

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero La Tinaja (2611), 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							
2611	LA TINAJA	26.1	0.0	25.294534	22.6	0.805466	0.000000

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 LA TINAJA,
ESTADO DE SONORA.**

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO LA TINAJA, 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	5
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia fisiográfica.....	5
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	8
4.2 Geología estructural.....	10
5. HIDROGEOLOGÍA.....	11
5.1 Tipo de acuífero.....	11
5.2 Piezometría.....	12
5.3 Comportamiento hidráulico.....	12
5.3.1 Profundidad al nivel estático.....	12
5.3.2 Elevación del nivel estático.....	13
5.3.3 Evolución del nivel estático.....	14
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA....	14
7 BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO	15
8. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	16
8.1 Entradas.....	16
8.1.1 Recarga natural.....	16
8.1.2 Recarga inducida.....	17
8.2 Salidas	17
8.2.1 Descarga natural.....	17
8.2.2 Bombeo.....	17
8.3 Cambio de almacenamiento.....	17
9. DISPONIBILIDAD.....	18
9.1 Recarga total media anual.....	18
9.2 Descarga natural comprometida.....	18
9.3 Rendimiento permanente.....	18
9.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	18
9.5 Disponibilidad de aguas subterráneas.....	18
10. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	19

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 La Tinaja quedó designado con la clave 2611. El área del acuífero comprende una superficie aproximada de 1,825 km², localizado en la porción centro-noroeste del estado de Sonora, limitando con los acuíferos de Magdalena al norte, con Río Zanjón por el sur, con Río San Miguel al este, y por el oeste con parte de Magdalena y Costa de Hermosillo.

Según las coordenadas geográficas reportadas en la tabla No. 1 se localiza entre los paralelos 29°52'33.6'' y 30°28'33.6'', y entre los meridianos 110°47'2.4'' y 111°23'2.4'' al oeste de Greenwich, como se puede ver objetivamente en la figura No. 1.

Tabla No. 1. Coordenadas que definen al área que cubre el acuífero

ACUIFERO 2611 LA TINAJA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	110	53	45.6	30	27	39.6
2	110	47	2.4	30	28	33.6
3	110	49	30.0	30	22	8.4
4	111	2	38.4	30	12	46.8
5	111	11	6.0	30	1	4.8
6	111	10	40.8	29	55	4.8
7	111	15	39.6	29	54	43.2
8	111	20	9.6	29	52	33.6
9	111	22	55.2	30	6	50.4
10	111	23	2.4	30	10	51.6
11	111	19	22.8	30	15	10.8
12	111	22	15.6	30	20	2.4
13	111	7	44.4	30	27	14.4
1	110	53	45.6	30	27	39.6

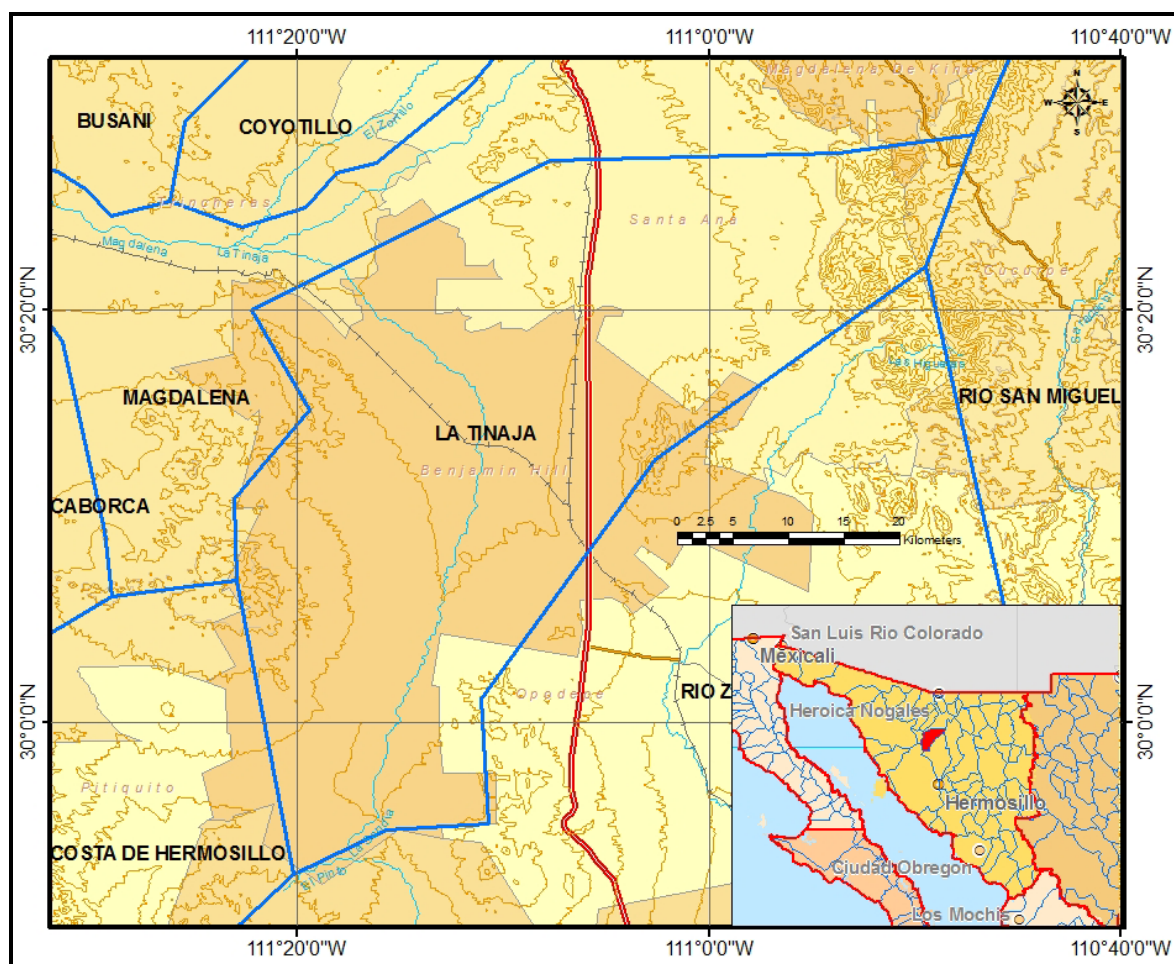


Figura No. 1. Localización del acuífero.

