

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO TAMUÍN (2419), ESTADO DE SAN LUIS  
POTOSÍ**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. GENERALIDADES.....</b>                                  | <b>2</b>  |
| <b>Antecedentes.....</b>                                      | <b>2</b>  |
| 1.1 Localización.....   | 2         |
| 1.2 Situación administrativa del acuífero.....                | 4         |
| <b>2. FISIOGRAFÍA.....</b>                                    | <b>5</b>  |
| 2.1 Provincia fisiográfica.....                               | 5         |
| 2.2 Clima.....  | 6         |
| 2.3 Hidrografía.....  | 6         |
| 2.4 Geomorfología.....  | 7         |
| <b>3. GEOLOGÍA.....</b>                                       | <b>7</b>  |
| 3.1 Estratigrafía.....  | 8         |
| 3.2 Geología estructural.....                                 | 11        |
| 3.3 Geología del subsuelo.....                                | 11        |
| <b>4. HIDROGEOLOGÍA.....</b>                                  | <b>12</b> |
| 4.1 Tipo de acuífero.....                                     | 12        |
| <b>5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>                  | <b>13</b> |
| 5.1 Entradas.....   | 13        |
| 5.1.1 Recarga vertical (Rv).....                              | 14        |
| 5.2 Salidas.....  | 19        |
| 5.2.1 Bombeo (B).....   | 19        |
| <b>6. DISPONIBILIDAD.....</b>                                 | <b>19</b> |
| 6.1 Recarga total media anual (R).....                        | 20        |
| 6.2 Descarga natural comprometida (DNC).....                  | 20        |
| 6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....   | 20        |
| 6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)..... | 21        |
| <b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                   | <b>22</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 Tamuín, definido con la clave 2419 por la Comisión Nacional del Agua para el manejo adecuado de las aguas subterráneas, se localiza en la porción sureste del estado de San Luis Potosí, entre las coordenadas 21°09' y 22°24' de latitud norte y 98°19' y 98°58' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 5,080.16 km<sup>2</sup> (figura 1).



Martín Chalchicuatla, Tampacán, en una superficie parcial se localiza en los municipios: Tanlajás, Ciudad Valles, Tancanhuitz de Santos, Axtla de Terrazas, Matlapa, Tamazunchale, Coxcatlán y Huehuetlán del estado de San Luis Potosí; en una porción mínima de los municipios de Pánuco, Tempoal y El Higo del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas, se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero

| ACUÍFERO 2419 TAMUÍN |                |         |          |               |         |          |                                  |
|----------------------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|----------------------------------|
| VERTICE              | LONGITUD OESTE |         |          | LATITUD NORTE |         |          | OBSERVACIONES                    |
|                      | GRADOS         | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS        | MINUTOS | SEGUNDOS |                                  |
| 1                    | 98             | 57      | 48.1     | 22            | 23      | 49.4     | DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 2                    | 98             | 52      | 32.5     | 22            | 21      | 50.1     | DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 3                    | 98             | 40      | 13.2     | 22            | 24      | 16.7     | DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 4                    | 98             | 30      | 15.5     | 21            | 23      | 18.2     | DEL 4 AL 5 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 5                    | 98             | 43      | 33.0     | 21            | 11      | 0.7      |                                  |
| 6                    | 98             | 43      | 24.9     | 21            | 11      | 19.9     |                                  |
| 7                    | 98             | 43      | 51.0     | 21            | 12      | 40.1     |                                  |
| 8                    | 98             | 44      | 15.3     | 21            | 13      | 58.8     |                                  |
| 9                    | 98             | 47      | 52.4     | 21            | 15      | 45.0     |                                  |
| 10                   | 98             | 50      | 38.4     | 21            | 20      | 21.3     |                                  |
| 11                   | 98             | 53      | 39.4     | 21            | 23      | 37.9     |                                  |
| 12                   | 98             | 56      | 12.4     | 21            | 28      | 6.3      |                                  |
| 13                   | 98             | 58      | 14.6     | 21            | 35      | 3.1      |                                  |
| 14                   | 98             | 54      | 40.3     | 21            | 42      | 54.1     |                                  |
| 15                   | 98             | 54      | 48.2     | 21            | 46      | 10.6     |                                  |
| 16                   | 98             | 53      | 56.0     | 21            | 56      | 27.8     |                                  |
| 17                   | 98             | 53      | 19.2     | 22            | 7       | 36.1     |                                  |
| 18                   | 98             | 54      | 23.7     | 22            | 16      | 11.5     |                                  |
| 19                   | 98             | 55      | 34.3     | 22            | 17      | 50.0     |                                  |
| 1                    | 98             | 57      | 48.1     | 22            | 23      | 49.4     |                                  |

