

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero La Paila (0509), 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.**

CCCLIX REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
<b>ESTADO DE COAHUILA</b>							
0509	LA PAILA	14.7	0.0	24.691624	40.9	0.000000	-9.991624

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



*Comisión Nacional del Agua*

*Subdirección General Técnica*

*Gerencia de Aguas Subterráneas*

*Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos*

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO LA PAILA,  
ESTADO DE COAHUILA.***

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
	<b>Antecedentes</b>	<b>2</b>
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	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	Provincia Fisiográfica.....	6
3.2	Clima.....	6
3.3	Hidrografía.....	9
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
4.1	Estratigrafía.....	10
4.2	Geología estructural.....	12
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
5.1	Tipo de acuífero.....	13
5.2	Parámetros hidráulicos.....	13
5.3	Piezometría.....	14
5.4	Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	14
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	17
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
<b>6</b>	<b>CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>BALANCE HIDROMETEOROLGICO</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>22</b>
8.1	Entradas.....	23
8.1.1	Recara natural.....	23
8.1.1.1	Recarga vertical por lluvia.....	23
8.1.1.2	Flujo subterráneo horizontal.....	24
8.1.2	Recarga inducida.....	24
8.2	Salidas.....	24
8.2.1	Salidas naturales.....	24
8.2.2	Bombeo.....	24
8.3	Cambio de almacenamiento.....	24
<b>9</b>	<b>DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>25</b>
9.1	Recarga total media anual.....	25
9.2	Descarga natural comprometida.....	25
9.3	Volumen concesionado de aguas subterráneas.	26
9.4	Rendimiento permanente.....	26
9.5	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	26
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>27</b>

# 1 GENERALIDADES

## Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 "Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales".

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPGA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### 1.1 LOCALIZACIÓN

El acuífero La Paila, localizado en la región norte-centro del país, quedó designado con la clave 0509, su área comprende una superficie aproximada de 6,949 km<sup>2</sup> y se ubica en el extremo oriente de la Región Lagunera, porción sur del estado de Coahuila. El acuífero La Paila colinda al norte con los acuíferos del Valle de San Marcos y El Hundido, al sur con los de General Cepeda-Sauceda y Saltillo Sur, al este con los acuíferos General Cepeda Saucedo y Paredón, y hacia el oeste con el acuífero Principal-Región Lagunera.

Su localización queda comprendida entre las coordenadas geográficas de 25°24'0.0" a 26°17'30.1" de latitud norte y de 101°32'50.5" a 102°53'55.9" de longitud oeste, figura No. 1.

Cubre casi en su totalidad el Municipio de Parras, parcialmente el de General Cepeda y en menor proporción los municipios de San Pedro, Cuatrociénegas y Ramos Arizpe, en el estado de Coahuila.

Entre las principales poblaciones de acuerdo a su distribución por municipio, destacan en el municipio de Parras, las comunidades rurales: 28 de Agosto, San Lorenzo y San Rafael, siendo notable la influencia socio-económica que ejerce la población de Parras, fuera de la demarcación de referencia. Territorialmente se tienen pequeñas porciones de los municipios de General Cepeda y Ramos Arizpe, sin ningún impacto en la actividad económica, ya que las

poblaciones rurales cabecera, como Estación Norte, San Pedro y Cuatrociénegas quedan fuera de los límites del acuífero.

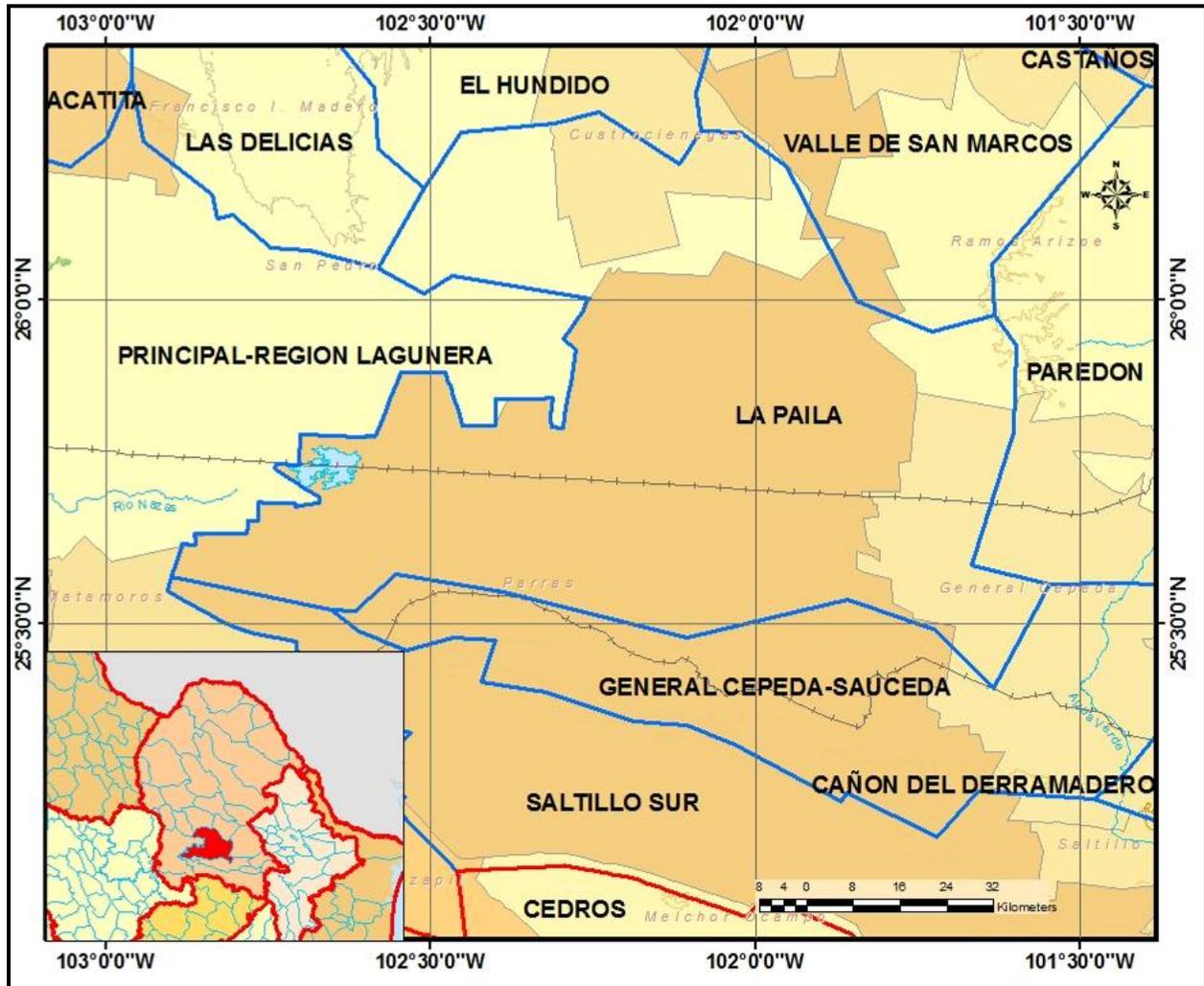


Figura No. 1 Localización del acuífero.

En la tabla No. 1, se presentan las coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero.

**Tabla No. 1. Coordenadas que delimitan al acuífero La Paila**

<b>ACUIFERO 0509 LA PAILA</b>							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	33	14.2	25	34	36.3	
2	102	37	0.6	25	31	6.9	
3	102	39	12.8	25	31	12.8	
4	102	53	55.9	25	34	22.5	DEL 4 AL 5 POR EL LIMITE MUNICIPAL
5	102	15	36.4	25	59	47.0	
6	102	15	17.7	26	0	12.4	
7	102	28	0.9	26	2	16.7	
8	102	30	36.2	26	0	37.1	
9	102	34	48.3	26	3	1.1	
10	102	30	39.6	26	10	24.8	
11	102	27	12.0	26	15	40.4	
12	102	18	32.3	26	16	29.6	
13	102	14	26.7	26	17	30.1	
14	102	6	59.7	26	12	41.9	
15	102	5	3.2	26	15	44.8	
16	102	1	21.0	26	15	36.2	
17	101	57	4.3	26	12	23.5	
18	101	50	34.0	25	59	54.1	
19	101	43	40.5	25	57	2.2	
20	101	37	55.2	25	58	39.3	
21	101	35	48.8	25	55	45.5	
22	101	36	4.3	25	47	43.9	
23	101	40	2.3	25	35	21.9	
24	101	32	50.5	25	33	38.8	
25	101	37	58.9	25	24	0.0	
26	101	43	17.0	25	29	19.7	
27	101	51	24.0	25	32	13.6	
28	102	6	21.2	25	28	40.9	
29	102	23	18.5	25	32	51.1	
1	102	33	14.2	25	34	36.3	

La tabla No. 2 muestra las estadísticas de la CONAPO, en cuanto al número aproximado de habitantes por municipio al año 2005.

**Tabla No. 2. Número de habitantes por municipio**

<b>Municipio</b>	<b>No. habitantes</b>
Parras	47,083
General Cepeda	12,231
Ramos Arizpe	47,511
San Pedro	91,934
Cuatro ciénegas	12,668
<b>Suma</b>	<b>211,427</b>

## 1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

El 27 de marzo de 1981, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la región Lagunera, cuyos artículos dicen lo siguiente:

Artículo Primero: Se establece veda por tiempo indefinido para alumbramiento de aguas del subsuelo, en todas las zonas libres y próximas a la delimitación señalada en los acuerdos presidenciales aludidos hasta cubrir las totalidades de las superficies de los municipios de Jiménez, del estado de Chihuahua, Mapimí, Tlahualillo de Zaragoza, Gómez Palacio y Lerdo del

estado de Durango, y de Francisco I. Madero, San Pedro de las Colonias, Matamoros, Viesca y Torreón del estado de Coahuila.

