

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Laguna El Guaje (0517),  
Estado de Coahuila***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación  
20 de abril de 2015*

## Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
<b>ESTADO DE COAHUILA</b>							
0517	LAGUNA EL GUAJE	15.8	0.1	0.154232	7.4	15.545768	0.000000

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



**Comisión Nacional del Agua**  
**Subdirección General Técnica**  
**Gerencia de Aguas Subterráneas**  
**Subgerencia de Evaluación y**  
**Ordenamiento de Acuíferos**

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN  
EL ACUÍFERO LAGUNA EL GUAJE (0517), ESTADO DE  
COAHUILA***

**México, D.F., Diciembre de 2010**

## CONTENIDO

1. GENERALIDADES .....	3
Antecedentes .....	3
1.1. Localización .....	3
1.2. Situación administrativa del acuífero .....	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	6
3. FISIOGRAFÍA .....	6
3.1. Provincia fisiográfica .....	6
3.2. Clima .....	7
3.3. Hidrografía .....	7
3.4. Geomorfología .....	8
4. GEOLOGÍA .....	9
4.1. Estratigrafía .....	9
4.2. Geología estructural .....	14
4.3. Geología del subsuelo .....	14
5. HIDROGEOLOGÍA .....	15
5.1. Tipo de acuífero .....	15
5.2. Parámetros hidráulicos .....	16
5.3. Piezometría .....	16
5.4. Comportamiento hidráulico .....	16
5.4.1 Profundidad al nivel estático .....	16
5.4.2. Elevación del nivel estático .....	17
5.4.3. Evolución del nivel estático .....	18
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	21
7.1. Entradas .....	22
7.1.1. Recarga vertical (Rv) .....	22
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	23
7.2. Salidas .....	24
7.2.1. Bombeo (B) .....	25
7.2.2. Descarga a través de manantiales (Dm) .....	25
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	25
8. DISPONIBILIDAD .....	26
8.1. Recarga total media anual (Rt) .....	26
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	26
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS) .....	27
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) .....	27
9. BIBLIOGRAFÍA .....	27

## **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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

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 Laguna El Guaje, definido con la clave 0517 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción centro-oriental del estado de Coahuila, entre los paralelos 27°15' y 28°25' de latitud norte y los meridianos 102°35' a 103°55' de longitud oeste, abarca una superficie de 9,623 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con el acuífero Santa Fe del Pino, al sur con los acuíferos Laguna del Rey-Sierra Mojada y Laguna el Coyote, al este con el acuífero Cuatrociénegas-Ocampo, al oeste limita el acuífero Hércules, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila; y al oeste también limita con el acuífero Laguna Los Alazanes, que pertenece al estado de Chihuahua (figura 1).

Geopolíticamente se localiza prácticamente en su totalidad en el municipio Ocampo y una pequeña porción de su extremo poniente en el municipio de Sierra Mojada.

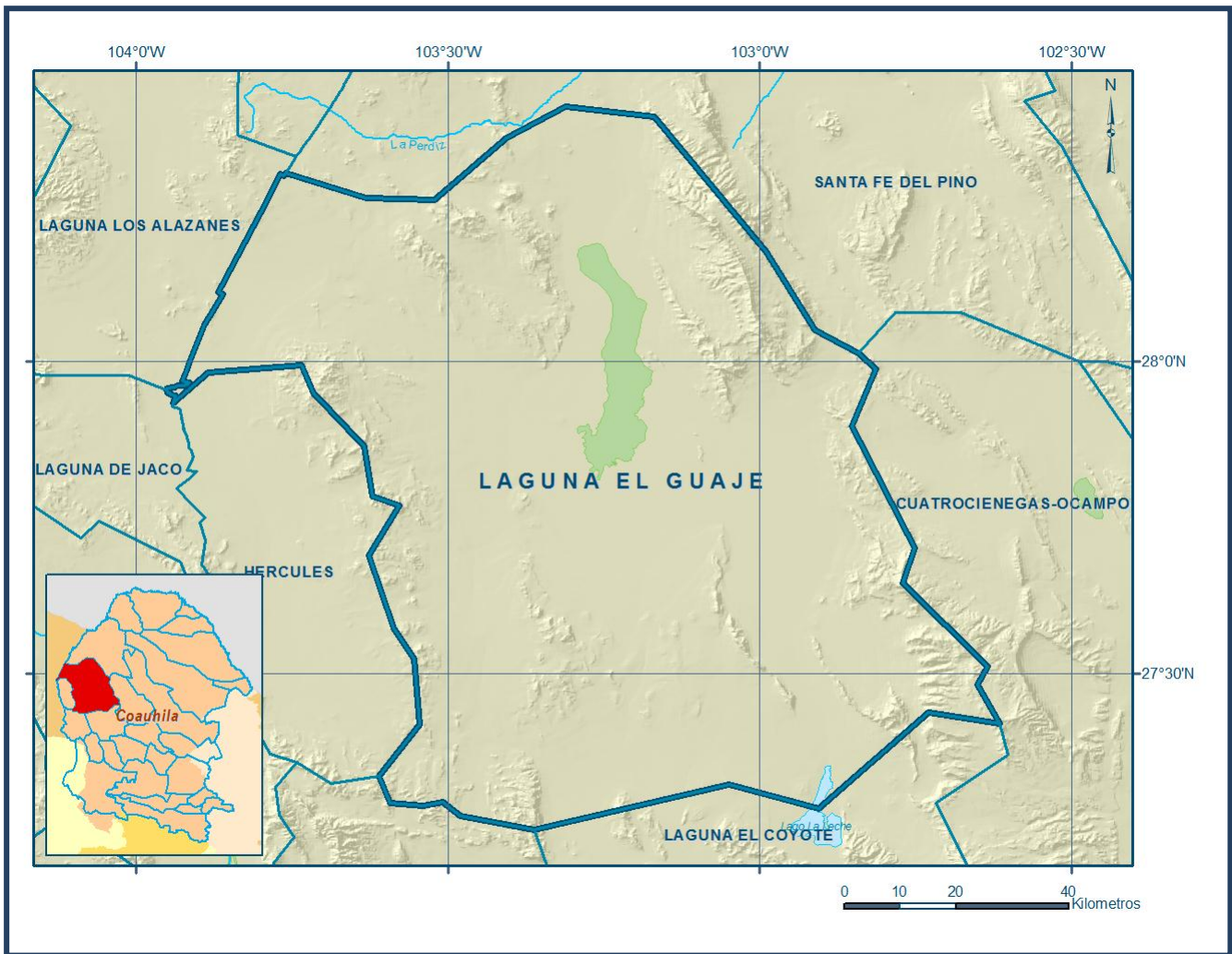


Figura 1. Localización del acuífero Laguna el Guaje

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0517 LAGUNA EL GUAJE							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	45	33.0	28	18	7.8	
2	103	37	52.8	28	15	44.8	
3	103	31	19.0	28	15	31.2	
4	103	24	23.5	28	21	28.5	
5	103	18	38.7	28	24	30.6	
6	103	10	8.9	28	23	31.5	
7	102	59	22.2	28	10	36.3	
8	102	54	38.7	28	2	59.3	
9	102	50	31.7	28	0	45.5	
10	102	48	46.7	27	59	18.4	
11	102	51	6.2	27	53	45.9	
12	102	45	5.7	27	42	2.2	
13	102	46	15.5	27	38	38.6	
14	102	38	6.0	27	30	42.7	
15	102	39	0.9	27	28	54.8	
16	102	36	54.4	27	25	12.0	
17	102	43	42.8	27	26	15.1	
18	102	54	21.3	27	16	59.0	
19	103	2	54.0	27	19	16.0	
20	103	21	39.3	27	14	58.2	
21	103	28	47.9	27	16	17.0	
22	103	30	28.9	27	17	36.1	
23	103	32	22.4	27	17	18.4	
24	103	35	34.6	27	17	30.1	
25	103	36	39.0	27	20	8.5	
26	103	32	44.7	27	25	7.6	
27	103	33	11.6	27	31	22.1	
28	103	35	10.9	27	34	19.6	
29	103	37	34.7	27	41	19.6	
30	103	34	41.4	27	46	6.8	
31	103	37	15.5	27	47	3.0	
32	103	38	4.2	27	51	47.6	
33	103	42	54.2	27	56	57.0	
34	103	44	3.0	27	59	37.0	
35	103	53	3.7	27	58	53.7	
36	103	56	24.3	27	55	57.7	DEL 36 AL 37 POR EL LIMITE ESTATAL
37	103	57	2.2	27	57	12.3	DEL 37 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	103	45	33.0	28	18	7.8	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Laguna El Guaje, por su condición geográfica, es interregional debido a que su territorio se encuentra comprendido en dos Organismos de Cuenca. La mayor parte de su superficie se ubica en el Organismo de Cuenca Río Bravo y la porción occidental pertenece al Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte. Desde el punto de vista de su circunscripción administrativa, pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila.