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Tamuín pertenece al Organismo de Cuenca IX, “Golfo Norte”, instalado el 26 de agosto del 1999, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en San Luis Potosí. Una porción pequeña al oeste de su extensión se encuentra sujeto a las disposiciones de el “Decreto por el que se declara de Interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie, comprendida dentro de los límites geopolíticos del Municipio de Ciudad Valles, S. L. P.”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de febrero de 1976, esta veda es de tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros; y al este por el “Decreto por el que se abrogan los decretos presidenciales que establecieron la Unidad de Riego para el desarrollo

Rural la Tortuga II y los Distritos de Riego Pujal Coy Primera Fase, Ánimas y Chilcayan, de fechas 22 y 30 de enero de 1973”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 30 de enero de 1975 en los municipios de Tamuín estado de san Luis Potosí y Pánuco en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

El área restante, se encuentra sujeta a las disposiciones del “ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican”, publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. No existe un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) ni Distritos de Riego dentro del acuífero.

## **2. FISIOGRAFÍA**

### **2.1 Provincia fisiográfica**

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), la superficie sur y una parte de pequeñas dimensiones al oeste del acuífero se ubican en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental y la mayor porción en la provincia Llanura Costera del Golfo Norte, subprovincias al noroeste Gran Sierra Plegada, Llanuras y Lomeríos y al sur Carso Huasteca. La Sierra Madre Oriental está formada por un conjunto de sierras menores de estratos plegados de antiguas rocas sedimentarias marinas (de edad Cretácico y Jurásico Superior), entre las que predominan las calizas y, en segundo término, areniscas y lutitas.

De acuerdo con la clasificación fisiográfica del Instituto Nacional de Geografía (INEGI, 1997), la parte sur del acuífero se ubica en la Discontinuidad denominada Carso

Huasteco". La topografía es abrupta, el relieve montañoso es accidentado y está conformado por grandes sierras alargadas y plegadas con orientación preferente noroeste-sureste, constituidas por rocas calcáreo-arcillosa, separados por valles angostos que generalmente corresponden a sinclinales.

La mayor parte del acuífero pertenece a la subprovincia Llanuras y Lomeríos se caracteriza por presentar extensas llanuras interrumpidas por lomeríos y llanuras aluviales con lomerío. Las rocas poco resistentes, como las margas y lutitas, son disectadas rápidamente. La capa de conglomerados ha sido intensamente desmembrada en la superficie, permaneciendo en forma de manchones delimitados por valles fluviales.

## **2.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Koppen, modificada por E. García (1981), para las condiciones de la República Mexicana, la zona del acuífero está definida por algunos tipos de climas como es el cálido subhúmedo (Awo), que presenta una temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor a los 18°C, con régimen de lluvias de verano, precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Existen otros climas en la zona del acuífero como el cálido subhúmedo (Aw1) con temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La precipitación mínima es de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. Al sur clima cálido húmedo (Am(f)), de temperatura media anual y del mes más frío iguales a los antes mencionados.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información obtenida a partir del método de isolíneas, con información de temperatura y precipitación media anual obtenida del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a escala 1:1,000,000, se calcularon los promedios anuales los cuales son **24.1°C** y **1,326.0 mm**, respectivamente.

