



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO LLERA XICOTÉNCATL (2811), ESTADO DE  
TAMAULIPAS**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>6</b>
3.1	Provincias Fisiográficas.....	6
3.2	Clima.....	6
3.3	Hidrografía.....	7
3.4	Geomorfología.....	7
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>8</b>
4.1	Estratigrafía.....	8
4.2	Geología estructural.....	12
4.3	Geología del subsuelo.....	13
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
5.1	Tipo de acuífero.....	14
5.2	Parámetros hidráulicos.....	14
5.3	Piezometría.....	15
5.4	Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	16
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
<b>6</b>	<b>CENSOS DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>18</b>
7.1	Entradas.....	19
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	19
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	20
7.1.3	Retorno de riego (Rr).....	21
7.2	Salidas.....	21
7.2.1	Evapotranspiración (ETR).....	21
7.2.2	Bombeo (B).....	23
7.2.3	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	23
7.3	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	23
<b>8</b>	<b>DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>24</b>
8.1	Recarga total media anual (R).....	25
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	25
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	26
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>27</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 Llera-Xicoténcatl, definido con la clave 2811 por la Comisión Nacional del Agua se localiza en la porción sur del Estado de Tamaulipas, entre los paralelos 22° 30' a 23° 20' de latitud norte y los meridianos 98° 25' y 98° 10' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 8,788 km<sup>2</sup>(figura 1).



Figura 1. Localización el acuífero

Limita al norte con el acuífero Victoria-Casas, al este con Aldama-Soto La Marina, al sureste con el acuífero Zona Sur, al noroeste con Palmillas-Jaumave, al oeste con el acuífero Ocampo-Antiguo Morelos; todos ellos pertenecientes al Estado de Tamaulipas; al sur con los acuíferos Tamuín y Tampico-Misantla, pertenecientes a los estados de San Luis Potosí y de Veracruz, respectivamente.

Geopolíticamente cubre totalmente los municipios Xicoténcatl y González; casi la totalidad de los municipios El Mante y Llera; y parcialmente Gómez Farías, Aldama y Casas.

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

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2811 LLERA-XICOTÉNCATL							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	98	55	58.1	22	28	30.7	
2	98	55	52.6	22	32	54.5	
3	98	59	44.9	22	36	25.3	
4	98	1	39.0	22	39	21.2	
5	98	4	14.0	22	41	11.9	
6	98	9	28.4	22	56	6.6	
7	98	8	30.9	23	6	47.8	
8	98	8	39.8	23	10	15.6	
9	98	7	12.3	23	13	15.9	
10	98	8	53.9	23	15	37.9	
11	98	10	25.1	23	21	33.8	
12	98	4	54.8	23	23	13.7	
13	98	4	14.3	23	26	29.3	
14	98	52	3.7	23	19	16.3	
15	98	33	0.5	23	23	22.2	
16	98	30	5.1	23	22	4.8	
17	98	23	57.2	23	25	41.4	
18	98	20	29.1	23	17	38.3	
19	98	23	48.6	23	16	45.0	
20	98	22	32.9	23	14	48.1	
21	98	16	45.6	23	14	53.3	
22	98	15	14.5	23	12	6.5	
23	98	15	26.2	23	7	20.9	
24	98	14	11.8	23	2	16.6	
25	98	15	51.3	22	50	32.1	
26	98	12	43.9	22	45	40.0	
27	98	17	29.6	22	41	20.7	
28	98	20	21.9	22	34	6.4	
29	98	17	40.2	22	28	5.1	
30	98	17	21.7	22	28	4.0	DEL 30 AL 31 POR EL LIMITE ESTATAL
31	98	40	13.2	22	24	16.7	DEL 31 AL 32 POR EL LIMITE ESTATAL
32	98	52	32.5	22	21	50.1	
1	98	55	58.1	22	28	30.7	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Llera-Xicoténcatl, pertenece al Organismo de Cuenca Golfo Norte. Casi la totalidad de su territorio se encuentra vedado y sujeto a las disposiciones de tres vedas; en la mayor parte del acuífero rige el “Acuerdo que establece el Distrito de Riego de Llera, Tam., y declara de utilidad pública la construcción de las obras que lo formen y la adquisición de los terrenos necesarios para alojarlas y operarlas”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 21 de febrero de 1955. Una pequeña porción del extremo noroeste está sujeta al “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende los Municipios de Madero, Villagrán, San Carlos y otros del estado de Tamaulipas”, publicado en el DOF el 10 de febrero de 1964. Ambas vedas se clasifican como tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. En la porción sur del acuífero rige 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, Las Ánimas y Chilcayan, publicado en el DOF el 30 de enero de 1975 (sin establecer clasificación de veda).

Sólo en el extremo oriental del acuífero no rige ningún decreto de veda. La porción no vedada del acuífero Llera-Xicoténcatl, clave 22811, 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 2.

El usuario principal del agua es el agrícola. En su territorio se localizan tres distritos de riego; en la porción oeste los Distritos de Riego 002 “Mante” y 029 “Xicoténcatl”; en la porción sur el Distrito de Riego 092 “Río Pánuco”. A la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En la superficie que cubre el acuífero sólo se ha realizado un estudio hidrogeológico, que con la realización de pruebas de bombeo, permitieron el planteamiento del balance de aguas subterráneas:

**ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS DEL ACUÍFERO LLERA-XICOTÉNCATL, Elaborado por FYA Consultores, Ingeniería y Construcción, S.A. de C. V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2003.** El objetivo de este estudio fue actualizar la información piezométrica en la red de pozos piloto. Entre sus actividades incluyó el censo de aprovechamientos y la hidrometría de las extracciones. Con los datos recabados fue posible definir el comportamiento piezométrico del acuífero.

**INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA Y RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE BOMBEO, realizadas por el Organismo de Cuenca Golfo Norte en 2012.**

Esta información se utilizó para la elaboración de las configuraciones del nivel estático que permitieron, junto con la interpretación de las pruebas de bombeo, el planteamiento del balance de aguas subterráneas para el periodo 2003-2011.