En su territorio completo no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2010), los municipios Ocampo y Sierra Mojada se clasifican como zona de disponibilidad 6. El principal usuario es el industrial. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

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

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, sólo algunos con fines de prospección minera. En algunos acuíferos vecinos del estado de Coahuila se han realizado estudios hidrogeológicos para determinar su recarga media anual. El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

**ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS SANTA FE DEL PINO, HÉRCULES, LAGUNA EL GUAJE, LAGUNA EL COYOTE, ACATITA, LAS DELICIAS, SERRANÍA DEL BURRO Y VALLE DE SAN MARCOS, EN EL ESTADO DE COAHUILA, elaborado mediante convenio con el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León, para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en 2010.** El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, conocer su funcionamiento hidrodinámico y recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Como parte de sus actividades de campo incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

## **3. FISIOGRAFÍA**

### **3.1. Provincia fisiográfica**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), la superficie cubierta por el acuífero se encuentra en el límite entre dos importantes provincias fisiográficas de la República Mexicana, la Sierra Madre Oriental y Sierras y Cuencas. La Sierra Madre Oriental representa una franja alargada orientada en sentido noroeste-sureste, desde Chihuahua-Coahuila hasta el Istmo de Tehuantepec, que presenta una flexión con orientación este-oeste entre Torreón y Monterrey; está integrada principalmente por sedimentos calcáreos del Cretácico y Jurásico que se encuentran plegados, formando valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.) en los sinclinales y serranías en los anticlinales cuando las formaciones son resistentes a la erosión, pero cuando estos últimos dejan al descubierto



un núcleo constituido por rocas menos resistentes, entonces se forman valles en su centro. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados. Una pequeña porción al este del acuífero corresponden a esta provincia fisiográfica. En cuanto a la provincia Sierras y Cuencas, las sierras son bajas y abruptas con una orientación nor noroeste-sur sureste, las cuales están separadas por extensas llanuras aluviales o cuencas endorréicas, conocidas en el norte de país como bolsones, que en ocasiones constituyen lagunas. En esta provincia se encuentran el Bolsón de Coahuila, Bolsón de Mapimí en Durango y la Laguna de Mayrán (INEGI).

### **3.2. Clima**

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la mayor parte del acuífero es dominado por un clima clasificado como BWhw, que corresponde a un clima muy seco, semicálido, con lluvias en verano que alcanza una precipitación anual entre el 5% y el 10.2%. Hacia las zonas topográficamente altas, en las sierras El Pino y El Fuste, el clima cambia tipos  $BS_0kw$  y  $BS_1kw$  clasificados como seco y semiseco, templado, con lluvias en verano y una precipitación anual entre el 5% y el 10.2%

La temperatura media anual en la zona del acuífero, varía entre 20 °C en la planicie que cubre la mayor parte del acuífero y disminuye hasta 18 °C en las partes altas de las sierras. La precipitación media anual varía desde 200 mm en la Planicie de El Guaje, 300 mm en las partes altas de las sierras; y 400 mm en la sierras de El Fuste y El Pino. El periodo de lluvias se presenta de mayo a octubre, mientras que el estiaje entre noviembre y abril. En ellos se presentan valores promedio de lluvias de 175 mm en la planicie y 250 mm para El Fuste y El Pino, para la temporada de lluvias; y de 50 mm en las sierras, en la planicie no se registran precipitaciones, para el estiaje

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 2 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Eutimias y El Guaje, cuyos registros comprenden un periodo de 30 años. Con estos datos y utilizando los Polígonos de Thiessen se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **260 mm y 19.0 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2140 mm anuales**.

### **3.3. Hidrografía**

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 35 "Mapimí". Las porciones norte, este y oeste corresponden a la cuenca C, Laguna del Guaje-Lipanes, subcuenca a; en tanto que la región sur se localiza en la cuenca B, Laguna del Rey.

### **3.4. Geomorfología**

En la superficie cubierta por el acuífero se pueden distinguir 4 unidades geomorfológicas presentes: sierras anticlinales calcáreas, valles sinclinales intermontanos, sierras ígneas y planicies.

#### **Sierras anticlinales calcáreas**

La mayor parte del área comprendida por el acuífero, corresponde a una serie de sierras anticlinales formadas por rocas calcáreas del Cretácico y Jurásico que forman parte de la Sierra Madre Oriental. Las sierras se elevan de 2660 msnm, hasta 900 msnm; entre ellas destacan las sierras El Pino (2660 msnm), ubicada en la porción noreste del acuífero por una longitud de 70 km y anchura de 15 km; El Fuste (2150 msnm) localizada hacia el sureste de la región, de 40 km de longitud y 12 km de ancho; así como otras de menores dimensiones que se encuentran dispersas entre las antes mencionadas. Son sierras alargadas cuyos flancos presentan pendientes que varían de medias a fuertes y se encuentran disectadas por arroyos con dirección principalmente perpendicular a ellas, formando acantilados espectaculares.

#### **Valles sinclinales intermontanos**

Corresponden a angostos valles alargados, llamados también valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.), que se presentan entre los plegamientos de la Sierra Madre Oriental con una orientación este-noreste. En ellos circulan algunos arroyos que descienden de las sierras y se pierden por infiltración al subsuelo.

#### **Sierras ígneas**

Presentan formas redondeadas con elevaciones de 1600 hasta 500 msnm, formadas por rocas ígneas de origen extrusivo, la porción poniente del acuífero pertenece a este conjunto de sierras.

#### **Planicies**

Están representadas por extensas superficies planas ubicadas en la porción central y sureste del acuífero, delimitadas sólo por las sierras El Pino, El Fuste así como los sinclinales. Dentro del área del acuífero destacan dos planicies importantes; el Llano del Guaje y el Llano El Macho. El Llano del Guaje se eleva 1100 msnm, se extiende desde el norte del acuífero por el poblado de Santa Fe del Pino, hasta el sur pasando por la población de La Rosita, tiene una longitud de 105 km y ancho de 16 hasta 40 km. Al centro de esta planicie se localiza la Laguna El Guaje cuyas dimensiones son de 40 km de longitud y 7 km de ancho, su pendiente es suave y sólo presenta acumulaciones de agua en temporada de lluvias extraordinarias, que se pierden rápidamente, dejando un característico residuo de sales. Al sureste del Llano El Guaje se encuentra el Llano El Macho, el cual tiene una longitud de 50 km, un ancho de 17 km y orientación norte-sur. Presenta una ligera pendiente hacia su borde oriental, rumbo a la Sierra de El Fuste. En ambas planicies o llanos no se presenta drenaje.

## **4. GEOLOGÍA**

La geología regional de la zona está representada por rocas sedimentarias marinas y continentales, ígneas intrusivas y extrusivas así como rocas metamórficas de contacto, cuyo registro estratigráfico comprende edades que van del Cretácico Inferior (Mesozoico) al Reciente. La distribución de las diferentes unidades litológica se presenta en la figura 2.

### **4.1. Estratigrafía**

La columna estratigráfica presente en la zona se describe a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente. La estratigrafía del Cretácico Inferior está representada por las formaciones La Virgen, Cupido, La Peña, Aurora, Kiamichi, Georgetown, del Río y Buda. El Cretácico Medio y Superior por las formaciones Eagle Ford, Boquillas y Austin. La secuencia geológica culmina con sedimentos continentales del Terciario y Cuaternario y se complementa con algunas rocas ígneas extrusivas e intrusivas.

#### **Cretácico Inferior**

##### **Formación La Virgen**

Es la unidad más antigua y está representada por afloramientos de evaporitas localizados en la porción nororiental de Cuatrociénegas Coahuila. Litológicamente está constituida por una secuencia rítmica de tres unidades, para la que se ha reportado un espesor conjunto de 449 hasta 535 m. En la región se han cartografiado cuatro miembros: El inferior está formado por yeso, anhidrita, lutitas y en ocasiones areniscas. La lutita se presenta ocasionalmente brechada y metamorfoseada a hornfels. Sobreyaciendo concordantemente aflora una caliza fosilífera, que constituye el segundo miembro; el tercer miembro está constituido por yeso, limolitas y calizas. Por último, hacia la cima, se presenta el cuarto miembro constituido por calizas y yesos.