## **2.3 Hidrografía**

El área cubierta por el acuífero se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica 26 "Pánuco", la cual se localiza en la zona noreste del país, en la vertiente del Golfo de México, esta comprende parte de los estados de Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, también pertenece a las Subregiones Hidrológicas

río Bajo y Alto Pánuco.

La extensión superficial del acuífero se encuentra dividida en cuatro cuencas principales las cuales son Río Tamuín, Río Tamesí, Río Pánuco y Río Moctezuma. Pertenecientes a estas cuencas se encuentran en las subcuencas Río Torresis-Río del Cejo, Tamuín-El Aserradero, La Puerta-La Potosina, Bajo Moctezuma, San Pedro, San Andrés-Clara, Huichihuayan-Huehuetlán, El Choy y Mesillas-Puerco.

Existen dos cauces de que se consideran principales dentro de la zona del acuífero, debido a su cauce es considerado perene, estos ríos son el río Pánuco que recibe este nombre en las inmediaciones del sitio aguas arriba río Tamuín y aguas más arriba río Tampaon, el otro cauce principal es el río Moctezuma el cual nace en las zonas altas del centro del país y que en la zona del acuífero se une al río Pánuco para su desembocadura en el Golfo de México.

#### **2.4 Geomorfología**

De acuerdo a los rasgos geomorfológicos presentes en el acuífero, ubicado entre las estribaciones orientales de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo, la mayor parte de su superficie se localiza dentro de ésta última provincia fisiográfica cuya morfología se caracteriza por presentar elevaciones menores de 200 msnm, con un relieve de superficies planas, inclinadas al oriente, originadas por acumulación fluvial y marina, así como por superficies onduladas formadas por erosión diferencial en los depósitos del Neógeno.

La planicie se extiende hasta la base de la Sierra Madre Oriental y está interceptada por lomeríos, mesetas y planos ligeramente inclinados al oriente.

### **3. GEOLOGÍA**

La geología regional de la zona está representada por rocas sedimentarias marinas y continentales, así como ígneas intrusivas y extrusivas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Precámbrico al Reciente (figura 2).