### **3 FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincias Fisiográficas**

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas de INEGI (1997), la superficie cubierta por el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Llanura Costera del Golfo Norte, Subprovincia Fisiográfica Llanuras y Lomeríos. La porción nororiental se ubica en la Discontinuidad denominada Sierra de Tamaulipas.

La planicie costera del Golfo de México presenta una morfología variada, predomina el relieve de superficies planas, inclinadas al oriente, originadas por acumulación fluvial y marina; también existen superficies onduladas, formadas por erosión diferencial; localmente se levantan grandes montañas, como la Sierra de Tamaulipas, que limita la zona de estudio al nororiente y al poniente por el frente montañoso de la Sierra Madre Oriental. Las planicies que se extienden transversalmente hasta las inmediaciones de la Sierra Madre Oriental están constituidas por lomeríos, superficies onduladas y estratos ligeramente inclinados al oriente, de acuerdo al buzamiento de las capas de roca. Las elevaciones menores locales corresponden, por lo general, a las crestas de los anticlinales que están coronados por remanentes de erosión en donde afloran los conglomerados del Pleistoceno.

#### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por E. García para las condiciones de la República Mexicana, en la superficie cubierta por el acuífero predominan los tipos de clima cálido, cálido húmedo con régimen de lluvias en verano y canícula ( $Amw' '(e)$ ), con escaso porcentaje de lluvias invernal y extremo;  $Aw_2 (e)$ , cálido húmedo con régimen de lluvias en verano y extremo y  $BS_0(h' ) w' '(e)$ , semiseco estepario, muy cálido con régimen de lluvias en verano, canícula y extremo.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información de 6 estaciones que tienen influencia en la superficie del acuífero: La Encantada, La Angostura, Las Ánimas, González, Sabinas y Nueva Apolonia. De acuerdo con los registros de estas estaciones para el periodo 1970-2007, se determinaron valores promedio anuales de temperatura y precipitación de **22 °C y 927 mm**, respectivamente. En cuanto a la evaporación potencial media anual su valor es de **1,300 mm**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos periodos de ocurrencia, uno de mayo a octubre, cuando se registran los valores más altos, y otro de octubre a diciembre, con precipitaciones menos significativas, asociadas a los frentes fríos provenientes del norte.

En el mes de septiembre se presentan los valores más altos de precipitación y en abril se registra la lámina más baja. En cuanto a la distribución mensual de la temperatura media, mayo es el mes más cálido; en tanto que los meses de enero y febrero registran la menor temperatura media.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero se ubica en dos regiones hidrológicas, la mayor parte de su superficie en la Región Hidrológica 26 “Pánuco” y la porción oriental en la Región Hidrológica 25 “San Fernando-Soto La Marina”, dentro de las cuencas del Río Tamesí y Laguna de San Andrés-Laguna Morales, respectivamente.

El principal escurrimiento superficial es el Río Guayalejo, con sus arroyos afluentes por su margen izquierda: El Sabinal, El Caballerango, Las Cañadas y El Cojo; por su margen derecha los ríos Sabinas, Frío, Mante, Santa Clara y Tantoan.

La cuenca del Río Guayalejo, que es el colector general de esta región, ocupa una superficie aproximada de 18,504 km<sup>2</sup>; se origina en el estado de Tamaulipas, al norte de Miquihuana, a una elevación de 3,400 msnm. Aquí se le conoce con el nombre de Río Alamar, el cual al recibir las aguas del Arroyo Maravilla cambia su nombre por el de Río Chihue, hasta llegar a la confluencia con el Río Jaumave, donde se le denomina Río Guayalejo. Posteriormente, en la confluencia del Río Tantoan, se le denomina Río Tamesí, que representa el límite estatal entre Tamaulipas y Veracruz.

### **3.4 Geomorfología**

De acuerdo a los rasgos geomorfológicos presentes en el acuífero, se localiza entre la Sierra Madre Oriental y las estribaciones occidentales de la Sierra de Tamaulipas. Al centro, el valle presenta una superficie plana con elevación media de 200 msnm; está bordeado lateralmente por una serie de mesetas que representan un antiguo nivel de depósito, cubiertas por derrames basálticos con ocasionales vestigios de cuellos volcánicos que sobresalen del nivel de los derrames, a una elevación promedio de 500 msnm.



## **CRETÁCICO**

### **Formación Tamaulipas Inferior**

Esta formación fue descrita como calizas de estratificación mediana a gruesa, de color gris claro y gris oscuro, con nódulos de pedernal y dolomitización en su porción basal. Aflora en los cañones que cortan la Sierra de Tamaulipas y la Sierra Madre Oriental, su exposición está limitada a estas pequeñas áreas, donde está constituida por calizas de textura microcristalina y dolomitas de color gris a gris oscuro, que presentan líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación, dispuestas en estratos que varían de unos centímetros a 2 m de espesor, con pequeños mantos de óxido de fierro inter-estratificados y lajamiento perpendicular al rumbo de la estratificación.

### **Formación Otates**

Es un intervalo arcillo-calcáreo que separa estratigráficamente a las calizas de las formaciones geológicas Tamaulipas Inferior y Superior. Está constituida por calizas arcillosas de estructura laminar ligeramente carbonosas de color gris oscuro, su espesor varía de 6 a 13 m.

### **Formación Tamaulipas Superior**

Es una sección de estratos de espesor medio de calizas criptocristalinas de color crema claro, con líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación y lentes de pedernal gris.

En la secuencia es posible distinguir dos miembros: el inferior está representado por calizas de textura fina, de color crema dispuestas en capas de espesor medio, ocasionalmente con lentes de pedernal; el miembro superior se compone de calizas de color amarillento, en capas de espesor delgado con nódulos de pedernal de color gris. Sus exposiciones se presentan en los cañones que cortan la Sierra de Tamaulipas y la Sierra Madre Oriental.