##### **Formación Cupido**

Término definido para una unidad de calizas de color gris y estratificación gruesa, delgada y media, que se presenta en la porción media de la Sierra de Parras. Sobreyace concordantemente a la formación anterior y está constituida principalmente por tres facies diferentes: 1) Facies arrecifales con abundantes monopléuridos, requiénidos, caprínidos, ostras y fragmentos de corales y codiáceas, que afloran preferentemente en la parte norte de la Curvatura de Monterrey; 2) Facies de pre-arrecife, constituidas por brechas derivadas de los arrecifes, que bordean las facies arrecifales en la parte norte y noroccidental de la citada megaestructura, y 3) Facies de cuenca, representadas por calizas de grano fino de estratificación media a gruesa, con abundantes nódulos de pedernal, que aflora en la parte sur de la megaestructura. El espesor de las facies pre-arrecifales es mayor en las facies arrecifales y menor en las facies de cuenca. De acuerdo con su contenido de (miliólidos) y por su

posición estratigráfica entre las formaciones Taraises y La Peña, se le asigna una edad correspondiente al Hauteriviano.

### **Formación La Peña**

Está compuesta por una secuencia homogénea de calizas arcillosas y lutitas calcáreas de color gris oscuro, con bandas de pedernal negro, dispuestas en estratos delgados a medianos de 0.15 a 0.20 m, cuyo espesor estimado varía de 40 a 50 m. Su contacto inferior con la Formación Tamaulipas Inferior o con la Formación Cupido es nítido y concordante; del mismo modo subyace a la Formación Tamaulipas Superior, en donde la zona de contacto está definida por el cambio de una sedimentación calcáreo-arcillosa a una secuencia netamente carbonatada. Los fósiles de amonita *Dufrenoya Justinae* y los microfósiles que contiene indican que tiene una edad Aptiano Inferior-Superior.

### **Formación Tamaulipas Superior (Formación Aurora)**

El nombre Formación Aurora fue propuesto por Burrows (1910) para aquellas rocas que afloran en la porción noreste del estado de Chihuahua, que están constituidas por capas gruesas de calizas fosilíferas, con abundantes nódulos de pedernal así como líneas y superficies estilolíticas. La unidad presenta horizontes interestratificados de calizas y lutitas, de estratificación media a gruesa (0.70 a 1.20 m) con diversos desarrollos arrecifales y algunos horizontes de calcarenitas. Presenta una coloración de tonalidad gris a oscura, hacia su cima disminuye notablemente la presencia de nódulos de pedernal y aparece hematita. Presenta fracturamiento general que varía de moderado a intenso, estructuralmente forma pliegues anticlinales cuyos ejes se orientan al noroeste-sureste y echados suaves más o menos uniformes.

### **Formación Kiamichi**

Esta unidad tiene una amplia distribución en todo el Noreste de México, aunque se le ha cartografiado con otros nombres tales como, Benevides, Sue Peaks o Sombrerillo. Se ha observado en las sierras de El Fuste y Santa Fe del Pino. Aflora principalmente al noreste del acuífero. La litología predominante de este complejo en el área consiste en una intercalación de lutitas calcáreas de color gris oscuro, calizas mudstone y wackestone, dispuestas en estratos delgados y medios, con abundante fauna fosilífera (amonitas, equinodermos, pelecípodos y gasterópodos) y concreciones de marcasita y fierro. Los sedimentos de esta formación pertenecen a un ambiente de depósito marino de aguas profundas. Por estudios micropaleontológicos y posición estratigráfica, se le asigna edad Albiano Medio – Superior.

### **Formación Georgetown**

Aflora de manera circundante a las porciones altas de las Sierras El Fuste y El Pino o en forma de lomeríos de menor altura; está conformada por calcarenitas de colores gris claro y oscuros, con nódulos de pedernal y dispuestos en estratos delgados, medios y gruesos. Presenta restos fósiles de globigerínidos, equinodermos y clastos biógenos. Se le asigna una edad correspondiente al Albiano

Tardío. Hacia el poblado Eutimias, consiste de calizas con intercalaciones de calizas arcillosas, a concreciones ferruginosas, nódulos de pedernal y fauna fosilífera (globigerínidos).

### **Formación del Río**

Fue originalmente descrita por Hill y Vaughan (1898). Su localidad tipo se encuentra en la Ciudad de Del Río, Texas. Consiste principalmente de lutitas gris oscuro a negro que intemperizan a colores rojizos, verdosos, violáceos y café amarillentos. Presenta algunas intercalaciones delgadas de arenisca calcárea de grano fino, con estratificación cruzada. Hacia su base y cima, presenta intercalaciones de calizas y calcarenitas de color gris. Contiene foraminíferos, tintínidos, huellas de amonitas, equinodermos, pelecípodos y concreciones de marcasita. La edad de esta unidad corresponde al Cenomaniano Temprano. La Formación Del Río es una unidad importante del Noreste de México y sur de Texas, debido a su amplia distribución, estabilidad litológica y posición estratigráfica. Su presencia marca el límite Albiano-Cenomaniano. Se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta durante una etapa regional transgresiva.

Debido a su carácter arcilloso, generalmente está cubierta con aluvión. Presenta espesor que varía de 4 a 211 m. Un aspecto notable de esta unidad, es su marcado engrosamiento de espesor en la parte sur del acuífero, hacia la Sierra del Pino.

### **Cretácico Medio - Superior**

**Formación Buda.** Fue descrita por Hill (1900) en Shoal Creek, Austin Texas. Consiste en general de calizas de textura calcarenita color gris claro, de estratificación delgada a media, con capas delgadas intercaladas de lutita de color gris claro. Presenta foraminíferos plantónicos, huellas de amonitas y bioclastos. En menor proporción contiene minerales ferruginosos y nódulos de pedernal. La edad de esta unidad ha sido determinada con base en varias especies de *Budaiceras sp.* y *mariella sp.*, entre otras, las que le asignan una edad Cenomaniano Temprano. De acuerdo a su litología y contenido faunístico, se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta relativamente profunda y de baja energía. Por su parte la presencia de sulfuros de hierro y nódulos de pedernal indican condiciones reductoras.

### **Formación Eagle Ford**

Su localidad tipo se encuentra en Eagle Ford, Texas. Está constituida por una alternancia de lutitas calcáreas de color gris a gris oscuro y calizas de estratificación delgada. Ambas rocas tienen una estructura laminar característica y con el intemperismo forman lajas, razón por la cual también se le ha llamado "Laja Boquillas". Se erosiona fácilmente debido a su suavidad y presenta un espesor aproximado de 200 m.

La Formación Eagle Ford subyace a la Formación Austin y sobreyace a la Formación Buda, ambas relacionadas de manera concordante. Se le ha designado una edad de Cenomaniano Superior-

Turoniano, de acuerdo con su posición estratigráfica y principalmente por fósiles característicos como: *Inoceramus Liminúscula* y *Scaphites* sp. Se correlaciona con la Formación Agua Nueva del centro de México.

### **Formación Austin**

Su litología es semejante a la de la Formación Eagle Ford, aunque su secuencia calcáreo-arcillosa o margosa puede distinguirse ya que no presenta estructura laminar y al intemperizarse no forma lajas sino que su desprendimiento se efectúa en fragmentos ovoides de distintos tamaños. El espesor que presenta es de 200 m.

En la base de la formación se encuentra una intercalación de calizas con estratificación delgada a media, y lutitas calcáreas con una textura laminar y terrosa. Hacia la cima la unidad se vuelve más arcillosa. Sobreyace de forma concordante a la Formación Eagle Ford. Debido a su contenido fosilífero (*Inoceramus undula topicatus*, *Roemer*; *Durania austinensis* *Roemer* y *Baculites* sp,) se le ha asignado una edad de Coniaciano-Santoniano.

### **Neógeno**

Corresponde a depósitos continentales, principalmente conglomerados, poco cementados, producto del transporte y sedimentación de detritos erosionados de las partes altas y generalmente depositados en los pies de monte de las sierras. En el norte del Estado de Coahuila se denomina Conglomerado Sabinas y en el suroeste como Conglomerado Ahuichila.