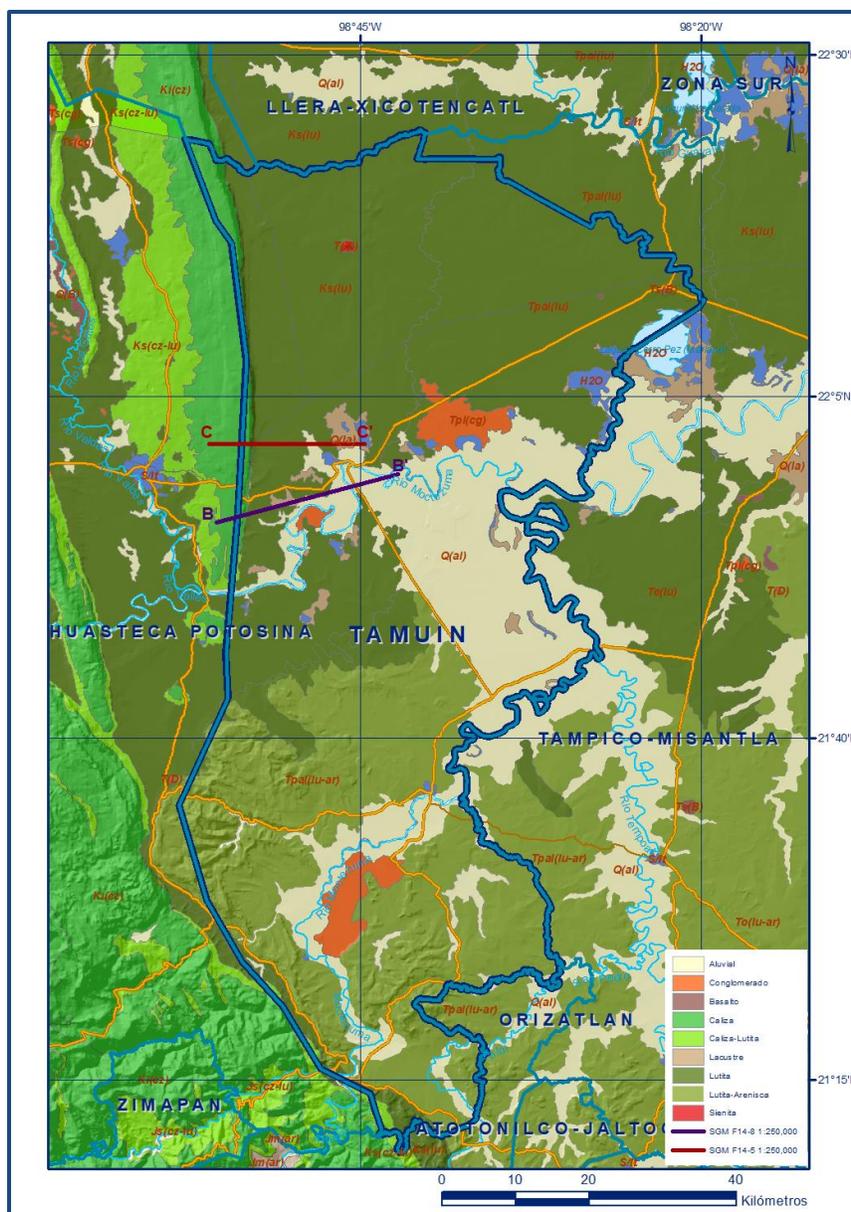


Figura 2. Geología general del acuífero

### 3.1 Estratigrafía

En la superficie del acuífero afloran rocas sedimentarias cuyo rango estratigráfico varía del Cretácico Inferior al Reciente. La descripción de las diferentes unidades litológicas se presenta a continuación, de la más antigua a la más reciente:

#### CRETÁCICO INFERIOR

##### Albiano-Santoniano

##### Formación El Abra

Definida originalmente por Power en 1925, está formada por dos miembros: el inferior constituido por una caliza de rudistas, a la que denominó Taninul y el superior por calizas con abundantes miliólidos. El miembro Taninul consiste en un bioherma de rudistas de edad Cenomaniano, con abundancia extraordinaria de radiolítidos, nerineas y algunos corales. Los estratos están casi horizontales y pueden observarse expuestos como 40 m de una caliza masiva, criptocristalina de color gris a gris crema con manchas negras de restos de hidrocarburos.

### **Turoniano tardío-Campaniano temprano**

#### **Formación San Felipe**

Esta formación fue descrita inicialmente por Jeffreys en 1910, en su localidad tipo de la ranchería de San Felipe, San Luis Potosí, ubicada a 6 km al este de Ciudad Valles.

Está constituida por una secuencia rítmica de calizas arcillosas de color gris claro y lutitas calcáreas color café que presentan intercalaciones de calizas arcillosas, margas de color gris y verde, así como bentonita, que hacia su cima desaparece la presencia de estratos calcáreos. Subyace a la Formación Méndez cuyo contacto es transicional.

### **Campaniano-Maastrichtiano**

#### **Formación Méndez**

Definida por Jeffreys en 1910, es el nombre que se utilizó para describir a una serie de lutitas calcáreas de colores gris y café con fractura nodular y concoidal, que sobreyace a la Formación San Felipe, con aislados estratos de areniscas de grano fino color café, que cubren discordantemente a los conglomerados y depósitos aluviales. Su localidad tipo se ubica sobre el km 62 de la vía del ferrocarril Tampico-San Luis Potosí, a 300 m al este de la estación Méndez.

Su fracturamiento es típico, formado por el intemperismo, produciendo un intenso lajamiento y pizarrocidad, que origen a montículos con apariencia de dunas, subyace discordantemente a los conglomerados y/o depósitos aluviales.

Su espesor promedio es de 300 m y se correlaciona dentro del área de estudio con la unidad arcillo-arenosa del Cretácico Superior (Formación Cárdenas). Se le asigna una edad Campaniano–Maastrichtiano y aparentemente fue depositada en un fondo marino de aguas relativamente profundas, con abundante aporte de material terrígeno fino.