Artículo Segundo: La veda que con el presente Decreto se establece, queda comprendida en la fracción III del Artículo Once del Reglamento de la Ley reglamentaria del Párrafo Quinto del Artículo 27 Constitucional en Materia de Aguas del Subsuelo.

Artículo Tercero: Excepto cuando se trate de alumbramientos de aguas para usos domésticos, desde la vigencia de este Decreto, nadie podrá extraer aguas del subsuelo dentro de la zona vedada ni modificar los aprovechamientos existentes sin previo permiso escrito de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Dicha dependencia podrá conceder el permiso únicamente en los casos en que los estudios relativos se advierta que o se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

El acuífero La Paila se ubica en la demarcación de la Región Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte y los asuntos administrativos en el ámbito de la cuenca hidrológica, reciben atención a través del Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval. El Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) está en proceso de conformación.

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

La zona que comprende el acuífero La Paila, ha sido objeto de diversos estudios de carácter geohidrológico, destacando los siguientes:

### **Estudio geohidrológico preliminar del valle de La Paila. 1973**

Comprende la zona sur del acuífero con un cubrimiento del 50% de su territorio. Incluye actividades de campo como censo de aprovechamientos subterráneos, nivelación de los brocales de pozos seleccionados, observaciones piezométricas y muestreo de aguas subterráneas. Se describen con detalle la climatología regional, la hidrología superficial, geología, la interpretación geoquímica del agua subterránea, pruebas de bombeo y las redes de flujo subterráneo de nivel regional.

Destaca entre sus objetivos el de cuantificar la recarga del agua subterránea y su relación con las extracciones.

### **Estudio de reactivación de la red de monitoreo piezométrico en el acuífero La Paila, Coah. 1998.**

Se establece una red piloto de monitoreo moderna y confiable para la obtención de información piezométrica, que comprende la toma de datos de niveles del agua subterránea para determinar las tendencias de su comportamiento hidrodinámico, con influencia natural o antropogénica. Este estudio sienta las bases para establecer un marco de referencia desde el punto de vista hidrogeológico, que proyecte el efecto de los cambios que generarían los desarrollos futuros sobre las fuentes de agua subterránea y por tanto sobre su disponibilidad.

Este estudio actualiza uno anterior de carácter preliminar, realizado en el año 1973, se refiere a datos climáticos, hidrometría, aspectos de marco físico, como la geomorfología regional y el modelo conceptual del acuífero a partir de redes de flujo subterráneo. Así mismo, define la condición geohidrológica en estado de equilibrio, además de recomienda continuar con las

observaciones piezométricas, aforar los aprovechamientos para conocer la extracción real de captaciones subterráneas, realizar pruebas de bombeo y nivelaciones de brocales, para completar las características hidráulicas del acuífero y elaborar redes de flujo subterráneo más detalladas y confiables, para fines de balance hidráulico subterráneo.

### **Censo de aprovechamientos subterráneos en el acuífero La Paila, Coah. 2001**

Los proyectos de aguas subterráneas dependientes de las Subgerencias Técnicas, Estado de Coahuila y Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte, realizaron en el año 2001, recorridos de campo para actualizar el censo de aprovechamientos subterráneos. Se encontró la existencia de 367 aprovechamientos, se tomaron datos de niveles de agua subterránea en pozos susceptibles de sondear y se tomaron 68 muestras de agua para fines de análisis físico-químicos.

### **Actualización de mediciones piezométricas de los acuíferos denominados: Principal, Oriente Aguanaval, Vicente Suárez, y La Paila, Región Lagunera, Estados de Coahuila y Durango. 2002.**

La finalidad del estudio fue actualizar las redes de medición de los niveles del agua subterránea de este acuífero. Se definieron las evoluciones de los niveles del agua en distintos periodos de observación, resultado de los esfuerzos hidrodinámicos inducidos por las condiciones de recarga y extracción a que está sujeto el acuífero.

Con estas bases, en el año de 2004, el Proyecto Regional de Aguas Subterráneas, dependiente de la Subgerencia Técnica de la Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte, da continuidad a los recorridos de campo para recabar datos de profundidad de niveles de agua subterránea, partiendo de la red piloto de monitoreo piezométrico establecida en trabajos previos.

## **3 FISIOGRAFÍA**

### **3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA**

El acuífero La Paila se encuentra contenido en la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental y en parte de la subprovincias: Laguna de Mayran, Sierra de la Paila y la subprovincia Pliegues Saltillo-Parras.

Se caracteriza por sus grandes llanuras más o menos encerradas, y las sierras paralelas entre sí, orientadas NW-SE y E-W en la localidad.

### **3.2 CLIMA**

Según la clasificación de climas de W. Köppen modificada por E. García para México, en el acuífero La Paila prevalece un clima tipo BW muy seco, subtipo BW<sub>hw</sub> muy seco-semicálido, con lluvias que se presentan en verano, e inviernos frescos.

En las figuras 2 y 3 se muestra la localización de las estaciones climatológicas con influencia en la demarcación del acuífero y se incluyen periodos de tiempo considerados de precipitación pluvial y temperatura media anual para cada estación.

En la tabla No. 3 se presentan los valores medios de precipitación y temperatura registrados en las estaciones climatológicas Bajío Ahuichila, Viesca y San Vicente, Parras.

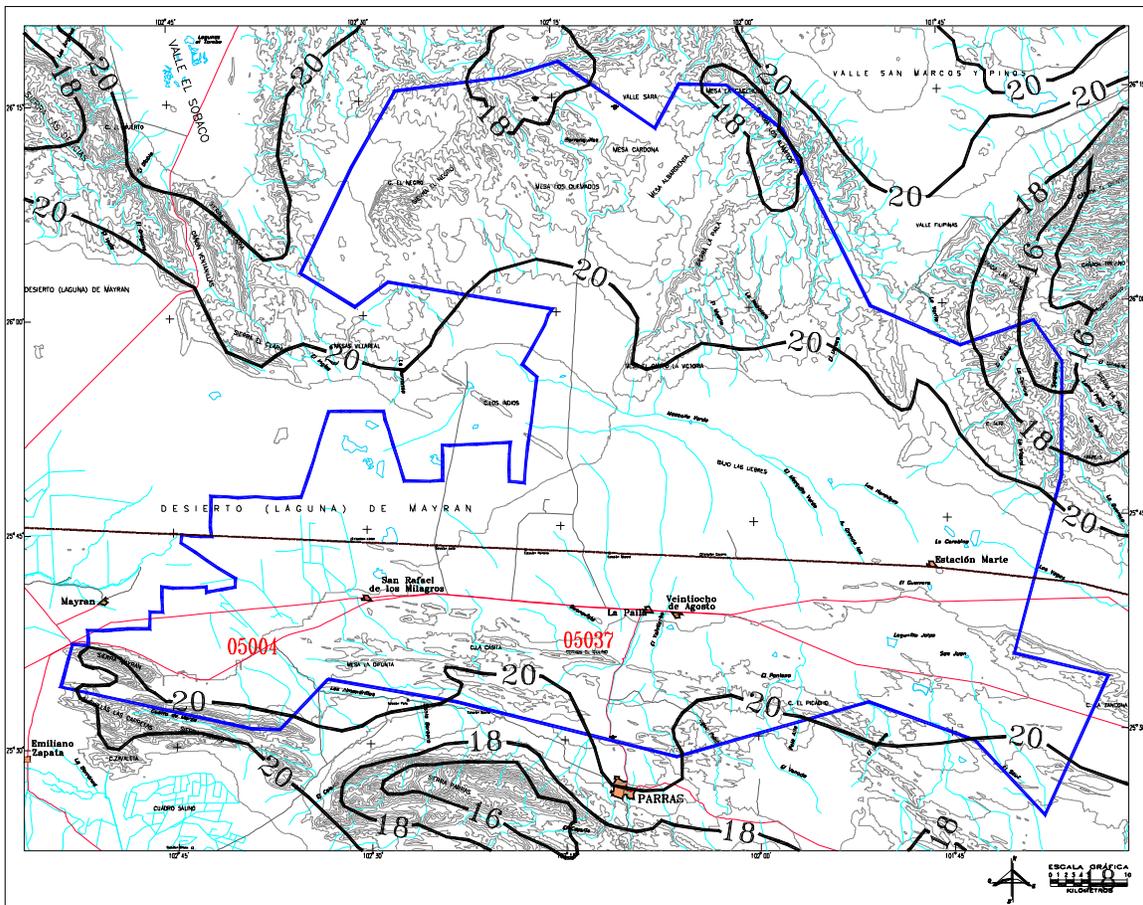
**Tabla No. 3. Valores medios de precipitación y temperatura registrados en estaciones climatológicas**

	Estación	Precipitación media anual mm/año		Temperatura media anual °C	
		Promedio	Años con datos	Promedio	Años con datos
5004	BAJO AHUICHILA, VIESCA	230.7	34	19.2	25
5037	SAN VICENTE, PARRAS	208.4	16	20.8	16
	<b>Promedio</b>	<b>219.5</b>		<b>20.0</b>	

### Temperatura media anual

De lo observado en el mapa de isotermas, la temperatura media anual varía de 20 a 22° C; entre los meses de abril a octubre la media mensual está por arriba de los 20° C, y en el ciclo noviembre a marzo disminuye, siendo los meses de diciembre y enero los más fríos con temperaturas menores a 10° C.