El Conglomerado Sabinas fue definido en la Región Carbonífera de Sabinas, para depósitos conglomeráticos (Humphrey, 1956), que afloran a lo largo del Río Sabinas y en las partes bajas de los flancos de anticlinales. Se compone de fragmentos de caliza con diámetros que varían de 5 cm aproximadamente a 1 m, que están cementados por arcilla y carbonato de calcio. El espesor que se le ha calculado es de 30 m. Sobreyace discordantemente a las formaciones del Cretácico Superior, de acuerdo con su posición estratigráfica se le ha asignado una edad de Mioceno-Plioceno.

### **Rocas ígneas extrusivas**

Durante este periodo tuvo lugar un vulcanismo intenso, representado en la base por tobas ácidas, derrames y tobas riolíticas, así como andesitas y brechas andesíticas coronadas por derrames de basaltos. Se encuentran aflorando en las partes altas de las sierras.

### **Rocas ígneas intrusivas**

Se trata de un cuerpo intrusivo de composición cuarzomonzonita y riocita, que aflora ubicado en la zona de la Sierra Las Cruces, ubicada al noroeste del acuífero, en las inmediaciones del pueblo minero Hércules.

Como resultado de las intrusiones, se originó un metamorfismo de contacto, que ocasionaron importantes afloramientos de skarns, calizas marmorizadas y hornfels.

### Aluvi3n Cuaternario

Los dep3sitos cuaternarios que se encuentran distribuidos extensamente en gran del acuífero, consisten en aluviones depositados en los piedemonte y en las planicies de inundaci3n. Los primeros son principalmente conglomerados y arenas y en las planicies de inundaci3n est3n representados por limos, arcillas y evaporitas.

Se encuentran ocupando las partes bajas, los flancos de las sierras y los valles. Solamente hacia los cauces de los arroyos que descienden de las sierras, se acumulan espesores relativamente mayores de aluvi3n, principalmente de tipo fluvial, con espesores medios de 40 metros. Hacia la Laguna El Guaje, predominan sedimentos finos intercalados con evaporitas.

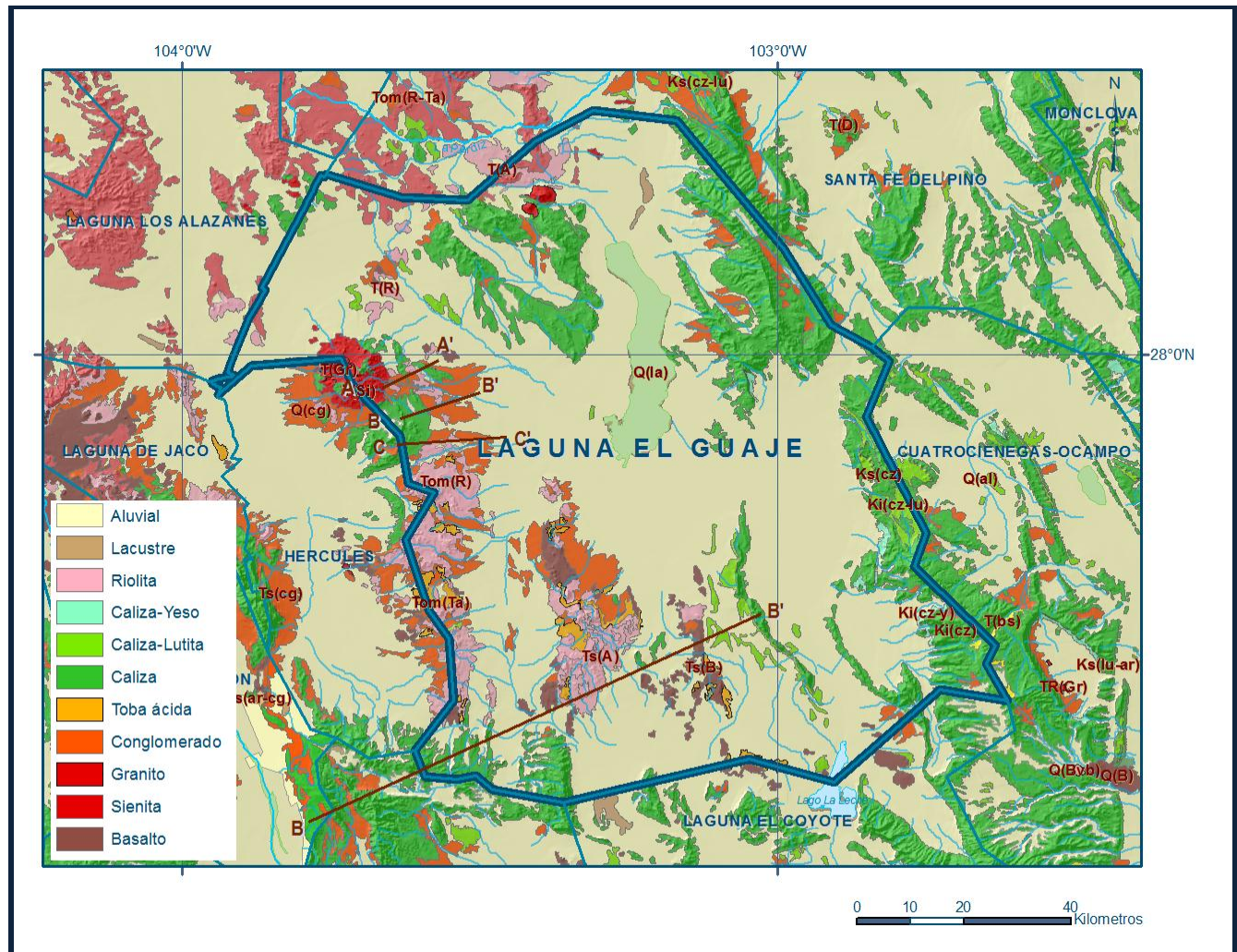


Figura 2. Geología general del acuífero

## **4.2. Geología estructural**

Las estructuras predominantes corresponden a pliegues que forman anticlinales y sinclinales en las rocas sedimentarias del Cretácico, con orientación predominante NW-SE. Se encuentran tanto pliegues simétricos como asimétricos y en muchas ocasiones recumbentes. Estos pliegues se encuentran afectados por numerosas fallas, tanto normales como inversas. Los anticlinales de mayor importancia son los que constituyen las Sierras de El Fuste, El Pino y Las Iglesias, presentan forma alargada y estrecha, agrupándose en una franja que parece prolongarse hasta el Río Bravo, donde desaparecen debido a que se encuentran cubiertos por derrames volcánicos.

Las fallas normales se identifican a través de varios criterios tales como alineamientos, truncamiento de estructuras, escarpes, cambios de tono y forma del drenaje. Estas fallas se encuentran asociadas a pliegues anticlinales recostados con dirección NNW – SSE; los ejes, fallas y pliegues característicos de este anticlinal son prácticamente paralelos. Los afloramientos de evaporitas de la Formación La Virgen, están ligados a fallas de tipo normal y cabalgaduras. Las cabalgaduras posiblemente deben su origen a la presencia de las evaporitas, que sirvieron como superficie de deslizamiento para dicho cabalgamiento. La dirección de las falla inversas y de cabalgadura es NNW–SSE con un desplazamiento hacia el WSW.

Un gran número de fallas normales se encuentran dislocando a las rocas sedimentarias de las Sierras de El Fuste y El Pino. La Sierra El Pino, tanto en su porción oriental como occidental, presenta fallas normales que la limitan y que tienen longitudes de varias decenas de kilómetros.

