

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Mesa Del Seri-La Victoria
(2621), 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							
2621	MESA DEL SERI-LA VICTORIA	73.0	16.0	102.501753	120.0	0.000000	-45.501753

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



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO
MESA DEL SERI – LA VICTORIA,
ESTADO DE SONORA.***

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO MESA DEL SERI – LA VICTORIA, ESTADO DE SONORA

CONTENIDO

	Página
1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	4
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica.....	6
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología estructural.....	11
4.3 Geología del subsuelo.....	12
5. HIDROGEOLOGÍA.....	13
5.1 Tipo de acuífero.....	13
5.2 Parámetros hidráulicos.....	13
5.3 Piezometría.....	14
5.4 Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	18
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7.1 Entradas.....	21
7.1.1 Flujo subterráneo horizontal.....	22
7.1.2 Recarga por retornos de riego.....	22
7.1.3 Infiltración a lo largo de los ríos.....	23
7.2 Salidas	23
7.2.1 Evapotranspiración.....	23
7.2.2 Bombeo.....	24
7.2.3 Flujo subterráneo horizontal.....	24
7.3 Cambio de almacenamiento.....	24
8. DISPONIBILIDAD.....	25
8.1 Recarga total media anual.....	25
8.2 Descarga natural comprometida.....	25
8.3 Rendimiento permanente.....	25
8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	26
8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas.....	26
9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	26

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa)

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDa. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Mesa del Seri-La Victoria, definido con la clave 2621 del Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se encuentra ubicado en el municipio de Hermosillo, Sonora y se localiza al este de la ciudad capital. Geográficamente, el área está delimitada por las siguientes coordenadas: 110° 45' y 110° 57' Longitud Oeste (506 000 a 525 000 UTM), y 29° 01' y 29° 12' Latitud Norte. (3 209 000 a 3 230 000 UTM, abarcando una superficie de 1049 km².

Colinda al norte con los acuíferos Río San Miguel y Río Zanjón, al poniente con el acuífero Costa de Hermosillo, al sur con el acuífero La Poza, y al oriente con los acuíferos del Río Sonora y Santa Rosalía; todos ellos pertenecientes al estado de Sonora (Figura No. 1). La poligonal simplificada que delimita al acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla No.1.

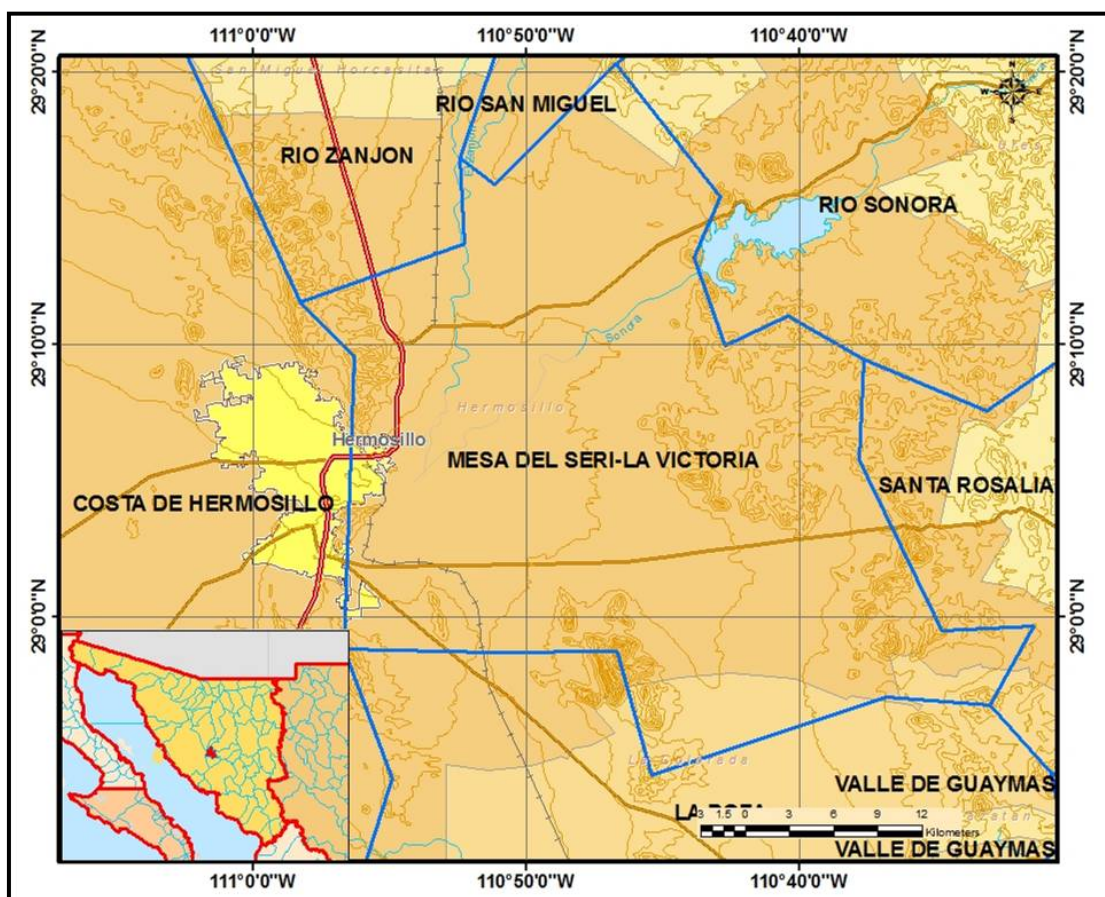


Figura No. 1. Localización del acuífero Mesa del Seri – La Victoria

ACUIFERO 2621 MESA DEL SERI-LA VICTORIA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	110	42	54.2	29	15	25.3
2	110	43	52.7	29	13	10.1
3	110	42	42.6	29	9	55.6
4	110	40	24.4	29	11	1.7
5	110	37	39.4	29	9	25.1
6	110	37	48.7	29	5	44.0
7	110	34	47.7	28	59	27.3
8	110	31	25.2	28	59	39.2
9	110	33	0.4	28	56	44.4
10	110	36	48.7	28	57	2.4
11	110	45	26.0	28	54	10.2
12	110	46	40.5	28	58	42.8
13	110	56	41.3	28	58	47.5
14	110	56	20.1	29	9	30.7
15	110	58	18.0	29	11	31.5
16	110	52	17.1	29	13	40.0
17	110	52	26.8	29	16	51.0
18	110	51	11.6	29	15	53.4
19	110	46	42.8	29	20	16.2
1	110	42	54.2	29	15	25.3

Tabla No. 1 Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

El acuífero se localiza en su totalidad dentro del Municipio de Hermosillo, destacando en él la ciudad de Hermosillo, cabecera del Municipio, y comunidades rurales como Mesa del Seri, La Victoria y San Pedro.

1.2 Situación Administrativa del Acuífero.

El acuífero Mesa del Seri – La Victoria pertenece a la Región Hidrológica – Administrativa II Noroeste y al Consejo de Cuenca Alto Noroeste. Se considera a esta región como una tercera ampliación del Distrito de Riego Costa de Hermosillo. Esta zona fue decretada en veda para la perforación de nuevos aprovechamientos de aguas subterráneas desde el 2 de junio de 1967. Posteriormente se ratificó con el Decreto publicado el 19 de septiembre de 1978 conocido como la veda del Meridiano 110°, que incluye a las publicadas con anterioridad, abarcando a toda el área comprendida del meridiano mencionado hasta la costa de la entidad. De acuerdo con decreto de 1967, el Artículo Segundo señala que “Excepto cuando se trate de alumbramientos para usos domésticos, a partir de la fecha en que este decreto se publique en el Diario Oficial de la Federación, nadie podrá efectuar nuevos alumbramientos de aguas del subsuelo en la zona vedada, sin previo permiso escrito de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la que solo lo expedirá en los casos en que de los estudios correspondientes se deduzca que no se causarán los daños que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse”; mientras que el Artículo Tercero y el Inciso a) del mismo dicen, “Para la debida aplicación del presente Decreto, los permisos para nuevos alumbramientos serán tramitados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, previo el estudio individual correspondiente y con sujeción a las siguientes bases generales: a). - No deberán autorizarse alumbramientos a una distancia menor de 2 km, distancia que podrá aumentarse a juicio de la Secretaría de Recursos Hidráulicos de acuerdo con los resultados de los estudios respectivos”.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2007), el municipio de Hermosillo, se encuentra en zona de disponibilidad 4.

La actividad del acuífero Mesa del Seri–La Victoria es regulada en cierta forma, por el Distrito de Riego 051, Costa de Hermosillo, el cual se creó mediante decreto el 4 de diciembre de 1953, publicado en el en el Diario Oficial de la Federación el 16 de diciembre del mismo año, describiendo con detalle los límites del mismo.

Por el volumen concesionado, el principal usuario del agua subterránea es el organismo operador de agua potable del municipio de Hermosillo: Agua de Hermosillo para los Hermosillenses (AGUAHH). Desde el 22 de junio de 2001 se tiene constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) de este acuífero.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.

Debido a su importancia como fuente abastecimiento para los usos público – urbano, agrícola, pecuario, industrial y de servicios, el acuífero de Mesa del Seri – La Victoria ha sido objeto de estudios que han tenido como objetivo determinar su potencial y funcionamiento hidrológico, etc. A continuación se mencionan los más relevantes y sus principales conclusiones.

- “Determinación del Potencial de Explotación del Acuífero La Victoria como Fuente de Abastecimiento a la ciudad de Hermosillo, Sonora” (1990); realizado por Estudios de Planeación Regional S.A. de C.V. (GYMSA), para la Comisión Nacional del Agua.

En este estudio, se define la geometría del acuífero y sus características hidrodinámicas, se evalúa el mecanismo de recarga y descarga, se determinan las causas del termalismo y posibles modificaciones de calidad del agua en los niveles profundos, se hace un balance geohidrológico para conocer la situación real de explotación y el comportamiento a futuro del acuífero, se estima además su vida útil en términos de un volumen de explotación seguro.