Los municipios que se localizan en el área del acuífero, prácticamente casi la totalidad de Benjamín Hill, mientras que en forma parcial aparece el municipio de Santa Ana, y en una muy pequeña proporción los municipios de Carbó, Cucurpe, Magdalena, Opodepe, todos ellos del estado de Sonora.

Entre las principales poblaciones que se localizan en el área, correspondientes al municipio de Benjamín Hill se encuentran: Benjamín Hill, Las Ánimas, El Remolino, Las Flores y El Carrizo, en cuanto al municipio de Santa Ana se localizan las poblaciones: Fátima, El Ajuage y Estación Llano.

El municipio de Benjamín Hill, según las estadísticas de la CONAPO, para el año 2005 tenía del orden de 5,906 habitantes. Asimismo, la misma institución señala que para el municipio de Santa Ana la población para ese año era del orden de 14,761, cabe señalar que de esta población corresponden al poblado de Santa Ana del orden de 10,000 habitantes, y para la población del El Claro son alrededor de 1,000, estos dos poblados quedan fuera de la zona, sin embargo, en la población de Estación del Llano se asientan cerca de 1,000 habitantes. Tabla No. 2.

De lo anterior se puede considerar que dentro del área, prácticamente se asienta toda la población del municipio de Benjamín Hill, mientras la correspondiente al municipio de Santa Ana debe ser un poco más que la que habita en la localidad de Estación del Llano, del orden de 3,000 habitantes, por lo que la población total dentro de los límites del acuífero es del orden de 9,000 habitantes.

No se incluye el número de habitantes de los municipios restantes por encontrarse sólo una pequeña área de ellas en el área.

Tabla No. 2 Población municipal

Clave	Municipio	Población
26016	Benjamín Hill	5,906
26058	Santa Ana	14,761
	Suma	20,667

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

Todos los municipios que cubren el área donde se localiza el acuífero La Tinaja, cuentan con veda para extracción de agua subterránea tipo 1, de acuerdo con la clasificación del Artículo 11 del Reglamento de la Ley de fecha 29 de diciembre de 1956, en materia de Aguas del Subsuelo.

El decreto fue publicado el 19 de septiembre de 1978 en el Diario Oficial de la Federación, en el artículo primero declara de interés público la conservación de mantos acuíferos del Estado de Sonora, en la parte oeste del meridiano 110° de Greenwich, del estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en dicha zona, que no quedaron incluidos en las vedas impuestas en los ordenamientos señalados en el considerando primero de este Decreto.

Artículo Segundo. Por causa de interés público se establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en la región meridional en el artículo que antecede.

Artículo Tercero. Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente decreto, nadie podrá efectuar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la autoridad el agua, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas, sin la concesión o asignación que expida también, según el caso, la propia Autoridad.

El acuífero La Tinaja, pertenece a la Región Administrativa II Noroeste, así como al Consejo de Cuenca 3 Alto Noroeste, no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas.

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Se cuenta con el estudio denominado Actualización de los Datos de la Red de Medición Piezométrica de los Acuíferos: Río Altar, Arroyo Seco, Busani, Coyotillo, La Tinaja, Magdalena y Río Alisos. Universidad de Sonora, del Departamento de Geología, del año 2004.

El objetivo principal es conocer de manera exacta la posición actual del nivel estático de los acuíferos que forman parte del área de estudio; así como el establecer una red de monitoreo simplificada y confiable para la obtención de información hidrogeológica y piezométrica de los acuíferos; así como el censo de aprovechamientos existentes, para disponer de una red de pozos de monitoreo de niveles para establecer un programa anual para futuros estudios piezométricos.

Se presenta el estudio piezométrico y una propuesta de Red de Monitoreo Piezométrico de los Acuíferos: 2608 Río Altar, 2607 Arroyo Seco, 2609 Búsani, 2610 Coyotillo, 2611 La Tinaja, 2612 Magdalena y 2613 Río Alisos, ubicados en la parte media y alta de la Cuenca Río Concepción–Arroyo Cocóspera, en el extremo noroeste del estado de Sonora, México.

Se presenta el levantamiento de la piezometría de un total de 244 aprovechamientos, ubicados en los acuíferos mencionados.

Fisiográficamente el área de estudio forma parte de la Provincia Basin and Range. En la región se presenta una columna litológica muy completa con rocas metamórficas de edad Precámbrico en la base, seguidas de rocas sedimentarias del Paleozoico; volcánicas y sedimentarias del Mesozoico y volcánicas del Terciario Inferior. La parte alta de la columna la constituyen rocas sedimentarias clásticas del Terciario y Cuaternario, que a su vez alojan las zonas acuíferas del área.

Se presenta la información del censo y análisis del REPDA a la fecha de su realización por cada acuífero, así como estadísticas del uso del agua, tipo de aprovechamiento, profundidad de los pozos y diámetro de descarga.