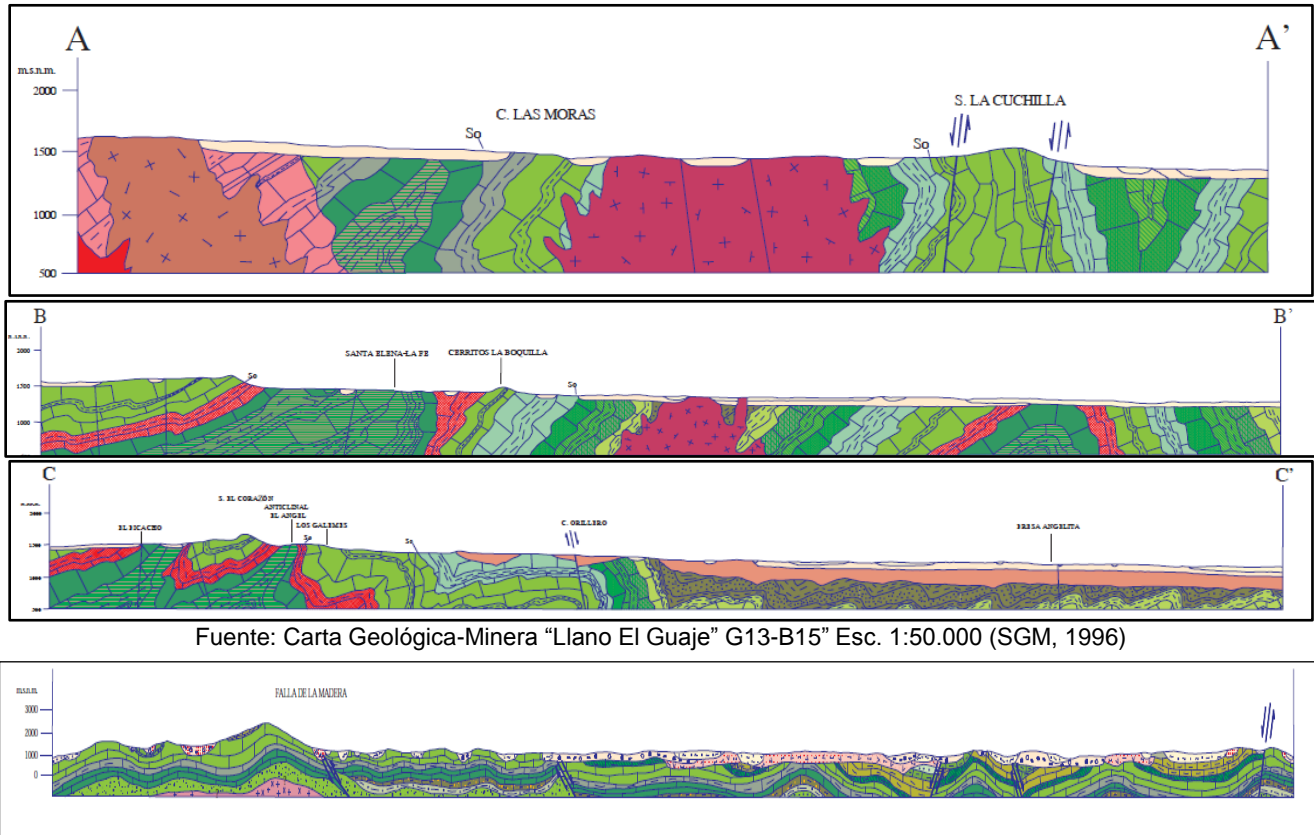
## **4.3. Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información de cortes litológicos de algunos pozos, geofísica y de geología superficial recabada en el acuífero, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a alta, que constituyen las extensas planicies y los piedemonte. Hacia la parte baja del acuífero, donde se aloja el Lago o Llano del Guaje, que ocupa gran parte de la superficie, predominan los depósitos lacustres y eólicos. La porción inferior está conformada por rocas volcánicas: tobas, riolitas, andesitas y localmente basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas de las formaciones Buda, Aurora (Tamaulipas Superior) y Cupido, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas volcánicas, al desaparecer el fracturamiento, así como las graníticas y los productos de metamorfismo de contacto que produjo su intrusión (calizas marmorizadas, skarns y hornfels). A mayor profundidad las barreras al flujo subterráneo y el basamento están representadas



por las lutitas que constituyen las formaciones Del Río, Kiamichi y La Peña, que sobreyacen a las calizas (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera "Llano El Guaje" G13-B15" Esc. 1:50.000 (SGM, 1996)

Fuente: Carta Geológica-Minera "Ocampo" G13-B15" Esc. 1:50.000 (SGM, 1996)

Figura 3. Secciones Geológicas Esquemáticas

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un **acuífero tipo libre** heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, productivo de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies, cuyo espesor puede alcanzar varios metros en el centro del valle. Debido a la existencia de sedimentos arcillosos en la parte más baja del Llano del Guaje, se presentan condiciones locales de semiconfinamiento. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan tobas, riolitas, andesitas y en menor proporción basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad las rocas calizas de las formaciones Buda, Aurora (Tamaulipas Superior) y Cupido constituyen horizontes acuíferos que no han sido explorados en la zona pero que en otras regiones han mostrado un potencial favorable. Debido a que estas formaciones se encuentran sobreyacidas por lutitas o secuencias de lutitas y areniscas, presentan condiciones de confinamiento.

## **5.2. Parámetros hidráulicos**

Como parte del estudio realizado en el año 2010, se realizaron 5 pruebas de bombeo de corta duración tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Adicionalmente se reinterpretaron los datos de otras 5 pruebas realizadas también en el año 2010 por la empresa Minera del Norte, de las cuales 2 de ellas contaron con pozo de observación. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos analíticos de Theis, Hantush y Theis & Jacob. Los dos primeros para los datos tomados en abatimiento y el tercero para los de recuperación.

De los resultados de la interpretación de las 5 pruebas realizadas como parte del estudio fuente de este documento, se establece que los valores de transmisividad varían entre **0.2 y  $10.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$**  con un valor promedio de  **$3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** . Para el caso de las 5 pruebas realizadas por MICARE, los valores varían en un rango más amplio: **1.7 a  $131.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , con valor promedio de  **$44.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** . De las dos únicas pruebas que contaron con pozos de observación se obtuvieron valores del coeficiente de almacenamiento de **0.0008 y 0.014**, pero éstos son representativos de un área muy local.

## **5.3. Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada de las actividades del estudio realizado en el año 2010.

## **5.4. Comportamiento hidráulico**

### **5.4.1 Profundidad al nivel estático**

De la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 4, se puede observar que los valores varían de 6 a 80 m, aumentando gradualmente, por efecto de la topografía, desde la zona aledaña a la Laguna El Guaje hacia las estribaciones de las que delimitan las extensas planicies. En la zona comprendida entre la Mina Hércules y la colonia menonita la profundidad al nivel estático varía de 10 a 50 m.