### **Formación Cuesta del Cura**

Representa una alternancia de calizas densas y calizas arcillosas, de color gris, con intercalaciones de lutitas calcáreas color café claro, bandas y lentes de pedernal negro, en una estratificación ondulante, formando estructuras de "boudinage".

Su espesor varía de 30 a 60 m, sus contactos son concordantes y transicionales, se encuentra subyaciendo a la Formación Agua Nueva y sobreyaciendo al miembro inferior de la Formación Tamaulipas Superior, sus afloramientos se restringen a los cañones que cortan la Sierra de Tamaulipas y la Sierra Madre Oriental.

### **Formación Agua Nueva**

Es una sección de calizas que contienen pedernal, intercaladas con lutitas negras carbonosas, que afloran en el cañón La Borrega, ubicado en las inmediaciones del Rancho Agua Nueva, Tamaulipas. Está constituida por calizas arcillosas de estratificación mediana a gruesa, con estructura laminar de color gris oscuro y negro que alternan con lutitas y margas laminadas de color café a gris oscuro, a veces bituminosas y carbonosas.

Es común encontrar hacia la base de esta formación, capas de bentonita de color verde que sirven como horizonte índice para marcar su contacto inferior. Por su contenido faunístico, se le ha asignado una edad Cenomaniano-Turoniano y se le correlaciona con la Formación Indidura del noreste del país. Sobreyace a la Formación Cuesta del Cura y subyace a la Formación San Felipe. Aflora en el flanco oriental de la Sierra Madre Oriental, así como en el flanco poniente de la Sierra de Tamaulipas.

### **Formación San Felipe**

Esta formación fue descrita inicialmente por Jeffreys en 1910, en su localidad tipo de la ranchería de San Felipe y San Luis Potosí, ubicada a 6 km al este de Ciudad Valles, donde consiste de calizas arcillosas de colores gris claro y verde, con frecuentes intercalaciones de lutitas bentoníticas de colores verde y gris claro. Su espesor promedio es de 130 m y se correlaciona con la Formación Parras en el estado de Coahuila.

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. Subyace a la Formación Méndez cuyo contacto es transicional y sobreyace en forma concordante a la Formación Agua Nueva. Sus afloramientos presentan una gran área de exposición sobre el flanco oriental de la Sierra Madre Oriental, en forma de una serie de pequeños anticlinales y sinclinales, así como en el flanco poniente de la Sierra de Tamaulipas.

### **Formación Méndez**

Es el nombre que se utilizó para describir a una serie de lutitas calcáreas de colores gris y café con fractura nodular, que sobreyace a la Formación San Felipe. 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.

En el área del acuífero está constituida por una serie de lutitas calcáreas de colores gris azulado y café, con fractura nodular, que sobreyace a la Formación San Felipe, presenta fractura concoidal con aislados estratos de areniscas de grano fino color café, que cubren discordantemente a los conglomerados y depósitos aluviales.

Su fracturamiento es típico por el intemperismo, produciéndose un intenso lajamiento y pizarrosidad, dando origen a montículos con apariencia de dunas, subyace discordantemente a los conglomerados y/o depósitos aluviales. Sus afloramientos se distribuyen ampliamente en toda la superficie del acuífero. Está intrusada por algunos diques, cuyo fracturamiento resultante le confiere permeabilidad secundaria. Su espesor promedio es de 300 m y en el estado de Coahuila se correlaciona con la Formación Difunta. Se le asigna una edad Campaniano–Maestrichtiano y aparentemente fue depositada en un fondo marino de aguas relativamente profundas, con abundante aporte de material terrígeno fino.

## **TERCIARIO**

### **Formación Velasco**

Está formada por lutitas calcáreas intercaladas con margas y areniscas calcáreas que afloran en la porción central del acuífero, localmente presenta delgadas capas de bentonita de color verdoso. Cubre a las margas de la Formación Méndez del Cretácico Superior.

### **Conglomerado Reynosa**

Unidad litoestratigráfica constituida por conglomerados de origen continental, conformado por fragmentos de tamaño variable de calizas y rocas ígneas, bien empacados por un cementante calcáreo, depositado en un ambiente fluvial de alta energía. Sobreyace concordantemente a la Formación Méndez; aflora en las porciones norte, centro y oriente de la superficie del acuífero y su espesor varía de 2 a 10 m. Cubre discordantemente a rocas preexistentes, principalmente del Cretácico Superior.

### **Basalto**

Unidad constituida por basaltos de olivino que presentan estructura vesicular y en menor proporción amigdaloides, con relleno de calcita; se presentan desde inalterados hasta muy intemperizados, en forma de derrames lávicos tabulares, que se asocian a la actividad volcánica que tuvo lugar al finalizar la Orogenia Laramide, por lo que se les asigna una edad Paleógeno-Neógeno. Sus áreas de exposición se localizan principalmente al norte del acuífero, en forma aislada sobre los depósitos de las formaciones Méndez y Velasco.

### **Rocas ígneas intrusivas**

Corresponden a un pórfido de sienita que aflora en la Loma La Chora, que intrusionan los sedimentos calcáreos, originando una aureola de metamorfismo con presencia de skarn.

## **CUERTERNARIO**

### **Aluvión**

Está constituido por un conjunto de materiales clásticos de tamaño que varía desde gravas hasta arcillas, forman depósitos lenticulares con alto grado de heterogeneidad tanto lateral como vertical debido a los depósitos sucesivos de las principales corrientes superficiales. Estos materiales descansan indistintamente sobre las rocas más antiguas, su espesor es variable, desde unos cuantos metros hasta un máximo de 30 m. Sus afloramientos se restringen a los cauces de los ríos Guayalejo, Sabinas, Frío y Mante.