## **CENOZOICO**

### **Paleoceno**

#### **Formación Velasco**

Fue definida por Cushman y Tager en 1924, en la localidad tipo de la estación Velasco del Ferrocarril Tampico-San Luis Potosí, está formada por lutitas calcáreas de color gris con tonos verdes, intercalados con algunas margas y esporádicas areniscas calcáreas; en algunas localidades contiene yeso. La unidad presenta concreciones calcáreas y localmente delgadas capas de bentonita de color verdoso. Contiene además intercalaciones persistentes de areniscas calcáreas en estratos delgados y medianos de color café con tonos rojizos, algunas presentan huellas de oleaje y restos de plantas. El espesor en afloramientos varía entre 38 y 230 m y en algunos informes de pozos petroleros se le asigna un espesor de 28 a 87 m y de 180 a 275 m. Cubre a las margas de la Formación Méndez y subyace discordantemente a la unidad arcillosa del Eoceno.

### **Eoceno**

#### **Formación Guayabal**

Definida por Adkins en 1925 y descrita ampliamente por Cole en 1927. Está constituida por lutitas de colores gris, azul y café que por acción del intemperismo adquieren un color gris o crema, contiene nódulos de siderita característicos y delgadas intercalaciones de arenas de grano fino. En la localidad tipo es rica en restos de moluscos, briozoarios y corales, con abundancia de foraminíferos, conjunto que indica que se trata de depósitos en aguas someras. Su espesor en superficie varía de 100 a un poco más de 1000 m, el máximo desarrollo se localiza en el área de Tajín y Chote, Veracruz, donde alcanza 1190 m. de potencia. Su localidad tipo se encuentra en Guayabal, municipio de Tanatoco, Veracruz. Su edad es del Eoceno Medio, determinada por la presencia de especies planctónicas y bentónicas, además de abundantes briozoarios y corales.

### **Plioceno**

#### **Conglomerado Reynosa**

Se depositó de forma discordante en toda la secuencia Cretácica Superior- Cenozoico, esta unidad constituida por clastos de calizas, lutitas y arenisca, arredondados, moderadamente a mal clasificados y bien cementados en una matriz calcáreo-arcillosa. Aflora en la parte centro y sur del acuífero, descansando discordantemente sobre los sedimentos calcáreas del Cretácico Superior.

## **CUATERNARIO**

### **Holoceno**

#### **Aluvión**

Constituido principalmente por gravas, boleos, limo y arcilla que rellenan las partes más bajas del acuífero. Su granulometría, espesor y distribución varían mucho, de acuerdo con su área de exposición.

### **3.2 Geología estructural**

Los fenómenos tectónicos del levantamiento de la Llanura Costera del Golfo a fines del Cretácico constituidos principalmente por pliegues suaves asimétricos y simétricos con rumbo NNW-SSE continuaron durante principios del Cenozoico, descubriendo los sedimentos marinos de esta época, para dejarlos expuestos a los procesos de intemperismo y erosión, que modelaron la morfología actual en forma de una superficie ondulada con pendiente suave, que asciende hacia el occidente, pero con accidentes topográficos en forma de escarpes en aquellas formaciones más resistentes a la erosión.

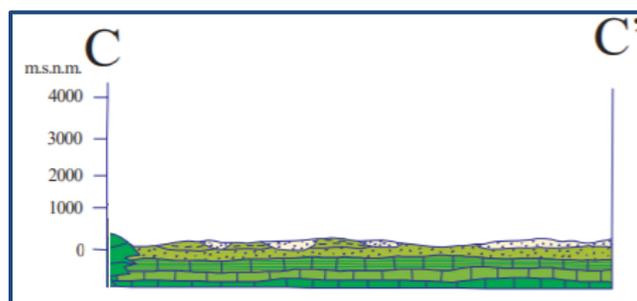
La formación de los valles en la región se explica por medio de una serie de procesos tectónicos correspondientes a la formación de la Sierra Madre Oriental, seguida de una etapa de intenso intemperismo y erosión, que produjo una peniplanicie al nivel de la base de los derrames basálticos que no se encuentran aflorando en el acuífero. Posteriormente siguieron dos épocas de rejuvenecimiento durante las cuales se depositaron los sedimentos que rellenan las cuencas y la planicie costera.