De acuerdo con el análisis de las estaciones climatológicas, la temperatura media anual es de 20 °C, lo que es congruente con lo observado en el mapa de isotermas.



**Figura No. 2 Isotermas medias anuales (°C)**

### Precipitación media anual

La precipitación en el valle La Paila varía de entre 200 y 300 mm anuales y de acuerdo con el análisis de la información pluviométrica de las estaciones climatológicas, la precipitación media anual es de 220 mm, lo cual es congruente con lo observado en el mapa de isoyetas.

Los meses lluviosos son de mayo a septiembre, con alrededor de 80 mm, en tanto que en los meses restantes la precipitación mensual es mínima.

De acuerdo con lo anterior, la temperatura media anual en la zona es de 20° C y la precipitación de 219.5 mm/año, valores comprendidos dentro de lo observado en los mapas de isotermas e isoyetas, y respaldados por mediciones puntuales de las estaciones climatológicas consideradas.

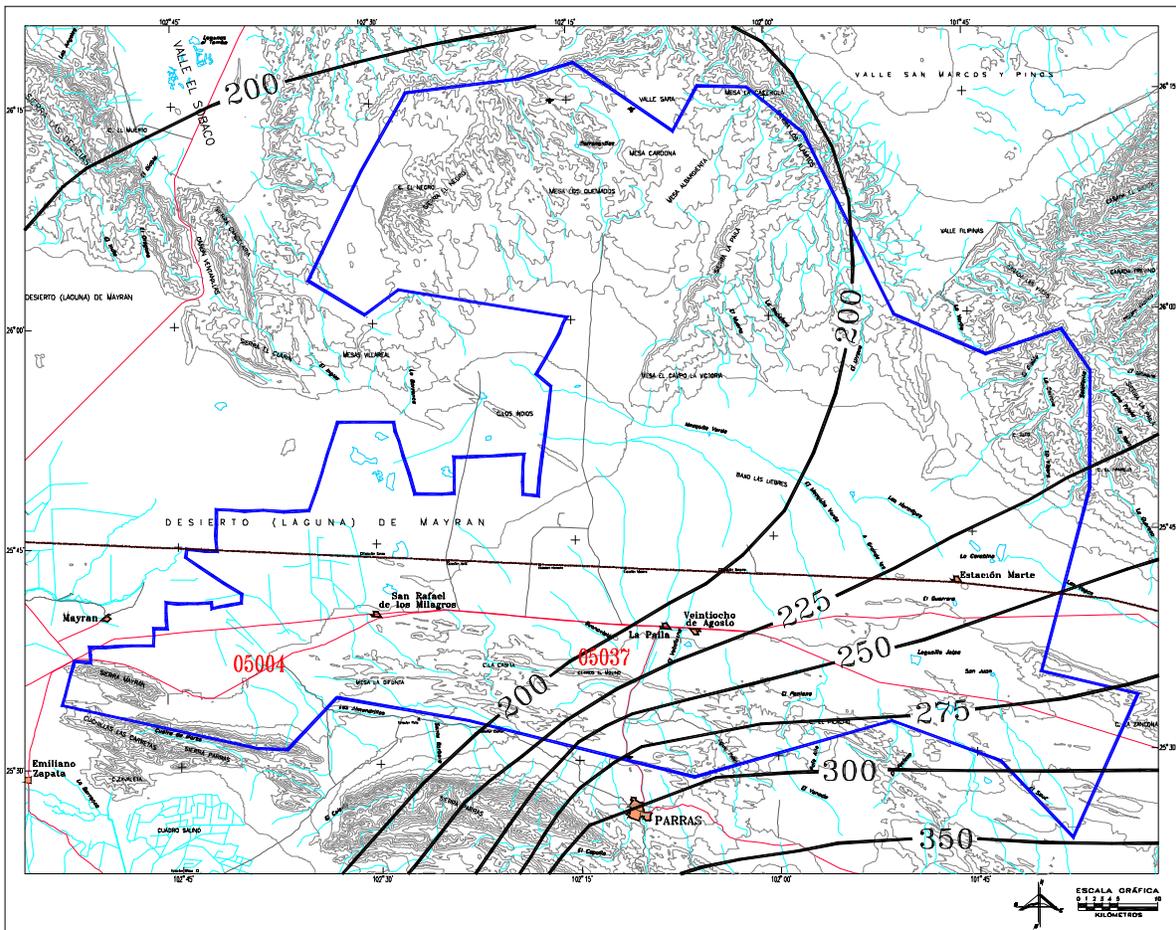


Figura No. 3. Isoyetas medias anuales (mm/año)

### Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media anual para el área se encuentra entre 2000 y 2500 mm anuales, de donde se puede considerar una media de 2250 mm/año.

### **3.3 HIDROGRAFÍA**

Regionalmente el dren más importante en el área, particularmente con influencia en su porción oeste, es el río Nazas. Este río se origina en la vertiente oriente de la Sierra Madre Occidental, Estado de Durango, y después de un largo recorrido hacia su cuenca baja, a la altura de las ciudades de Torreón, Coahuila, Gómez Palacio y Lerdo Durango, adopta una dirección hacia el nororiente, durante unos 100 km, hasta descargar finalmente en la antigua laguna, ahora Desierto de Mayrán

En cuanto a la zona de La Paila queda situada en la porción sur de la cuenca cerrada de la Laguna de Mayrán.

Los escasos escurrimientos en esta parte son a través de pequeños arroyos de trayectoria corta, que aún durante la temporada de lluvias no presentan cauces bien definidos, debido a la suave pendiente del terreno.

El aprovechamiento del agua superficial es muy reducido debido a la baja precipitación, y están representados exclusivamente a través de pequeños bordos y lagunas en la temporada lluviosa. Los volúmenes captados se destinan con fines pecuarios y domésticos principalmente.

#### **Región Hidrológica**

De acuerdo con los criterios de la hidrología superficial, el acuífero La Paila pertenece a la Región Hidrológica RH-36 Nazas-Aguanaval.

Pertenece a la Subregión Hidrológica 36 B Nazas.

Pertenece a la Cuenca Laguna de Viesca.

En esta región existen sólo algunos pequeños bordos que almacenan agua que son destinados para uso doméstico. En el municipio de Parras se tiene una presa denominada 28 de Agosto con una capacidad de almacenamiento de 1.05 hm<sup>3</sup>, asimismo, en ese municipio existen las presas San Antonio de la Pegajosa, Piedra Blanca y Cecilia, que son también de reducida capacidad.

Otro tipo de infraestructura hidráulica está constituida por los aprovechamientos subterráneos que se describen en el apartado de Censo de aprovechamientos e Hidrometría.

### **4 GEOLOGÍA**

La región se caracteriza por la predominancia de rocas sedimentarias mesozoicas plegadas, que descansan sobre rocas del Paleozoico-Precámbrico. Localmente y hacia la porción plana del valle de La Paila, se advierte la presencia de sedimentos marinos y continentales, y en menor proporción de tipo volcánico; por lo que se infiere que estos materiales litológicos conforman el subsuelo. Figura No. 4.