### **4.2 Geología estructural**

En la región se interpretan dos diferentes estilos estructurales, el primero afecta parte de la Plataforma de Valles-San Luis Potosí y el otro a la Planicie Costera del Golfo. Los estilos estructurales que presenta la primera zona, en la porción occidental del área, corresponden a estructuras caracterizadas por la abundancia de anticlinales y sinclinales, en ocasiones amplios y en otras muy estrechos, sobre todo en el frente de la Sierra Madre Oriental, sus ejes tienen una orientación general NW-SE, con vergencia al noreste y despegues en las zonas plásticas, sin llegar al basamento. En los sedimentos que sobreyacen a los estratos de evaporitas, se generaron estructuras apretadas asociadas a fallas inversas.

Esta zona corresponde a la Plataforma Valles-San Luis Potosí, ubicada al occidente del acuífero. La segunda zona comprende la mayor parte del acuífero y corresponde a la Planicie Costera del Golfo, inmediatamente al este de la Sierra Cucarachas-El Abra-Tanchipa; se caracteriza por estar constituida por pliegues suaves, asimétricos y simétricos con rumbo general NW-SE, con flancos subhorizontales, afectados por fallas transcurrentes (Carta Geológico-Minera “Ciudad Mante” F14-5, escala 1:250000. SGM, 1999) Los fenómenos tectónicos que motivaron el levantamiento de la Llanura Costera a fines del Cretácico, continuaron durante en inicio del Cenozoico, descubriendo los sedimentos marinos de esta época, para dejarlos expuestos a la acción de 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.

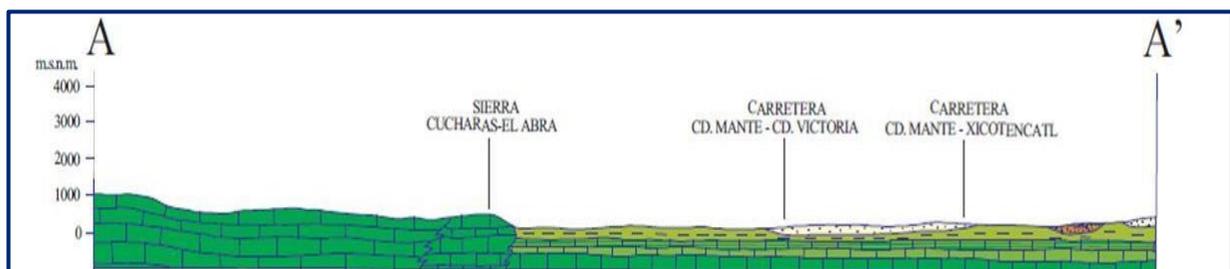
La formación del valle del acuífero Llera-Xicoténcatl, se explica por medio de una serie de procesos tectónicos correspondientes al origen de la Sierra Madre Oriental, seguida de una etapa de intenso intemperismo y erosión, que produjo una peniplanicie al nivel de la base de los derrames basálticos que se observan.

Posteriormente le siguió una actividad volcánica que dio lugar a los depósitos de derrames basálticos, cuyos vestigios se observan en las mesetas y en los cuellos volcánicos que se han identificado. Después hubo posiblemente dos épocas de rejuvenecimiento, la primera de ellas corresponde al depósito del Conglomerado Reynosa y la segunda que dio lugar a la formación del actual valle aluvial del Rio Guayalejo, aguas abajo de Llera.

### **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información hidrogeológica y de la geología superficial recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variable y en 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 lutitas y margas de las formaciones Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas sedimentarias, al desaparecer el fracturamiento, así como las rocas ígneas intrusivas. En la figura 3 se presenta una sección geológica esquemática, ubicadas en la porción centro-occidente del acuífero, que muestra la disposición de las unidades geológicas del subsuelo.



Carta F14-5 Ciudad Mante, Servicio Geológico Mexicano, escala 1:250,000

Figura 3. Sección Geológica

## 5 HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas, permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo, tanto en sentido horizontal como vertical, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada y por conglomerados, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan los valles, 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. Estas unidades no han sido exploradas aún pero representan mayor potencial.

### 5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades llevadas a cabo por el Organismo de Cuenca Golfo Norte en 2012, se realizaron 18 pruebas de bombeo de corta duración, en etapa de abatimiento y recuperación.

Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos de Neuman, Theis y Jacob. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos mencionados, se establece que los valores de transmisividad varían de  **$1.6 \times 10^{-2}$  a  $1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (1382.4 a  $1.1 \text{ m}^2/\text{s}$ )**, con un valor promedio de  **$4.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (397.4  $\text{m}^2/\text{s}$ )**.

En los aprovechamientos emplazados en las lutitas de la Formación Méndez su transmisividad varía de  **$2.7 \times 10^{-4}$  a  $8.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (23.2 a  $7.6 \text{ m}^2/\text{s}$ )**, con un valor promedio de  **$4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  (38.9  $\text{m}^2/\text{s}$ )**. Los valores de conductividad hidráulica varían de  **$9.2 \times 10^{-5}$  a  $9.0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  (7.9 a  $0.8 \text{ m/d}$ )**.

Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

Sin embargo, de acuerdo con el tipo de materiales que constituyen la parte superior del acuífero, para el propósito del balance de aguas subterráneas se asignó un valor de rendimiento específico de **0.05**.

### 5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento piezométrico se cuenta con información correspondiente a 2003 y 2011.

### 5.4 Comportamiento hidráulico

#### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático, se observa que los valores varían de 4 a 14 m, incrementándose por efecto de la topografía, desde la porción central del valle hacia las estribaciones de las sierras que los delimitan (figura 4)..

Los niveles más someros se registran a lo largo de los cauces de los ríos y arroyos y en torno de las presas Estudiante Ramiro Caballero Dorantes y Emilio Portes Gil.