Del análisis químico de muestras de agua colectadas en los trabajos de campo se concluye que en general, el agua subterránea en la región pertenece a las familias sódica–bicarbonatada y cálcica – bicarbonatada, lo cual está relacionado con la naturaleza geológica de las rocas y materiales por las que circula el agua. Algunas muestras de agua presentan concentraciones de arsénico que rebasan el límite máximo permisible establecidos por las normas mexicanas e internacionales para el agua destinada al consumo humano. La composición química del agua subterránea es muy similar entre pozos que tienen distinta profundidad, lo que habla de una comunicación vertical entre los diferentes horizontes acuíferos.

- “Estudio Hidrogeológico Comprendido entre las Presas Abelardo L. Rodríguez y Rodolfo Félix Valdez (El Molinito)”. Tesis de licenciatura que para obtener el Título de Geólogo por la Universidad de Sonora (1999) presentó Luis Herman Valenzuela y Carlos Alberto Coronado.

El estudio fue enfocado hacia la definición del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del acuífero. Las principales conclusiones fueron: se definió un acuífero constituido por tres subsistemas, superior, intermedio e inferior. El primero funciona como acuífero libre con una extracción de 40 Mm³ y en condiciones de equilibrio precario a sobreexplotado; el intermedio es de carácter semiconfinado a libre, con una extracción de 25 Mm³ y también se considera en equilibrio precario a sobreexplotado; el acuífero profundo se considera confinado, con una extracción de 12 Mm³ y potencial desconocido.

- “Modelo de Simulación Hidrodinámica del Acuífero Mesa del Seri – La Victoria, Sonora” (1999); realizado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua.

En 1999 Comisión Nacional del Agua, a través de la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Subdirección General Técnica, realizó el estudio denominado “Modelo de Simulación Hidrodinámica del acuífero Mesa del Seri-La Victoria, Sonora”. El modelo matemático fue elaborado con el programa Visual MODFLOW, versión 2.61 de Waterloo Hydrogeologic Inc. Previo al modelo se hace énfasis en la piezometría, balance y parámetros hidráulicos del acuífero. Entre sus conclusiones más importantes destacan: la extracción en el acuífero es de 120 Mm³, de los cuales 63 Mm³ provienen del almacenamiento subterráneo. La recarga de 1997 a 1998 fue del orden de 70 Mm³, cifra que se puede reducir a 40 si el periodo de sequía se prolonga. La explotación de los 14 pozos de la captación Mesa del Seri representa un desequilibrio importante en el balance de agua subterránea, lo que se agudizará con la operación de 5 pozos más. En un lapso de tres años se esperan abatimientos de 14 m.

- “Estudio Geohidrológico de las Subcuencas de los Ríos Sonora, Zanjón, San Miguel, Mesa del Seri–La Victoria y Cuenca Bacoachito” (2004); realizado por la Universidad de Sonora (UNISON), para la Comisión Estatal del Agua (CEA).

En este estudio se realiza un censo de aprovechamientos, muestreo geoquímico, secciones geofísicas (gravimetría y SEV’s), cálculo de la disponibilidad de aguas para las cuencas y acuíferos que conforman la parte media y alta del Río Sonora, que incluyen las cuencas de los ríos Zanjón, San Miguel, Bacanuchi, Sonora-Arizpe, Sonora-Banámichi, arroyo La Junta, y parte de la subcuenca La Manga, la cual forma parte de la cuenca del Río Bacoachi.

- “Estudio Geofísico de Sondeos por el Método Transitorio Electromagnético (TEM) para determinar posibilidades acuíferas en los terrenos donde se proyecta la construcción de la planta cementera Holcim–Apasco de la ciudad de Hermosillo, Sonora”, realizado en el 2007 por la empresa Seismocontrol S. A. de C. V. para la compañía cementera Holcim–Apasco.

Mediante exploraciones geofísicas se pretende evaluar las posibilidades de explotación del acuífero en los terrenos donde se proyecta la construcción de la planta cementera Holcim-Apasco de la Ciudad de Hermosillo, Sonora. Se definieron cuatro paquetes estratigráficos: el superficial, formado por materiales aluviales, con espesor máximo de 50 m y de regulares a malas posibilidades acuíferas; el segundo paquete puede corresponder a tobas arcillo arenosas, con espesor de 10 a 110 m y malas posibilidades acuíferas; el tercero son calizas con espesores de 200 a más de 1000 m con buenas posibilidades acuíferas. El último paquete lo forman materiales volcánicos impermeables.

3. FISIOGRAFÍA.

3.1. Provincia Fisiográfica

El área se encuentra ubicada fisiográficamente en la Subprovincia del Desierto Sonorense, dentro de la Provincia de Sierras Sepultadas, según la clasificación de Raisz (1959) e INEGI (1989). Esta provincia está limitada al poniente por la Provincia Desértica de Sonora, caracterizada a su vez por sierras aisladas y amplias planicies aluviales. Al Norte y Oriente se extiende la Sierra Madre Occidental constituida por una meseta elevada, profundamente disectada en su borde occidental por profundas barrancas; al sur su límite lo constituye la Planicie Costera del Pacífico, la cual empieza en la margen sur-sureste de la sierra el Bacatete y muestra una planicie aluvial formada por la unión de las planicies deltaicas.

Los rasgos más característicos de la región, están representados en lo general por montañas complejas constituidas por rocas ígneas y sedimentarias principalmente. Estas estructuras morfológicas se encuentran dispuestas de manera semiparalela, con orientación general norte-sur, separadas por valles intermontanos de origen tectónico.

3.2. Clima

De acuerdo a la clasificación utilizada por Köppen, modificada por E. García (1964), en la región domina el tipo de clima BW(h') hw(x'), el cual corresponde a B, grupo de climas secos; BW, subtipo muy seco o desértico; (h')h, con clima cálido, temperatura media anual mayor a 22° C, la del mes más frío menor a 18 C; y w(x'), régimen de lluvias en verano, pero con un porcentaje de lluvias invernal menor a 10.2 con respecto al anual.

Con base en la información disponible, se eligieron dos estaciones climatológicas, Hermosillo y El Orégano, que se localizan en las inmediaciones de la zona las cuales presentan un registro de datos más completo. El periodo de tiempo utilizado para este análisis comprende de 1970 a 1988.

Temperatura media anual

De acuerdo con los registros de las estaciones climatológicas, los meses en que se presentan los valores más altos de temperatura son los meses de julio, agosto y septiembre; en tanto que de noviembre a enero se registran las temperaturas más bajas. La temperatura media anual es de 24° C, con valores extremos de -3° C y 46° C.

Precipitación media anual

Los promedios mensuales de precipitación muestran que de acuerdo al inicio del año hidrológico, que principia en el mes de julio, al igual que la temporada de lluvias, los meses más lluviosos son julio, agosto y septiembre, con valores máximos de 87.8 y 94.4 mm, registrados en las estaciones Hermosillo y El Orégano 94.44 mm, respectivamente.

La precipitación media anual, en la estación Hermosillo, es de 330 mm, en tanto que para la estación El Orégano es de 354 mm.

De acuerdo al análisis de los datos de las estaciones climatológicas, se concluye que la lluvia que se presenta en la zona está bien distribuida geográficamente, aunque las cantidades precipitadas son poco significativas para la alimentación de los acuíferos, pues éstas no se concentran en una sola región.

Evaporación potencial media

El área presenta una evaporación potencial promedio de 2246 mm (considerando el promedio aritmético de las 10 estaciones con influencia en el acuífero). El valor más alto es de 2596 mm, registrado en la estación Hermosillo. En la estación El Orégano, el valor registrado es de 2150 mm.

La evaporación potencial está determinada básicamente por los parámetros de temperatura y precipitación: la evaporación aumenta conforme aumenta la temperatura, y conforme se incrementa la altura del terreno disminuye la evaporación y aumenta la precipitación.

Del análisis efectuado se desprende que la evaporación potencial es mayor que la precipitación y por lo tanto no existe una recarga efectiva hacia el acuífero. Esto ocasiona que no existan excedentes de agua en la zona; por el contrario, es importante el déficit que se registra.

Sin embargo se debe considerar que no necesariamente el agua que se precipita debe evaporarse totalmente, hay que tomar en cuenta los siguientes factores de recarga al acuífero:

- (a) Existe riego (por lo menos 10 meses al año).
- (b) Las lluvias no están bien distribuidas en el tiempo, son de régimen torrencial y de poca duración.
- (c) En los meses de julio, agosto y septiembre se registra flujo de agua en los arroyos intermitentes de la zona.

3.3. Hidrografía.

La corriente principal del área es el río Sonora, que tiene un área de captación hasta la Presa Abelardo L. Rodríguez de 21,900 km². La topografía de su cuenca es accidentada salvo en su parte baja, donde confluye con su afluente el río San Miguel de Horcasitas; aguas abajo de la presa el río discurre por zonas planas, hasta su desembocadura en el estero Tastiota del Golfo de California. En este último tramo el curso del río es indefinido y los escasos volúmenes que escurren, generalmente se infiltran en las zonas arenosas antes de llegar a su desembocadura.

A la altura de la presa, confluye el río Sonora con su aportador más importante que es el río San Miguel de Horcasitas, cuya cuenca de captación tiene un área de 8,427 km², que representa el 40% del área drenada hacia la presa.

A 38 km al noreste de la ciudad de Hermosillo, en las cercanías del rancho El Orégano, municipio de Hermosillo, se localiza la estación hidrométrica El Orégano que presenta una superficie drenada de 11,600 km². Del análisis cualitativo de los gastos medios diarios registrados en la estación, se concluye que durante los meses de julio, agosto y septiembre se presentan los máximos gastos aforados, en tanto que el período de estiaje se presenta en los meses de abril, mayo y junio principalmente.

3.4 Geomorfología.

La geomorfología del área corresponde a una etapa erosiva madura ya que existen distancias considerables de una elevación a otra. Las elevaciones mayores se presentan en la Sierra Espinazo Prieto (Bachoco) y no sobrepasan los 700 msnm; los demás cerros tienen una elevación promedio de 500 msnm. Los afloramientos de rocas graníticas presentan una morfología de domos esféricos, fácil de diferenciar, al igual que las mesetas de rocas volcánicas y los picos kársticos de rocas carbonatadas.