### **3.3 Geología del subsuelo**

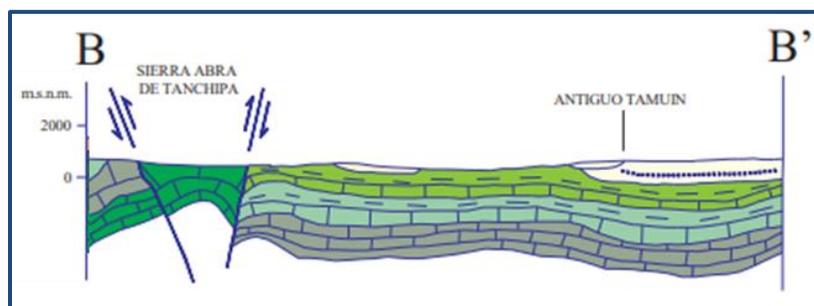
De acuerdo con la información geológica recaba en el acuífero, secciones esquemáticas (figura 3) y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir la existencia de dos medios hidrogeológicos, uno de naturaleza porosa y otro fracturado.

En su porción superior, presenta sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada que constituyen el lecho y la llanura de inundación de ríos y arroyos tributarios, así como conglomerados, de permeabilidad baja a media, que constituyen los valles y los piedemontes. La porción inferior está conformada por los depósitos clásticos del Conglomerado Reynosa, así como la secuencia de rocas sedimentarias entre las que destacan intercalaciones de calizas, lutitas y areniscas, de las Formaciones San Felipe y Méndez que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representadas por las mismas rocas sedimentarias marinas al desaparecer el fracturamiento y por las secuencias de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas. A mayor profundidad se considera que el basamento geohidrológico regional está constituido por calizas masivas de la Formación El Abra.



Fuente: Carta Geológico-Minera F14-5 "Ciudad Mante". Esc. 1:250,000 (SGM,1999)



Fuente: Carta Geológico-Minera F14-8 "Ciudad Valles". Esc. 1:250,000 (SGM, 1997)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

## 4. HIDROGEOLOGÍA

### 4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas, permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisotrópico, constituido por sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada y por conglomerados producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras depositados tanto en los subálveos de las corrientes fluviales como en la planicie cuyo espesor es muy reducido y presentan permeabilidad generalmente baja, excepto en los cauces de los ríos y arroyos donde la permeabilidad y el espesor son mayores.

La porción inferior del acuífero se aloja en el Conglomerado Reynosa y en la secuencia de lutitas y margas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Debido a la alternancia de secuencias arcillo-calcáreas es posible inferir la presencia de horizontes acuíferos confinados o semiconfinados en las calizas cuyas áreas de recarga se localizan en las sierras limítrofes del valle.

## **5. 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:

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

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

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

### **5.1 Entradas**

Las entradas al acuífero Tamuín están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe información piezométrica actual ni histórica que cubra la zona del acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos se encuentra dispersa en tiempo y espacio, de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Por estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de **4,958.2 km<sup>2</sup>** del acuífero para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

### 5.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

Donde:

$V_{LL}$  = Volumen de lluvia;

$V_{ETR}$  = Volumen evapotranspirado;

$V_{ESC}$  = Volumen escurrido;

$V_{INF}$  = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (4,958.2 km<sup>2</sup>) por la lámina de precipitación media anual (1,326.0 mm):

$$V_{LL} = 4,958.2 \text{ km}^2 (1.326 \text{ m}) = 6,574.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando el valor medio anual de precipitación de 1,326.0 mm y temperatura de 24.1°C. Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas por todos los climas del mundo, define la siguiente expresión para la estimación de la evapotranspiración real:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. En caso contrario se obtiene una  $ETR > P$  y para estos casos se debe considerar a  $ETR = P$ .

De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de **1,053.0 mm anuales**.