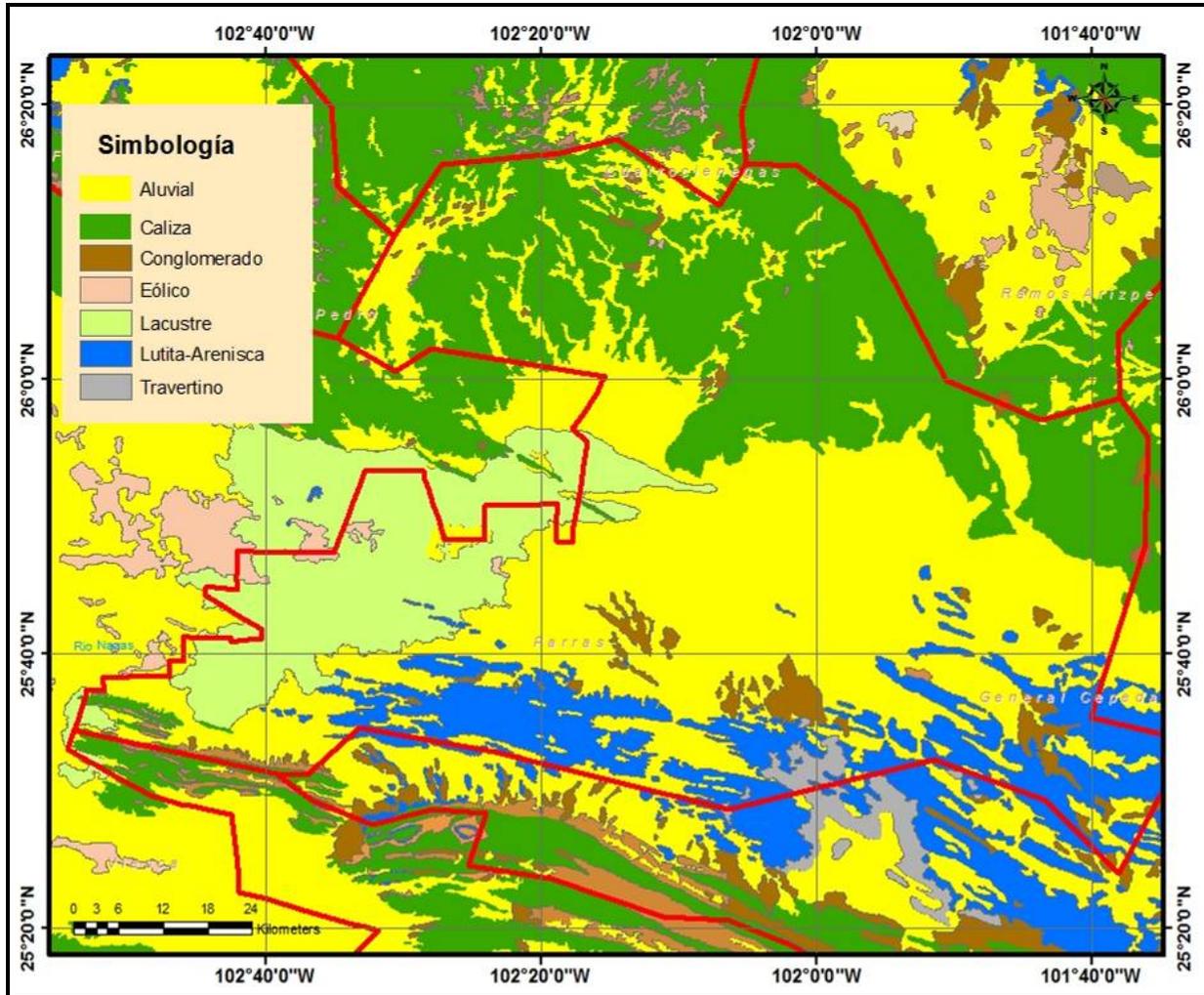


Figura No. 4. Mapa Geológico

#### 4.1 ESTRATIGRAFÍA

Las rocas que afloran en el área del Acuífero La Paila representan secuencias de edad que va del Cretácico Inferior hasta el Cuaternario y se describen en orden cronológico a continuación.

##### *Cretácico*

Las rocas más antiguas que afloran en el área son secuencias de rocas calcáreas de edad Cretácico Inferior, representadas por la Formación Aurora; éstas conforman la sierra plegada de Mayrán, hacia la porción norte y suroeste del valle, donde están cubiertas por la Formación Indidura, de edad Cretácico Superior.

Dichas series sedimentarias de origen marino, están constituidas por rocas calizas color gris claro que intemperizan a gris amarillento, con nódulos de pedernal y micro fauna de rudistas, con efecto de disolución y fracturas. En consecuencia, la Formación Aurora tiene una permeabilidad alta, funcionando como unidad hidrogeológica transmisora y almacenadora de agua subterránea para formar acuíferos importantes de ocurrencia regional.

La Formación Indidura, que consiste de lutitas intercaladas con capas delgadas de caliza, sobreyace concordantemente a la Formación Aurora, aflorando hacia la porción sureste de la sierra de Mayrán.

Geohidrologicamente, por su permeabilidad de media a alta, funciona como unidad transmisora de agua hacia la Formación Aurora, y aunque en el área no se tiene evidencia de su explotación como acuífero, su fracturamiento secundario y condición estructural, fuera del área, entrevén la posibilidad de que puedan constituir acuíferos

Afloramientos del Grupo Difunta se encuentran ampliamente distribuidos en los bordes del área de acuífero, como pequeñas sierras o cejas de relieve bajo y escarpado. Este grupo está constituido por lutitas calcáreas, limolitas y areniscas calcáreas; en la porción sureste del valle afloran en forma discordante sobre la Formación Aurora. Presenta alto fracturamiento, por lo que son altamente permeables en estas porciones, donde transitan los volúmenes de agua subterránea provenientes de las sierras circundantes hacia el valle, tal como se evidenció con los pozos de la SARH perforados en 1973, cuyos caudales de producción fueron del orden de 20 l/s.

#### *Terciario*

Las rocas terciarias comprenden sedimentos continentales de yeso y travertino, así como rocas basálticas de origen volcánico, cuya formación tuvo lugar a fines del Terciario y principios del Cuaternario.

#### *Rocas sedimentarias continentales*

Estas rocas comprenden a sedimentos clásticos calcáreos que descansan sobre la Formación Aurora y a depósitos de yeso. Los primeros se localizan en la porción sur del valle, con baja permeabilidad por la compactación de sus componentes, por lo que funcionan como capas confinantes de distribución irregular en subsuelo.

Los depósitos de yeso se localizan principalmente en las porciones oriental y suroccidental del valle; tienen aspecto masivo y ocupan las depresiones de las sierras. También son de permeabilidad baja, funcionando como confinante de la roca que sobreyace.

#### *Terciario volcánico basaltos*

Caracterizado por rocas ígneas de tipo básico, de edad Terciario Superior y Cuaternario; se localizan hacia el noroeste del valle y están representadas por rocas basálticas de grano fino, con contenido de olivino e intenso fracturamiento, condición que las convierte en rocas transmisoras del agua pluvial infiltrada hacia rocas más profundas del subsuelo.

#### *Cuaternario*

Está representado por las rocas más jóvenes consistentes de materiales aluviales, gravas, arenas, limos y arcillas derivadas de la erosión de las sierras donde se originan los escurrimientos superficiales que descargan en la laguna de Mayrán, condición que reguló la depositación de estos materiales como relleno de la depresión tectónica, formando abanicos aluviales, y las unidades de roca descritas a continuación:

#### *Conglomerados*

Estos depósitos clásticos están constituidos por fragmentos de rocas calizas e ígneas de poco espesor, y estratificación cruzada, que afloran en las partes bajas de la planicie; su grado de cementación les confiere muy baja permeabilidad, funcionando como confinante de rocas subyacentes.

#### *Depósitos de arenas y gravas*

Constituidos por gravas, arenas y clásticos de caliza con costras de caliche, de formas subredondeadas que conforman los abanicos aluviales y lomeríos alargados, descansan en forma discordante sobre las calizas de la Formación Aurora; estos depósitos tienen, como función geohidrológica, transmitir el agua hacia toda la secuencia clástica en subsuelo.

#### *Depósitos de pie de monte*

Clásticos angulosos mal clasificados, gravas y arenas de origen diverso, que afloran en los bordes de las sierras del norte y sur del valle; de permeabilidad media, por lo que permiten el paso del agua hacia el subsuelo y recargan al acuífero granular.

#### *Depósitos aluviales*

Limos y arcillas con ocasionales laminillas de caliche interestratificadas, distribuidos hacia la planicie del valle, de permeabilidad variable según la preponderancia granulométrica de sus componentes; constituyen el acuífero en explotación por la mayoría de las captaciones de agua subterránea.

#### *Depósitos lacustres*

Estos depósitos están constituidos por arcillas y limos que ocupan las partes más bajas del valle, como restos de antiguas lagunas de inundación, son de baja permeabilidad y como su distribución es importante, funcionan como confinantes, dificultando el paso del agua hacia mayores profundidades.

## 4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El valle de La Paila es de origen tectónico, muestra evidencias superficiales de eventos de deformación y plegamiento con ruptura por efecto de un sistema paralelo de fallas geológicas del tipo normal, con orientación E-W y localizadas en el flanco norte de la sierra de Mayrán.

Este elemento estructural, representado por una fosa tectónica, tuvo su origen en las etapas de deformación terrestre por efecto de la Revolución Laramídica, cuyos movimientos de tipo compresivo y distensivo, regularon la sedimentación actual que sepultó a los sedimentos marinos del Cretácico.

En el intervalo geológico de edad Albiano-Cenomaniano, se sucede una importante transgresión marina que origina el desarrollo de gruesas secuencias de rocas carbonatadas, entre ellas las rocas calizas de la Formación Aurora.

Como efecto de la conformación del marco paleogeográfico, normativo de la sedimentación de la zona, durante el Cretácico Superior tuvo lugar el depósito de sedimentos terrígenos que poco después sufrieron deformaciones orogénicas y un levantamiento general posterior. Algunas de las secuencias sedimentarias depositadas, de Edad Cretácico Superior se reconocen como las Formaciones Indidura y Difunta.

Y en esta reconstrucción de eventos tectónicos, se considera que las deformaciones de la Orogenia Laramide se desarrollaron principalmente durante el Cenozoico Inferior, afectando estructuras anticlinales y sinclinales, simétricas y asimétricas, que conforman las sierras y serranías que dominan el paisaje del área. Posterior a estos eventos tectónicos sucedió la evolución continental de la región, con importantes depósitos continentales favorecidos por el fallamiento normal ocurrido durante el Cenozoico Superior.

Los eventos correspondientes a la actividad ígnea sucedieron en el Cenozoico, sobre todo en el Oligoceno, incluyendo los derrames basálticos del Plio-Cuaternario.

## 5 HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE ACUÍFERO

El acuífero granular emplazado en el subsuelo del valle La Paila, se almacena en la unidad aluvial antes descrita, en la cual se han perforado la mayoría de los pozos; su granulometría varía de gravas a arcillas. Las condiciones climáticas de la zona y la presencia de sulfatos de yeso en las sierras circundantes, le imprimen al agua subterránea una alta salinidad, por lo que no es apta para consumo humano, (figura 10).

Las calizas de la Formación Indidura, cubiertas discordantemente por depósitos aluviales, tienen permeabilidad media, por esta característica y su posición estructural, pudieran ser transmisoras de agua subterránea hacia los materiales que constituyen la planicie del valle, condición que no es evidente en la zona.