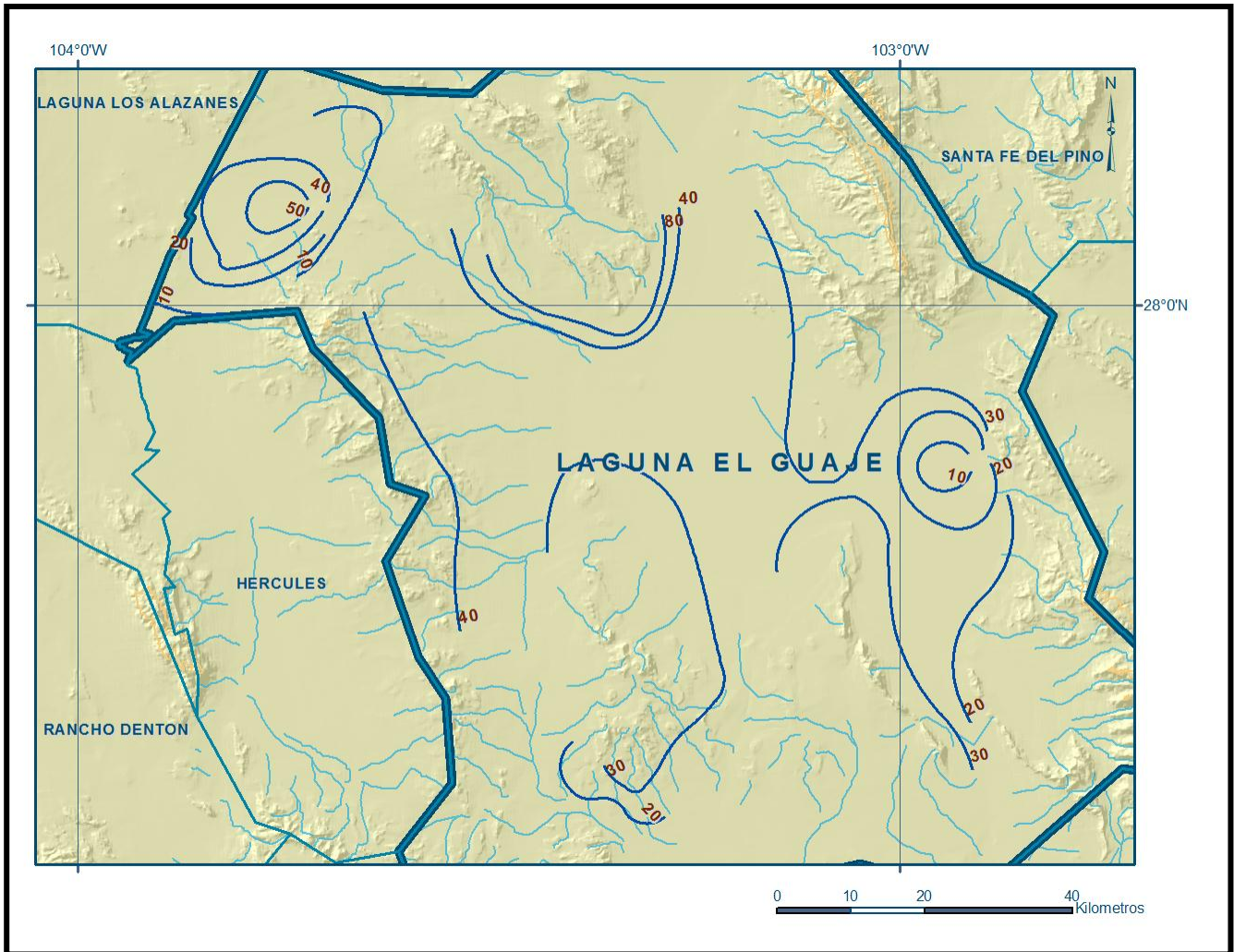


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2010)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, se observa que los valores varían entre 1300 y 1050 msnm, mostrando en general el reflejo de la topografía, al igual que los valores de profundidad. Los valores más altos se ubican hacia las estribaciones de la sierra que delimita este acuífero del acuífero vecino Hércules, desde donde descienden hacia la planicie donde se ubica la Laguna El Guaje. Elevaciones de 1250 a 1240 msnm en la zona comprendida entre la mina Hércules y la colonia menonita.

De manera general, se observa una red preferencial del flujo subterráneo proveniente de las sierras y concéntrica hacia la Laguna El Guaje y hacia la zona de mayor explotación que se localiza entre la Mina Hércules y el nuevo desarrollo agrícola de la colonia menonita.

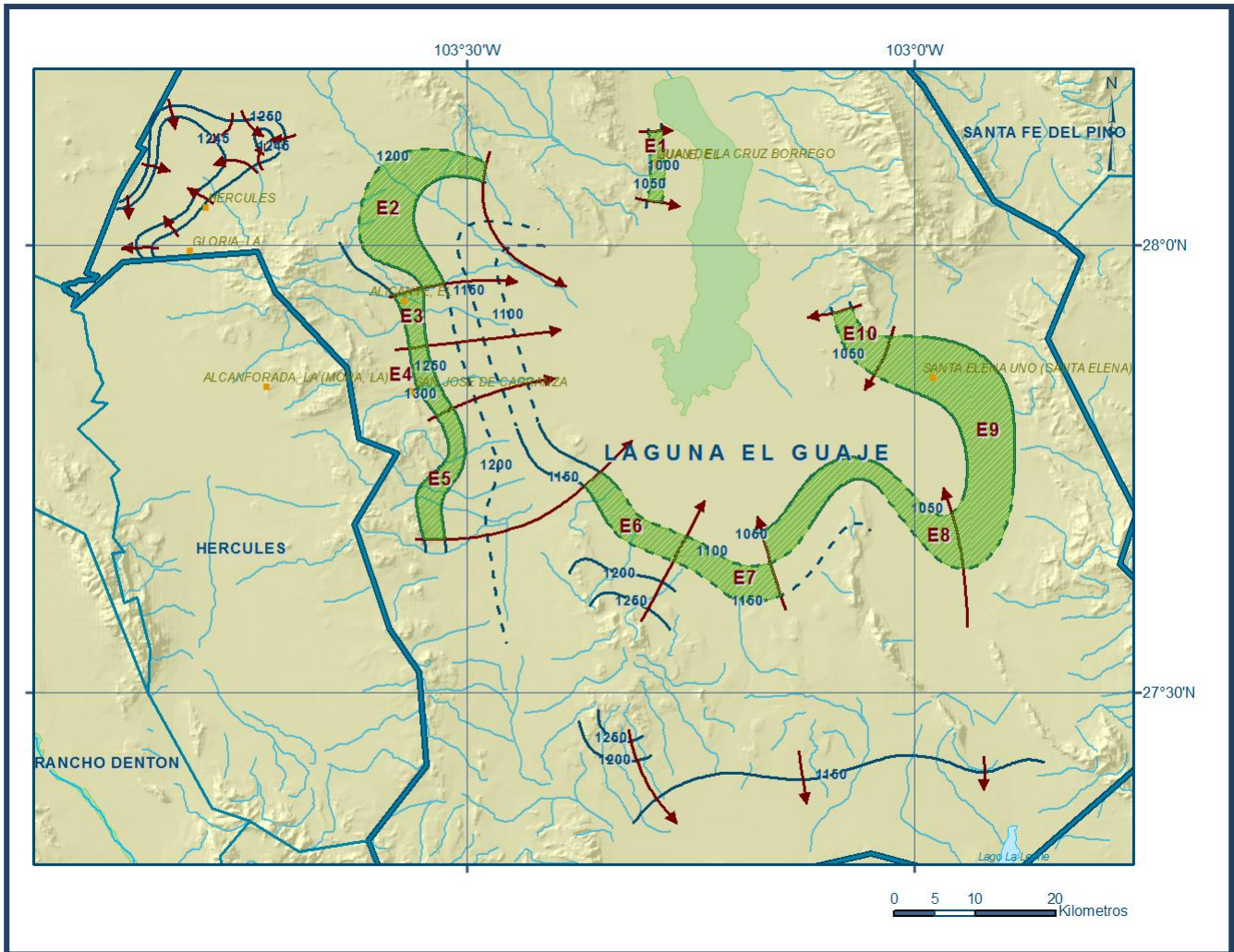


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, mostrada en la figura 6, salvo en la zona donde se localiza la Mina Hércules y donde se estableció la colonia menonita, en la mayor parte del acuífero, el nivel estático no muestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indique la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos. Para la zona de las planicies las mediciones muestran una ligera recuperación de los niveles del agua subterránea de 1 m en el periodo 2006-2010, es decir 0.20 m al año.

