



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO LA TINAJA (2611), ESTADO DE SONORA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
	<b>Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	5
<b>2</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>6</b>
3.1	Provincia fisiográfica.....	6
3.2	Clima.....	6
3.3	Hidrografía .....	7
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
4.1	Estratigrafía.....	9
4.2	Geología estructural .....	10
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
5.1	Tipo de acuífero .....	12
5.2	Piezometría .....	12
5.3	Comportamiento hidráulico.....	13
5.3.1	Profundidad al nivel estático.....	13
5.3.2	Elevación del nivel estático.....	14
5.3.3	Evolución del nivel estático .....	15
<b>6</b>	<b>CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>15</b>
7.1	Entradas .....	15
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	15
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	15
7.1.3	Recarga inducida (Ri) .....	16
7.2	Salidas.....	16
7.2.1	Extracción por bombeo (B).....	16
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	16
7.3	Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ).....	17
<b>8</b>	<b>DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>17</b>
8.1	Recarga total media anual (R).....	18
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	18
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) .....	18
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) .....	19
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>20</b>

## **1 GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA. La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1 Localización**

El acuífero La Tinaja definido con la clave 2611 por la Comisión Nacional del Agua. El área del acuífero comprende una superficie aproximada de 1,825 km<sup>2</sup>, 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 1.