Se presenta delimitación de las zonas acuíferas y mapas de ubicación de aprovechamientos, e isolíneas de profundidad y elevación del nivel estático.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

El acuífero La Tinaja se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Llanura Sonorense y en la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses.

3.2 CLIMA

El clima de la región donde se localiza el acuífero La Tinaja es del tipo Bwh muy seco semicálido.

En la tabla No. 3 se presenta la precipitación y la temperatura media anual de las dos estaciones climatológicas localizadas dentro del acuífero y su ubicación en las figuras 2 y 3. Como puede apreciarse en esa tabla el período de observación es muy limitado, por lo que para obtener la temperatura y precipitación medias anuales se utilizarán el mapa de isotermas y el mapa de isoyetas normales de la CNA, de acuerdo con lo establecido en la Norma para el cálculo de la disponibilidad.

Tabla No. 3 Valores medios de precipitación y temperatura

Estación		Precipitación media anual mm/año		Temperatura media anual °C	
		Promedio	Años con datos	Promedio	Años con datos
26152	BENJAMIN HILL FF.CC.	216.7	8.0	21.0	4
26215	EL LLANO, SANTA ANA	278.0	2.0	16.5	5

Temperatura media anual

Con base a la información de la carta de temperaturas medias anuales de INEGI, dicha temperatura es de 20° C.

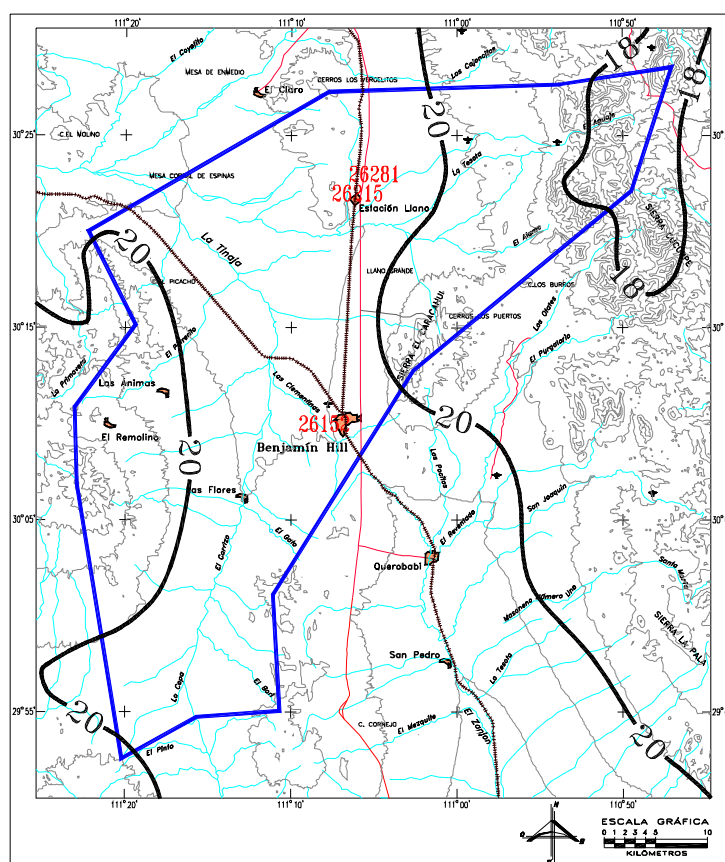


Figura No. 2 Isotermas medias anuales (°C)

Precipitación media anual

De acuerdo con la información de Isoyetas normales anuales de la República Mexicana CNA, los valores de las isoyetas promedio anual oscilan entre 300-350 mm/año, por tanto se puede considerar un valor medio anual de 310 mm considerando su distribución.

Evaporación potencial media anual

En el área no se tiene una estación climatológica que permita conocer la evaporación, sin embargo a 40 km al norte de Benjamín Hill se localiza la estación Santa Ana donde se tiene reportada una evaporación media anual de 2,027 mm.

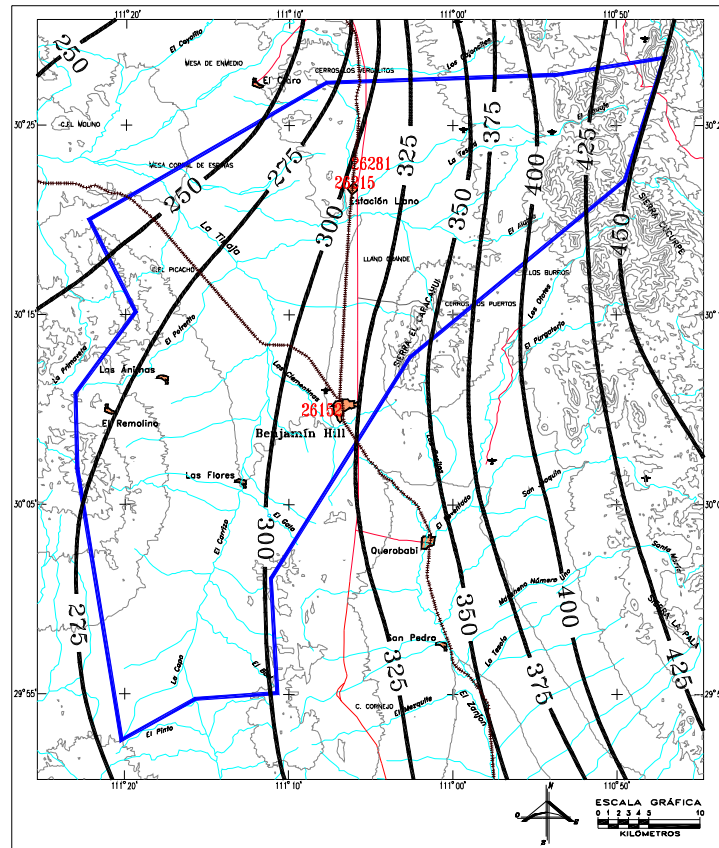


Figura No. 3 Isoyetas medias anuales (mm/año)