Otro acuífero de interés para su explotación se almacena en rocas sedimentarias del Grupo Difunta, particularmente en las porciones de alta permeabilidad por fracturamiento. Los caudales que produce son variables y acordes con el potencial de la zona, dependientes de su posición geográfica y estructural, en relación con los frentes calcáreos productores; particularmente el frente calcáreo conformado por la Sierra de Parras se drena a través de fallas geológicas de tipo inverso, adicionalmente a los escurrimientos superficiales Norte-Sur hacia el valle de La Paila.

En cuanto a acuíferos almacenados en rocas calcáreas, las calizas de la Formación Aurora reportan características de contener un acuífero confinado. En algunos sitios pueden presentar rasgos estructurales con continuidad en el subsuelo del valle. Asimismo, por estar cubiertas discordantemente por depósitos recientes pueden estar funcionando como transmisoras de agua hacia el subsuelo, alimentando a los acuíferos de la porción central del valle.

### 5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Como parte del estudio hidrogeológico realizado en el año de 1973, se realizaron 21 pruebas de bombeo de corta duración, tanto en la etapa de bombeo como la de recuperación, fluctuando los valores de transmisividad de entre 0.5 a  $32.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  y los caudales específicos entre 1 a 9.4 lps/m., los resultados se presentan en la tabla No. 4.

**Tabla No. 4 Resultados de las pruebas de bombeo realizadas en 1973**

No. del pozo	Transmisividad $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
P - 38	32.6
P - 39	20.2
P - 73	24.6
P-115	20.0
P-34	0.59
P-29	0.90
P-25	0.98
P-46	0.54

Los valores de las transmisividades se obtuvieron de las pruebas de bombeo realizadas en el acuífero granular, constituido por materiales clásticos de gravas y arenas de origen aluvial, por lo tanto la transmisividad debe disminuir hacia los flancos, donde la granulometría y por tanto de permeabilidad se reducen; de esta manera el valor cercano a  $0.001 \text{ m}^2/\text{s}$ , se puede aplicar a los materiales del subsuelo en las zonas de entradas por flujo de agua subterránea.

### 5.3 PIEZOMETRÍA

La historia piezométrica del acuífero La Paila presenta información de los años 1973 con el primer estudio geohidrológico regional, 1998 con la reactivación de la red de monitoreo piezométrica en 2002 y termina con la información de niveles estáticos obtenidos en el año de 2004.

### 5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

El comportamiento hidráulico del acuífero La Paila se ha analizado a través de las configuraciones de las curvas del nivel estático en cuanto a profundidades, elevación y evolución a través del tiempo.

#### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

Para el mes de noviembre de 1973, o sea al finalizar la temporada de lluvias, la profundidad al nivel estático variaba entre 15 y 60 m, como se muestra en la figura No. 5, los valores máximos con nivel estático de 60 m de profundidad se observan hacia el centro del valle, hacia las inmediaciones de la comunidad rural Las Marzas, coincidiendo con el área de concentración de los pozos. Las profundidades se tornan menores hacia la periferia de la configuración. Hacia el extremo oriental del área se observan las profundidades menores, de entre 15 y 20 m, coincidiendo con la concentración de pozos en los alrededores de la estación Marte del ferrocarril y los poblados Benito Juárez, Perla del Carmen y El Pilar de Richardson.

Para el año de 1998 se manifiestan evoluciones negativas evidentes en la configuración de profundidades del nivel estático, figura No. 6, observándose las mayores profundidades de 70 a 80 m, hacia el centro del valle, y ascendiendo hacia los lados a valores menores hasta de 40 m. Profundidades más someras, del orden de 15 a 30 m, se localizan hacia el sur del valle, cercanas a las partes bajas de la sierra, como se muestra en la figura No. 6.

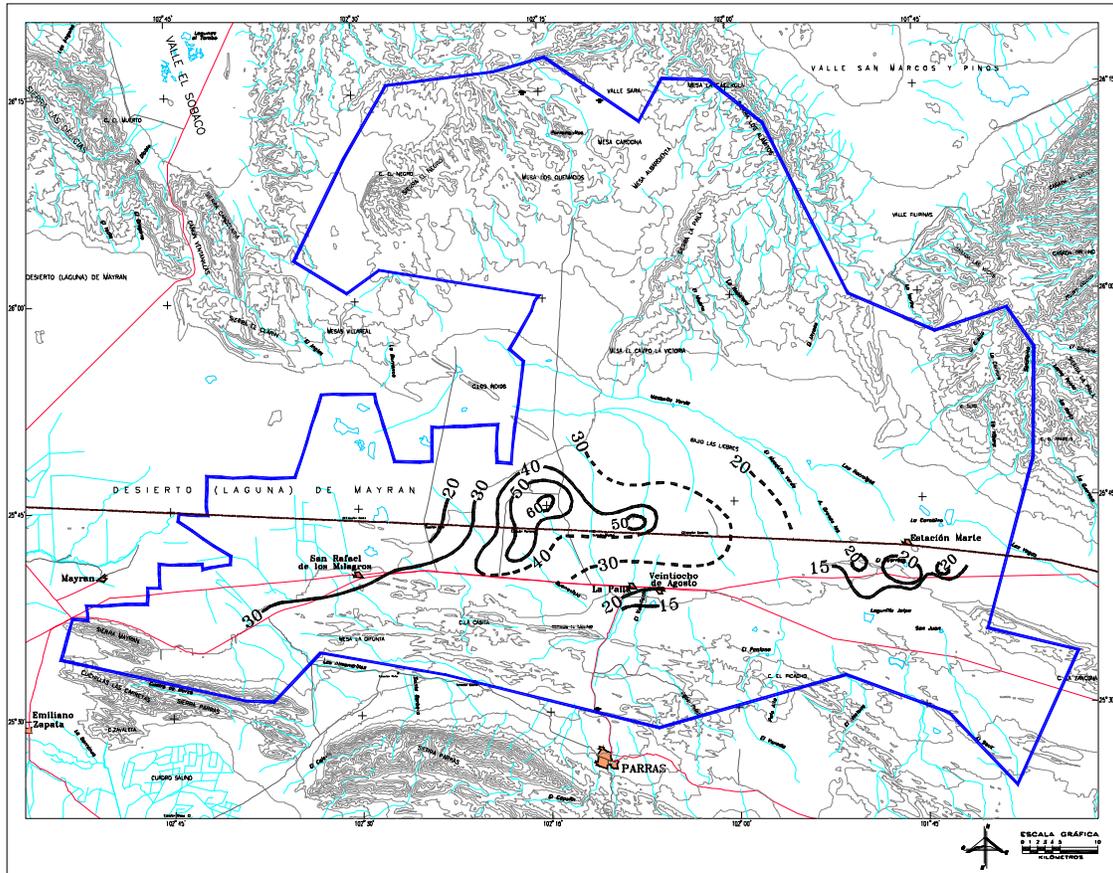


Figura No. 5. Curvas de igual profundidad al nivel estático, 1973

Con esta tendencia a evoluciones negativas por efecto del bombeo, para el año 2004, se observó que profundidades mayores a 80 m se presentaban en el centro del valle, aumentando la profundidad del nivel del nivel estático sensiblemente, respecto al año 1998, particularmente hacia los alrededores del centro del valle, en zonas donde los valores eran de 50 m en 1998, ahora se encuentran valores mayores a estos, figura No. 7.