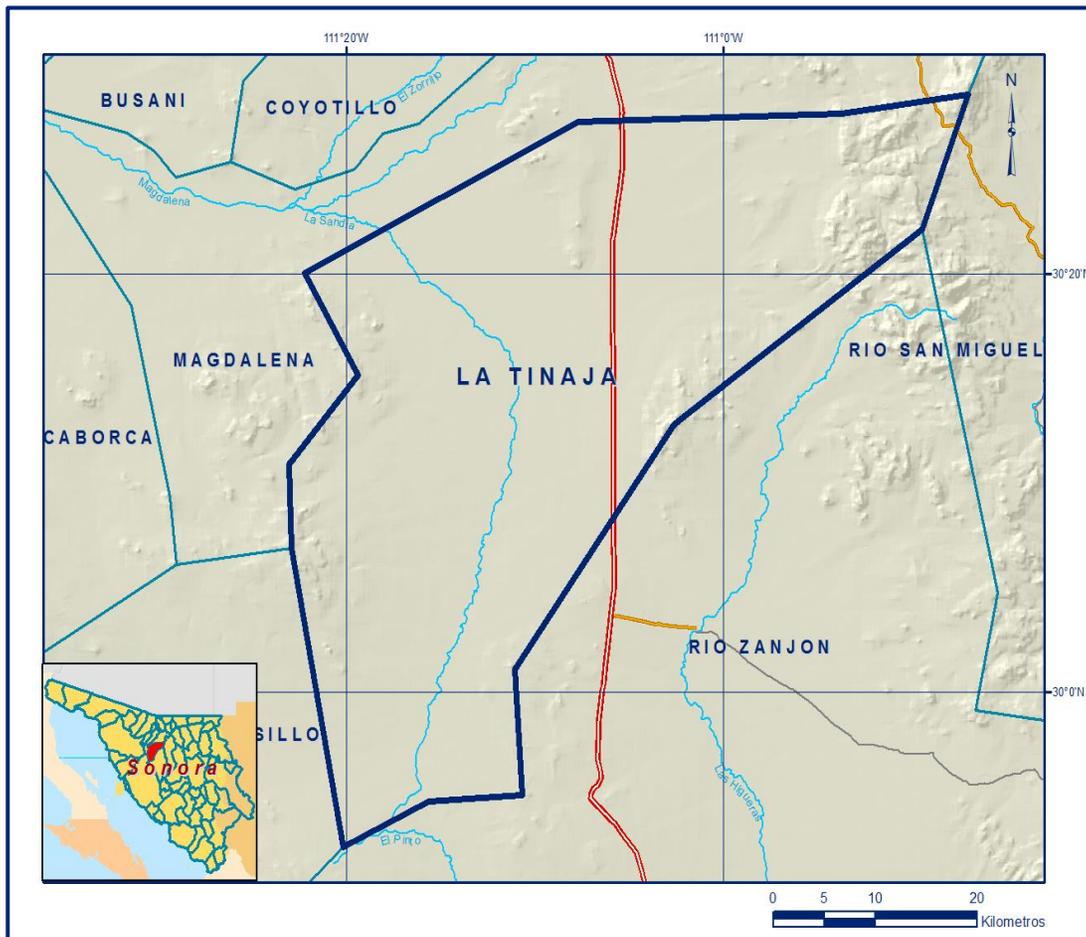


Figura 1. Localización del acuífero

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 (tabla 1),

Tabla 1. Población del municipio Benjamín en 2005

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

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.

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.

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 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

## **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.

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.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

## **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 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.

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

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.

Tabla 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

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.

### 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.

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.

#### 4 GEOLOGÍA

En este apartado se abordan los levantamientos geológicos que integran la estratigrafía regional, la geología estructural y del subsuelo (figura 2).