Por lo tanto, el volumen de ETR es:

$$V_{ETR} = 4,958.2 \text{ km}^2 (1.053 \text{ m}) = 5,221.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 27 de marzo de 2015, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento. Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{VOLUMEN ANUAL} & & & & & & \\ \text{DE} & & \text{PRECIPITACION} & & \text{AREA DE LA} & & \text{COEFICIENTE DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO} & = & \text{ANUAL DE LA} & * & \text{CUENCA} & * & \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{NATURAL DE LA} & & \text{CUENCA} & & & & \\ \text{CUENCA} & & & & & & \end{array}$$

El coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro  $K$  que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo. En el caso de que, en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y

usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado. Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15

$$Ce = K (P-250) / 2000$$

Si K es mayor que 0.15

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

Donde:

**P** = Precipitación anual;

**Ce** = Coeficiente de escurrimiento anual;

**K** = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 2. Valores de K en función del tipo y uso del suelo

| USO DE SUELO                        | TIPO DE SUELO  | TIPO DE SUELO | TIPO DE SUELO |
|-------------------------------------|--|---------------|---------------|
|                                     | A  | B             | C             |
| Barbecho, áreas incultas y desnudas | 0.26   | 0.28          | 0.3           |
| Cultivos:                           |  |               |               |
| En hilera:                          | 0.24   | 0.27          | 0.3           |
| Legumbres o rotación de pradera     | 0.24   | 0.27          | 0.3           |
| Granos pequeños                     | 0.24   | 0.27          | 0.3           |
| Pastizal:                           |  |               |               |
| % del suelo cubierto o pastoreo     |  |               |               |
| Más del 75% -poco-                  | 0.14   | 0.2           | 0.28          |
| Del 50 al 75% -regular-             | 0.2  | 0.24          | 0.3           |
| Menos del 50% -excesivo-            | 0.24   | 0.28          | 0.3           |
| Bosque:                             |  |               |               |
| Cubierto más del 75%                | 0.07   | 0.16          | 0.24          |
| Cubierto del 50 al 75%              | 0.12   | 0.22          | 0.26          |
| Cubierto del 25 al 50%              | 0.17   | 0.26          | 0.28          |
| Cubierto menos del 25%              | 0.22   | 0.28          | 0.3           |
| Zonas urbanas                       | 0.26   | 0.29          | 0.32          |
| Caminos                             | 0.27   | 0.3           | 0.33          |
| Pradera permanente                  | 0.18   | 0.24          | 0.3           |
| TIPO DE SUELO                       | CARACTERÍSTICAS  |               |               |
| A                                   | Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos   |               |               |
| B                                   | Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos |               |               |
| C                                   | Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas  |               |               |



cuerpos de agua, desprovisto de vegetación, otros tipos, pastizal y selva (figura 5).

