



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

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO GUERRERO-YEPÓMERA (0860),  
ESTADO DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización .....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero. ....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>5</b>
3.1. Provincia fisiográfica.....	5
3.2. Clima.....	6
3.3. Hidrografía.....	6
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
4.1. Estratigrafía .....	7
4.2. Geología del subsuelo.....	14
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
5.1. Tipo de acuífero.....	17
5.2. Parámetros hidráulicos.....	18
5.3 Comportamiento hidráulico.....	18
5.3.1 Profundidad del nivel estático.....	19
5.3.2 Elevación del nivel estático.....	20
5.3.3 Evolución del nivel estático.....	20
5.4. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>26</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>26</b>
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>28</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	29
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	29
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	29
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	29

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

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

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1 Localización**

El acuífero Guerrero – Yepomera, definido con la clave 0860 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la parte occidental del Estado de Chihuahua, El área donde se encuentra tiene una extensión aproximada de 4563 km<sup>2</sup> (Figura 1)

El acuífero está comprendido parcialmente dentro de los municipios de Cusihuarachi, Bachiniva y Guerrero, (Chihuahua). En la región la población se concentra principalmente en las cabeceras de los municipios. El censo de población y vivienda

del CONAPO (1998) reporta una población del orden de los 420,000 habitantes para esta zona.