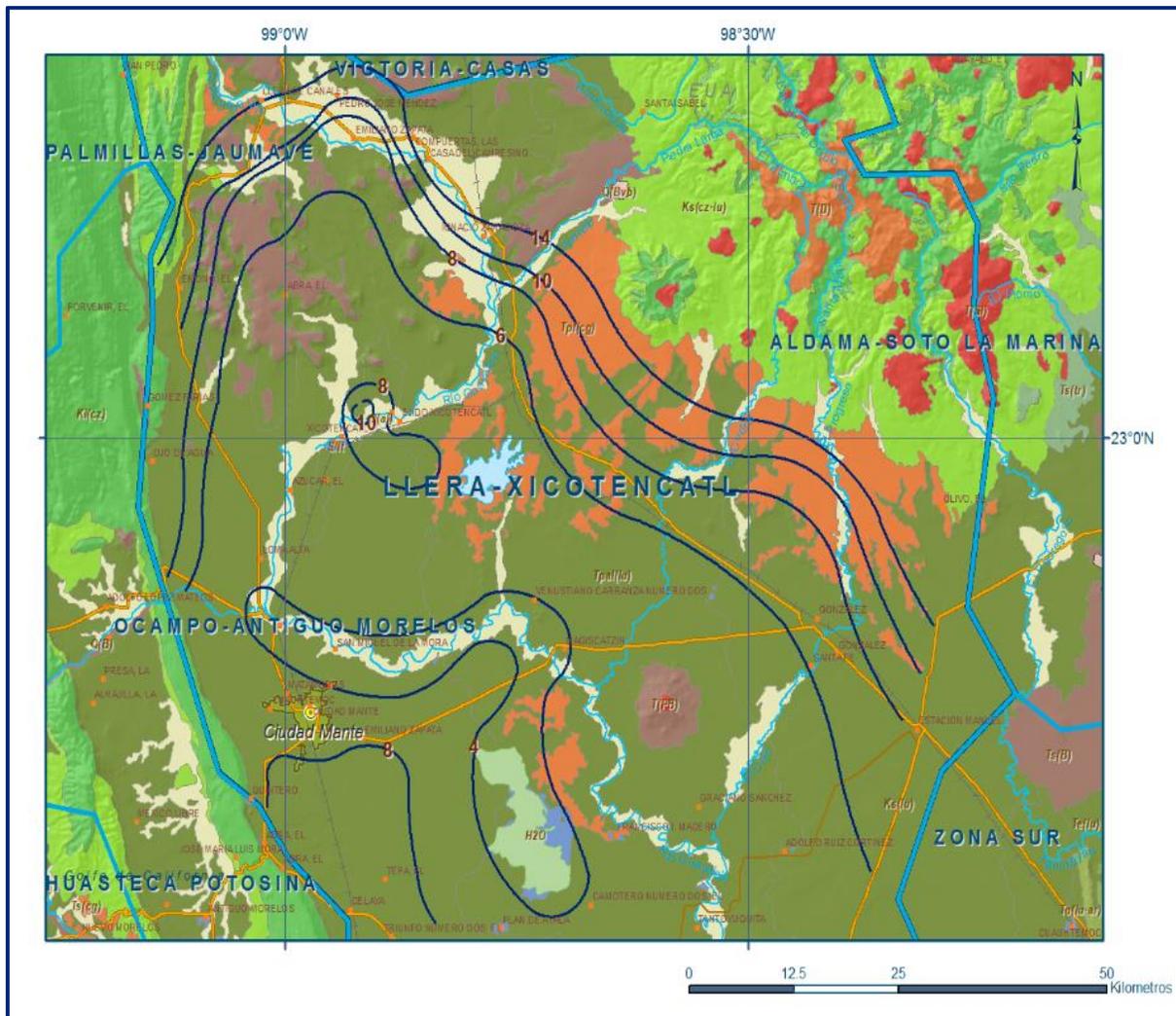


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2011)

### 5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de elevación del nivel estático presenta valores que varían de 50 a 300 msnm, los cuales descienden gradualmente desde las zonas topográficamente más altas, que corresponde a las estribaciones de la Sierras de Tamaulipas (ejidos El Cabrito y Aureliano Caballero) y sierra de Cucharas (ejidos San Ramón, El Guayabo, Gómez Farías) hacia el centro del valle (Xicoténcatl), mostrando de esta manera una red de flujo concéntrica hacia el centro del valle y hacia las zonas donde se ubican las presas mencionadas (figura 5).