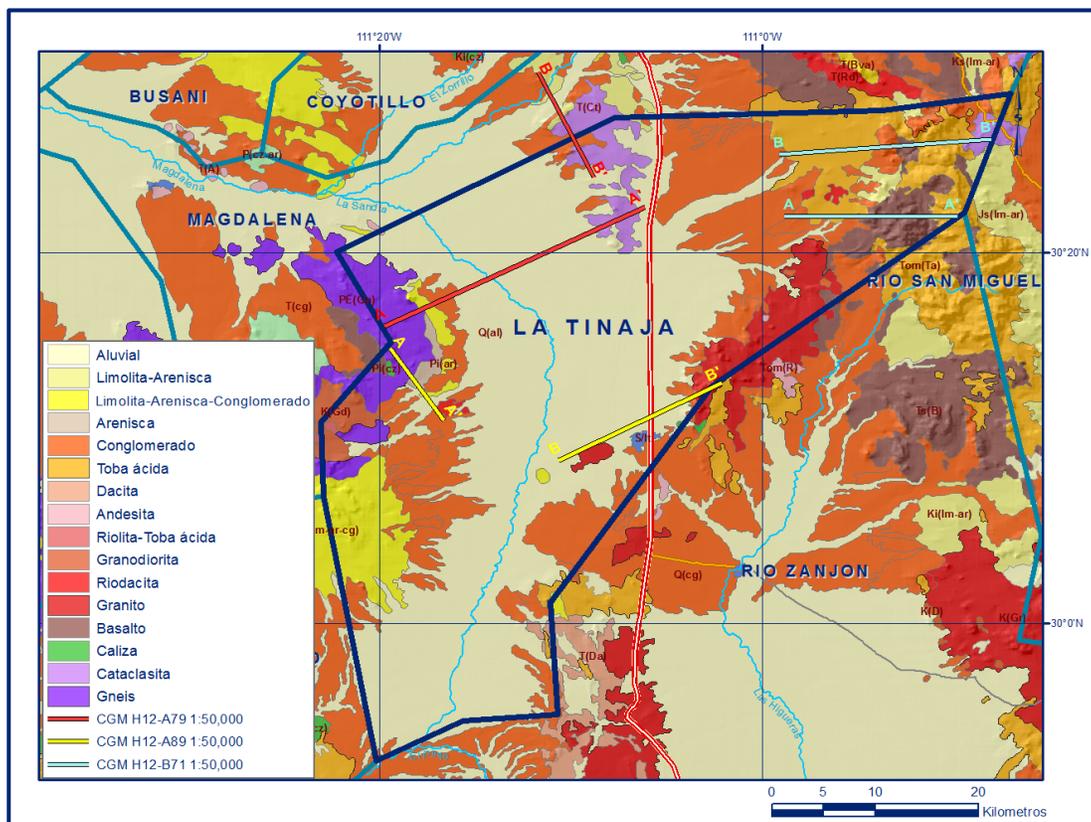


Figura 2. Geología general del acuífero

#### 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 (Tabla 4).

Tabla 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.
	Paleoceno	Intrusivos graníticos, granito Cananea y Fanglomerado La Caridad. (Tivc) y (Mi).
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 conglomeradas areniscas y lutitas. FM. El Batamote, FM. Sasabe y FM. Chanate (Jss).

#### 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-feldespatícos 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 4.

### **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 sierra 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, se consideró el periodo 2000-2014. 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. 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 5).