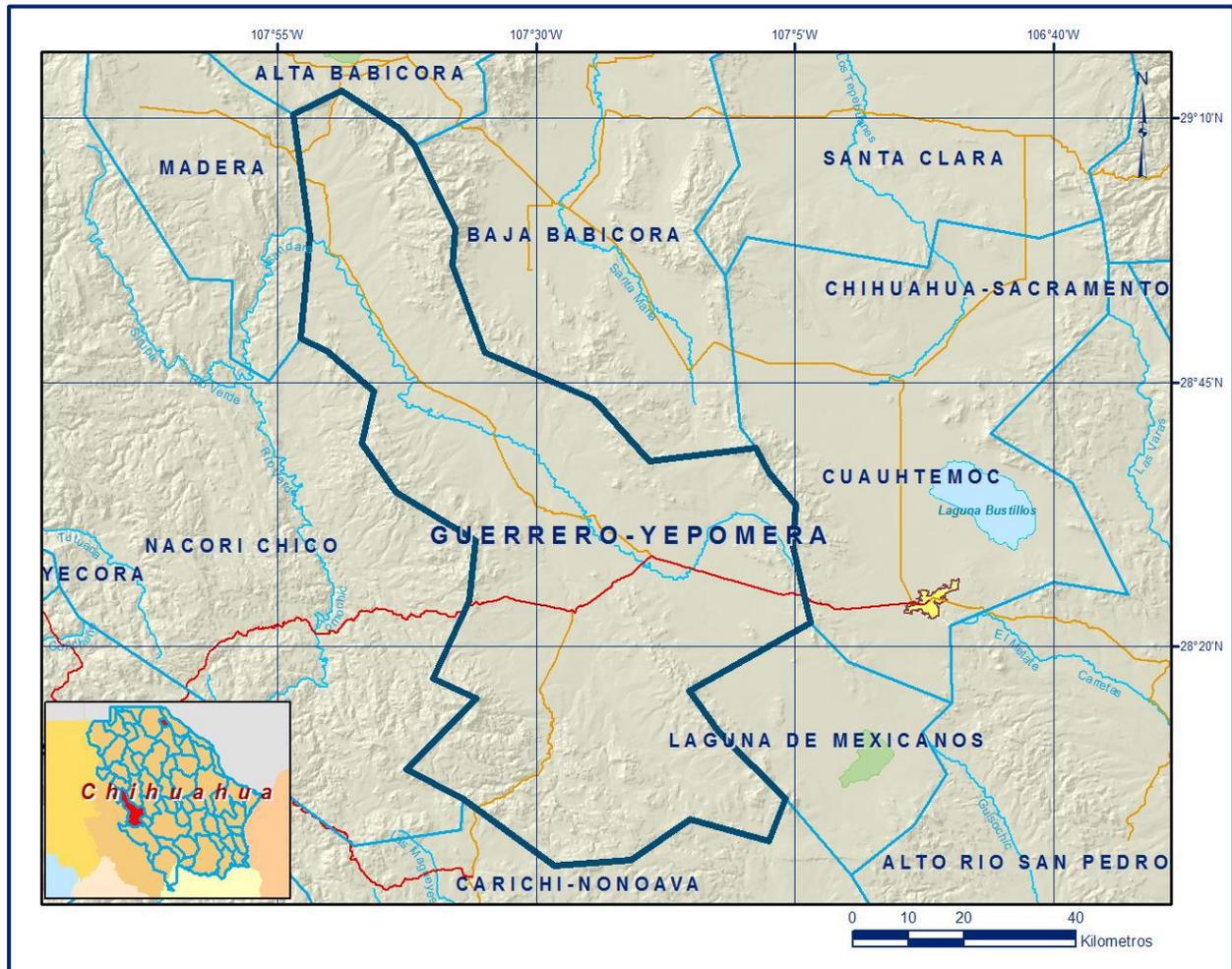


Figura 1. Localización del acuífero

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 0860 GUERRERO-YEPOMERA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	107	37	516	28	59	314
2	107	38	4.8	28	56	3.8
3	107	34	58.3	28	47	48.9
4	107	24	23.3	28	43	20.3
5	107	19	5.9	28	37	33.5
6	107	8	45.3	28	38	48.1
7	107	7	32.2	28	36	27.1
8	107	4	58.0	28	33	25.9
9	107	5	9.1	28	29	28.2
10	107	3	27.2	28	22	16.4
11	107	15	11.4	28	15	49.4
12	107	12	15.8	28	11	49.3
13	107	5	53.1	28	5	39.0
14	107	7	31.4	28	1	34.4
15	107	15	5.2	28	3	39.9
16	107	20	52.8	27	59	46.1
17	107	28	13.7	27	59	16.0
18	107	37	7.3	28	5	34.6
19	107	42	35.6	28	8	21.7
20	107	35	46.3	28	15	4.9
21	107	40	0.0	28	16	59.1
22	107	36	28.1	28	24	19.9
23	107	35	55.1	28	30	3.4
24	107	43	36.7	28	34	35.0
25	107	46	51.1	28	39	15.4
26	107	45	42.3	28	44	12.2
27	107	50	11.8	28	47	54.2
28	107	52	45.0	28	49	13.0
29	107	51	51.7	28	58	51.8
30	107	53	28.6	29	10	22.8
31	107	48	52.8	29	12	37.3
32	107	43	13.1	29	9	0.0
33	107	41	47.4	29	7	24.2
1	107	37	516	28	59	314

## 1.2 Situación administrativa del acuífero.

Dentro de la región se ubica el Distrito de Riego 082 con residencia en Cd. Guerrero. El 21 de octubre de 1967 se decretó la zona de veda del valle de Cuauhtémoc, que abarca

los municipios de Bachiniva, Cuauhtémoc, Cusihuarachi y Guerrero, todos estos del Estado de Chihuahua.

Existen varias organizaciones como la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 082. El aprovechamiento del acuífero se destina principalmente para los usos agrícola, pecuario, servicios y uso público urbano.

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

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

Con anterioridad a diciembre de 1984, no existía ningún estudio de carácter Geohidrológico en el área de interés. Para esa fecha la compañía Consultores, S.A., lleva a cabo el “**Estudio Geohidrológico de la zona Guerrero – Yepomera, para una Superficie aproximada de 4,000 km<sup>2</sup>**”.

## **3. FISIOGRAFÍA**

### **3.1. Provincia fisiográfica.**

Fisiográficamente, según R. Raisz, el área está enclavada en la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, dicha provincia se caracteriza por una potente secuencia de tobas ácidas, las que han modelado una gran sierra con orientación preferencial NNW-SS, presenta una anchura y longitud aproximada de 150 y 1,200 km respectivamente; sus rasgos orográficos más importantes los constituyen altas montañas piroclásticas, disectadas por un conjunto de arroyos. En las postrimerías de la provincia, la sierra se encuentra afectada por una serie de fallas normales creando grabens y montañas aisladas con formas semirredondeadas.

Para una mejor comprensión, el área se ha dividido en las siguientes zonas orográficas:

Al occidente está representada por una zona montañosa con orientación preferencial de NNW-SSE; sus máximas alturas son del orden de los 2,500 msnm y se sitúan al occidente de la presa Abraham González y del rancho los Estrada; la altura que predomina en esta región es de 2,200 a 2,300 msnm. El principal rasgo orográfico lo constituye una serie de montañas caracterizadas por que su cima se encuentra sensiblemente horizontal (mesetas), también existen cantiles de fuertes pendientes, al oriente se ubican una serie de montañas y cerros arredondeados con la misma dirección.

Hidrográficamente de las unidades antes mencionadas provienen una serie de arroyos que se integran finalmente al río Papigochic, este río drena al NE y cambia su dirección hacia el occidente, a la altura de Yepomera.