La región se encuentra ubicada en la vertiente del Pacífico y está drenada por corrientes intermitentes dispuestas en patrones de drenaje integrado. Los valles presentan una etapa de rejuvenecimiento, evidenciado por la erosión de los depósitos terciarios y la presencia de terrazas aluviales recientes.

4. GEOLOGÍA.

En el área del acuífero afloran rocas cuyo registro estratigráfico abarca desde el Paleozoico hasta el Reciente (Figura No. 2). El Paleozoico está representado por rocas sedimentarias constituidas por areniscas, dolomías y calizas de plataforma, que han sufrido los efectos de metamorfismo regional. La secuencia Mesozoica está conformada por sedimentos rojos, conglomeráticos del Triásico-Jurásico, asociados con depósitos de ambiente reductor que generaron capas de carbón transformados en grafito.

Las secuencias paleozoicas y mesozoicas se encuentran afectadas por cuerpos ígneos intrusivos de composición granítica y félsica, emplazados durante el Cretácico y el Terciario Temprano.

En el área que cubre el acuífero afloran también rocas volcánicas terciarias constituidas por riolitas y tobas riolíticas que son el resultado de la influencia que ha tenido la proximidad de la Sierra Madre Occidental sobre la región.

La zona se caracteriza por presentar una serie de sierras sepultadas por los rellenos sedimentarios que se correlacionan con las formaciones Báucarit, Maune y Fuerte, depositadas en otras cuencas como son las de la Costa de Hermosillo y las de los ríos Yaqui, Fuerte y Mayo.

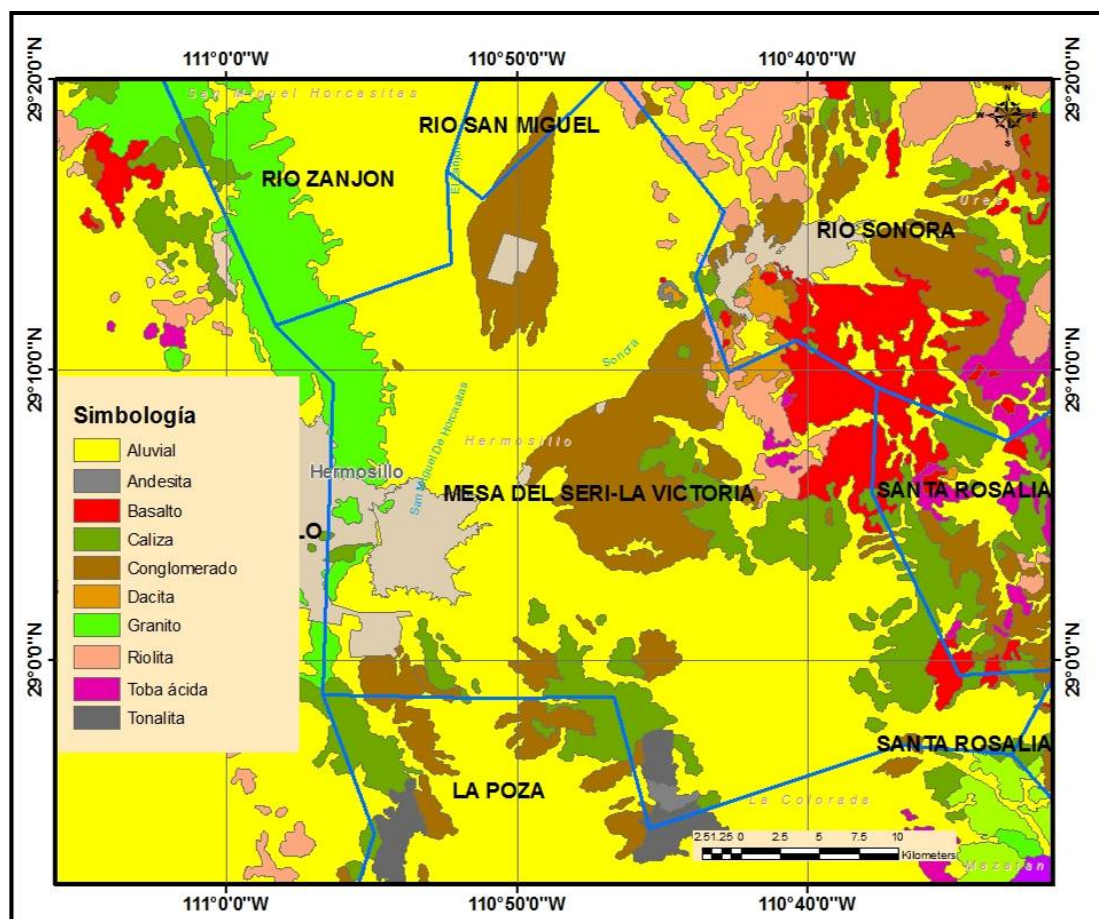


Figura No. 2. Plano Geológico

4.1 Estratigrafía.

La secuencia de rocas expuestas en la región se menciona a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente.

Paleozoico.

Los afloramientos representativos del Paleozoico se distribuyen en las porciones sur y oriental del acuífero y están representados por una secuencia de rocas carbonatadas que fueron intrusionadas por los granitos. Hacia la costa de Hermosillo la secuencia tiene un espesor de más de 500 m, constituidos en su parte basal por una caliza de color gris rosado, en capas silicificadas de más o menos 80 cm, que intemperiza a un color café rojizo obscuro; hacia las partes media y superior la caliza es de color gris, dispuesta en capas gruesas a masivas con presencia de vetillas de calcita y nódulos irregulares de pedernal negro.

Las calizas marmolizadas del cerro La Campana, localizado en la ciudad de Hermosillo, son de color blanco, en capas hasta de un metro de espesor que contienen wollastonita y epidota.

Aunque por su estructura laminar los afloramientos deben considerarse poco permeables, cuando las calizas se encuentran alteradas y fracturadas constituyen zonas de recarga hacia los depósitos granulares que conforman el acuífero principal. A profundidad, las exploraciones geofísicas le asignan buenas posibilidades para su explotación.

Cretácico

El Cretácico está representado por una secuencia de rocas volcánicas constituida por derrames de andesitas, tobas y conglomerados, que Dumble designó con el nombre de Formación Lista Blanca. Por similitud litológica con la Formación El Palmar y por su posición estratigráfica, se les asigna una edad correspondiente al Cretácico Inferior.

Aun cuando son derrames masivos fracturados, el sistema no tiene intercomunicación, por lo que carecen de importancia geohidrológica.

Conglomerado Báucarit.

Esta unidad sedimentaria de edad terciaria fue identificada por Dumble quien las describió originalmente como una alternancia de areniscas y conglomerados. En su parte basal consiste de conglomerado de clásticos de rocas volcánicas: andesitas, riolitas y granitos; su parte media está conformada por una alternancia de arenas gruesas y limos de color café rosado en capas delgadas y estructura laminar; la parte superior consiste de un conglomerado color café rojizo, compuesto de clásticos redondeados de origen volcánico embebidos en una matriz arenosa.

Se encuentra diseminado ampliamente en todo el acuífero, tanto en el valle como hacia los flancos de la sierra que lo delimitan. Por su posición estratigráfica se le asigna una edad correspondiente al Eoceno-Oligoceno.

Tobas riolíticas.

Las tobas y derrames riolíticos se encuentran expuestas en las sierras localizadas hacia el oriente de la zona. Presenta buenas características de permeabilidad por lo que constituye zonas de recarga al acuífero. En la Costa de Hermosillo se explota esta unidad debido a las tubificaciones que presentan y la granulometría de las brechas basales. Descansan discordantemente sobre andesitas y dacitas; se les asigna tentativamente una edad que corresponde al Terciario Inferior.

Basaltos.

Estas rocas volcánicas del Terciario consisten en derrames intercalados con brechas basales, que coronan las sierras que limitan al oriente el acuífero. Descansan sobre conglomerados, andesitas y granitos, por lo que se les asigna una edad posterior a la formación Báucarit. En superficie conforman zonas de recarga en tanto que en el subsuelo sus brechas basales constituyen un horizonte acuífero.

La edad asignada a estos derrames volcánicos es del Terciario Medio y Superior. Esto es de gran importancia ya que, junto con rocas de composición riolíticas y las tobas, son las rocas que originan el termalismo en el área.

Cuaternario

Este período está representado por sedimentos no consolidados compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas, distribuidos en toda la zona, principalmente en la planicie. Se encuentran ampliamente distribuidos, ya que se corresponden en las zonas de inundación de los principales ríos, ocupando las porciones donde se encuentra el mayor número de captaciones.

Presentan buena permeabilidad por lo que funcionan como transmisores de agua hacia estratos más profundos y un buen acuífero bajo el nivel de saturación.

Rocas ígneas intrusivas

Las rocas ígneas intrusivas granitos y dioritas, son de color gris claro, gris verdoso o gris rosado, de textura holocristalina, de grano grueso a fino y sus minerales característicos son la biotita y hornblenda. Se trata de materiales de origen plutónico, que componen el cuerpo principal de la sierra Espinazo Prieto, localizada en la parte occidental del área. Litológicamente están conformadas principalmente de granodioritas con variaciones a tonalitas y dacitas; de color rosa y en ocasiones amarillo ocre y blancuzco. Sobre el corte de la carretera Hermosillo-Nogales, en las inmediaciones de la ciudad de Hermosillo, existen buenos afloramientos de esta unidad, en donde puede apreciarse como es afectada por abundantes diques.

Las dataciones radiométricas realizadas por P. Damon y T.H. Anderson [en Rodríguez, J.L., 1981], le asignan a esta unidad una edad correspondiente al límite Cretácico Tardío-Terciario.

Desde el punto de vista geohidrológico, se consideran poco permeables, funcionando como el basamento geohidrológico regional y como barreras al flujo del agua subterránea, salvo que se encuentren alteradas y fracturadas.

Rocas metamórficas

Estas rocas están representadas por aureolas de metamorfismo de contacto, compuestas por tactitas y mármol. Se hallan distribuidas a lo largo de los contactos de la caliza con las rocas intrusivas, por lo que sus afloramientos son muy locales.

