{ millones de m}^3/\text{año} \\ \text{Descarga Total} \quad D_t = B + S_h &= 59.8 \text{ millones de m}^3/\text{año} \\ \text{Cambio en el almacenamiento} \quad \Delta V &= 8.4 \text{ millones de m}^3/\text{año} \\ \text{Abatimiento de los niveles} \quad \Delta h &= 0.33 \text{ m/año} \end{aligned}$$

Estos resultados del balance de agua subterránea indican que en el intervalo Octubre 1970- Octubre 1977 se estuvo aprovechando totalmente el recurso renovable del acuífero y que anualmente se extrae un volumen de 8.4 millones de m^3 a costa del almacenamiento subterráneo, provocándose en consecuencia un abatimiento progresivo de los niveles estáticos de unos 33 cm/año en promedio, a través de toda el área de 223 km

Área Pesqueira

No se dispone de la información necesaria para cuantificar la recarga de los acuíferos de esta área; sin embargo, las consideraciones siguientes permiten estimar cualitativamente la relación entre la descarga y recarga de los acuíferos. Mediante la información piezométrica y el estudio geofísico realizado en esta área, se identificaron 2 sistemas acuíferos, el primero de ellos, denominado acuífero superior que está constituido por los depósitos Cuaternarios aluviales y fluviales de los ríos Zanjón y San Miguel y el segundo, denominado acuífero inferior que está constituido por depósitos Terciarios representados por la Formación Báucarit.

La separación entre acuíferos se debe principalmente a la diferencia de presiones en el nivel del agua, observada en las obras que los captan. Según las configuraciones de elevación del nivel estático de 1977, esta diferencia alcanza hasta unos 20 metros en las porciones más altas del área a la altura del Rancho Cerro Pelón. Esta diferencia se va reduciendo gradualmente hasta desaparecer el área denominada Mesa del Seri, donde se identificó una sola superficie piezométrica.

En condiciones naturales es muy probable que los niveles estáticos de ambos acuíferos se encontraban más o menos a las mismas elevaciones definiéndose un esquema único de flujo subterráneo, como lo sugiere la configuración de elevación del nivel estático correspondiente a Octubre.

La recarga de estos acuíferos tiene lugar por la infiltración de los escurrimientos superficiales en los bordes del área y a lo largo de los cauces de los ríos Zanjón y San Miguel. El agua ya infiltrada se percolaba hasta la zona de saturación y ya en esta circulaba hacía el área de descarga. Estos acuíferos descargaban y continuaban descargando hacia el área denominada Mesa del Seri.

Posteriormente, el desarrollo agrícola y la explotación intensiva de los acuíferos, principalmente la del acuífero constituido por los conglomerados de la Formación Báucarit (Acuífero Inferior),

modificaron los mecanismos de recarga. Al abatirse los niveles del agua en los conglomerados, el acuífero superior (depósitos aluviales y fluviales) constituyó una nueva fuente de recarga del acuífero inferior; por otra parte, el retorno del riego en la extensa área de cultivos, también constituyó una nueva fuente de recarga, principalmente para el acuífero superior.

Las condiciones de descarga también fueron modificadas radicalmente: la explotación mediante las norias en el acuífero superior y los pozos en el acuífero inferior, interceptaron parcialmente la descarga natural hacia la Mesa del Seri.

El abatimiento de los niveles del agua en el acuífero inferior (entre 3 y 7 metros) provocado desde 1970, revela que la recarga natural de los acuíferos fue rebasada desde el inicio de la explotación, dando lugar a un minado gradual del almacenamiento subterráneo.

En el año del estudio (1977), en el área Pesqueira se extraía un volumen anual de agua subterránea de unos 46 millones de m³, destinados casi en su totalidad al uso agrícola.

Del total del volumen de extracción, unos 21 millones se extraen del acuífero superior y el resto del acuífero inferior.