La porción norte está conformada por una serie de montañas semicirculares conspicuas, presentan una elevación promedio de 2,400 msnm, de estas aparecen pequeños arroyos que drenan hacia el sur para finalmente integrarse al Papigochic.

Al oriente se sitúan una serie de montañas con dirección preferencial NNW-SSE, sus alturas máximas son del orden de los 2,800 msnm y se localizan al oriente de Yepomera; también existen alturas de 2,700 msnm situándose en la misma región. Estas montañas, al igual que las anteriormente descritas, tienen sus cimas sensiblemente planas y a medida que se acercan al valle, tienden a ser montañas semirredondeadas dómicas.

Las corrientes superficiales están representadas por una serie de arroyos que circulan perpendicularmente a las estructuras montañosas, drenan hacia el sur para integrarse finalmente al Basuchil y en la porción central y norte al Papigochic.

La parte sur se caracteriza por estar conformada principalmente por una serie de montañas conspicuas y de cerros aislados como los que se sitúan al sureste de Miñaca y al sur de la Junta, sus alturas máximas son del orden de los 2500 msnm. Su red hidrográfica la constituyen una serie de arroyos, los del oriente se integran al Basuchil y los del oriente drenan hacia la presa Abraham González.

La porción central está representada, por una serie de lomeríos de baja elevación topográfica y de bajas pendientes, en el cauce del río se han formado pequeñas terrazas de erosión y acumulación, su altura promedio es de 2,000 msnm.

### **3.2. Clima.**

La temperatura media que impera en la zona oscila entre 6.1° C la mínima y 26° C la máxima. La evaporación potencial media anual es de 1,863 mm. La precipitación media anual es del orden de los 500 mm. El período de lluvias ocurre de junio a octubre, en el resto del año las precipitaciones son esporádicas.

### **3.3. Hidrografía.**

Según la división Hidrológica del Territorio Nacional, el acuífero Guerrero - Yepomera se localiza al Suroeste de la Región Hidrológica 9, Sonora sur. Los escurrimientos

superficiales más importantes que drenan esta zona son los ríos Papigochic, Basuchil y el arroyo Yepomera.

Los principales escurrimientos superficiales en la zona son los ríos Papigochic y Basuchil, y el arroyo epomera, este último drena la parte norte del área que aquí se trata, recibe los escurrimientos de un gran número de arroyos provenientes de las partes altas e inicia su descenso pasando por Yepomera y la Labor de Guadalupe, hasta que desemboca sobre el río Papigochic, a 1860 msnm, después de recorrer una distancia aproximada de 15 km.

El río Basuchil tiene su origen al sureste del poblado de Pedernales, donde es conocido como arroyo los Ranchos, al ir descendiendo para por los poblados de Ranchos de Santiago, Ignacio Zaragoza y el Rosario, en este lugar recibe por su margen derecha los escurrimientos del arroyo Agua Caliente y su afluente el arroyo Cajonero, y cambia su nombre a arroyo Carpio.

En el rancho la Tena recibe la aportación de un manantial que ahí se encuentra, para continuar su curso pasando por el poblado de Basuchil, de donde toma su nombre, continuando hasta unirse al río Papigochic, tras un recorrido aproximado de 65 km.

El río Papigochic nace casi a 3 km al noroeste de la hacienda Ocochic (fuera del área de interés), desciende hasta una altitud aproximada de 2,080 msnm, donde recibe por su margen izquierda al arroyo el Terrero (su principal afluente), que nace al noroeste del poblado de San Juanito, cerca de un sitio conocido como Cueva del Toro, en el municipio de Bacoyna. Su recorrido es de 390 km. Constituye el origen del río Yaqui, colector general de esta región hidrológica.

Al continuar su curso el río Papigochic llega a la presa Abraham González (a una elevación de 2,060 msnm), a 1.8 km aguas arriba del poblado de Guadalupe. Después de este sitio fluye por zonas más planas hacia las inmediaciones de Cd. Guerrero Chih., y aguas abajo, aproximadamente a 10.5 km al noroeste de esta población recibe por su margen derecha al río Basuchil, a una elevación aproximada de 1,980 msnm.

## **4. GEOLOGÍA**

### **4.1. Estratigrafía**

#### **Cretácico**

#### **Cretácico Inferior**

Está formada por una secuencia sedimentaria de plataforma conformada de calizas fosilíferas; su textura es variable, su estructura es masiva y sus coloraciones son de crema a gris oscuro (Figura 1).