4.2 Geología Estructural.

Geológicamente, la región se encuentra ubicada dentro de una zona de tectónica activa, manifestada por fallamiento en bloques, ("Basin and Range"), que junto con el emplazamiento de los cuerpos intrusivos laramídicos son los causantes del arreglo morfoestructural actual. Este arreglo se manifiesta en forma de sierras y valles alargados, con una orientación NW–SE y N–S, cuyo origen está relacionado con la apertura del Golfo de California.

Desde el punto de vista estructural, la zona se ubica en un graben que pertenece al sistema denominado "Basin and Range". Esta geoestructura está delimitada al occidente por la sierra Espinazo Prieto, mientras que su extremo oriental esta limitado por el levantamiento (Horst) que conforman la Sierra Los Leyva, Cerro La Morena, Las Ánimas y Santa Gertrudis.

Con base en el análisis efectuado de la información obtenida, se observa que los mecanismos dominantes de la deformación son discontinuos, esto se explica debido a que la región se encuentra situada dentro de un dominio de fallas y fracturas, las cuales en ocasiones alcanzan profundidades considerables.

Esta deformación discontinua puede observarse claramente en:

- (a) La sierra Espinazo Prieto, en donde existe un sistema de fracturamiento preferencial, con orientación NW – SE y N – S.
- (b) Las fallas que limitan al graben.
- (c) El lineamiento del río San Miguel de Horcasitas y en un lineamiento más evidente constituido por el río Sonora.

Estos lineamientos revisten gran importancia, en función de que pueden ser conductos a través de los cuales se manifieste gran flujo de calor y por lo tanto ser causantes del termalismo presente en la Región.

Otras manifestaciones de la deformación discontinua, es la presencia de estrías y brechas tectónicas, que son reportadas por Rodríguez J.L. (1981), en las cercanías de la estación EL Orégano.

En lo que respecta a la tectónica, se puede concluir de que al menos cuatro etapas de deformación están presentes en la porción central del estado de Sonora, las cuales se pueden resumir como sigue:

- (a) La primera es de tipo compresivo y de edad Ordovícica.
- (b) Existe una segunda, constituida por un evento tectónico de edad Pérmica, Causante de fallas de bajo ángulo.
- (c) La tercera es la deformación laramídica, que provoca el emplazamiento de grandes cuerpos plutónicos (ejemplo de esto es la sierra Espinazo Prieto).
- (d) La cuarta y última etapa, es la que esta asociada a la deformación de tipo “Basin and Range”, en la cual las estructuras presentan una orientación NW-SE y N – S, y que es la causante del actual arreglo morfoestructural y de la tectónica activa, debido a que se encuentra asociada a la apertura del Golfo de California.

Todos estos eventos han servido para conformar el actual paisaje y originaron las estructuras que influyen sobre el movimiento del agua subterránea.

Las estructuras geológicas más sobresalientes se encuentran en las rocas paleozoicas y mesozoicas y corresponden en primer lugar a un gran alto estructural que de manera regional sobresale en todo el noroeste del estado de Sonora y está asociado a la gran intrusión batolítica cretácica que elevó toda la región situada al poniente de la provincia geológica de la Sierra Madre Occidental. A toda esta región donde afloran estos granitos cretácicos, asociados con rocas calizas paleozoicas, algunos autores se refieren como la “Cuenca Paleozoica de Sonora” (López Ramos, 1979).

El segundo grupo de estructuras más importantes lo conforman los bloques afallados que alineados en cordones montañosos en dirección NW-SE, caen de manera escalonada del continente hacia el Golfo de California como consecuencia del agotamiento de la energía que deformó y levantó estos terrenos y que por el fallamiento de tipo normal esculpió este panorama estructural al acomodarse estos gigantescos bloques por efecto de la gravedad.

El tercer grupo de estructuras, cuya importancia es relativamente menor porque no existe continuidad entre los afloramientos, lo conforman los pliegues de las rocas paleozoicas que son el resultado de los eventos tanto compresivos como distensivos a los que estuvieron sometidos estas rocas antiguas posteriormente a su depósito.

4.3 Geología del Subsuelo.

Con base en la información geológica, la integración de los sondeos geofísicos realizados en el área de interés y algunos cortes litológicos de los pozos exploratorios perforados como parte del estudio realizado en 1999, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado en los sedimentos fluviales y aluviales depositados por el río Sonora y sus afluentes principales

En general el sistema acuífero, está localizado en los materiales granulares que rellenan la cuenca tectónica, por lo que sus límites laterales los conforman las sierras del Espinazo Prieto al occidente y la Los Leyva al oriente; al norte no existe un límite definido, ya que este valle se extiende por varios kilómetros.

Los contactos con las sierras, originados por su carácter tectónico y a la erosión, son muy irregulares, lo cual fue comprobado a través de la interpretación de los sondeos eléctricos verticales, que muestran que el basamento granítico puede encontrarse a menos de 100 m de profundidad, en algunas áreas de la porción occidental, o bien no detectarse lo que significaría que está a más de 800 m de profundidad.

Dependiendo de la naturaleza de los materiales o rocas con los que se encuentra en contacto, hacia la parte alta de la cuenca los límites laterales e inferior del acuífero están constituidos por las rocas y graníticas que constituyen el basamento y las barreras al flujo subterráneo.

5. HIDROGEOLOGÍA.

5.1 Tipo de Acuífero.

Debido a los fenómenos tectónicos y estructurales que han dado origen a esta región, resulta inadecuado describir por separado a los diferentes horizontes acuíferos que conforman al acuífero, ya que estos obedecen a patrones de comportamiento local y están estrechamente relacionados unos con otros formando un mismo. Este sistema está constituido por varios horizontes de errática continuidad lateral y de muy variada permeabilidad (figura No.3), que están intercomunicados naturalmente a través de un flujo vertical descendente de agua y también a través de los pozos que tienen grandes columnas de tubería ranurada.

El acuífero es de tipo libre con condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes irregulares de sedimentos arcillosos y/o rocas volcánicas interestratificadas. Su explotación se localiza en el cauce del río Sonora y arroyos tributarios, así como en la planicie de inundación. El lecho del río Sonora está conformado por arenas de alta permeabilidad.

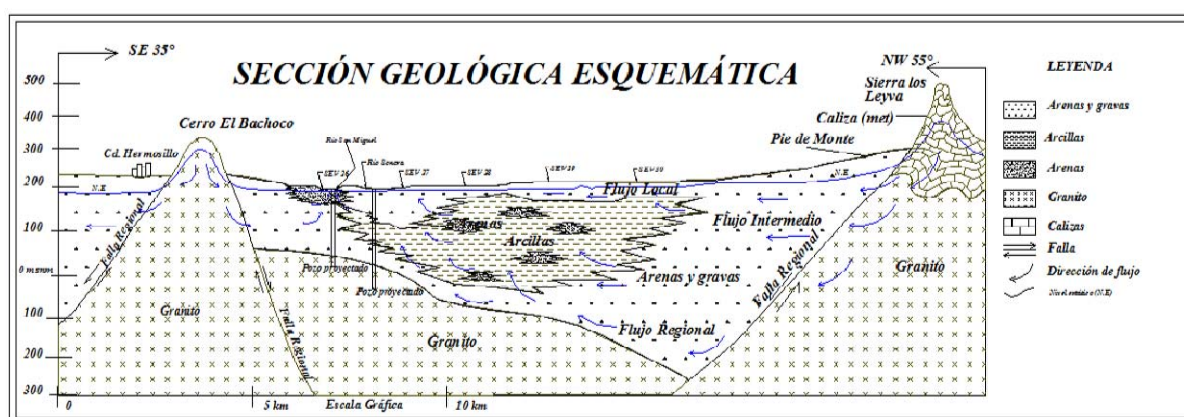


Figura No. 3. Sección Geológica esquemática E-W transversal al acuífero

5.2 Parámetros hidráulicos.

De los resultados de 25 pruebas de bombeo de corta y larga duración, así como su reinterpretación, realizadas en los estudios previos, se deduce que el valor de la transmisividad varía de 0.5 a $83 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con valores promedio entre 1 y $15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Ninguna prueba contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el coeficiente de almacenamiento ni el rendimiento específico.

Adicionalmente, los datos de los aforos de los 16 pozos perforados en la Mesa del Seri entre diciembre de 1997 y febrero de 1998 se utilizaron para ser interpretados como pruebas de bombeo escalonadas por el modelo numérico de Rathod y Rushton (1984). Los resultados indican que la conductividad hidráulica horizontal varía de 6 a 90 m/d, en tanto que la vertical oscila entre 0.1 y 17.0 m/d. Por ensayo y error el ajuste de la curva de datos de campo y curva del modelo numérico permitieron obtener valores de coeficiente de almacenamiento que varían de 0.005 a 0.000005 y de rendimiento específico que oscilan entre 0.05 y 0.25.

5.3 Piezometría.

La definición de áreas de recarga y descarga, y consecuentemente trayectorias de flujo de agua subterránea, puede ser lograda mediante diversos indicadores siendo uno de ellos la medición de los niveles piezométricos, mediante los cuales no solo es posible identificar estas zonas sino también componentes verticales de flujo subterráneo, ascendentes y descendentes.

Aunque se tiene información piezométrica histórica, ésta se encuentra dispersa espacial y temporalmente.

Anualmente se realiza en el mes de octubre el “paro del bombeo” durante el cual se detiene la extracción para medir la profundidad al nivel estático en una red de aprovechamientos, en su gran mayoría pozos profundos. Sin embargo, debido a que esta actividad tradicionalmente la realizaban los distritos de riego, existen problemas para la correlación de las claves de los números de pozos utilizados por ellos y la que utiliza el Organismo de Cuenca Noroeste.

Como consecuencia de esto, no se cuenta con información piezométrica histórica confiable salvo la que corresponde al periodo 1997-1998. Actualmente, El Organismo de Cuenca Noroeste de la CONAGUA trabaja en la uniformización de la claves para contar con una sola red piezométrica de observación que permita el monitoreo sistemático de los niveles del agua subterránea, los cuales en los últimos años se han profundizado debido a la explotación de la batería de pozos localizada en la Mesa del Seri destinada al abastecimiento de la Ciudad de Hermosillo.