Ahora bien, tanto en el acuífero superior como en el inferior se han observado abatimientos de los niveles estáticos, lo que indica que en el área de Pesqueira ya se está aprovechando el total del volumen renovable de los acuíferos. Desafortunadamente, se carece de suficientes datos respecto a la evolución de los niveles piezométricos de los acuíferos en cuestión, datos que permitirían saber en que medida se ha afectado el almacenamiento de los mismos.

Los estudios geofísicos revelaron que el almacenamiento subterráneo puede ser muy considerable; ya que se detectaron espesores acuíferos del orden de unos 150 metros. Estos estudios se limitaron a dos perfiles geoelectríficos con una longitud total de investigación de unos 10 kilómetros. Dada la heterogeneidad del acuífero conglomerático, se recomienda ampliar las investigaciones geofísicas a toda el área de Pesqueira, para definir la geometría de los acuíferos y tener una idea del orden de magnitud de las reservas almacenadas; las cuales, se estimaban que podrían ser muy importantes para satisfacer las necesidades de agua potable a la Ciudad de Hermosillo, Son., sin embargo, el desarrollo agrícola que se ha generado en los últimos 10 años, produjo un cambio importante en esta posibilidad.

En el acuífero inferior existen condiciones hidrogeológicas que propician confinamientos locales. Estas condiciones se han evidenciado en 5 pozos del área, de los cuales 3 resultaron brotantes. Los estudios geofísicos también lograron identificar estas condiciones. Al parecer se trata de cauces sepultados en la Formación Báucarit.

La extensión superficial y continuidad de los cauces no fue posible definirla con las investigaciones realizadas, pero se cree que de existir continuidad en estos acuíferos confinados, la extensión es muy reducida y que no constituyen una fuente importante de agua subterránea; en primer lugar por su bajo coeficiente de almacenamiento y segundo por que deben estar interconectados regionalmente con el acuífero conglomerático que actualmente se explota; en efecto: en los 5 pozos que lo captan se han observado de 1970 a la fecha abatimientos entre 7 y 16 metros, cabe señalar que solo 4 de ellos se encuentran en operación y que extraen un volumen estimado en unos 3.7 millones de m³/año. Se cree que los abatimientos provocados, aún cuando

el coeficiente de almacenamiento de estos acuíferos es bajo (0.0001 y 0.00001) no se debe únicamente al bombeo de los 4 pozos, sino también a la influencia de la explotación que se efectúa a nivel regional.

En el estudio realizado en el año de 1987, se analizó prácticamente toda la cuenca del Río Zanjón

La ecuación de Balance de agua subterránea se planteó de la siguiente forma:

$$EH + RN + RS + RI - B - SH - EVT = +/- \Delta V$$

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Entradas

Infiltración de corrientes superficiales = 47.2 Millones de m³

Retorno de Agua de riego = 29.6 Millones de m³

Recarga total = 76.8 Millones de m³

Salidas

Bombeo = 98.75 Millones de m³

Salidas por Flujo subterráneo = 5.04 Millones de m³

Evapotranspiración = 5.95 Millones de m³

Salidas totales = 109.74 millones de m³

Cambio de Almacenamiento = - 32.94 Millones de m³

Esto significa que los 32.94 millones de m³ del Cambio de Almacenamiento se están tomando a costa del volumen almacenado y por lo tanto se considera como volumen de sobreexplotación.

7 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea, se aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece la expresión siguiente:

Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA
--	---	------------------------------	---	----------------------------------	---	--

7.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero *Río Zanjón*, en el Estado de Sonora es de 76.8 Millones de metros cúbicos por año (Mm³/año).

7.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el acuífero *Río Zanjón*, en el Estado de Sonora, no existe una descarga natural comprometida.

7.3 VOLUMEN ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

En el acuífero *Río Zanjón*, en el Estado de Sonora,, el volumen anual concesionado, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2002 es de 90,035,339 metros cúbicos por año (m³/año).

7.4 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA:

$$-13,235,339 = 76,800,000 - 0 - 90,035,339$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero *Río Zanjón*, en el Estado de Sonora.