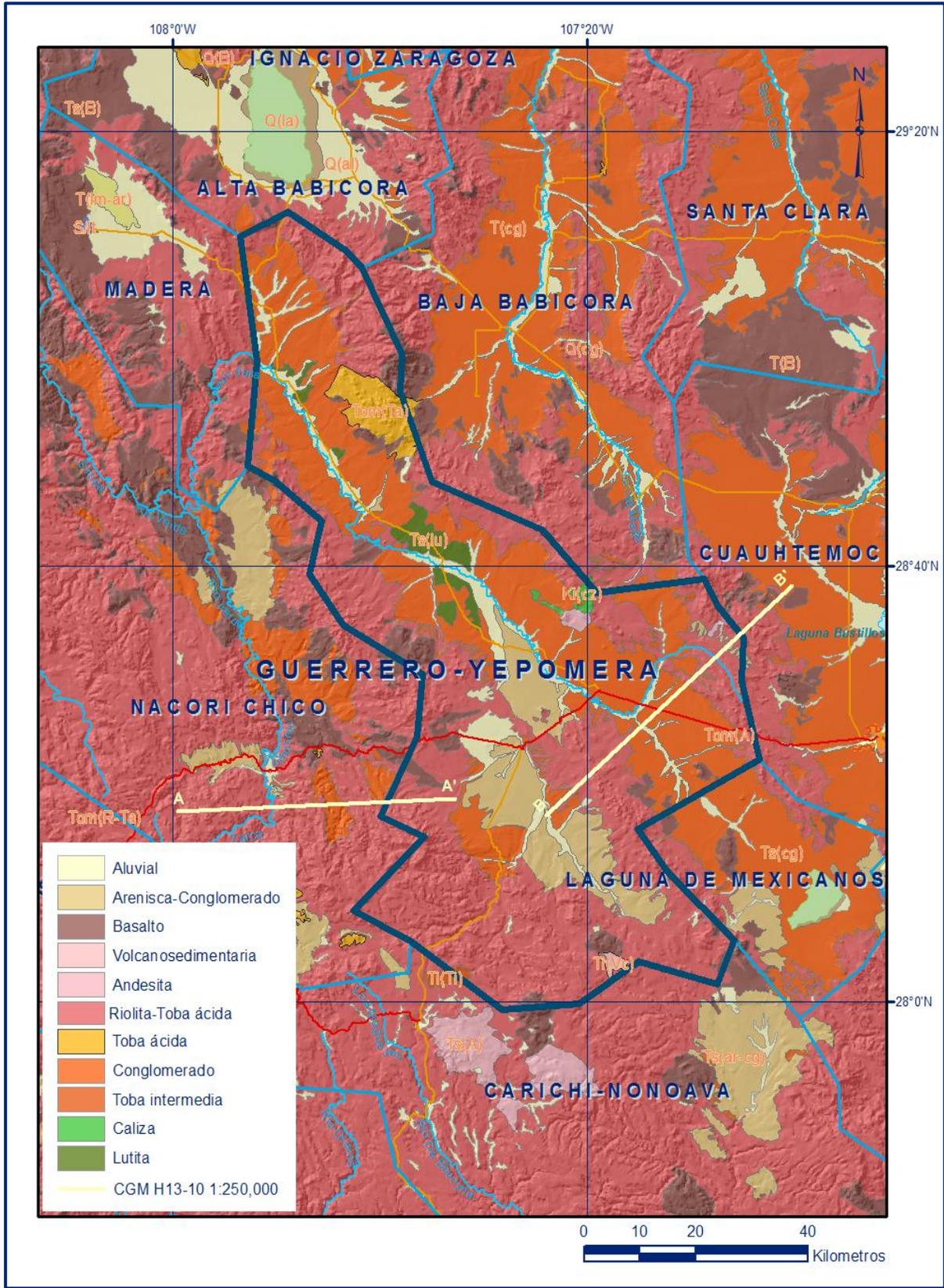


Figura 2. Geología general del acuífero

Está constituida por estratos gruesos a masivos, en función de su contenido faunístico se asocia al cretácico inferior, y afloran en las siguientes localidades: En el área del poblado de Calera los estratos oscilan de 30 a 120 cm y también son masivos, el fracturamiento existente es escaso; estas calizas se encuentran mineralizadas de sulfuros de cobre y plomo, además se detectaron minerales de galena, estibinita, piritita, calcopiritita, azurita y malaquita. Asimismo, se observan huellas de oleaje; los fósiles detectados son fragmentos de pelecípodos, siendo los más comunes los de *Toucasia* sp.

Su posición estructural no está definida en campo, debido a la reducida extensión del afloramiento, en lo concerniente a su fracturamiento es moderado y el intemperismo es somero. Geohidrológicamente estas rocas presentan perspectivas bajas de almacenar y permitir la circulación del agua subterránea debido a que se encuentran altamente recristalizadas en el área mineralizada.