5.4 Comportamiento hidráulico.

El nivel piezométrico en este acuífero es muy sensible a la recarga por lluvia o por infiltración a través del cauce del río Sonora, cuando se producen desfuegos de la presa Rodolfo Félix Valdez (“El Molinito”).

Las corrientes principales en la zona son los ríos de régimen intermitente Sonora, Chiltepín y San Miguel de Horcasitas. Estas corrientes conducen agua durante la temporada de lluvias o cuando reciben el deshielo una vez que ha pasado el invierno, favoreciendo de esta manera la recarga al acuífero mediante la infiltración de un volumen importante de agua. La regulación del escurrimiento sobre el río Sonora que se realiza por medio de la presa El Molinito, y posteriormente la extracción controlada para transferir esta agua hacia la presa Abelardo L. Rodríguez, utilizando el cauce de este río, ha incrementado la recarga al acuífero. De acuerdo con estimaciones del Organismo de Cuenca Noroeste, del volumen desfogado de la presa El Molinito, se infiltra entre un 70 y 85%, dependiendo de las condiciones climáticas, del caudal y tiempo de desfogue. Esto es posible debido a la alta permeabilidad de las arenas que conforman su lecho, del orden de los 360 m/d, según los resultados de prueba de permeabilidad tipo Lefranc realizadas en el año 1996.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Como respuesta a la relación directa que existe entre el agua superficial y el agua subterránea, la recarga al acuífero tiene una rápida respuesta al tránsito de agua sobre el cauce del Río Sonora. Es por ello que durante las temporadas en que el río conduce agua, esto se refleja en el ascenso de los niveles de la profundidad al nivel estático.

La configuración de la profundidad al nivel estático para marzo de 1997 (Figura No. 4), muestra que los valores se incrementan de la zona aledaña al cauce del río Sonora, en donde se registran profundidades que varían entre 5 y 10 m, hasta los 60 m que se presentan en la zona localizada al noroeste del acuífero, hacia el poblado San Pedro, situado en la margen derecha del río.

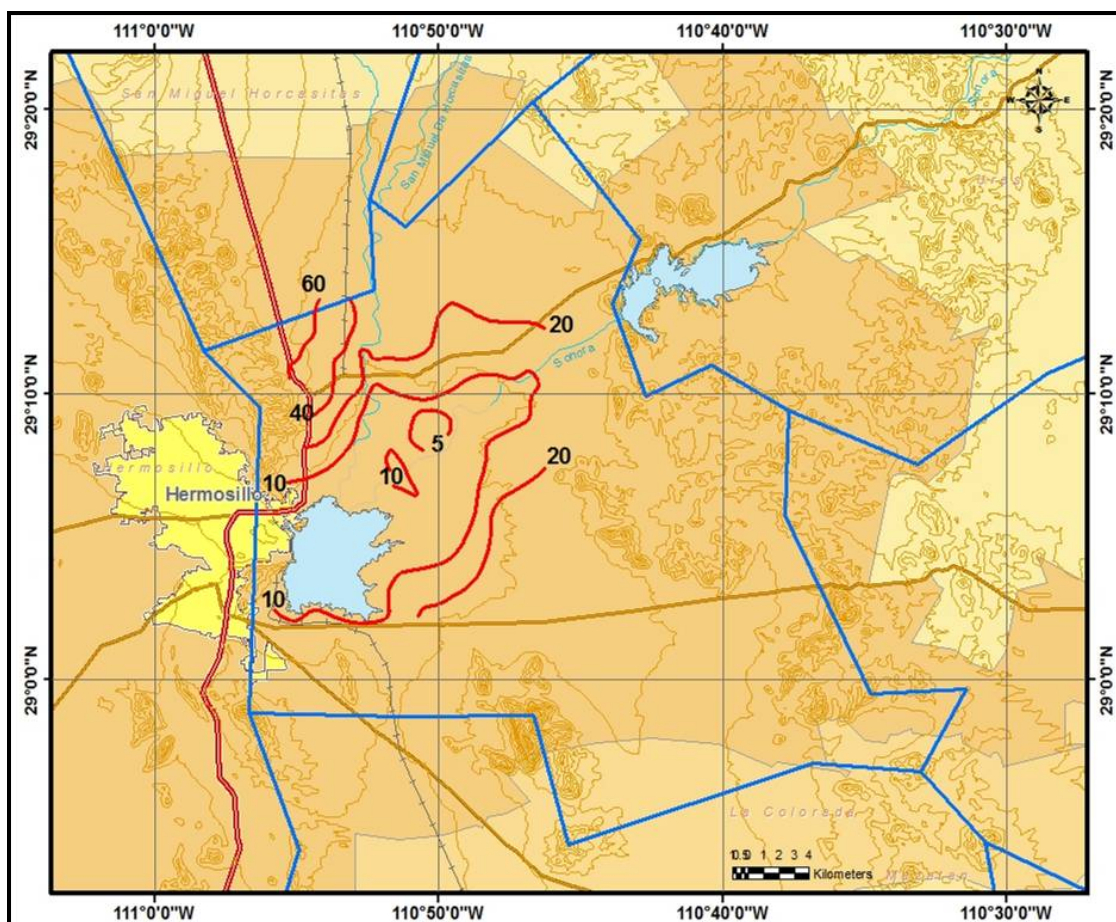


Figura No. 4. Profundidad al nivel estático en metros (Marzo 1997).

Para noviembre de 1998 (Figura No. 5), desaparecen los niveles someros de 5 metros en la zona cercana al cauce del río, como consecuencia de la temporada de estiaje, y se profundizan los niveles en la margen izquierda del río.

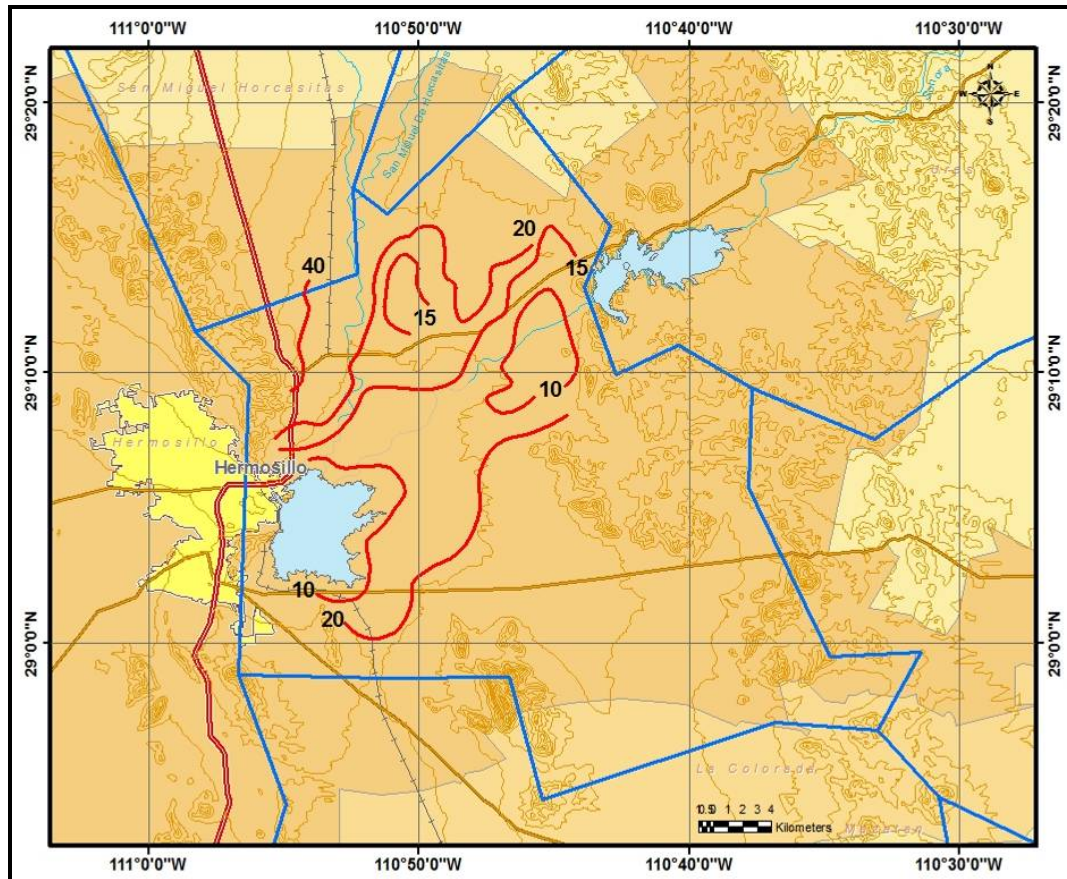


Figura No. 5. Profundidad al nivel estático en metros. (Noviembre 1998).

5.4.2 Elevación del nivel estático

Para marzo de 1997 la configuración de la elevación del nivel estático muestra valores que varían entre los 244 y 220 msnm, manifestando la dirección preferencial del flujo subterráneo paralela al escurrimiento del río Sonora, desde la presa el Molinito hacia la presa Abelardo L. Rodríguez (Figura No. 6). Las máximas elevaciones se registran en el poblado San Pedro y hacia la presa El Molinito.

Para Noviembre de 1998 (Figura No. 7), la elevación varía entre los 250 y 220 metros. Se aprecia como comienza a formarse un cono de abatimiento en la zona de San Pedro. El flujo del agua continúa dirigido hacia la presa Abelardo L. Rodríguez.