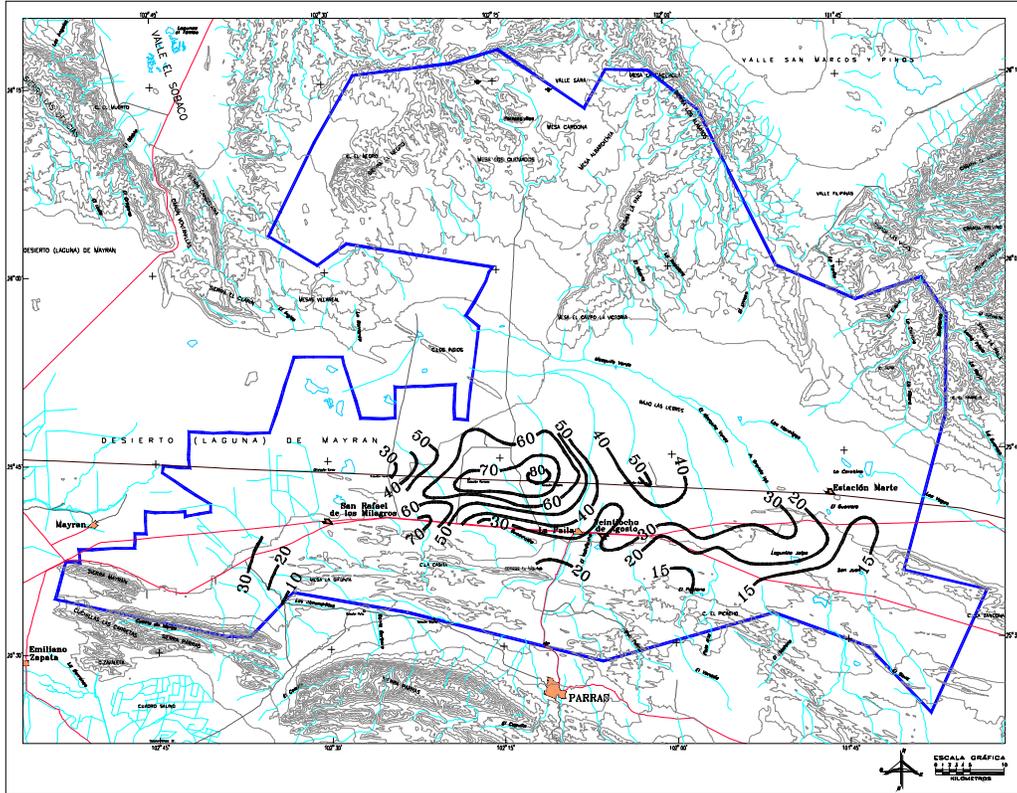


Figura No. 6. Curvas de igual profundidad al nivel estático, 1998

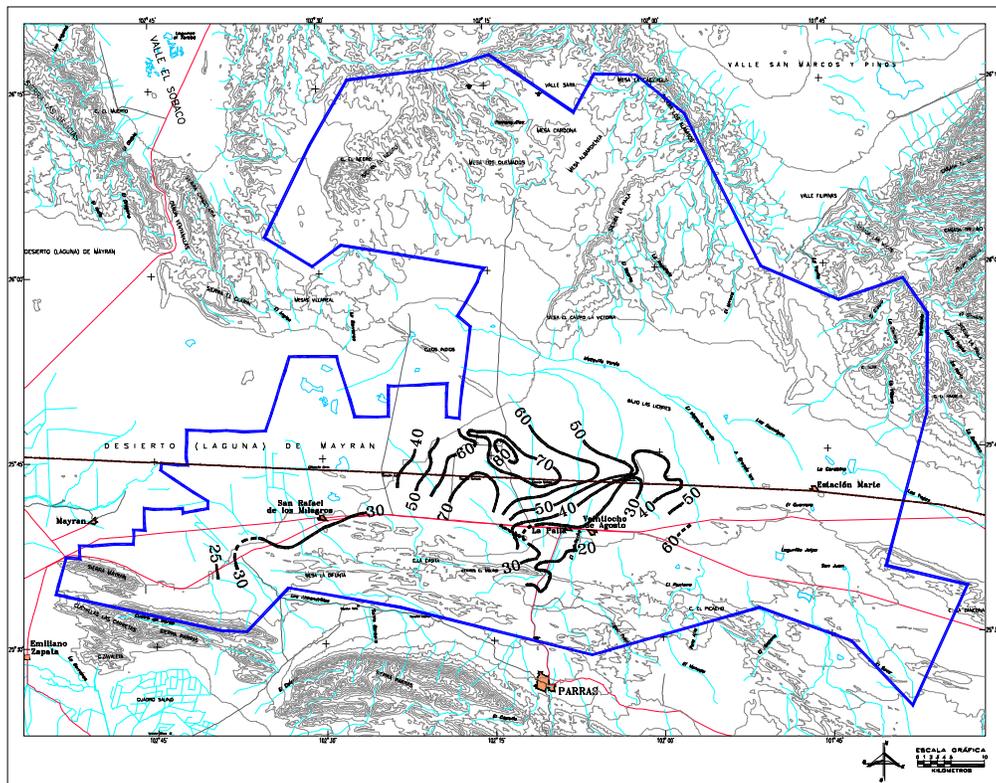


Figura No. 7. Curvas de igual profundidad al nivel estático, 2004

#### 5.4.2 Elevación del nivel estático

Para fines de elaborar las redes de flujo subterráneo, y con ello establecer la evolución de niveles de bombeo, se elaboró la configuración del nivel estático, para el año de 1973 (Nov), misma que se reproduce en la figura No. 8 y en la cual se interpreta que la zona de recarga se ubica en las estribaciones de las serranías calcáreas distribuidas hacia la porción sur del valle, identificándose las curvas equipotenciales de máxima elevación: 1190 y 1180 msnm, a partir de las cuales se estima la presencia de un flujo subterráneo desde el Norte hasta la traza de la vía del ferrocarril, para luego cambiar de dirección con rumbo SE-NW, hacia las comunidades rurales de: Maravillas, San Luis y El Toboso, convergiendo hacia estas las equipotenciales de menor elevación 1070 y 1060 msnm, con tendencia hacia su descarga final en el Desierto, o antigua Laguna de Mayrán.

En este mismo sentido, la red de flujo subterráneo para el año de 1998, figura No. 9, de igual manera muestra hacia la porción sur del área del acuífero, bordes de las mesas Lechuguillanta y Las Burras, otra zona de recarga con la presencia de las curvas equipotenciales 1283 y 1280 msnm, así como hacia el centro del valle y bordes de los cerros El Molongo, por la presencia de las curvas equipotenciales 1270 y 1260 msnm.

Estas recargas inducen un flujo subterráneo hacia el centro del valle, con una dirección al norte, para después adoptar una dirección SE-NW hacia la concentración de pozos, donde se aprecia la presencia de las equipotenciales con menor elevación piezométrica de entre 1160 y 1170 msnm.

Respecto a las curvas de igual elevación del nivel estático del año 2004 (figura No. 10), se observa un comportamiento congruente con la evolución negativa de los niveles. Esta configuración muestra valores sensiblemente menores a las del año 1998, debido a los abatimientos de los niveles de agua subterránea.

#### 5.4.3 Evolución del nivel estático

Debido a que no se tienen mediciones continuas en los mismos pozos previamente seleccionados para determinar la variación de las profundidades del nivel estático a través del tiempo se deduce, con base a la comparación de las configuraciones del año de 1973 y del año de 1998, que el acuífero en la parte central del valle presenta evoluciones en ese período, de hasta 30 m, con valores intermedios que varían de 10 a 20 m, disminuyendo hasta valores de cero al pie de la sierras ubicadas principalmente en la zona sur, de tal manera que se puede considerar como un valor promedio de abatimiento de los niveles de agua subterránea del acuífero de 0.4 m/año, considerando la distribución de variaciones de dichas profundidades.



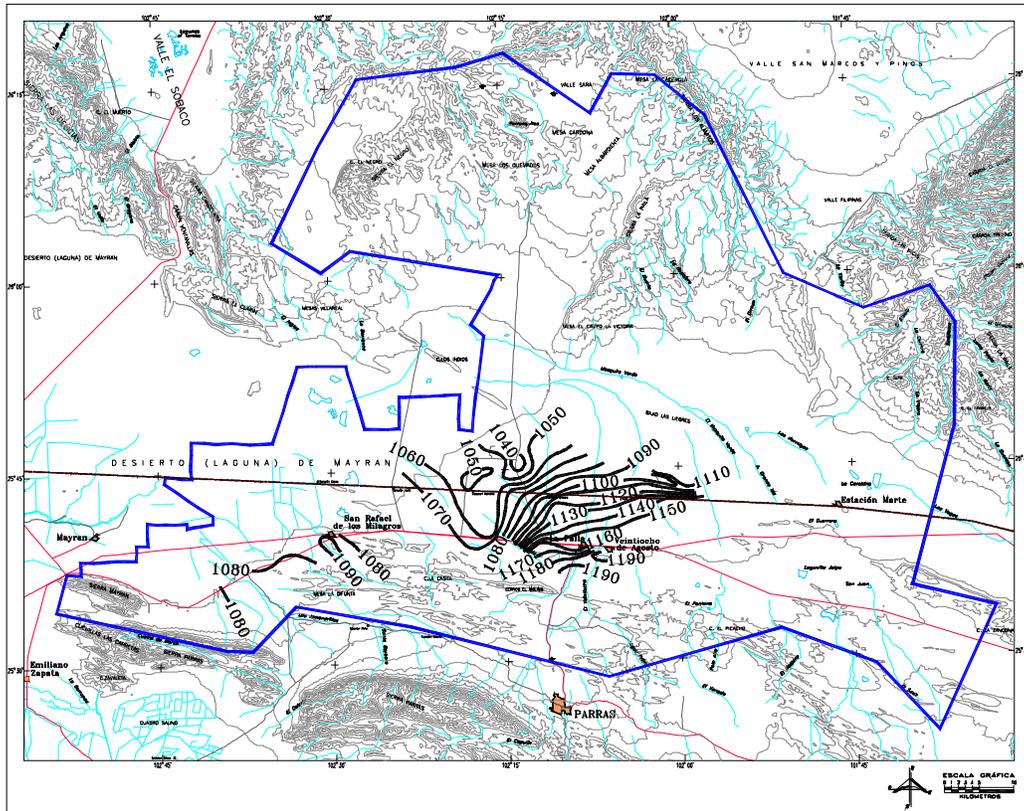


Figura No. 10. Curvas de igual elevación del nivel estático, octubre 2004

## 5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En el estudio de 1973 se realizó un muestreo en 107 sitios de alumbramiento de agua subterránea, los que fueron motivo de análisis físico químicos de laboratorio.

Se hicieron varios planos de igual concentración iónica, entre otros: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, calcio, sodio y magnesio, así como el de curvas de igual concentración de sólidos totales.

Este último representativo de los demás en la interpretación geoquímica, se comenta enseguida, con base en la figura No. 11 que reproduce las condiciones de la configuración original, de 1973.

En primer lugar, se aprecia que las sierras calizas localizadas al sur del valle de La Paila constituyen una zona de recarga importante a los acuíferos de la planicie, señalada por las curvas de menor concentración, de 2000 ppm.

Esta recarga propicia un flujo subterráneo hacia las partes centrales del valle, donde se manifiestan las mayores concentraciones, que pueden llegar a 5000 ppm en Santa María de las Esperanzas.