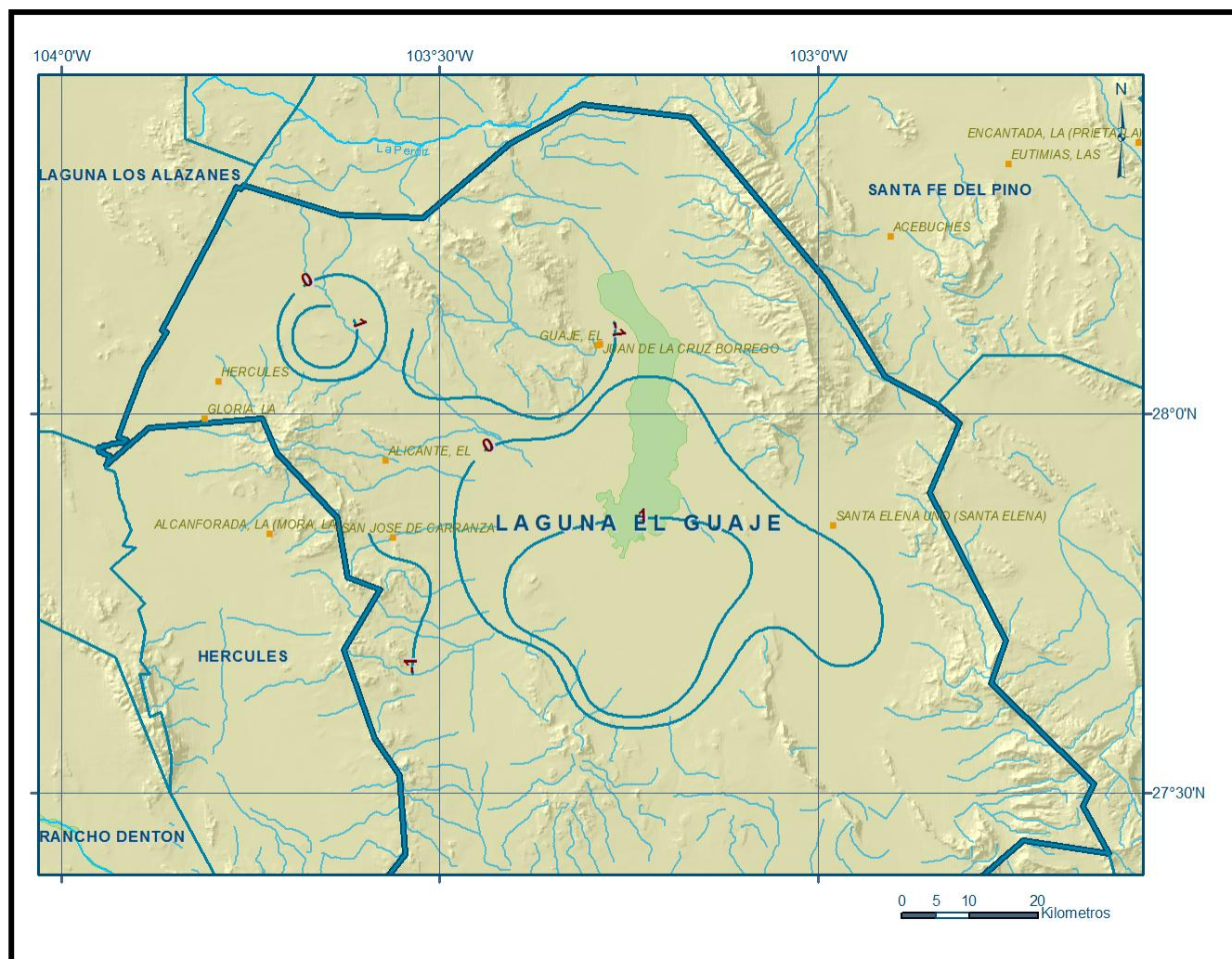


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2006-2010)

### 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, se tomaron 17 muestras de agua subterránea en pozos y norias para su análisis correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros de pH, temperatura y conductividad eléctrica, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sólidos totales disueltos, alcalinidad, dureza de calcio, dureza de magnesio y dureza total, arsénico, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

Se encuentran conductividades entre 1000 y 2000 micromhos/cm ( $\mu\text{mhos/cm}$ ). Los pozos de la colonia Menonita, localizados al noreste de esta zona, son los que presentan los valores menores (1000 a 1500 ( $\mu\text{mhos/cm}$ ), mientras que hacia el poblado y zona minera de Hércules, se encuentran valores de conductividad ligeramente mayores (1500 a 2000 ( $\mu\text{mhos/cm}$ )).

Al noreste de la colonia menonita, se encontró agua subterránea con la menor concentración de sales (pozo G38) con 716 ( $\mu\text{mhos/cm}$ ). Sobre el flanco poniente de la extensa planicie de El Guaje, el agua presenta valores menores de 1000 ( $\mu\text{mhos/cm}$ ). Los valores más bajos se ubican al pie de la sierra y se incrementan hacia el centro de la planicie, en la porción centro-oriente la conductividad eléctrica es 3000 y 5000 ( $\mu\text{mhos/cm}$ , esto debido a la presencia de sales evaporíticas tanto en la sierras como en la planicie, principalmente de yesos y anhidritas (sulfato de calcio). El flujo subterráneo se establece de poniente a oriente es decir que va incrementando su contenido salino conforme circula en el subsuelo. El aumento en los valores de salinidad coincide con la dirección del flujo subterráneo.

Hacia el centro y oriente del Llano El Guaje, el agua presenta alta salinidad, con más de 5000 mg/l de sólidos totales disueltos (STD) en algunos lugares. Los sulfatos corresponden al ion predominante en la región. Proviene de la disolución de los yesos y anhidritas que se encuentran en las rocas y suelos de la zona.

Hacia la parte poniente de la planicie de El Guaje, las concentraciones varían entre 18 y 227 mg/l de sulfatos, mientras que la porción oriental del Llano las concentraciones son de 1,595 y 1,703 mg/l.

El sodio es otro de los elementos que se encuentran en relativa abundancia en el agua de la zona, aunque en menor proporción que los sulfatos. En el área de Hércules se presentan valores de 78 a 186 mg/l. Hacia la parte poniente de la planicie de El Guaje, las concentraciones varían entre 33 a 152 mg/l, mientras que la porción oriental del Llano las concentraciones son de 214 y 701 mg/l.

El arsénico presenta concentraciones altas en otros acuíferos del Estado de Coahuila, entre ellos en el de la Comarca Lagunera, por lo que se consideró de interés el realizar esta determinación en el presente acuífero.

En la zona de El Guaje, 5 de las 17 muestras analizadas presentaron una concentración alta de arsénico en el agua, con valores entre 0.051 a 0.122 mg/l, cuando la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) marca un límite máximo de arsénico en agua de uso y consumo humano de 0.025 mg/l.

Predominan dos familias de agua, una cálcica y sódico-sulfatada en la mitad de los aprovechamientos con análisis, lo que es un reflejo de la influencia de los yesos y anhidritas (sulfato de calcio), que son de fácil disolución y se encuentran tanto entre las rocas calizas como entre los sedimentos aluviales y otra cálcica y sódica-bicarbonatada, en los aprovechamientos ubicados al pie de la sierra ígnea del poniente, donde el agua disuelve los feldespatos sódicos y cálcicos de dichas rocas.

En la porción poniente del acuífero, en la zona de la colonia Menonita, el agua subterránea sobrepasa ligeramente el límite permitido en la NOM, para consumo humano, principalmente sólidos totales

disueltos, sulfatos y sodio. Los pozos al pie del flanco poniente de la Sierra que limita el Acuífero de El Guaje, presenta bajo contenido de sales y se clasifica como de buena calidad y apropiada para uso y consumo humano. Los pozos con agua de mala calidad y no apropiada para uso potable, son los ubicados al oriente y sur.

Se clasificó el agua para su uso en riego utilizando la clasificación de Wilcox, en la cual se cataloga al agua de acuerdo a su contenido de sodio (expresado como RAS = relación de adsorción de sodio) y salinidad (expresada como conductividad eléctrica). De las muestras analizadas seis (6) se clasifican como C1 y C2-S1, correspondiente a agua de buena calidad para riego; siete (7) aprovechamientos se clasifican como C3-S1 utilizables en riego de terrenos arenosos a fin de no incrementar la salinidad del suelo. Las cuatro (4) muestras restantes son salinas y no recomendables para su uso en agricultura.

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado por la empresa Minera del Norte y complementado con el llevado a cabo como parte del estudio del 2010, fue posible registrar la existencia de 121 aprovechamientos, de los cuales 96 son pozos, 22 son norias y 3 manantiales. De total de obras, 79 se encuentran activas para los diferentes usos y 42 inactivas (40 pozos y 2 norias). Los pozos de mayores caudales se localizan en la Mina Hércules (Compañía Minera del Norte y en la colonia menonita que conocen como "Productores Sierra Mojada".

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **7.4 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 3.9 hm<sup>3</sup> (52.7%) se destinan al uso industrial en la Mina Hércules, 2.8 hm<sup>3</sup> (37.8 %) para las actividades agrícolas de la colonia menonita y los 0.7 hm<sup>3</sup> restantes (9.5%) se utilizan para satisfacer el uso doméstico.

Adicionalmente, a través de los 3 pequeños manantiales se descarga un caudal un volumen de 0.1 hm<sup>3</sup> anuales, destinados al uso doméstico.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El balance de aguas subterráneas se planteó para año 2010, en una superficie aproximada de 2,675 km<sup>2</sup> de la zona en la que están dispersos los aprovechamientos y en la que se cuenta con información piezométrica. Para efectos prácticos, se dividió el área de balance en dos zonas: Laguna El Guaje (2,505 km<sup>2</sup>) y Hércules (170 km<sup>2</sup>).

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:

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

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 del acuífero:

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

### **7.1. Entradas**

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en los sedimentos que conforman las planicies y a lo largo de los escurrimientos ( $R_v$ ) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo ( $E_h$ ).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida ( $R_i$ ). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes y el riego agrícola es incipiente, se considera que para fines del balance no existe recarga inducida.

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

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña.