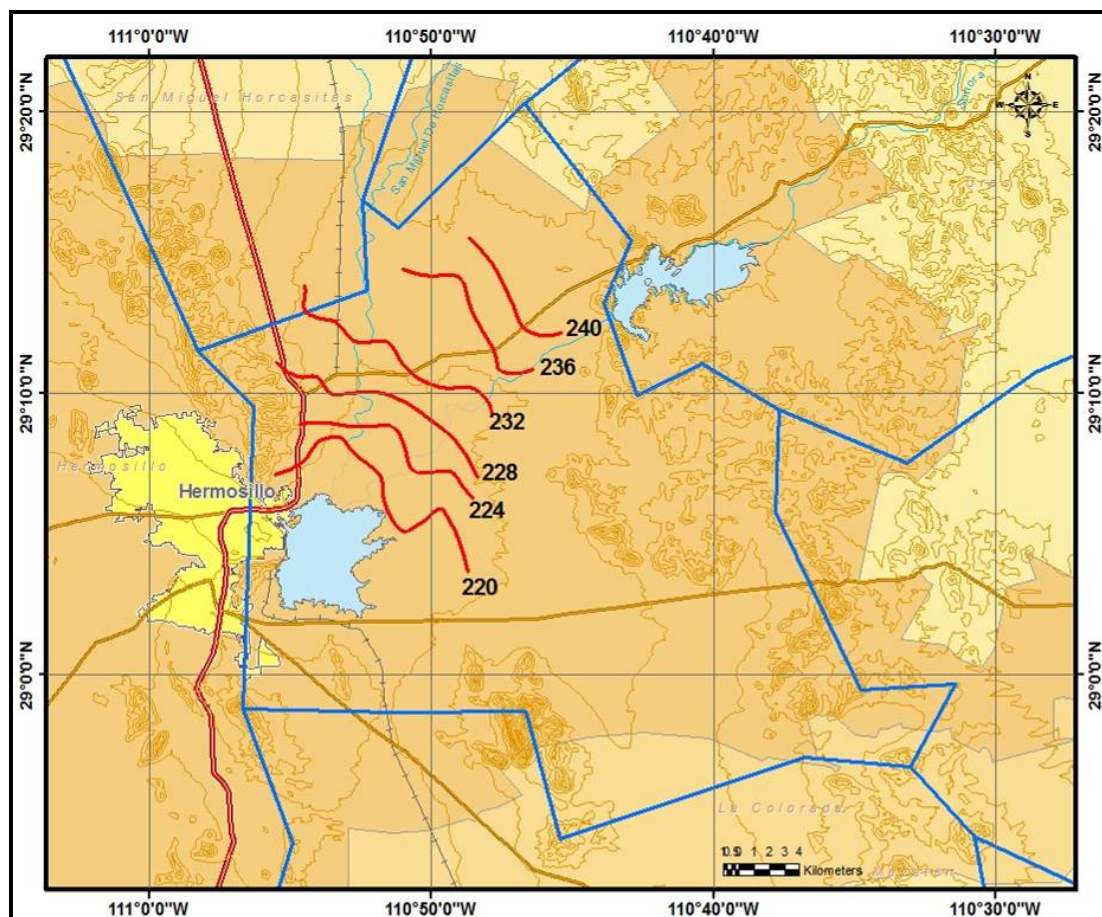


Figura No. 6. Elevación del nivel estático en msnm. (Marzo de 1997).

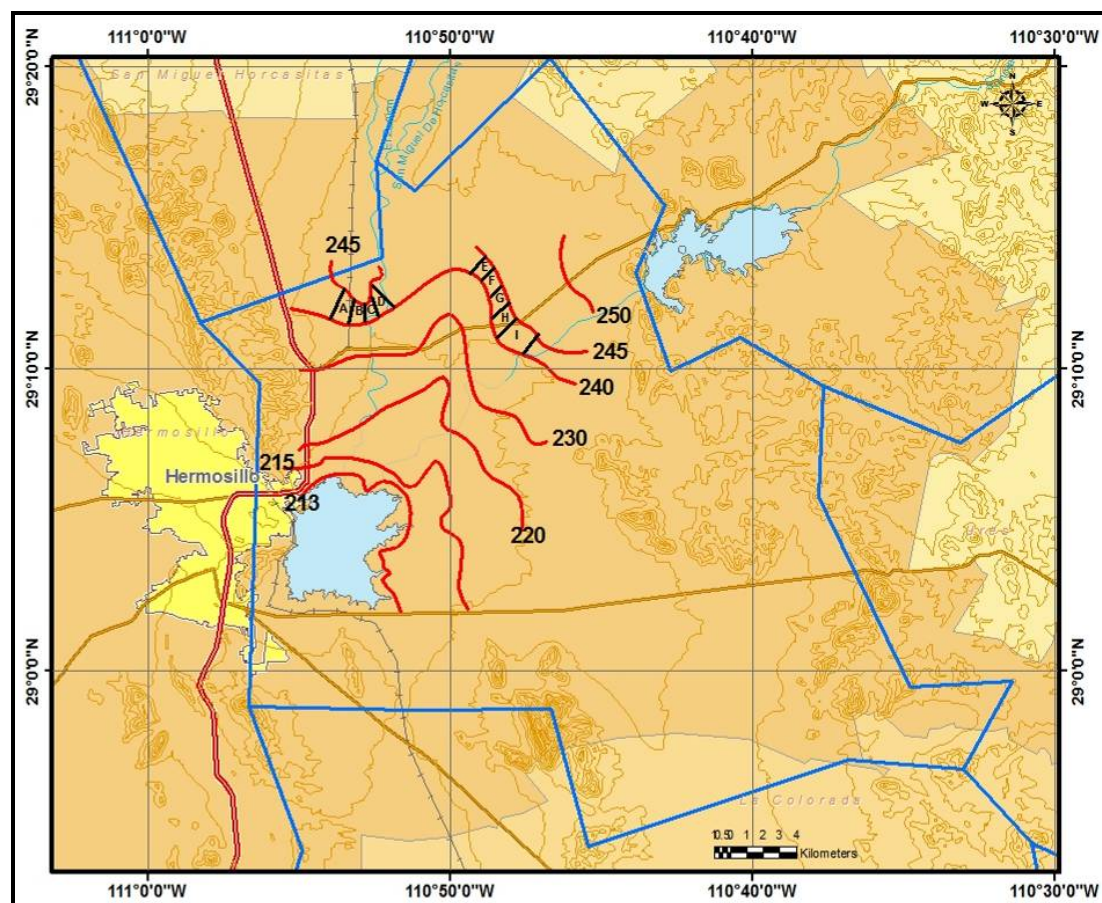


Figura No. 7. Elevación del nivel estático en msnm. (Noviembre de 1998).

5.4.3. Evolución del nivel estático.

En la configuración de la evolución del nivel, para el período de marzo de 1997 a octubre de 1998 (Figura No. 8), aparecen zonas de abatimiento perfectamente localizadas. Una de ellas se localiza al oriente de La Victoria, donde se alcanza un descenso de hasta 3 metros en el nivel estático. La otra zona se ubica hacia el sureste, rumbo a El Realito, donde también se registran abatimientos de hasta 3 metros. Hacia el vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez se identifican abatimientos del orden de 2 metros; en tanto que hacia la presa El Molinito se observan zonas de recuperación del nivel estático.

La configuración de la evolución del nivel estático para el período octubre de 1997 a noviembre de 1998 (Figura No. 9), señala como en la zona dominan los abatimientos, alcanzándose valores de hasta 8 metros en la zona de San Pedro y de 5 metros al sureste del vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez, como consecuencia de la explotación intensiva de la batería de pozos de la Mesa del Seri y a los efectos de la sequía prolongada.

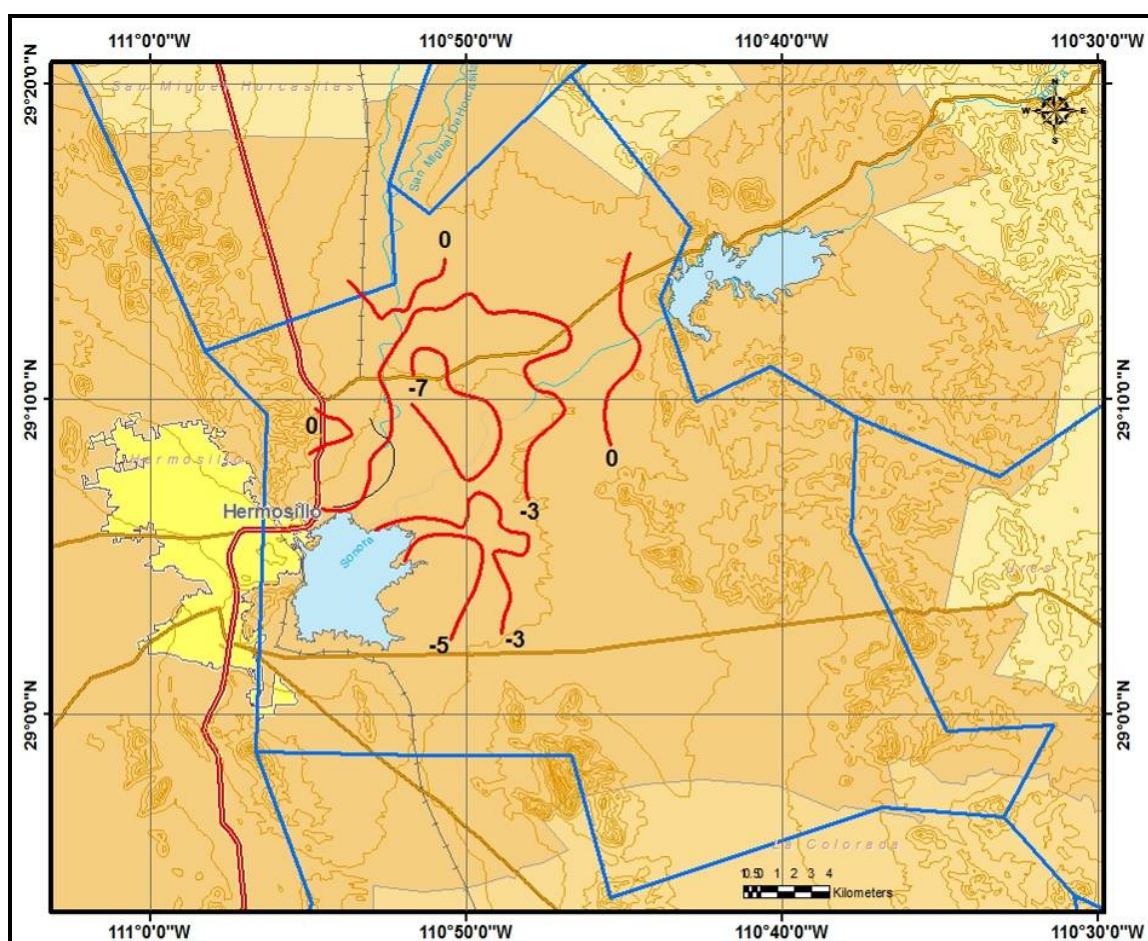


Figura No. 8. Evolución del nivel estático en metros (Marzo 1997 – Octubre 1997).