Las calizas que se sitúan en las cercanías de la población de San José de Nava, están conformando lomeríos de algunos metros de altura; se observan claras estructuras masivas, litológicamente.

### **Cretácico Superior**

Este afloramiento se sitúa exclusivamente en el poblado del Pinito; constituye pequeñas capas de lutita laminar de mas o menos 2 cm, caracterizadas por ser fósiles, su fracturamiento es intenso con un intemperismo profundo, su color es amarillo ocre que intemperiza a verde olivo, esta unidad se estratifica rítmicamente con arenisca de 3 cm en promedio, su color es crema, su fracturamiento es moderado e intemperismo profundo, no se detecta en ella fósiles visibles y estratigráficamente descansan concordantemente sobre las calizas cretácicas, por dicha posición se les asigna una edad del cretácico superior. Geohidrológicamente, por su constitución arcillosa actúan como una unidad impermeable y por sus espesores reducidos no presentan interés geohidrológico.

### **Terciario**

#### **Terciario Inferior**

Se localizan al norte de Basuchil y al sureste de Calera; están formando unas pequeñas montañas dómicas y lomeríos constituidos por derrames masivos de algunas decenas de metros de potencia; su textura es afanítica y se alcanzan a observar vagamente plagioclasas sódicas y feldespatos potásicos.

Presenta fracturamiento escaso e intemperismo somero; su color es gris oscuro y morado; estructuralmente es posible que constituyan volcanes dómicos de pequeña magnitud; estratigráficamente se deduce que descansan discordantemente sobre la secuencia sedimentaria cretácica, y subyace concordantemente a la secuencia volcánica ácida del Terciario Superior.

Geohidrológicamente no representan importancia ya que son impermeables, es posible que si se localizan en el subsuelo del valle, pudieran actuar como basamento impermeable favorable para la formación de buenos acuíferos, ya que la unidad volcánica ácida del Terciario en su gran mayoría es permeable.

### **Terciario Medio**

Esta unidad volcánica se localiza en las principales zonas montañosas de la región y en cerros aislados principalmente, la constituyen una gran diversidad de tobas de las que se destacan las ignimbritas, tobas pumíticas, arenosas y vítreas, asimismo presentan intercalaciones de derrames.

Estas unidades son de composición riolítica, dacítica y traquiandesítica, destacando por su abundancia las más ácidas.

Las ignimbritas y las tobas vítreas generalmente son riolíticas y riodacíticas, sus minerales observables son el cuarzo y el feldespato potásico; su textura es del tipo eutaxítico, caracterizado por los fragmentos de roca aplastados y embebidos en una matriz arenosa-afanítica en ocasiones vítrea; su modo de ocurrencia es en pseudoestratos de algunas decenas de metros de potencia, caracterizados por su fracturas de enfriamiento perpendicular a la pseudoestratificación, debido a su fracturamiento funcionan como rocas de permeabilidad secundaria.

Las rocas pumíticas y arenosas, se distinguen por su composición dacítica y riodacítica, así como su textura arenosa, se observan fragmentos de pómez y ocasionalmente feldespatos, aunque son rocas aparentemente bien litificadas se caracterizan por ser bofas y blandas, presentan pseudoestratificación y estructuras masivas, su fracturamiento es de moderado a intenso e intemperismo somero, cabe mencionar que en ejemplares en mano son deleznable y dan la apariencia de ser areniscas.

Geohidrológicamente funcionan como rocas permeables debido a su fracturamiento y porosidad.

Los derrames son de variadas composiciones de las que destacan la riolítica, riodacítica y traquiandesítica, se distinguen por sus estructuras fluviales y texturas que varían de afanítica a porfídica en menor porcentaje, en función de su escaso fracturamiento de modo de ocurrencia, funcionan casi siempre como rocas impermeables.

Tectónicamente las unidades antes mencionadas han sido afectadas por fallas regionales con orientación preferencial NNW-SSE, las que han generado la formación de posibles grabens como es el caso de la región que ocupan los valles de esta región. Esta unidad volcánica ácida, geohidrológicamente cuando se sitúa en las zonas montañosas funcionan como zona de recarga y alimenta primordialmente de agua subterránea a las sedimentarias continentales y a la propia toba ácida que se sitúa en el valle.

### **Pliocuaternalio**

#### **Pliocuaternalio (basalto)**

Esta unidad la constituyen dos eventos diferentes: el primero se localiza en la porción norte del área conformada por una serie de aparatos volcánicos monogenéticos correlacionables al pliocuaternalio, caracterizados por presentar coladas masivas de basalto y en sus porciones bajas se hallan en forma de lajas de escasos centímetros.