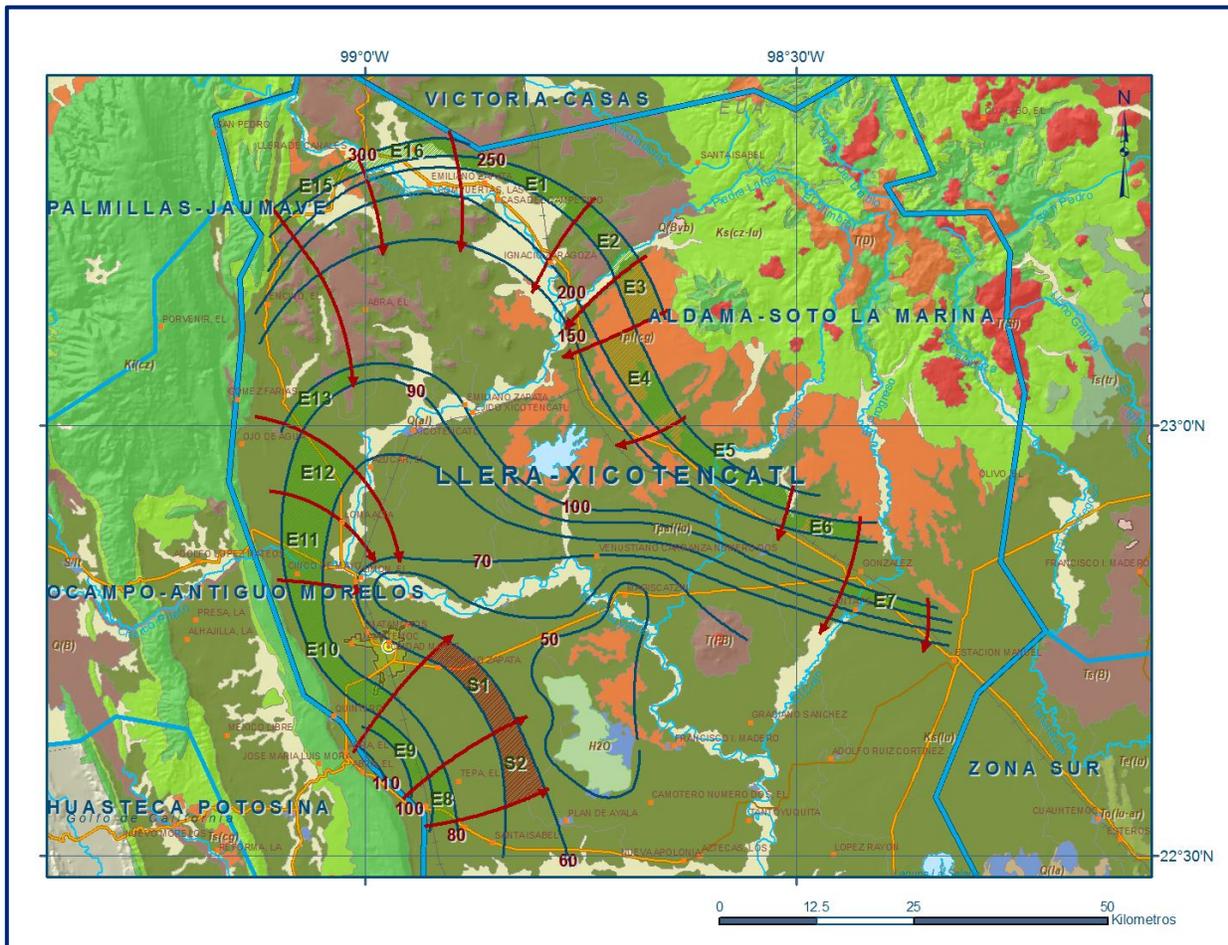


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2011)

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático se observa que para el periodo 2003-2011 sólo se registraron abatimientos locales y dispersos de 1 a 6 m, que representan un ritmo anual de 0.1 a 0.8 m.

En la mayor parte del acuífero los niveles del agua subterránea no presentan cambios significativos en su profundidad (figura 6).

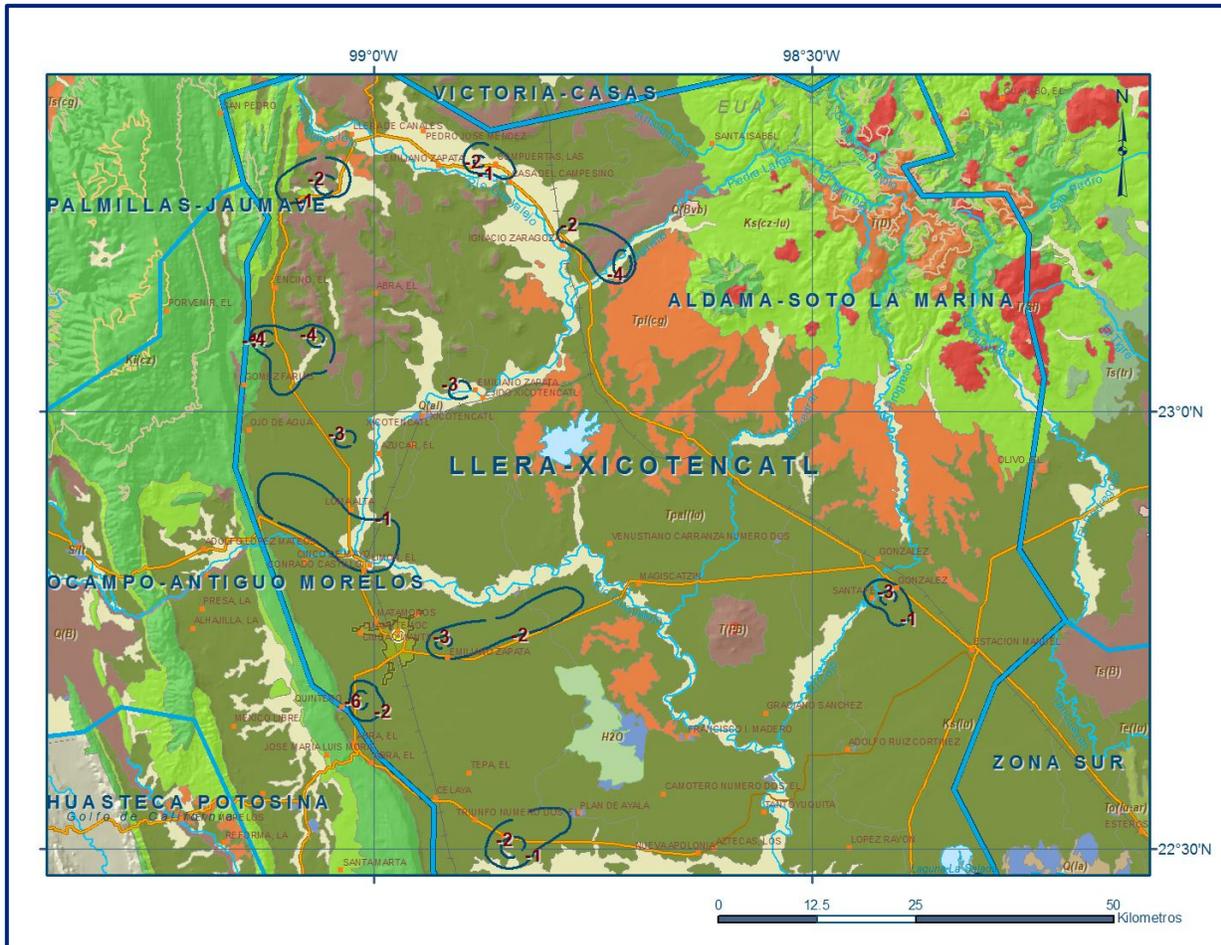


Figura 6. Evolucion del nivel estático en m (2003-2011).