3.3 HIDROGRAFÍA

En el área existen diversos arroyos siendo la principal corriente superficial el arroyo de la Tinaja que se forma de la unión de varios arroyos, entre el más importante se encuentra el arroyo El Carrizo, entre los arroyos que convergen al arroyo El Carrizo se encuentran el arroyo Las Clementinas y el arroyo El Potrerito, el arroyo de Tinaja recibe por su margen derecha las aportaciones del arroyo el Álamo.

El arroyo de la Tinaja fuera del área, desemboca en el río de los Alisos, al cual también desembocan otros ríos como el arroyo del Soto, arroyo del Coyotillo y arroyo Busani, para formar el río Magdalena.

La zona que drena el arroyo La Tinaja es de topografía suave, salvo en el parteaguas nororiental, al noreste de Benjamín Hill, Son. y en el centro occidental donde se tienen altitudes de 1780 y 1240 m respectivamente.

De acuerdo con los criterios de la hidrología superficial, el acuífero La Tinaja pertenece a la Región Hidrológica No. 8 Sonora Norte. Pertenece a la Subregión 8 B Río Concepción. Cuenca del Río La Concepción.

En el área existen algunos canales y obras afines para el riego, no se tiene ningún vaso de almacenamiento de importancia, adicionalmente existen aprovechamientos de agua subterránea consistentes en pozos.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

La superficie que determina el perímetro del Acuífero La Tinaja es muy irregular, pero mantiene una orientación general NE-SW, aún y cuando la hidrología marca una dirección predominante de las corrientes hacia el noroeste, tiene una longitud aproximada de 70 km y una amplitud promedio de 17 km.

Las elevaciones topográficas más importantes se presentan en la porción noreste con altitudes por encima de los 1700 msnm, y en las sierras localizadas al poniente de la población de Benjamín Hill, donde las altitudes oscilan entre los 1400 y 1500 msnm.

La parte central del acuífero está dominada por una amplia zona plana y de lomeríos suaves con cerros pequeños, lo que hace que la zona acuífera tenga una amplitud de hasta 15 km.

4 GEOLOGÍA

En este apartado se abordan los levantamientos geológicos que integran la estratigrafía regional, la geología estructural y del subsuelo.

4.1 ESTRATIGRAFÍA

Si bien es cierto que en el área del acuífero predominan los sedimentos Plio-Cuaternarios, dentro de ésta se tienen afloramientos importantes de rocas con edades desde el Precámbrico hasta el Reciente.

Precámbrico y Paleozoico

Las rocas de esta edad afloran en la porción media del área, al poniente de la ciudad de Benjamín Hill. Están representadas por gneisses bandeados cuarzo-feldespáticos precámbricos que se encuentran bajo una secuencia metasedimentaria carbonatada del Paleozoico.

Mesozoico

En la misma localidad donde se observan afloramientos de rocas precámbricas y paleozoicas, se presentan rocas mesozoicas sedimentarias cubriéndolas discordantemente. Estas rocas están caracterizadas por las litologías detríticas y carbonatadas características del Grupo Bisbee.

Rocas metamórficas mesozoicas también se presentan en las inmediaciones del poblado Estación Llano, donde gneisses y esquistos están asociados a vetas de cuarzo-turmalina mineralizadas, así como a riolitas cretácicas (Riolita Gauna) que afloran en el predio de la Mina San Francisco del mencionado poblado.

Como parte de las rocas mesozoicas que afloran en el área se tienen a los intrusivos graníticos, cuyos afloramientos dominan la porción oriental, y algunos más restringidos donde se observa que están intrusionando a las litologías más antiguas.

Cenozoico

Las rocas comprendidas dentro del área que enmarca este acuífero y que corresponden a este período, afloran en las partes topográficamente altas del límite más nororiental de la misma. Están representadas por tobas ácidas, riolitas y dacitas del terciario que cubren discordantemente a rocas ígneas intrusivas mesozoicas.

Comprendidas dentro del Cuaternario, se encuentran los sedimentos que ocupan la mayor superficie dentro del área. Estos sedimentos están constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas, distribuidos en tres grandes grupos: depósitos aluviales, fluviales y erosionables. Los depósitos aluviales, ocupan las áreas de valle, los depósitos fluviales las terrazas excavadas por las corrientes superficiales que descienden hacia la planicie aluvial y los depósitos erosionables, productos de desintegración física, mecánica y de remoción de masas depositadas de sierras y cerros aledaños.

Es importante mencionar que en gran parte del área, los sedimentos Plio-Cuaternarios tienen una distribución espacial muy amplia, lo que genera que la zona acuífera en esta porción se incremente, sobre todo en el cuadrángulo formado por las localidades de Benjamín Hill, La Sandía, El Picacho y Estación Llano.

El resumen estratigráfico encontrado en la bibliografía consultada se presenta en la tabla No. 4. Un mapa geológico esquemático se muestra en la Figura No 4.