Su estructura es afanítica con minerales observables de olivino; su fracturamiento es escaso y el intemperismo es somero; geohidrológicamente los aparatos volcánicos funcionan como unidad impermeable y en ocasiones por fracturamiento permite la circulación del agua; estratigráficamente descansan sobre la unidad volcánica ácida.

El otro evento se sitúa en el occidente del área de estudio, de Cd. Guerrero a Tomochic, distinguiéndose por formar una serie de mesetas de algunas decenas de metros de potencia, conformadas por basaltos en bloques, presenta fracturamiento de moderado a intenso, su estructura es afanítica vesicular con minerales observables de olivino; estratigráficamente descansan discordantemente sobre las partes topográficamente altas de las montañas piroclásticas ácidas, por lo que se asocian a un vulcanismo Cuaternario; su comportamiento hidrogeológico es de transmitir agua hacia las tobas.

En el flanco occidental del río Papigochic desde el poblado de Santo Tomás hasta Yepomera; la constituye una secuencia intercalada de toba de ceniza y arena depositada en medio acuoso, posiblemente se acumularon en pequeñas lagunas.

Dentro de este paquete también existe suelo y material limo-arenoso. Las tobas de ceniza y de arena están conformadas por una granulometría bien clasificada, principalmente de colores claros, se encuentran bien compactadas y mal cementadas fácilmente son bien removibles, presentan pseudoestratificación en capas de algunos centímetros de potencia, dispuestas en estratos horizontales sin plegamiento ni deformación por lo que se deduce que no han sido perturbados por fenómenos tectónicos. Por la asociación con los paleosuelos y depósitos limo-arenosos se interpreta que fueron depositados en medios acuosos. Los suelos y depósitos limo-arenosos se encuentran interdigitados con las tobas híbridas antes mencionadas, su origen se fundamenta a que en los lapsos de quietud volcánica.

Cuando no hubo depositación de las tobas en las zonas lagunares, se acumularon los paquetes de suelos y depósitos limo-arenosos, posteriormente la actividad volcánica persiste y se depositan sobre estos suelos las tobas y así sucesivamente; los suelos son arcillosos de capas de aproximadamente 30 cm de potencia y ocasionalmente mayores, mientras que los depósitos limo-arenosos son de más o menos de 5 o 10 cm de espesor; éstas unidades actúan como unidad impermeable por su alto grado de arcillosidad y todo el paquete de tobas, suelos y depósitos limo-arenosos, no son favorables para el almacenamiento de agua subterránea, ya que contiene toda la unidad a nivel promedio, baja permeabilidad.

Se supone que el espesor del material híbrido es de algunas decenas de metros de potencia. Estratigráficamente sobreyacen a conglomerados terciarios y a tobas ácidas, indistintamente.

### **Pliocuaternario (conglomerado)**

Se localizan al noroccidente del área de interés y al noreste de Cd. Guerrero; ambos afloramientos se sitúan al pie de las montañas. Están conformadas por fragmentos de diferentes rocas volcánicas ácidas, generalmente redondeados, sus tamaños oscilan de gravas mal clasificadas a bloques, empaquetados en una matriz areno-arcillosa; cabe mencionar que en los depósitos más cercanos a la montaña predominan fragmentos angulosos y de mayor tamaño, se caracterizan por presentar mala consolidación, baja compactación e intemperismo somero.

Estratigráficamente sobreyacen a tobas ácidas; geohidrológicamente presentan alta permeabilidad, por su posición topográfica y estratigráfica funcionan como rocas transmisoras y en ocasiones son susceptibles de almacenar agua subterránea.

### **Pliocuaternario (arenisca-conglomerado)**

Esta unidad sedimentaria se sitúa a lo largo de las zonas contiguas al río Papigochic.

La constituyen fragmentos de rocas volcánicas ácidas, conformadas en su mayoría por gravas y guijarros, se distinguen por su buena redondez, a medida de acercarse al río los fragmentos se transforman a depósitos arenosos; su matriz a nivel general es arenosa, presentan mala compactación, baja cementación e intemperismo somero.

Los espesores son de varias decenas de metros, estratigráficamente sobreyacen a tobas ácidas y por esta posición se les asigna una edad del Pliocuaternario y a medida que se acercan a la superficie pertenecen al Cuaternario; geohidrológicamente, en función de su alta permeabilidad, espesores existentes, buena transmisividad y posición topográfica, son capaces de almacenar cantidades significativas de agua subterránea factibles de ser explotadas mediante pozos.