### 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En 2003 se obtuvieron 62 muestras de agua subterránea para su análisis fisicoquímico correspondiente, de las cuales 35 procedían de pozos y 27 de norias. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, pH, conductividad eléctrica y Sólidos Totales Disueltos (STD), para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De los resultados de dichos análisis se establece que, de manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la modificación a la NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022, excepto en el caso de las concentraciones de cloruros y STD.

La concentración STD presentó valores que variaban de 338 a 4163 mg/l, que en algunos casos sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 mg/l.

En 2011 el Organismo de Cuenca Golfo Norte, realizó la medición *in situ* de la conductividad eléctrica en 54 aprovechamientos dispersos en el acuífero, para obtener de manera indirecta los valores de STD.

Los valores de conductividad eléctrica variaron de 310 a 6200  $\mu\text{S/cm}$ ., que la clasifican como agua dulce a salobre, de acuerdo con American Public and Health Association (APHA), 1995. Estos valores representan valores de STD de 250 a 5300 mg/l, aproximadamente.

Con respecto a las familias del agua por ion dominante, predominan la familia bicarbonatada-cálcica que representa agua de reciente infiltración que ha circulado a través de rocas calizas. En la zona costera se presenta agua sódico-clorurada.

## **6 CENSOS DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

No existe un censo de aprovechamientos completo que cubra toda la superficie del acuífero por lo que se tomó en cuenta la información del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) con corte a diciembre de 2012. De acuerdo con esto, existe un total de 1,256 aprovechamientos, la gran mayoría de ellos norias de bajo rendimiento; que en conjunto extraen un volumen anual de **28.3 hm<sup>3</sup>**, distribuidos de la siguiente manera: 25.7 hm<sup>3</sup> (90.8%) destinados al uso agrícola, 1.9 hm<sup>3</sup> (6.7%) al uso público-urbano, 0.5 hm<sup>3</sup> (1.8%) para uso pecuario y 0.2 hm<sup>3</sup> (0.7%) para los usos de servicios e industrial.

## **7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2011, en un área de balance de **4700 km<sup>2</sup>**, en la que están dispersos los aprovechamientos.

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 en el acuífero:

### **Recarga total – Descarga total = Cambio de almacenamiento**

#### **7.1 Entradas**

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe ( $R_t$ ) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical ( $R_v$ ), y entrada por flujo horizontal ( $E_h$ ). De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero ( $R_i$ ). Para este caso, debido a que el volumen destinado al uso público-urbano es pequeño en cuanto al número de habitantes, sólo se considera la recarga originada por los excedentes del riego agrícola ( $R_r$ ).

##### **7.1.1 Recarga vertical ( $R_v$ )**

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

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

Donde:

- $R_v$ :** Recarga vertical
- $R_r$ :** Retornos de riego
- $E_h$ :** Entradas por flujo subterráneo horizontal
- $B$ :** Bombeo
- $Sh$ :** Salidas por flujo subterráneo horizontal
- $ETR$ :** Evapotranspiración
- $\Delta V(S)$ :** Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

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

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

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el 2011 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

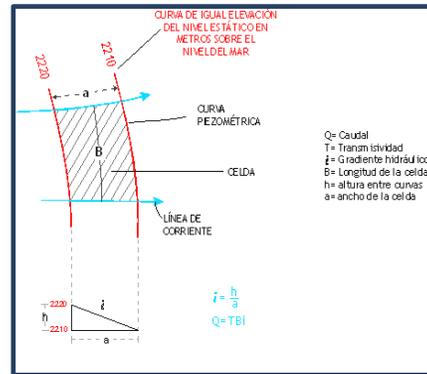
Donde:

**Q** = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

**B** = Longitud de la celda (m)

**i** = Gradiente Hidráulico (adimensional)

**T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2, se muestran los valores obtenidos, en la que se puede observar que su valor es de **26.3 hm<sup>3</sup> anuales**.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas por flujo horizontal (2011)

CANAL	LONGITUD L (m)	ANCHO B (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /s)
E1	7790	1045	20	0.0191	0.0002	0.0298	0.9
E2	5580	1160	20	0.0172	0.0005	0.0481	1.5
E3	3255	1860	20	0.0108	0.0015	0.0525	1.7
E4	6745	1975	30	0.0152	0.0015	0.1537	4.8
E5	6975	2095	30	0.0143	0.0005	0.0499	1.6
E6	5815	1625	50	0.0308	0.0005	0.0895	2.8
E7	6160	920	10	0.0109	0.0015	0.1004	3.2
E8	4070	1625	10	0.0062	0.001	0.0250	0.8
E9	6160	2095	10	0.0048	0.0005	0.0147	0.5
E10	8255	1280	10	0.0078	0.0005	0.0322	1.0
E11	2790	1975	10	0.0051	0.0005	0.0071	0.2
E12	2325	2905	10	0.0034	0.0005	0.0040	0.1
E13	3955	3835	10	0.0026	0.0005	0.0052	0.2
E14	8140	1045	10	0.0096	0.0001	0.0078	0.2
E15	6395	930	50	0.0538	0.0002	0.0688	2.2
E16	6160	1050	50	0.0476	0.0005	0.1467	4.6
<b>Total entradas</b>						<b>26.3</b>	

### **7.1.3 Retorno de riego (Rr)**

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, sino que se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático.

Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación. Debido a la falta de información confiable de láminas de riego por cultivo, por correlación con acuíferos vecinos, se consideró un 20% del volumen aplicado al uso agrícola que retorna al acuífero en forma de recarga inducida. Debido a la falta de información de superficies y láminas de riego por cultivo, se consideró un coeficiente de infiltración de 5%, de acuerdo con las condiciones geológicas generales de baja permeabilidad de los materiales que constituyen el acuífero.