Tabla No. 4. Estratigrafía y unidades hidrogeológicas

EDAD	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	Reciente	Depósitos aluviales y eólicos poco o nada consolidados (Qal) y (Qeo).
	Pleistoceno	Basaltos Cuaternarios (Qb).
TERCIARIO	Plioceno	Depósitos detríticos continentales con basaltos interestratificados (Tsv). Formación Baucarit (Tsc).
	Mioceno	Tobas riolíticas con interestratificación de basalto, tobas y piroclásticos (Tiv).
	Eoceno	Estratos vulcanoclásticos. FM. Elenita, FM. Henrieta y FM. La Mesa. Intrusivos graníticos, granito Cananea y Fanglomerado La Caridad. (Tivc) y (Mi).
	Paleoceno	
CRETÁCICO	Superior	Intrusivos graníticos y capas vulcanoclásticas areniscas, lutitas y calizas. Grupo Cabullona (Mi), (Ksv) y (Kss).
	Inferior	Calizas, lutitas, areniscas y conglomerados. Grupo BISBEE, Grupo Ceja, Grupo Azulitos, FM. El Palmar y FM. Morita (Kis), FM. Tarahumara (Kiv).
JURÁSICO	Superior	Calizas conglomerados areniscas y lutitas. FM. El Batamote, FM. Sasabe y FM. Chanate (Jss).

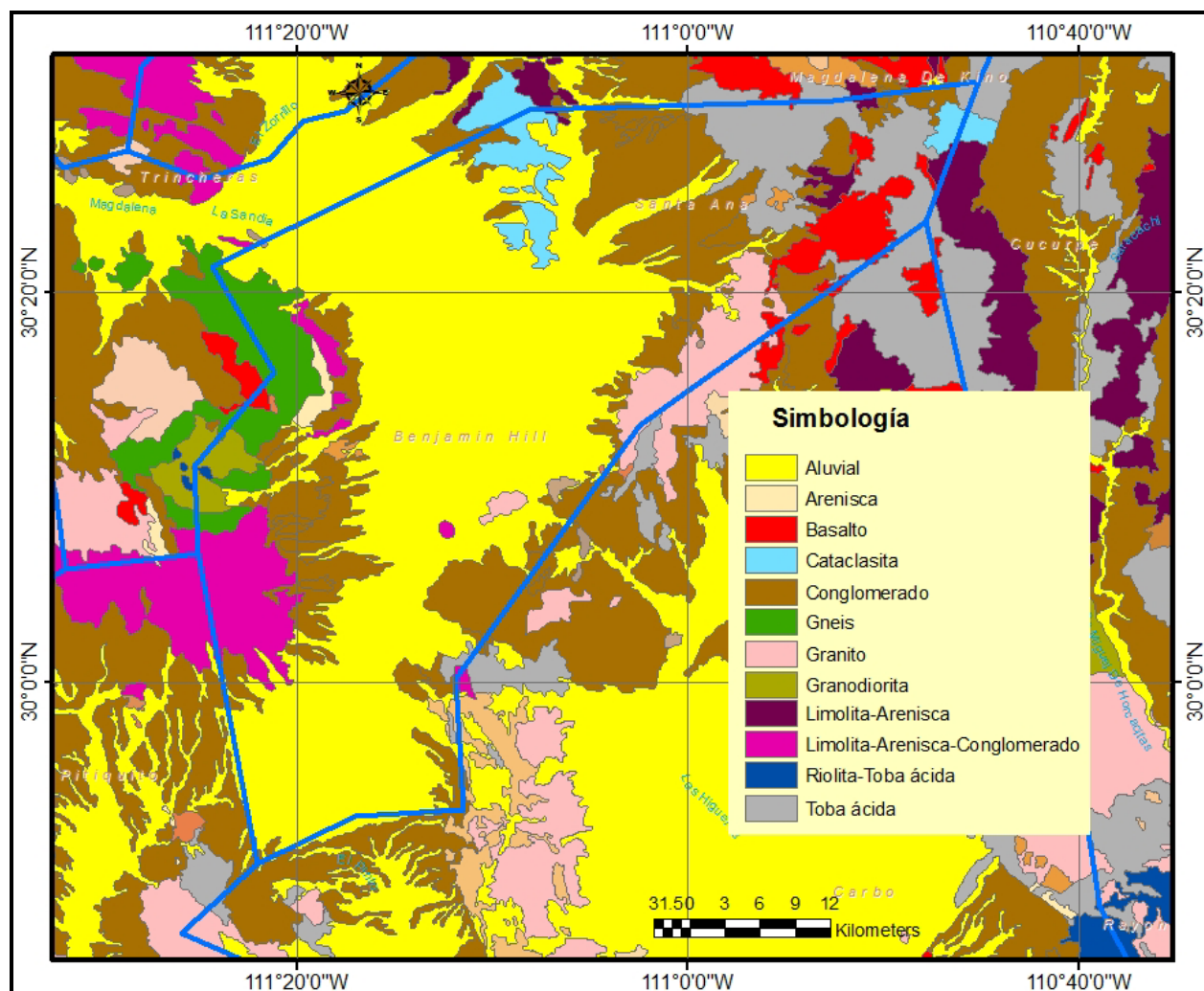


Figura No. 4. Mapa Geológico

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los principales eventos tectónicos que han afectado a través del tiempo geológico al estado de Sonora se pueden considerar en orden cronológico los siguientes:

La Orogenia Mazatzal, de edad Proterozoico Temprano, que se corresponde con un proceso de metamorfismo regional (Complejos metamórficos Bámori e indiferenciado).

La depositación de la secuencia carbonatada-clástica del Proterozoico Tardío en zonas de plataforma de aguas someras y la prolongación hacia el sur del Geosinclinal Cordillerano.