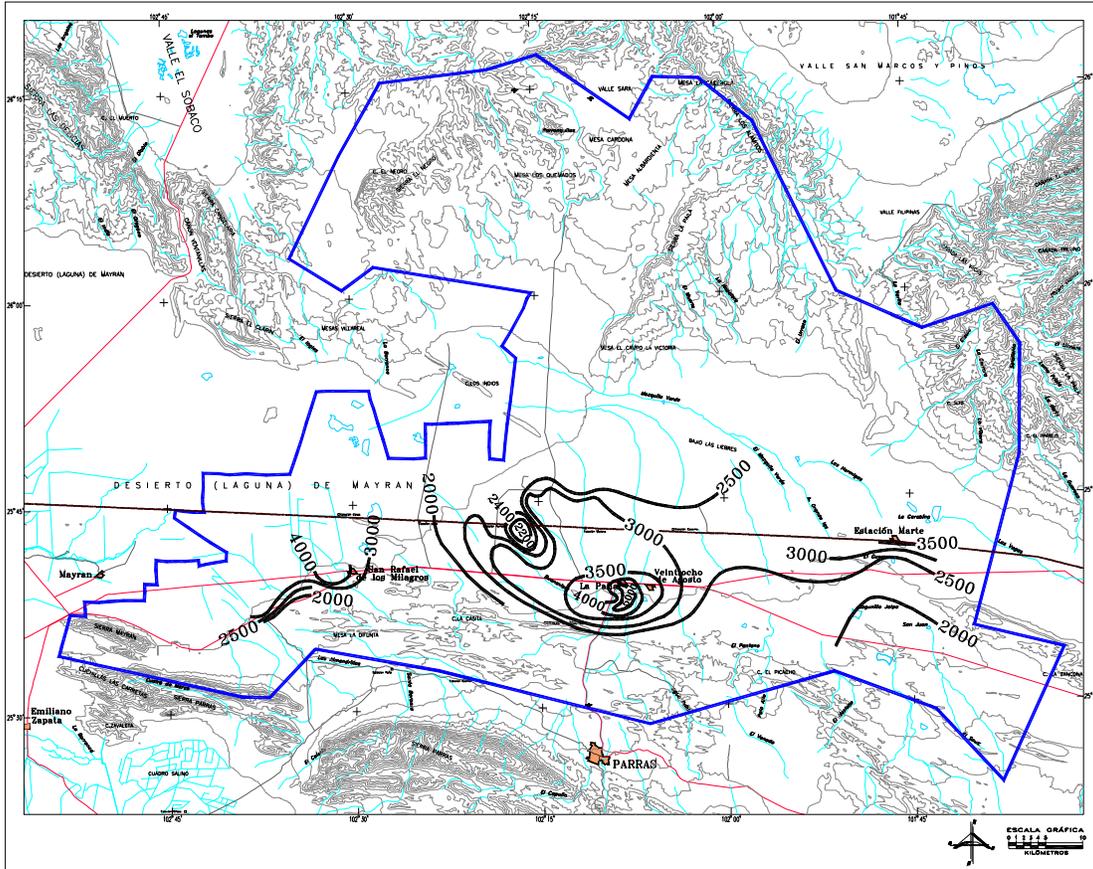


Figura No. 11. Sólidos Totales, 1973

Atendiendo al criterio agrícola de clasificación de agua, en 1973 se analizó la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), concluyendo que la mayoría de las muestras analizadas se clasifican como  $C_4S_2$ , indicando que son altamente salinas y de segunda clase por la tendencia a la adsorción de sodio.

También se utilizaron los diagramas de Schoeller correspondientes a los pozos ubicados hacia el norte y sur de la porción central del valle, con las siguientes relaciones iónicas.  $Na > Ca \geq Mg$  y  $SO_4 > Cl \geq HCO_3$

Por lo que se puede decir que son aguas de la misma familia sulfato-sódica; característica extensiva a las partes occidental y oriental del valle, cubiertas por la configuración. En consecuencia, el agua subterránea en el valle La Paila tiene alta salinidad, infiriéndose además que el flujo subterráneo general es de sur a norte. Asimismo, el alto contenido de sulfatos sugiere que las mencionadas aguas han tenido un prolongado contacto con las rocas calizas y la influencia de procesos de evaporación a que ha estado sujeta la depositación en el valle.

Con la finalidad de actualizar la caracterización del agua subterránea del acuífero La Paila, el Proyecto Regional de Aguas Subterráneas de la Subgerencia Técnica del Organismo de Cuenca, Cuencas Centrales del Norte, realizó un muestreo para análisis físico-químico en 68 captaciones subterráneas, durante los meses de octubre y noviembre del año 2001. Esta caracterización confirma la presencia en el subsuelo de agua del tipo sulfatada-sódica, altamente salina no apta para consumo humano, destacando concentraciones de hasta 26,816 ppm de sólidos totales disueltos (STD), y 21,626 ppm de contenido de Sulfatos hacia la parte

central del valle. La NOM-127-SSA1-1994, actualizada al año 2000, establece como límites máximos permisibles para consumo humano 1000 ppm de sólidos totales disueltos y 400 ppm de sulfatos.

## 6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Como parte de las actividades técnicas, comprendidas en el estudio hidrogeológico del año 1973, se realizó un censo de aprovechamientos de agua subterránea, en el cual se identificó la presencia de un total de 208 pozos y 12 norias. Las profundidades de los pozos variaban entre 32 y 190 m, mientras que las de las norias eran menores de 20 metros. Durante la visita a las obras de extracción se realizaron aforos en los pozos, y con la información de regímenes de operación y caudales de extracción se calculó un volumen de extracción por bombeo del orden de 31 hm<sup>3</sup> anuales.

Para actualizar los datos de extracción por bombeo, personal técnico de los proyectos de aguas subterráneas de la Dirección Local Coahuila y Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte, llevaron a cabo un nuevo censo de captaciones subterráneas durante el último trimestre del año 2001. Se reportó un total de 367 aprovechamientos subterráneos, de los cuales 193 inactivos y 174 activos. De los activos 126 se destinan al uso agrícola, 19 al pecuario, 27 para agua potable y 2 para otros usos. La extracción total estimada por el mismo método de regímenes de operación y aforo de caudales, así como demanda de agua por cultivo, de acuerdo a extensiones agrícolas fue del orden de 40.9 hm<sup>3</sup>/año.

De acuerdo con la tabla No. 5, el volumen destinado al uso agrícola, resulta ser el mayor. El incremento en la extracción y número de obras, entre 1973 y el 2001, ocurrió en las áreas cuya condición administrativa es de libre alumbramiento y no en la porción de territorio del acuífero sujeto a veda que corresponde al municipio de San Pedro, estado de Coahuila.

**Tabla No. 5. Extracciones de agua subterránea**

Uso	Volumen anual hm <sup>3</sup> /año
Agrícola	40.09
Público urbano	0.35
Doméstico	0.37
Pecuario	0.10
Industrial	0.02
Servicios	0.01
Total	40.94

## 7 BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO

La recarga por lluvia se obtuvo a partir de un balance hidrometeorológico considerando una lámina de lluvia promedio anual de 219.5 mm/año, así como una temperatura media anual de 20° C, mediante la expresión siguiente:

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

La infiltración calculada resultante fue de 26.9 hm<sup>3</sup>/año, volumen que resulta de restar al volumen de precipitación pluvial de 1,525.3 hm<sup>3</sup>/año -para un área de 6,949 km<sup>2</sup>-, el volumen evapotranspirado de 1,432.3 hm<sup>3</sup>/año, obtenido de la aplicación de la fórmula de Coutagne, y el volumen total escurrido de 66.1 hm<sup>3</sup>/año, desglosados como sigue:

$$\text{Infiltración} = 1,525.3 \text{ hm}^3/\text{año} - 1,432.3 \text{ hm}^3/\text{año} - 66.1 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Para determinar la evapotranspiración real (Coutagne) se utilizó la expresión siguiente:

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

Donde:

P = precipitación media anual en m/año

$$c = 1/(0.8 + 0.14 t)$$

t = temperatura media anual en °C

Sustituyendo los datos de precipitación media anual (219.5 mm/año) y temperatura (20° C) se obtiene una lámina de evapotranspiración de 0.20611 m, que multiplicado por el área total, resulta un valor de evapotranspiración de 1432.3 hm<sup>3</sup>/año.

De acuerdo con el criterio de Coutagne, se asume que la evapotranspiración es igual a la precipitación cuando esta es menor 1/8, lo que significaría una infiltración nula, sin embargo, se considera exista algo de infiltración, por lo que se optó por utilizar el dato como una referencia del valor de evapotranspiración.

Para estimar el volumen de escurrimiento anual, se utilizó el coeficiente de escurrimiento Ce, que está en función del tipo y uso de suelo, dado por un valor de K, y del volumen de precipitación anual del área.

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

Para el caso se calculó un valor de Ce= 0.04331 al considerar un valor de K= 0.22 (valor representativo de suelos medianamente permeables y un uso de suelo tipo pastizal, cubierto de tal forma que tiende de regular a menos del 50%). De acuerdo a lo anterior, el volumen escurrido fue de 66.1 hm<sup>3</sup>/año, obtenido de multiplicar el coeficiente anterior por el volumen precipitado anual (1525.3 hm<sup>3</sup>/año).

Sustituyendo los términos calculados en la expresión (3), la infiltración resultó de 26.9 hm<sup>3</sup>/año para toda la superficie del acuífero.