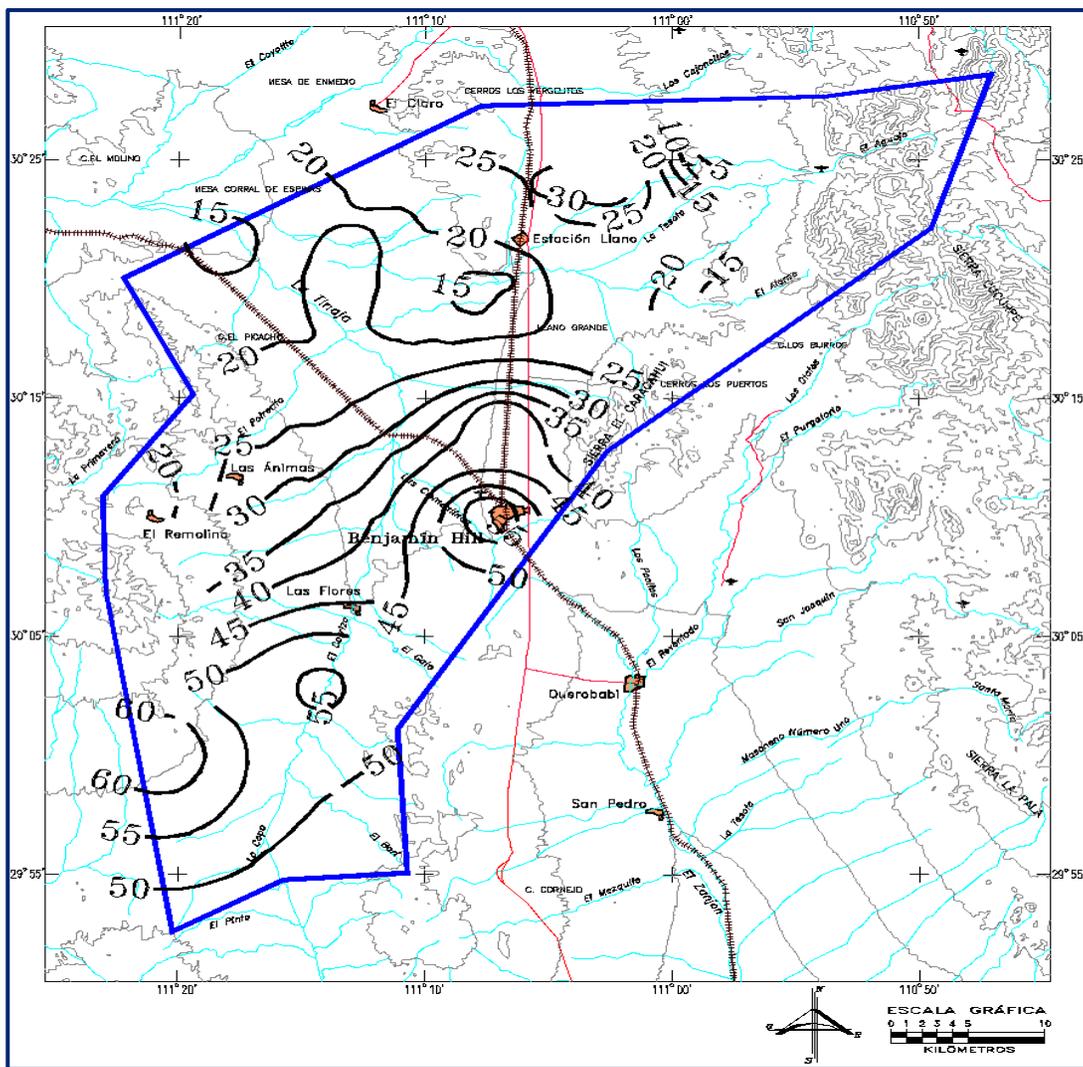


Figura 5. Curvas de igual profundidad al nivel estático en m (2004)

### 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 6, una salida se observa en la porción media con dirección poniente en la parte central del acuífero.

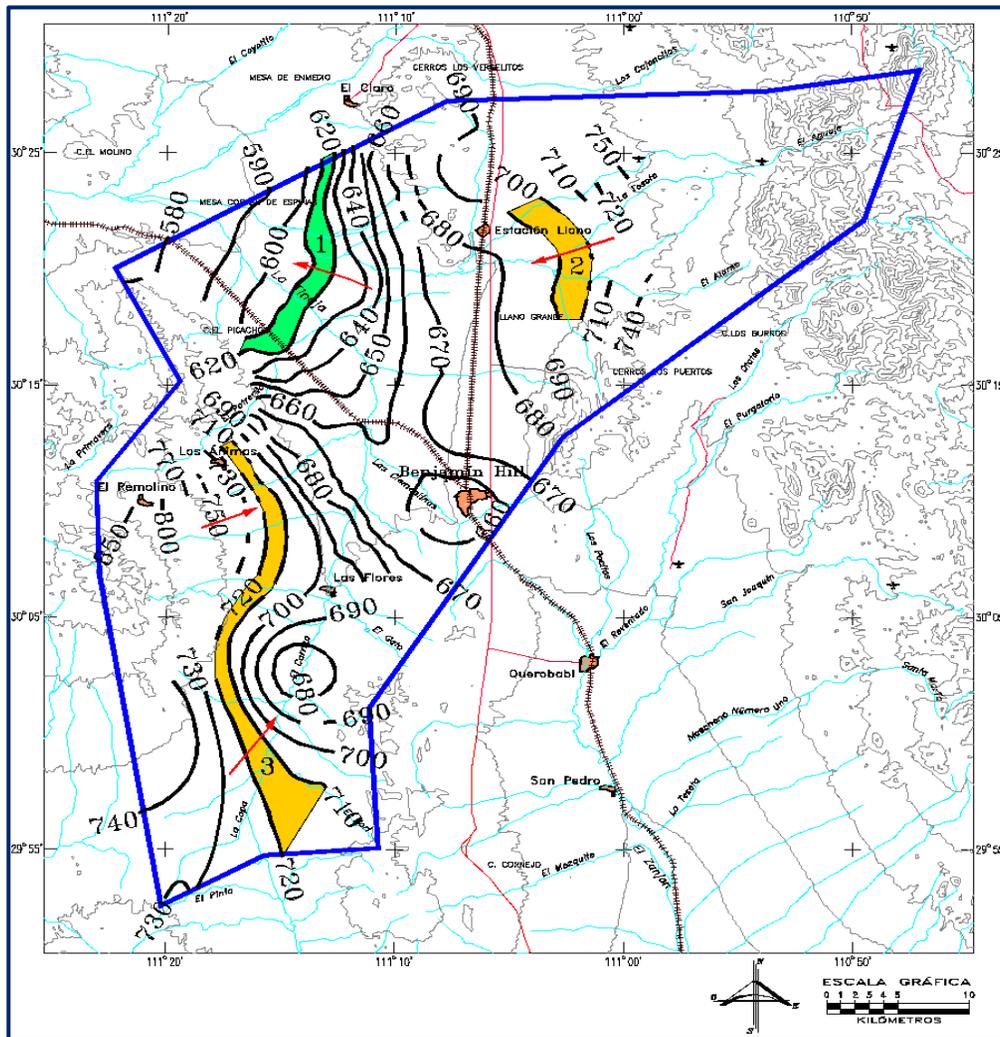


Figura 6. Curvas de igual elevación del nivel estático 2004 (msnm)