Posteriormente, viene una estabilidad tectónica durante el Paleozoico, depositándose secuencias sedimentarias de facies de plataforma en distintas partes del Estado.

Como fase subsecuente sobrevino una despositación de cuenca ligada a un arco magmático, originado como consecuencia de la subducción de litósfera oceánica en el margen occidental de Norteamérica, durante el Triásico Tardío-Jurásico Temprano, produciendo un evento de metamorfismo regional que transforma la secuencia durante el Jurásico Medio-Tardío.

Durante el Cretácico Inferior se inicia una transgresión marina, con una fase compresiva durante el Cretácico Medio, que provoca el plegamiento de la secuencia del Cretácico Inferior y terrenos de la franja volcánogena Jurásica.

En el intervalo del Cretácico Inferior al Terciario Inferior se presenta la Orogenia Laramide, con una etapa magmática asociada. Este evento origina el emplazamiento de un importante conjunto volcano-plutónico durante el Terciario Temprano-Cretácico Tardío.

La tectónica distensiva que origina la apertura del Golfo de California y la formación de la Provincia de Sierras y Valles Paralelos se considera del Mioceno Temprano. La denudación tectónica con eventos compresivos menores, erupciones por fisuras profundas y acción continua de fuerzas exógenas, producen el desarrollo de depósitos no consolidados de aluviones y terrazas del Mioceno hasta el Reciente.

Las estructuras más antiguas presentes en la región están caracterizadas por fallas de cabalgadura de edad mesozoica y probablemente de mayor edad, que sobreponen unidades más antiguas sobre otras más jóvenes.

Estas cabalgaduras tienen vergencias predominantemente hacia el noreste y han sido identificadas principalmente en las sierras del sur del área donde afloran rocas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas.

El área se caracteriza por sierras y valles paralelos producidos por la distensión terciaria (Basin and Range). En este contexto, se generaron cuencas de graben y semi-graben que son limitadas por fallas normales de ángulo alto (65° - 85°) con una orientación predominante NNW-SSE.

Otras estructuras importantes son las fallas normales de ángulo bajo (15°) o fallas de Detachment que se manifiestan principalmente en la sierra La Madera al oriente del poblado de Ímuris, así como en la sierras al oeste de Magdalena. Estas estructuras son resultado del evento distensivo del "Metamorphic Core Complex".

Estos dos últimos eventos geológicos han producido un fracturamiento importante en las rocas pre-terciarias, lo cual debe ser considerado en un futuro para posibles estudios de acuíferos en roca.

Si bien es cierto que no se tienen identificadas estructuras recientes que afecten los sedimentos cenozoicos del área, los cauces de los ríos pudieran corresponder al lineamiento de estructuras sepultadas.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

La interpretación y análisis de información disponible de cortes litológicos, permitió concluir que el acuífero se encuentra contenido principalmente en materiales granulares no consolidados depositados por las diferentes corrientes presentes en la zona, principalmente por el arroyo La Tinaja, el cual presenta una planicie de inundación muy amplia.

Este acuífero funciona como libre, presentando por debajo de las capas granulares una serie de estratos de conglomerados semi-consolidados y gravas que representan una segunda unidad hidrogeológica de interés.

5.2 PIEZOMETRÍA

Con base en la información disponible, primero se distinguió entre los diferentes comportamientos de niveles.

Una vez analizada la potenciometría, fue posible separar aquellos pozos que muestran el comportamiento típico del acuífero superior, apoyado principalmente en norias y pozos someros, así como en la freaticimetría de la parte Alta y Media de la cuenca Río Concepción-Arroyo Cocóspera.

Igualmente se seleccionó una muestra representativa de pozos que bombean el acuífero regional y que muestran un comportamiento característico, a esta se le denominó Red de Monitoreo Piezométrico.

Para obtener la red de monitoreo se discretizó el área con un mallado que se fue ajustando, de acuerdo con la cantidad y calidad de la información piezométrica.

5.3 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

El análisis del comportamiento hidráulico del almacenamiento subterráneo comprende las configuraciones del nivel estático.

5.3.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático más somero obtenido en este trabajo es de 4 m y se tiene en la parte alta al norte del acuífero, en las inmediaciones del rancho El Aguaje, aunque en áreas muy pequeñas, según se puede observar en la figura No. 5. Por otra parte, el nivel más profundo obtenido fue de 63 m, y se ubica en la parte baja ligeramente hacia el suroeste del acuífero dentro de la propiedad del rancho Buenos Aires.