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 en valor nulo de las salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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



Donde:

**Rv**= Recarga vertical;

**Eh**= Entradas subterráneas por flujo horizontal;

**B**= Bombeo;

**Dm**= Descarga a través de manantiales;

**ΔV(S)**= Cambio de almacenamiento;

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = B + Dm \pm \Delta V(S) - Eh \quad (2)$$

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

La recarga del acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre las zonas topográficamente más altas del área de estudio y por la infiltración de los escurrimientos superficiales. El agua se infiltra por las fracturas de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2010, mostrada en la figura 5. Con base en esta configuración 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:

$$Q = B * i * T$$

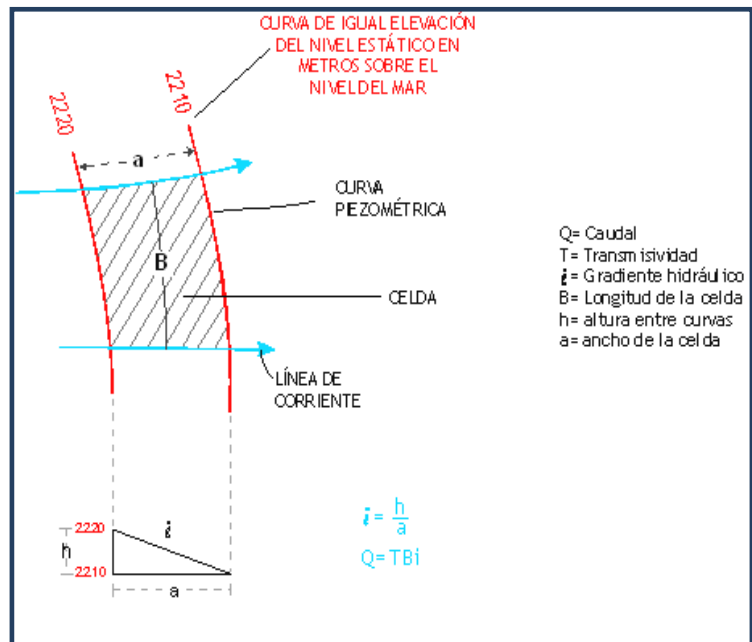
Donde:

**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 uno de los canales establecidos. En las tablas 2 y 3 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **11.2 hm<sup>3</sup>/año**, 7.1 hm<sup>3</sup>/año en la zona Laguna El Guaje y 4.1 hm<sup>3</sup>/año en el área de Hércules.

Tabla 2. Calculo de entradas por flujo subterráneo (2010). Zona Laguna El Guaje

CELDAS	LARGO (B) m	ANCHO (a) m	$h_2-h_1$	GRADIENTE HIDRAULICO (i)	TRANSMISIVIDAD (T) m <sup>2</sup> /seg	CAUDAL Q=TBi m <sup>3</sup> /seg	VOLUMEN x 10 <sup>06</sup> m <sup>3</sup> /año
E-1	1611	8801	50	0.0310	0.0001	0.027315	0.9
E-2	5644	25308	50	0.0089	0.0001	0.022420	0.7
E-3	2242	6515	50	0.0223	0.0001	0.014529	0.4
E-4	2327	9902	50	0.0215	0.0001	0.021276	0.7
E-5	2501	15697	50	0.0200	0.0001	0.031381	1.0
E-6	3417	13297	50	0.0146	0.0001	0.019457	0.6
E-7	3335	11692	50	0.0150	0.0001	0.017529	0.6
E-8	3081	29522	50	0.0162	0.00008	0.038328	1.2
E-9	6287	31248	50	0.0080	0.0001	0.024851	0.8
E-10	2815	7701	50	0.0178	0.00008	0.010943	0.3
<b>TOTAL</b>							<b>7.1</b>

Tabla 3. Calculo de entradas por flujo subterráneo (2010). Zona Hércules

CELDAS	ANCHO a (m)	LARGO B (m)	$h_2-h_1$ (m)	GRADIENTE HIDRAULICO (i)	TRANSMISIVIDAD (T) m <sup>2</sup> /s	CAUDAL Q=TBi m <sup>3</sup> /s	VOLUMEN hm <sup>3</sup> /año
E-1	671	6337	5	0.0075	0.0003	0.014166	0.4
E-2	1175	7525	5	0.0043	0.0004	0.012809	0.4
E-3	1478	6623	5	0.0034	0.0005	0.011203	0.4
E-4	1293	4714	5	0.0039	0.001	0.018229	0.6
E-5	1253	4189	5	0.0040	0.001	0.016716	0.5
E-6	1550	6399	5	0.0032	0.001	0.020642	0.6
E-7	1188	5256	5	0.0042	0.001	0.022121	0.7
E-8	1382	4180	5	0.0036	0.001	0.015123	0.5
<b>TOTAL</b>							<b>4.1</b>

Los valores de T utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas.

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y un pequeño volumen a través de manantiales; no existen salidas por flujo subterráneo, descargas por evapotranspiración ni flujo base.

### 7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es de **7.4 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.2. Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se identificó la presencia de 3 pequeños manantiales, que se ubican en la porción central del acuífero, que en conjunto descargan un caudal de 4 lps, que representan un volumen de **0.1 hm<sup>3</sup> anuales**.

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

Los registros existentes recabados en recorridos de campo se encuentran dispersos en tiempo y espacio y sólo cubren la zona comprendida entre la mina Hércules y la colonia menonita y el llano El Guaje. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es aún menor a la recarga que recibe el acuífero, el abatimientos que se han generado es puntual.

Sin embargo con la información disponible para el periodo 2006-2010, es posible determinar la variación promedio de los niveles del agua subterránea en las dos zonas en que se dividió el acuífero para el balance de aguas subterráneas.

De esta manera, para la zona Hércules cuya superficie es de 170 km<sup>2</sup>, su abatimiento promedio anual estimado es de 0.5 m. Para la superficie de 2,505 km<sup>2</sup> de la zona Laguna El Guaje se estimó una recuperación promedio anual de 0.20 m. En ambas zonas, tomando en cuenta un coeficiente de almacenamiento de 0.02, se obtiene:

$$\text{Zona Hércules} = 170 \text{ km}^2 (-0.5 \text{ m}) (0.02) = - 1.7 \text{ hm}^3$$

$$\text{Zona Laguna El Guaje} = 2,505 \text{ km}^2 (0.2 \text{ m}) (0.02) = 10.0 \text{ hm}^3$$

Por lo tanto, el cambio de almacenamiento del acuífero es **8.3 hm<sup>3</sup> anuales**.

### Solución de 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:

$$Rv = B + Dm \pm \Delta V(S) - Eh \quad (2)$$

$$Rv = 7.4 + 0.1 + 8.3 - 11.2$$

$$Rv = 4.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto el valor de la recarga total (Rt) es igual a la suma de las entradas:

$$\begin{aligned}Rt &= Rv + Eh \\Rt &= 4.6 + 11.2 \\Rt &= \mathbf{15.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}\end{aligned}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS} \quad (3)$$

Donde:

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

**Rt** = Recarga total media anual;

**DNCOM** = Descarga natural comprometida;

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

### 8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), en este caso, corresponde únicamente con los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical. Para este caso, su valor es de **15.8 hm<sup>3</sup>/año**.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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 Laguna El Guaje, se considera una descarga natural comprometida de 0.1 hm<sup>3</sup> anuales, que corresponden a la descarga a través de manantiales. Por lo que **DNCOM= 0.1 hm<sup>3</sup> anuales**.

### **8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)**

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2010 es de 154,232 m<sup>3</sup>/año**.

### **8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)**

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 aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA.

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS \quad (3)}$$

$$DAS = 15.8 - 0.1 - 0.154232$$

$$\mathbf{DAS = 15.545768 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **15'545,768 m<sup>3</sup> anuales** para otorgar nuevas concesiones.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua. 2010. Estudio para determinar la disponibilidad de los acuíferos Santa Fe del Pino, Hércules, Laguna El Guaje, Laguna El Coyote, Acatita, Las Delicias, Serranía del Burro y Valle de San Marcos, en el estado de Coahuila. Realizado mediante convenio con el Instituto del Agua del estado de Nuevo León.

Servicio Geológico Mexicano, 1996. Carta Geológica-Minera G13-B15 "Llano El Guaje", escala 1:50,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2008. Carta Geológica-Minera G13-3 "Ocampo", escala 1:250,000.