### 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

No se tiene información de censo, sólo se dispone de la información del REPDA donde hay un volumen registrado de 22` 580,310.8 m<sup>3</sup>/año al 31 de mayo de 2005.

## 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. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

### 7.1 Entradas

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

#### 7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es la recarga natural por lluvia en el área del valle (1250 km<sup>2</sup>), 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 hm<sup>3</sup>/año**.

#### 7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 6. Con base en ella se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy Para calcular el caudal "Q" en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

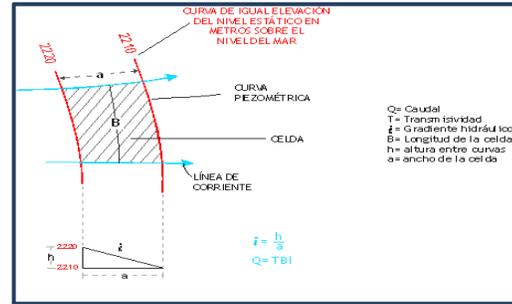
Donde:

**Q**= Caudal;

**B**= Largo del canal de flujo;

**i**= Gradiente hidráulico (i);

**T**= Transmisividad en el canal de flujo;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 5 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **9.9 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 5. Entradas por flujo subterráneo

CELDA	ANCHO	LARGO	h <sub>1</sub> -h <sub>2</sub>	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD	CAUDAL	VOLUMEN
	m	m			m <sup>2</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /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

### 7.1.3 Recarga inducida (Ri)

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 hm<sup>3</sup>/año, y aplicando un coeficiente de infiltración de 0.15, se tiene una recarga inducida de **3.4 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

## 7.2 Salidas

### 7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Según el REPDA se tiene una extracción bruta, para todos los usos de **22.6 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

### 7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Existe una salida por flujo subterráneo hacia el noroeste calculada en **3.5 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales), según la tabla 6 y la figura 6.

Tabla 6. Salidas por flujo subterráneo

CELDA	ANCHO	LARGO	$h_1-h_2$	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDA D	CAUDA L	VOLUME N
	m	m			$m^2/s$	$m^3/s$	$hm^3/año$
1	18250	1660	10	0.00602	0.0010	0.110	3.5
						Total	3.5

### 7.3 Cambio de almacenamiento ( $\Delta V(S)$ )

Como se comentó anteriormente no hay razones para suponer una sobreexplotación del acuífero, por lo que se consideró un cambio de almacenamiento prácticamente **nulo**, es decir,  $\Delta V(S) = 0$ . Los valores que resultaron de las diferentes componentes del balance de aguas subterráneas se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Balance de aguas subterráneas

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

## 8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} & = & \text{RECARGA} & - & \text{DESCARGA} & - & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} & & \text{TOTAL} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{SUBSUELO EN UN} & & \text{MEDIA} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & \text{ANUAL} & & & & \end{array}$$

Donde:

**DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

**R** = Recarga total media anual

**DNC** = Descarga natural comprometida

**VEAS** = Volumen de extracción de aguas subterráneas

### 8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **26.1 hm<sup>3</sup>/año**.

### 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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 este caso, su valor es de **DNC = 0.0 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

Los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **24,400,086 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

#### **8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)**

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, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 26.1 - 0.0 - 24.400086 \\ \text{DMA} &= 1.699914 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,699,914 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

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.

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