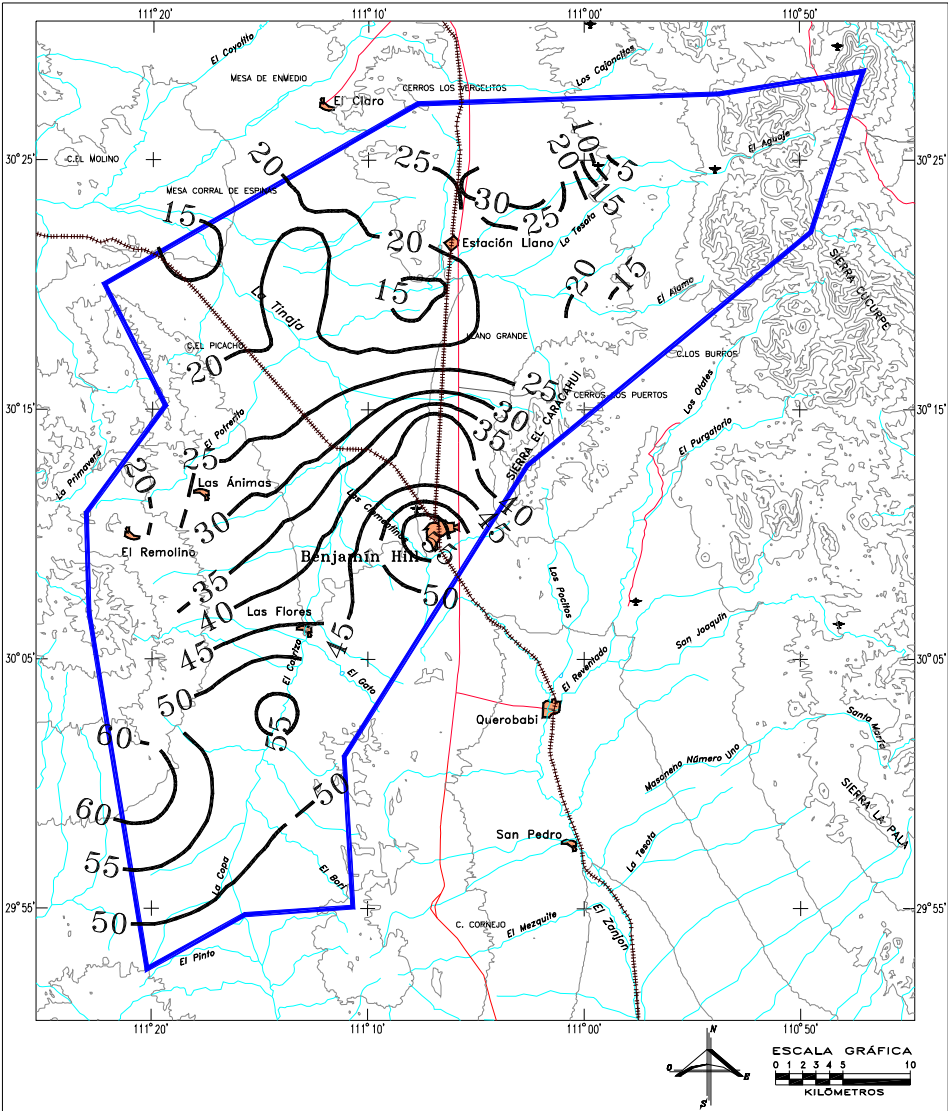


Figura No. 5 Curvas de igual profundidad al nivel estático 2004 (m)

5.3.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático más alto obtenido se sitúa en el rancho Remolino en la parte media-alta al este de acuífero con 854 msnm; mientras que la elevación menor se presenta en el rancho Santa Eulalia en la parte media-baja al oeste del acuífero con 588 msnm.

En la parte central del acuífero se observó que el flujo subterráneo es hacia el noroeste, en la misma dirección del cauce del arroyo principal que drena el acuífero. Las entradas por flujo subterráneo provienen del noreste y oeste, marcadas con los números 2 y 3 en la figura No. 6, una salida se observa en la porción media con dirección poniente en la parte central del acuífero.

5.3.3 Evolución del nivel estático

Con la simple observación de las curvas de elevación del nivel estático, se presume que no existe abatimiento de los niveles, además de que el flujo se concentra en las partes bajas, con niveles muy someros, aunque en áreas muy reducidas. Lo anterior indica que no existe minado del acuífero.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

14

7 BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del acuífero.

La recarga natural por lluvia, que se presenta en el área es del orden 18.6 hm³/año, obtenida en un área de aproximadamente 1,825 km², donde la lámina promedio de lluvia es de 310 mm y al considerar un valor del orden de 0.033 de coeficiente de infiltración.

El orden de magnitud del coeficiente de infiltración por lluvia se obtuvo través de un balance de agua superficial, para el cual se aplicó la siguiente expresión:

$$\text{Infiltración} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{escurrimiento}$$

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la fórmula de Coutagne que indica:

$$\text{ETR} = P - xP^2$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración m/año

P = precipitación en m/año

$X = 1 / 0.8 + 0.14 t$

t = temperatura en °C

En nuestro caso la precipitación promedio anual, de toda el área, es de 310 mm/año, la temperatura promedio anual es de 20° C, valores que una vez sustituidos en la ecuación anterior, dan un valor de 284 mm, que multiplicado por el área de 1,825 km² da un volumen total evapotranspirado de 518.3 hm³/año.

El volumen de escurrimiento anual en esta región es muy escaso, el cual es del orden de 30.1 hm³/año el cual como no se dispone de información hidrométrica se cálculo con ayuda del coeficiente de escurrimiento que se obtiene a través de la expresión que se enuncia enseguida.

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$

Donde :

C_e = Coeficiente de escurrimiento

K es un parámetro en función del tipo de suelo.

En nuestro caso el valor de K es del orden de 0.22, que corresponde a un suelo semi permeable con cubierta vegetal media, este procedimiento es recomendado por la CNA con la NOM-011-CNA-2000, para estimar volúmenes de escurrimiento cuando no se dispone de datos hidrométricos, sustituyendo valores el coeficiente de escurrimiento resulta ser del orden de 0.0532, el cual multiplicado por el volumen precipitado da un valor del orden de 30.1 hm³/año.

El valor de la precipitación total en el área es de 565.7 hm³/año obtenida de multiplicar el área total de 1,825 km² por una lámina promedio de 310 mm/año. Sustituyendo valores en la ecuación que se planteó anteriormente para obtener el volumen infiltrado se tiene:

$$\text{Infiltración} = 565.7 - 517.0 - 30.1 = 18.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen anual promedio infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que en nuestro caso es de 565.75 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta del orden de 0.0329.