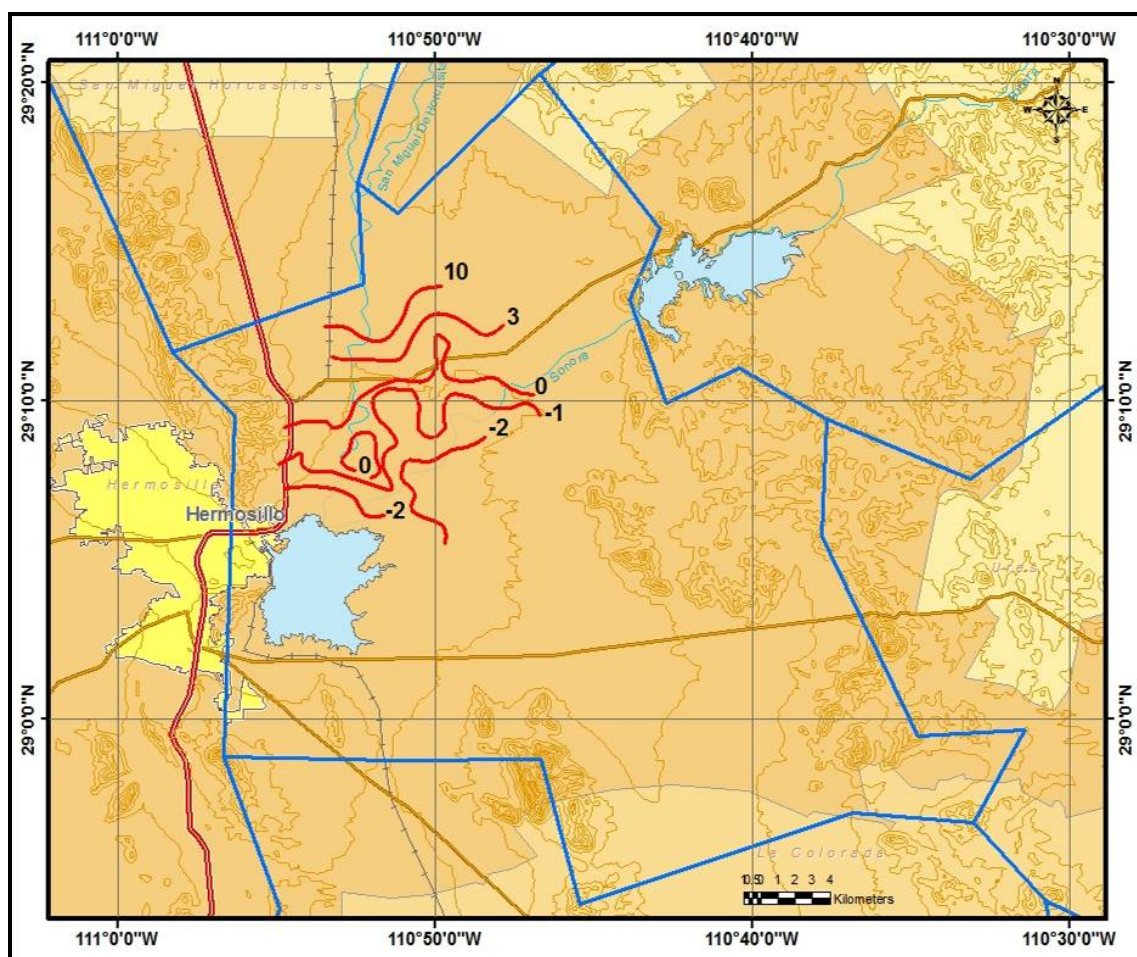


Figura No. 9. Evolución del nivel estático (Octubre 1997 – Noviembre 1998).

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

EL agua subterránea muestra la influencia de su interacción con las rocas de origen ígneo que conforman la zonas de recarga al acuífero. La familia de agua predominante es la sódica-bicarbonatada, que representa agua de reciente infiltración, aunque localmente se identifica a predominancia de sulfatos y cloruros, éstos últimos posiblemente asociados a la influencia hidrotermal, que existen manifestaciones de su presencia en la zona aledaña a la falla normal que pone en contacto la granodiorita cretácica con los materiales granulares, desde La Victoria hasta San Pedro El Saucito. En algunos pozos de la captación La Victoria, en la zona de El Alamito y La Resolana, cuyas profundidades varían entre 100 y 300 m, se han detectado concentraciones de flúor (1.8 a 3.6 mg/l) y arsénico (0.0056 a 0.084 mg/l) que sobrepasan la norma oficial para el agua destinada al consumo humano.

Existen evidencias de la existencia de una estratificación en la calidad del agua: una serie de flujos locales que se presentan en los rellenos granulares y un sistema de flujo regional que se caracteriza por presentar mayor temperatura y mayor concentración de elementos como el flúor y arsénico.

Recientemente, en el año 2007, se realizó el análisis fisicoquímico a 10 muestras de agua de pozos representativos distribuidos en el acuífero. De acuerdo con sus resultados, se observa que las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 300 a 500 ppm, registrándose los valores más bajos hacia la presa El Molinito y los más altos hacia el poblado La Victoria y hacia el vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez (Figura No. 10). Esta condición tan favorable, se puede explicar debido al reducido tiempo de permanencia del

agua y al efecto de disolución que se produce al infiltrarse el agua de lluvia o el agua desfogada de la presa El Molinito a través del cauce del río Sonora.

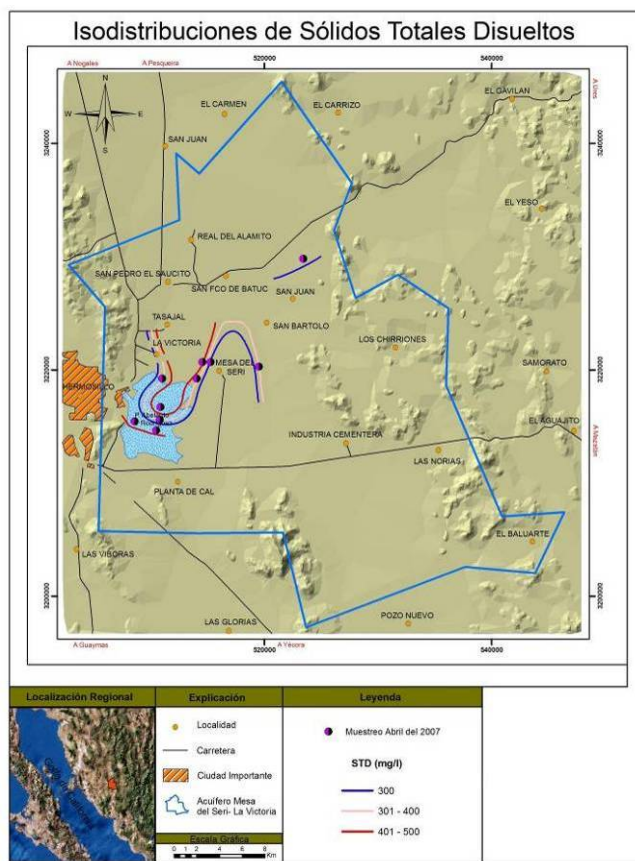


Figura No. 10. Configuración de sólidos totales disueltos (2007).

La concentración de CaCO_3 en las muestras varía entre 180y 440 mg/l, registrándose la máxima concentración en la muestra colectada al suroeste del poblado El Realito (pozo R-4). Esta dureza se puede atribuir a la presencia de rocas carbonatadas que aportan los iones de calcio y magnesio, que son los principales causantes de la dureza del agua. Aunque las concentraciones no superan los 500 mg/l que establece la Norma Oficial Mexicana (NOM) como límite máximo permisible, el agua se clasifica como dura.

En cuanto a las concentraciones de calcio, sus valores oscila entre 52.4 y 132.0 mg/l (el valor más alto se registró en el pozo R-4).

Las concentraciones de sodio no superan el límite máximo de 200 mg/l que establece la NOM, los valores registrados varían entre 36 y 164 mg/l, siendo mayor la concentración en el pozo R-8 (ubicado al noroeste del predio Mayola).

Para el caso de los bicarbonatos, las concentraciones varían entre 220 y 427 mg/l (el valor máximo se presentó en la muestra del pozo R-4). Los valores más altos se registran en los pozos ubicados al oriente del poblado Mesa del Seri.

Con respecto a la concentración de cloruros, las muestras de agua analizadas no superan el límite máximo permisible de 250 mg/l que establece la NOM para el agua destinada al consumo humano. Los valores registrados varían 20 y 135 mg/l, los valores más altos se registran hacia La Victoria y los más bajos hacia la presa Abelardo L. Rodríguez.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con las cifras del censo actualizado en octubre del 2006, existen dentro del acuífero un total de 474 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 289 son pozos y 185 norias de bajo rendimiento que abastecen las necesidades del uso doméstico-abrevadero. Se desconoce el número de las norias que se encuentran inactivas, ya que por la prolongada sequía muchas de ellas están fuera de uso; pero debido a que el acuífero tiene una rápida respuesta a la recarga originada por la infiltración a lo largo de los cauces de los ríos, debido a los escurrimientos torrenciales o al desfogue del agua proveniente de la presa El Molinito, algunas de ellas operan cuando se presenta alguna de esas situaciones. Adicionalmente, se estima que existe un número considerable de aprovechamientos que no están incluidos en el último censo. De acuerdo con el uso del agua subterránea, el 64.1% de los aprovechamientos se destina al uso agrícola, el 13.6% al uso pecuario, el 11.3% para el uso público-urbano, el 7.5% para uso industrial y el 3.5% restante se destinan al uso doméstico-abrevadero.