**Tabla No. 6 Componentes del balance hidrometeorológico**

Componente	Volumen medio anual	
	hm <sup>3</sup> /año	
Volumen llovido	1525.3	100.0%
Volumen evapotranspirado	1432.3	93.9%
Escorrimento superficial	66.1	4.3%
Infiltración	26.9	1.8%

## 8 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de volúmenes de entradas (recarga) y salidas (descarga) al sistema acuífero, representa el volumen de agua perdido o ganado anualmente en su almacenamiento.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa se define como:

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

Aplicando esta ecuación, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

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

Las entradas se encuentran compuestas por la recarga natural y la recarga inducida, y las salidas por bombeo y salidas subterráneas.

## 8.1 ENTRADAS

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

### 8.1.1 Recarga natural

La recarga natural del acuífero La Paila está integrada básicamente por recarga proveniente de la infiltración de la lluvia, así como flujo subterráneo.

#### 8.1.1.1 Recarga vertical por lluvia

La recarga vertical por lluvia es calculada considerando que del volumen precipitado se infiltra el 1.8%, porcentaje obtenido del balance hidrometeorológico. El volumen precipitado en el área de balance donde ocurre la explotación de agua subterránea, se obtuvo multiplicando el área de 2000 km<sup>2</sup> y una lámina de precipitación de 219.5 mm/año, resultando un valor de 439 hm<sup>3</sup>/año y al considerar el coeficiente de infiltración de 1.8%, se obtiene una recarga natural por lluvia de 7.9 hm<sup>3</sup>/año.

#### 8.1.1.2 Flujo subterráneo horizontal

De acuerdo con la red de flujo mostrada en la figura No. 9, se puede calcular la entrada al acuífero por flujo horizontal, al considerar los canales mostrados en dicha figura y el valor de la transmisividad mencionada en el inciso 5.2. El cálculo de entradas subterráneas se muestra en la tabla No. 7, y es de 6.8 hm<sup>3</sup>/año.

**Tabla No. 7 Cálculo de entradas subterráneas**

ENTRADAS							
Celda	Ancho	Largo	$h_1-h_2$	Gradiente hidráulico	T	Caudal	Volumen
	m	m	m		m <sup>2</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año
1	2600	1000	10	0.01000	0.0010	0.026	0.82
2	5200	2900	10	0.00345	0.0010	0.018	0.56
3	2800	1800	10	0.00555	0.0010	0.016	0.49
4	3200	1200	10	0.00833	0.0010	0.027	0.84
5	3000	1700	10	0.00588	0.0010	0.018	0.56
6	9100	1950	10	0.00513	0.0005	0.023	0.74
7	8100	2000	10	0.00500	0.0005	0.020	0.64
8	10000	2600	10	0.00385	0.0005	0.019	0.61
9	1600	1200	10	0.00833	0.0010	0.013	0.42
10	3600	1000	10	0.01000	0.0010	0.036	1.13
						Total	6.81

La recarga natural total es de 14.7 hm<sup>3</sup>/año, integrada por 7.9 hm<sup>3</sup>/año de recarga vertical por lluvia y por 6.8 hm<sup>3</sup>/año de entrada subterránea.

### 8.1.2 Recarga inducida

La recarga inducida corresponde al retorno de agua utilizada en el riego y en el uso público urbano, donde existen sobre riegos y fugas en los sistemas de agua potable. Aunque casi la totalidad del volumen extraído se destina al uso agrícola, debido a que actualmente la profundidad al nivel estático es superior a los 40 m y a las condiciones climáticas de la región, los excedentes de riego se evaporan y el volumen susceptible de infiltrarse al acuífero es muy pequeño. Por lo anterior, se considera despreciable el volumen de recarga inducida.

## 8.2 SALIDAS

### 8.2.1 Salidas naturales

Debido a que la profundidad de los niveles estáticos son mayores de 40 metros no existe evapotranspiración directa; tampoco existen descargas por flujo base. Como se muestra en la figura No. 9, sólo existe una pequeña salida por flujo subterráneo fuera del área de balance que se estima en 1.8 hm<sup>3</sup>/año, y cuyo cálculo se presenta en la tabla No. 8.

**Tabla No. 8 Cálculo de salidas subterráneas**

SALIDAS							
Celda	Ancho	Largo	$h_1-h_2$	Gradiente hidráulico	Transmisividad	Caudal	Volumen
	m	m	m		m <sup>2</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año
<b>1</b>	17200	3000	<b>10</b>	0.00333	0.0010	0.057	1.81
						Total	1.81

### 8.2.2 Bombeo

La extracción de agua subterránea es de 40.9 hm<sup>3</sup>/año como se señaló en la parte del censo de aprovechamientos, dato que corresponde al año del 2001.

## 8.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El cambio de almacenamiento del acuífero según el balance expuesto en la tabla No. 9, indica que existe un minado de 28 hm<sup>3</sup>/año, resultado de restar a la recarga total de 14.7 hm<sup>3</sup>/año, los 42.7 hm<sup>3</sup>/año de salidas totales. El valor anterior se confirma si consideramos que en una superficie de aproximadamente 1000 km<sup>2</sup> es en la que se registran los abatimientos más importantes, con valor promedio de 0.40 m anuales y un coeficiente de almacenamiento de 0.07.

$$(1000 \text{ km}^2)(-0.40 \text{ m})(0.07) = -28 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

**Tabla No. 9 Balance de aguas subterráneas, acuífero La Paila**

Concepto	Volumen hm <sup>3</sup> /año
Recarga por lluvia	7.9
Flujo horizontal	6.8
Recarga natural	<b>14.7</b>
Recarga inducida	0.0
Recarga total	<b>14.7</b>
Bombeo	40.9
Flujo horizontal	1.8
Descarga total	<b>42.7</b>
Minado	-28.0

## 9. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

### 9.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual (Rt) corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga natural, más la recarga inducida, por la aplicación de agua en todas las actividades humanas, tanto en forma superficial, como subterránea. Para este caso en particular, el valor de la recarga total corresponde a la suma de la recarga por lluvia de 7.9 hm<sup>3</sup>/año más 6.8 hm<sup>3</sup>/año de entradas por flujo subterráneo, la recarga total es de **14.7 hm<sup>3</sup>/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

### 9.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

La descarga natural comprometida se determina, de acuerdo con la NOM-011, 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, aunque existe un volumen de 1.8 m<sup>3</sup>/año que salen del área de balance, la zona se localiza a más de 10 km del límite con el acuífero vecino Principal Comarca Lagunera, hacia la Laguna de Mayrán, en una zona donde no existen aprovechamientos del agua subterránea.

Por tal motivo, se considera que no existen descargas naturales comprometidas

### 9.3 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, al 30 de abril de 2007 es de 23'205,290 m<sup>3</sup>/año.

### 9.4 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente, se determina restando de la recarga total media anual de 14.7 hm<sup>3</sup>/año la descarga natural comprometida de 0.0 hm<sup>3</sup>/año, resultando de 14.7 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales).

### 9.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad del agua subterránea en el acuífero La Paila resulta de -8'505,290 m<sup>3</sup>/año, valor que 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, por lo que no existen volúmenes adicionales para otorgar nuevas concesiones.

$$- 8'505,290 \text{ m}^3/\text{año} = 14'700,000 \text{ m}^3/\text{año} - 0.0 \text{ m}^3/\text{año} - 23'205,290 \text{ m}^3/\text{año}$$

A pesar de que el resultado de la aplicación de la norma indica que actualmente existe un déficit de -8'505,290 m<sup>3</sup> anuales, es necesario hacer una revisión técnico-administrativa de los registros del REPGA ya que el valor que actualmente tiene registrado e inscrito es muy inferior al volumen de extracción real del acuífero, lo que incrementaría aún más este valor negativo.

Por otra parte, el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero y, por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica consistente para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que el valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento, extender el balance a una superficie mayor del valle. Conforme se genere mayor información hidrogeológica, en cantidad y calidad, se podrá hacer una evaluación posterior.

## 10 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Anuario Estadístico Coahuila, INEGI, 2004.

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

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

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

Comisión Nacional del Agua, estado de Coahuila, 1991.

Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas, 1998. Estudio de reactivación de redes de monitoreo de los acuíferos de los valles de: Monclova, Saltillo-Ramos Arizpe, Allende-Piedras Negras, Cuatro Ciénegas-Ocampo, La Paila y Derramadero, Coah. Estudios y Proyectos de Agua y Tierra Rubriselva, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte, Subgerencia técnica, Proyecto de Aguas Subterráneas, 2001 Censo de aprovechamientos subterráneos, y muestreo hidrogeoquímico. Acuífero La Paila, Edo. de Coah.

Comisión Nacional del Agua, Gerencia Cuencas Centrales del Norte, 2002 Actualización de mediciones piezométricas de los acuíferos denominados: Principal, Oriente Aguanaval, Vicente Suárez y La Paila, Región Lagunera, Coah-Dgo. Ingeniería Geológica Computarizada, S.A de C.V

Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte. Subgerencia Técnica, Proyecto de Aguas Subterráneas. 2004, Reactivación de red de Monitoreo piezométrico del acuífero La Paila, Edo de Coah.

CGSNEGI. Carta fisiográfica, escala 1:1000000.

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

NOM-011-CNA-2000. Norma Oficial Mexicana. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial 17 de abril de 2002. México.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. 1973. Estudio geohidrológico preliminar del Valle de La Paila, Coah.