### **Cuaternario.**

#### **Cuaternario (aluvial)**

Están localizadas en las pequeñas terrazas de acumulación del Papigochic. Se caracterizan por su extensión limitada, la conforman sedimentos retrabajados por las corrientes fluviales, generalmente son arenosas con bajo contenido de depósitos arcillosos y material gravoso, presentan espesores reducidos y baja compactación. Estratigráficamente sobreyace a los depósitos areno-gravosos, a las tobas ácidas y a las tobas híbridas indistintamente; geohidrológicamente debido a sus pobres espesores funcionan como una unidad transmisora, capaz de ser explotada por medio de norias.

#### **Cuaternario (lacustre)**

Esta unidad de suelos se encuentra muy restringida, exclusivamente en el área de Tacuba, se localiza un pequeño afloramiento de suelo arcilloso impermeable de poco espesor, y fuera del área de la cuenca de estudio se sitúan depósitos limo-arcillosos asociables a suelos lacustres.

## **4.2. Geología del subsuelo**

En el año de 1984, la S.A.R.H. llevó a cabo un estudio geohidrológico en la zona de Guerrero-Yepomera, a través de la compañía Consultores S. A.

Como parte de este estudio, se realizaron 20 sondeos eléctricos verticales. Para señalar las conclusiones conviene dividir la zona en cuatro áreas.

## **Área 1**

Ubicada al noreste, inicia en el poblado de Yepomera y finaliza en las cercanías de la ranchería de Vallecillos, su extensión es de aproximadamente 8km de longitud. Esta sección presenta una orientación al NE.

Unidad A.

Presenta resistividades entre 15 y 90 ohms-m; corresponden a la cobertura superficial de materiales areno-arcillosos con permeabilidad media. Geohidrológicamente actúa como unidad transmisora, su espesor medio es del orden de 5 m.

Unidad B.

Presenta resistividades entre 10 y 12 ohms-m; se asocia a un suelo limo-arcilloso de poco más o menos 25 m de espesor; su permeabilidad es baja y es posible que se asocie a la toba híbrida.

Unidad C.

Presenta resistividades entre 15 y 10 ohms-m; se correlacionan con el depósito de la toba híbrida de 40 hasta 100 m de espesor; debido a sus componentes litológicos que lo conforman funciona como unidad impermeable, sin embargo, los estratos arenosos permiten la circulación y almacenamiento de agua en pequeñas cantidades.

Unidad D.

Presenta resistividades entre 105 y 300 ohms-m; se asocian con la unidad volcánica ácida, conformada por las diferentes tobas y posiblemente presenta intercalaciones de rocas impermeables con las que se atribuyen los altos resistivos que presentan, así como a las que no están saturadas, en cambio las menores se asocian a las que están saturadas.

Unidad E. Presenta resistividad de 10 ohms-m; pueden corresponder a espesores mayores de 100m de toba ácida arcillosa de baja permeabilidad.

## **Área 2**

Se sitúa en la región de San Isidro de Lomas, perpendicular al Papigochic, con una orientación preferencial NE-SW, su extensión aproximada es de 14 km.

Unidad A. Sus resistividades oscilan entre 40 y 135 ohms-m; corresponden a la cobertura superficial, constituida por un depósito de aproximadamente 10 m de un material areno-gravoso, geohidrológicamente actúa como unidad transmisora.

Unidad C. Sus resistividades oscilan entre 20 y 30 ohms-m; se asocian a un depósito de aproximadamente 180 m de espesor, por sus bajas resistividades y por la columna estratigráfica preestablecida se correlacionan a la toba híbrida o a la toba ácida arcillosa; geohidrológicamente funciona como unidad impermeable.

Unidad D. Sus resistividades oscilan entre 135 y 300 ohms-m; se correlacionan con la unidad volcánica ácida, probablemente saturada.

Unidad E. Sus resistividades oscilan entre 15 y 80 ohms-m; debido a las resistividades muy bajas se asocian a tobas arcillosas impermeables; su espesor es de más de 100 m de potencia.

Unidad F. Sus resistividades oscilan entre 20 y 130 ohms-m; se correlaciona con un depósito areno-gravoso de aproximadamente 30 m de espesor. Geohidrológicamente funciona como roca transmisora.

### **Área 3**

Está localizada en la porción central, en las cercanías del poblado de San José de Nava. Dicha sección presenta una orientación hacia el SSE con una longitud aproximada de 6 km.

Unidad A. Presenta resistividades entre 10 y 30 ohms-m; corresponden a la cobertura superficial de materiales areno-arcillosos; su espesor varía de 5 a 20 m; debido a su contenido arcilloso, presenta permeabilidad media y funciona como transmisora del agua hacia el acuífero.