El volumen de extracción conjunta asciende a los 120 Mm³ anuales, de los cuales 77 Mm³ (64.2%) se utilizan en la agricultura, 40 (33.3%) para el abastecimiento de agua potable a los centros de población, 1 más (0.8) para uso industrial y los 2 Mm³ restantes (1.7%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. El balance de aguas subterráneas se definió en una superficie de **292 km²**, que corresponde a la zona donde se localizan los aprovechamientos del agua subterránea. No existe información piezométrica anterior que cubra el acuífero y que se correlacione de manera confiable de acuerdo a las diferentes nomenclaturas de los pozos utilizadas en estudios previos y la de los paros del bombeo. Para fines del balance de aguas subterráneas se consideró el periodo que comprende de marzo de 1997 a noviembre de 1998.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de Almacenamiento } \Delta V(S)$$

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

7.1 ENTRADAS

La recarga total que recibe el acuífero (Rt) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en la valle (Rv), infiltración de los escurrimientos de los ríos Sonora y San Miguel (Rr) y por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, se produce recarga debido a la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola (Ri), que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela. Aunque existen fugas en los sistemas de alcantarillado y de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Hermosillo, debido a que ésta se localiza fuera del límite administrativo del acuífero, no se consideró esta componente.

Recarga vertical (Rv)

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

$$R_v + E_h + R_i + R_r - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

- Rv:** Infiltración por lluvia
- Eh:** Recarga por flujo horizontal
- Ri:** Recarga inducida
- Rr:** Recarga debida a las infiltraciones en los ríos
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo horizontal
- ETR:** Evapotranspiración real
- $\Delta V(S)$:** Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = S_h + B + ETR - \Delta V(S) - E_h - R_i - R_r \quad (2)$$

7.1.1 Entradas subterráneas horizontales (Eh)

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para 1998 (figura No. 7) y de los valores de transmisividad obtenidos de la interpretación de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona del acuífero, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = BiT$$

Donde

B: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ($i = (h_2 - h_1) / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

T: Transmisividad (m^2/s) en el canal de flujo.

Considerando un frente de 15 km de la porción norte del acuífero, donde se presentan las entradas subterráneas (figura No. 7), un gradiente de 0.0032 y una T de $10 \times 10^{-3} m^2/s$, el valor de la entradas subterráneas asciende a $15.0 Mm^3$ anuales.

El valor de T utilizado para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas es el promedio de los obtenidos mediante la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos.

7.1.2 Recarga Inducida por el riego (Ri)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen exclusivamente por concepto de los excedentes del riego.

En el acuífero Mesa del Seri-LaVictoria existe una zona agrícola cuya superficie aproximada es de 7000 ha. Los cultivos principales son alfalfa (16 %), trigo (33 %), forrajes (43 %),

naranja (6%) y otros menores como hortalizas, maíz y frijol (2%). El uso consuntivo promedio (\overline{UC}) se calculó como:

$$\overline{UC} = \frac{\sum_{i=1}^5 A_i UC_i}{\sum_{i=1}^5 A_i}$$

Donde A_i y UC_i son el área y el uso consuntivo del cultivo i . La estimación del uso consuntivo por cultivo se realizó mediante la fórmula de Blaney–Criddle modificada por Phelan (Aguilera y Martínez, 1996). Si $i = 1, 2, 3$ para la alfalfa, trigo, forrajes, naranja y otros, respectivamente, se tiene:

$$\overline{UC} = \frac{(1100 \text{ ha} \times 2000 \text{ mm}) + (2350 \text{ ha} \times 900 \text{ mm}) + (3000 \text{ ha} \times 1250 \text{ mm}) + (400 \text{ ha} \times 1350 \text{ mm}) + (150 \text{ ha} \times 700 \text{ mm})}{7000 \text{ ha}} = 1244 \text{ mm}$$

Por el método de balance hídrico, la recarga por retorno de riego (R_r), se calcula como:

$$R_r = P + L_r - \overline{UC}$$

en donde P es la precipitación media anual y L_r es la lámina de riego aplicada, la cual se obtiene como el cociente de la extracción para uso agrícola ($77 \text{ Mm}^3/\text{año}$) y la superficie regada (7000 ha), arrojando un valor de 1100 mm. Así,

$$R_r = 330 + 1100 - 1244 = 186 \text{ mm}$$

Por lo tanto el valor de la lámina de retornos de riego aplicada a la superficie agrícola de 7000 ha equivale a una recarga de **13.0 Mm³/año**. Dicho valor equivale al 17% del volumen aplicado para uso agrícola.

7.1.3 Recarga debida las infiltraciones en los ríos (Rr)

Esta componente de recarga se refiere a las infiltraciones que alimentan al acuífero principalmente durante los eventos de desfogue del agua contenida en la presa El Molinito hacia la presa Abelardo L. Rodríguez. Los volúmenes se liberan de manera controlada y debido a que existe el aforo de salida de una presa y de la llegada a la otra, se puede conocer el volumen infiltrado.

De acuerdo con los registros de funcionamiento de dichas presas, durante el periodo 1997-1998 se desfogó un volumen aproximado de 70 Mm^3 . Si consideramos que, de acuerdo a estimaciones del Organismo de Cuenca Noroeste, al menos un 70% de este volumen se infiltra, y que el desfogue se realizó en 3 eventos con duración mínima de una semana, durante el estiaje, cuando la evaporación es más alta, se estima que el volumen de recarga efectiva que recibió el acuífero asciende a **30 Mm³**.

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), por flujo subterráneo y por evapotranspiración (ETR). No existen salidas por flujo base en el río ni manantiales.

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad

del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración.

Debido al abatimiento de los niveles del agua subterránea causados por las prolongadas sequías, ha desaparecido la zona de niveles freáticos someros que se localiza en la zona ribereña del río Sonora. Esto mismo originó que la galería filtrante construida entre los ríos Sonora y Chiltepín para aprovechar el agua del subálveo dejara de operar en el año 1997.

Por esta razón se considera que **ETR = 0**

7.2.2 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos del último censo e hidrometría realizados en el 2006, el volumen de extracción de agua subterránea asciende a los **120 Mm³ anuales**.

7.2.3 Salidas subterráneas (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del NE para 1998. El Valor estimado es de **16.0 Mm³/año**, calculado en una sección próxima a la cortina de la presa Abelardo L. Rodríguez que alimenta a la Batería de pozos “La Sauceda”, localizada dentro del acuífero Costa de Hermosillo.

7.3 Cambio de Almacenamiento $\Delta V(S)$

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero 1997-1998 mostrada en la figura No. 9. Con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático, y considerando un coeficiente de almacenamiento $S = 0.1$, se determinó la variación del almacenamiento con la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

- $\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado
- S = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance
- A = Área entre curvas de igual evolución del nivel estático
- h = valor medio de la variación piezométrica en el período

Considerando un coeficiente de almacenamiento promedio de 0.12 y que el abatimiento medio es de -1.8 m para toda la zona de balance de 292 km², el cambio de almacenamiento es de **-63.0 Mm³ anuales**.

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración por lluvia (Rv), por lo que despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 16.0 + 120.0 + 0.0 - 63.0 - 15.0 - 13.0 - 30.0$$

$$R_v = 15.0 \text{ Mm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto la recarga total es igual a $R_t = R_v + E_h + R_i + R_r$

$$R_t = 15.0 + 15.0 + 13.0 + 30.0$$

$$R_t = 73.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS$$

Donde:

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

R = Recarga total media anual.

DNCOM = Descarga natural comprometida.

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

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **73.0 Mm³/año**, de los cuales 30 son recarga natural y los 43 Mm³ restantes corresponden a la recarga inducida.

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

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

Para el caso del acuífero Mesa del Seri–La Victoria, el volumen de la descarga natural comprometida es de **16.0 Mm³/año**, que corresponde a las salidas subterráneas hacia el acuífero Costa de Hermosillo.

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Mesa del Seri – La Victoria el rendimiento permanente es **57.0 Mm³ anuales**.

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 30 de abril del 2007 es de 94'824,004 m³/año.

8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión (3) se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA.

$$DAS = 73.00 - 16.00 - 94.824004$$

$$DAS = -37.824004 \text{ Mm}^3 \text{ anuales}$$

La cifra indica que no existen volúmenes adicionales para otorgar nuevas concesiones, si no que, por el contrario, se tiene un déficit de 37'824,004 m³ anuales que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero Mesa del Seri-La Victoria.

9. BIBLIOGRAFÍA

Determinación del Potencial de Explotación del Acuífero de La Victoria como Fuente de Abastecimiento a la ciudad de Hermosillo, Sonora. 1990. Realizado por la empresa Estudios de Planeación Regional S.A. de C.V. (GYMSA), para la Comisión Nacional del Agua.

Modelo de Simulación Hidrodinámica del Acuífero Mesa del Seri – La Victoria, Sonora. 1999. Reporte Interno GAS/99/01 Realizado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Subdirección General Técnica. Comisión Nacional del Agua.

Estudio Geohidrológico de las Subcuencas de los Ríos Sonora, Zanjón, San Miguel, Mesa del Seri – La Victoria y Cuenca Bacoachito (2004). Realizado por la Universidad de Sonora (UNISON), para la Comisión Estatal del Agua (CEA).

Estudio Hidrogeológico en la Zona Compreendida entre las Presas Abelardo L. Rodríguez y Rodolfo Félix Valdez (El Molinito). 1999. Luis Herman Valenzuela y Carlos Alberto Coronado. Tesis de licenciatura para obtener el grado de Geólogo por la Universidad de Sonora.

Estudio Geofísico de Sondeos por el método Transitorio Electromagnético (TEM) para determinar posibilidades acuíferas en los terrenos donde se proyecta la construcción de la planta cementera Holcim–Apasco de la ciudad de Hermosillo, Sonora, 2007, Realizado por la empresa Seismocontrol S. A. de C. V., para Holcim-Apasco.