El volumen extracción de agua subterránea para uso agrícola es de 25.7 hm<sup>3</sup> anuales, que sumados a los 937 hm<sup>3</sup> de aguas superficiales (150 hm<sup>3</sup> de la presa “Ramiro Caballero Dorantes”, 107 hm<sup>3</sup> de la presa “Emilio Portes Gil”, 160 hm<sup>3</sup> de la Derivadora la Aguja, 150 hm<sup>3</sup> de la “Derivadora Ahualulco Canal Alto y Bajo”, 30 hm<sup>3</sup> de la “Derivadora el Conejo” y 340 hm<sup>3</sup> que derivan mediante tomas directas de los ríos), representan un volumen total para uso agrícola de 962.7 hm<sup>3</sup> anuales. De esta manera:

$$Rr = (962.7) (0.05) = 48.1.$$

Por lo tanto, **Rr = 48.1 hm<sup>3</sup> anuales.**

## **7.2 Salidas**

Las descargas provienen principalmente de las salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh), bombeo (B) y por evapotranspiración real (ETR).

### **7.2.1 Evapotranspiración (ETR)**

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real, respectivamente), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

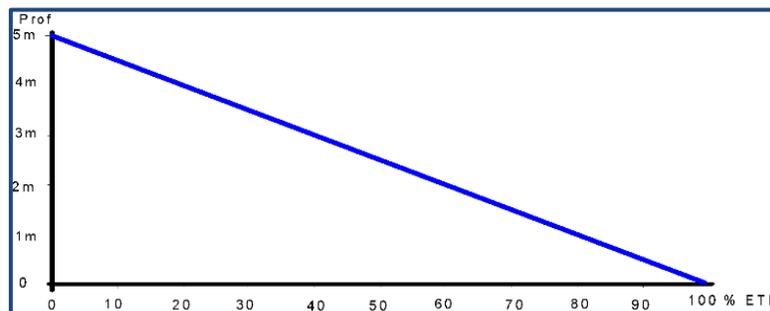
Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración. Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

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

T(°C)	22		
P(mm)	927	P <sup>2</sup> =	859329
L	1382.4	L <sup>2</sup> =	1911029.76
ETR (mm)	<b>797.9</b>		
Área (km <sup>2</sup> )	345		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



Considerando que en una superficie de 345 km<sup>2</sup> de la porción sur del acuífero la profundidad media al NE es de 4 m, según la relación lineal mostrada en la figura, le corresponde un 20% de la lámina de ETR. El detalle del cálculo se muestra en la tabla 3, en la que se puede observar que el valor de la evapotranspiración es de **55.1 hm<sup>3</sup>** anuales.

Tabla 3. Cálculo de la evapotranspiración

Intervalo curvas (m)	Profundidad media (m)	Área (km <sup>2</sup> )	%	ETR (m)	ETR (hm <sup>3</sup> /año)
3 a 5	4	345	20	0.7979	55.1
				<b>Total</b>	<b>55.1</b>

### 7.2.2 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, se consideraron los volúmenes consignados en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA). De esta manera el valor de la extracción es de **28.3 hm<sup>3</sup> anuales**.

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

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático del año 2011, mostrada en la figura 5. El valor estimado del volumen es de **1.1 hm<sup>3</sup> anuales** y se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo salidas subterráneas por flujo horizontal (2011)

CANAL	LONGITUD L (m)	ANCHO B (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i	T m <sup>2</sup> /s	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /s)
S1	8370	1745	10	0.0057	0.0005	0.0240	0.8
S2	4650	2095	10	0.0048	0.0005	0.0111	0.3
						<b>Total salidas</b>	<b>1.1</b>

### 7.3 Cambio de almacenamiento ΔV(S)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución anual del nivel estático 2003 – 2011. Con base en ella y en un valor de rendimiento específico (Sy) de 0.05, consistente con la naturaleza arcillosa del subsuelo y tomando en cuenta que los pozos en general no rebasan los 40 m de profundidad, se determinó la variación del almacenamiento, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

**ΔV(S)** = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

**S** = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

**A** = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>);

**H** = Valor de la variación piezométrica en el período (m);

De esta manera se obtuvo un cambio de almacenamiento de **-3.5 hm<sup>3</sup> anuales**, como se observa en la tabla 5:

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento (2003-2011)

EVOLUCIÓN (m)	ABATIMIENTO PROMEDIO (m)	AREA (km <sup>2</sup> )	Sy	ΔV(S) (hm <sup>3</sup> /a)
-1	-1.0	125.0	0.05	-6.3
-1 a -2	-1.5	45.0	0.05	-3.4
-6	-6.0	3.0	0.05	-0.9
-2 a -6	-4.0	13.0	0.05	-2.6
-3	-3.0	2.0	0.05	-0.3
-2 a -3	-2.5	25.0	0.05	-3.1
-3	-3.0	10.0	0.05	-1.5
-4	-4.0	12.0	0.05	-2.4
-1 a -4	-2.5	40.0	0.05	-5.0
-2	-2.0	25.0	0.05	-2.5
		<b>300.0</b>	<b>TOTAL</b>	<b>-28.0</b>
			<b>PROMEDIO ANUAL</b>	<b>-3.5</b>

### Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

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

$$Rv = 1.1 + 28.3 + 55.1 - 26.3 - 48.1 - 3.5$$

$$Rv = 6.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a la suma de todas las entradas:

$$Rt = Rv + Eh + Rr$$

$$Rt = 6.6 + 26.3 + 48.1$$

$$Rt = 81.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 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:

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

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 **81.0 hm<sup>3</sup>/año**, todos ellos son de recarga natural.

### **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 **28.6 hm<sup>3</sup> anuales**, que corresponde a las salidas subterráneas que aún presenta el acuífero.

### **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 **50,981,900 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 81.0 - 28.6 - 50.981900 \\ \text{DMA} &= 1.418100 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,418,100 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9 BIBLIOGRAFÍA**