En la tabla No. 5, se presentan los valores obtenidos del balance hidrometeorológico.

Tabla No. 5 Balance hidrometeorológico

	hm ³ /año	
Volumen llovido	565.7	
Volumen evapotranspirado	517.0	91.39%
Escorrentamiento superficial	30.1	5.32%
Infiltración	18.6	3.29%

8 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 anualmente por el almacenamiento del acuífero.

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

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \quad \dots (1)$$

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:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en el acuífero} \quad \dots (2)$$

8.1 ENTRADAS

8.1.1 Recarga natural

Las entradas al acuífero La Tinaja están integradas básicamente por las recargas naturales y las recargas inducidas.

La recarga natural por lluvia en el área de valle (1250 km²), se calculó suponiendo un coeficiente de infiltración de 0.033, obtenido del balance hidrometeorológico y una precipitación de 310 mm/año, la que arroja un valor de 12.8 hm³/año. La otra componente de la recarga natural constituida por flujo subterráneo es de 9.9 hm³/año, que sumada a la anterior resulta una recarga natural de 22.7 hm³/año. (Millones de metros cúbicos anuales).

Tabla No. 6. Entradas por flujo subterráneo

Entradas							
CELDA	ANCHO	LARGO	h_1-h_2	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD	CAUDAL	VOLUMEN
	m	m			m ² /s	m ³ /s	hm ³ /año
2	10500	2280	10	0.00439	0.0010	0.046	1.45
3	33700	1250	10	0.00800	0.0010	0.270	8.50
						Total	9.95

8.1.2 Recarga inducida

La recarga inducida está constituida principalmente por la infiltración vertical debida a los volúmenes de agua utilizados en el riego, así como los de fugas de los sistemas de agua potable, los cuales en total son del orden de 22.6 hm³/año, y aplicando un coeficiente de infiltración de 0.15, se tiene una recarga inducida de 3.4 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2 SALIDAS

8.2.1 Descarga natural

Existe una salida por flujo subterráneo hacia el noroeste calculada en 3.5 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales), según la tabla No. 7 y la figura No. 6.

Tabla No. 7. Salidas por flujo subterráneo

Salidas							
CELDA	ANCHO	LARGO	h_1-h_2	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD	CAUDAL	VOLUMEN
	m	m			m ² /s	m ³ /s	hm ³ /año
1	18250	1660	10	0.00602	0.0010	0.110	3.47
						Total	3.47

8.2.2 Bombeo

Según el REPDA se tiene una extracción bruta, para todos los uso de 22.6 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

Como se comentó anteriormente no hay razones para suponer una sobreexplotación del acuífero, por lo que el minado se consideró prácticamente nulo.

Los valores que resultaron de las diferentes componentes del balance de aguas subterráneas se presentan en la tabla No. 8.

Tabla No. 8. Balance de aguas subterráneas

Concepto	hm ³ /año
Recarga por lluvia	12.80
Flujo horizontal	9.9
Recarga natural	22.70
Recarga inducida	3.4
Recarga total	26.10
Extracción bruta	22.6
Flujo subterráneo	3.5
Salidas	26.10
Minado	0.00

9 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:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Disponibilidad media} & & & & & & \text{Volumen anual de} \\ \text{anual} & & & & & & \text{agua subterránea} \\ \text{de agua subterránea en} & = & \text{Recarga} & - & \text{Descarga} & - & \text{concesionado e} \\ \text{una} & & \text{total} & & \text{natural} & & \text{inscrito en el} \\ \text{unidad hidrogeológica} & & \text{media} & & \text{comprometida} & & \text{REPDa} \\ & & \text{anual} & & & & \end{array} \quad (3)$$

9.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida, que para este caso es del orden de 26.1 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

9.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

El flujo horizontal no se considera como comprometido, debido a que no existen aprovechamientos en zonas cercanas aguas debajo de los límites del acuífero.

9.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Para el acuífero de la Tinaja no se tiene descarga natural comprometida, luego entonces el rendimiento permanente es igual a 26.1 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

9.4 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 (REPDa), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2007 es de 22' 511,048 m³/año.

9.5 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 la cual no debe ser significativa, y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDa, que de acuerdo con la expresión (3), resultó ser de 3'588,952 m³/año, que manifiesta que existe aún volumen disponible para nuevas concesiones.

$$3'588,952 = 26'100,000 - 0 - 22'511,048$$

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero y, por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que el valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento, incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan en las rocas que subyacen a los depósitos aluviales. Conforme se genere mayor información, en cantidad y calidad, se podrá hacer una evaluación posterior.

10 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Anuario Estadístico de Sonora, INEGI, 2004

DOF. Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado. 5 de diciembre de 2001.

Comisión Nacional del Agua, Integración de la lluvia normal anual de la República Mexicana, período 1931-1990.

Comisión Nacional del Agua, Sistema de Información Geográfica del Agua Subterránea (SIGMAS).

Diario Oficial de La Federación del 17 de abril de 2002, México.

<http://www.conapo.gob.mx>

Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subdirección de Hidrología, Boletín Hidrológico No. 39, Región Hidrológica No. 8, 1969

Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas e Industria Básica. Consejo de Recursos Minerales, Monografía Geológico-Minera del estado de Sonora, 1992

UNAM, Instituto de Geografía, Atlas Nacional de México, Medio ambiente 1992

Universidad de Sonora, Departamento de Geología. 2004. Actualización de los Datos de la Red de Medición Piezométrica de los Acuíferos: Río Altar, Arroyo Seco, Busani, Coyotillo, La Tinaja, Magdalena y Río Alisos.