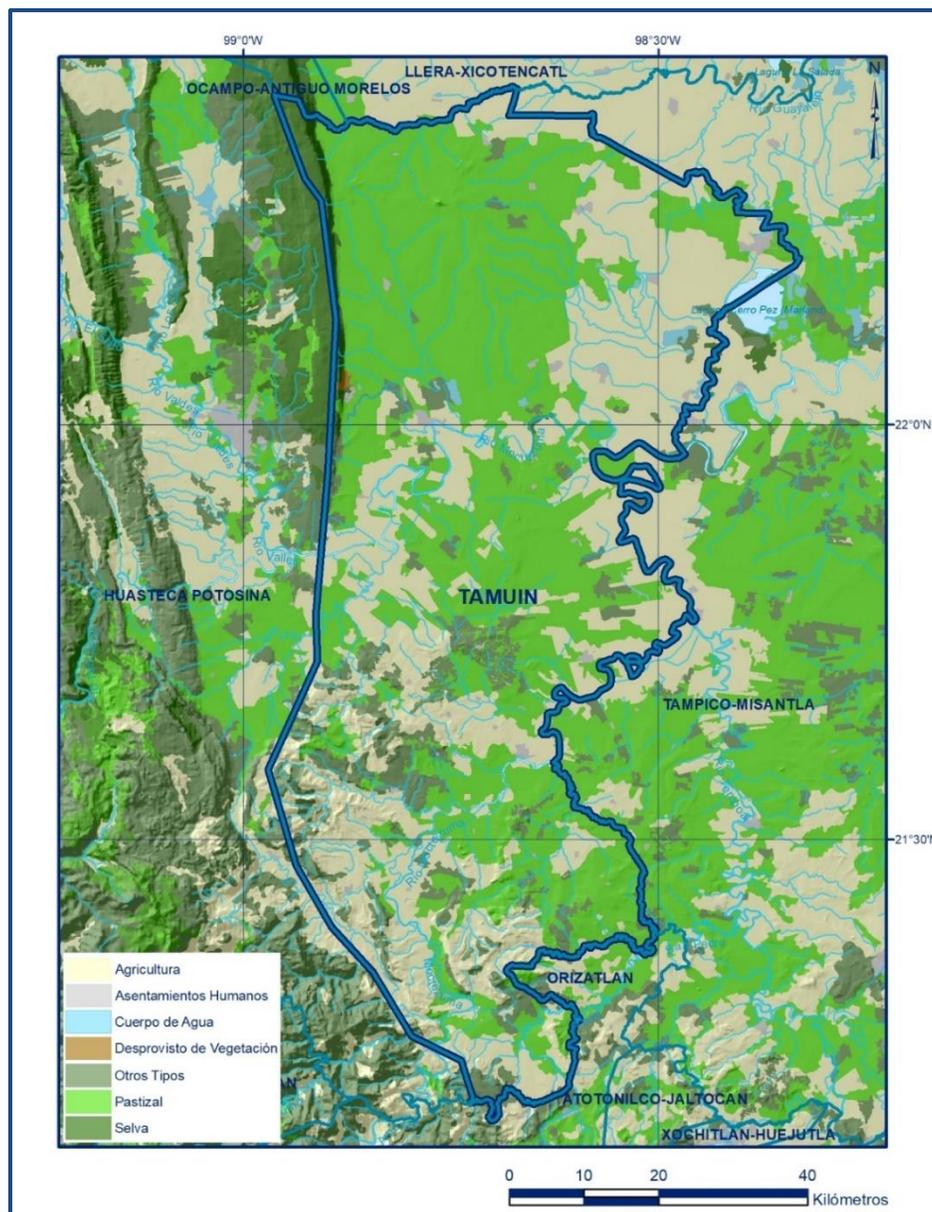


Figura 5. Uso de Suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.207, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

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

$$\mathbf{Ce = 0.1495}$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$V_{ESC} = 0.1495 (6,574.6 \text{ hm}^3) = 983.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \text{ (2)} \\ V_{INF} &= 6,574.6 - 5,221.0 - 983.1 \\ V_{INF} &= 370.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 6,574.6 hm<sup>3</sup>/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.056.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es:

$$R_v = 370.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes: por bombeo (B), descargas naturales por flujo base y manantiales.

### 5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), se tiene registrado un volumen de extracción de **17.5 hm<sup>3</sup> anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

## 6. 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:

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

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

### 6.1 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 en recarga vertical.

Para este caso, el valor estimado de esta recarga total media anual que recibe el acuífero es de **370.5 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 6.2 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 el caso del acuífero Tamuín se considera que el valor de la descarga natural comprometida corresponde a los manantiales existentes y al caudal base de los ríos, que es de **DNC = 298.9 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 6.3 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 (REPGA), 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 **17'545,269 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

#### **6.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 370.5 - 298.9 - 17.545269 \\ \text{DMA} &= 54.054731 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **54'054,731 m<sup>3</sup> anuales**.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Servicio Geológico Mexicano, 1997. Carta Geológico-Minera F14-8, "Ciudad Valles", San Luis Potosí, Querétaro, Veracruz, Hidalgo y Guanajuato, escala 1: 250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 1999. Carta Geológico-Minera F14-5 "Ciudad Mante". Esc. 1:250,000.