Unidad C. Presenta resistividades entre 25 y 65 ohms-m; su espesor es variable y oscila de 15 hasta 110 m, se correlaciona con el depósito de toba híbrida, en función de sus componentes litológicos actúa como unidad impermeable, sin embargo, los estratos arenosos presentan permeabilidad media y es susceptible de almacenar agua.

Unidad E'. Presenta resistividades de 80 ohms-m; se asocian a tobas ácidas con alta permeabilidad.

Unidad G. Presenta resistividades entre 250 y 300 ohms-m; se correlacionan con calizas masivas impermeables, se ubica su fase desde los 35 a los 150 m, su espesor no está definido.

Unidad G'. Presenta resistividades entre 15 y 35 ohms-m; se asocian con calizas karstificadas posiblemente saturadas.

#### **Area 4**

Se encuentra al sur, en las inmediaciones del poblado de Tacuba, tiene una extensión aproximada de 10 km, con una dirección preferencial de NNE-SSW.

Unidad A.

Su resistividad oscila entre 25 y 100 ohms-m; se correlaciona con la cobertura superficial, formadas por suelos areno-gravosos de 5 a 15 m de espesor, geohidrológicamente actúa como transmisora del agua.

Unidad E.

Su resistividad oscila entre 10 y 35 ohms-m; sus espesores son indefinidos, sin embargo, se interpreta como mayor a 100 m, esta unidad se correlaciona a tobas ácidas impermeables.

Unidad D.

Su resistividad oscila entre 60 y 200 ohms-m; se asocia con la unidad volcánica ácida, conformada por las diferentes tobas y posiblemente por derrames.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1. Tipo de acuífero**

En algunos sitios la presencia de derrames de formaciones impermeables da muestra de que el acuífero está **semiconfinado**.

Al acuífero en explotación lo forman la secuencia de tobas ácidas constituidas por ignimbritas, tobas pumíticas, arenosas y vítreas, cuando presentan intercalaciones de derrames de composición riolítica dacítica y traquiandesítica, disminuye su permeabilidad y capacidad de almacenamiento.

Por otra parte en Cd. Guerrero, los conglomerados del Pliocuaternario cuando se encuentran por debajo del nivel de saturación, forman parte también del acuífero, y cuando se encuentran por encima de él, funcionan como transmisores del agua hacia el acuífero. Así mismo, los depósitos aluviales presentan funcionamiento semejante.

## **5.2. Parámetros hidráulicos.**

Las pruebas de bombeo permiten determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero: transmisividad, coeficiente de almacenamiento, gasto específico, etc.

En el año de 1984, Consultores S. A. realizó 20 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento, como de recuperación. En 18 pruebas la variación del nivel del agua se ajustó al de un sistema de flujo de un acuífero confinado. En las 2 restantes, la variación se ajustó al de un acuífero semiconfinado.

Las transmisividades en la porción sureste, donde se realizó el mayor número de pruebas, presentan variaciones especiales y están comprendidas en su valor medio en el rango de 0.58 a  $11.3 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s para caudales específicos entre 0.88 y 9.47 lps/m, predominando los valores bajos. La transmisividad más baja correspondió al pozo No. 104, ubicado en la mesa Miñaca.

Otros pozos que también presentaron alto caudal específico, fueron el 23 con 10.8 lps/m y la transmisividad de 7.3 m<sup>2</sup>/s y se localiza entre Ignacio Zaragoza y Pedregoso, así como el No. 76 que presenta un caudal específico de 7 lps/m.

Aunque las transmisividades más elevadas, se presentan en pozos con profundidades semejantes que presentan bajas transmisividades, se puede decir que esta no es definitiva con el valor de este parámetro en la zona, sino que también influyen la variación en los contenidos de finos que constituyen al acuífero.

La interpretación de la prueba efectuada en el aprovechamiento No. 95, ubicado en el área localizada en la margen izquierda del Papigochic, en su tramo comprendido entre el Terrero y la presa Abraham González, arrojó un valor muy bajo de transmisividad de  $8 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s, que refleja la baja permeabilidad de los materiales que constituyen esta porción del acuífero.

En la prueba realizada en el pozo No. 272, ubicado en la margen izquierda del Papigochic, cerca del Ratón, también presentó baja transmisividad.

Finalmente, las realizadas en los pozos 240 y 242, ubicados en la margen derecha del Papigochic, también arrojan baja transmisividad del acuífero.

## **5.3 Comportamiento hidráulico.**

La siguiente información corresponde a diciembre de 1983.

### **5.3.1 Profundidad del nivel estático.**

La profundidad del nivel estático en 1983, en la porción sureste del área, variaba entre 5 y 90 m con la siguiente distribución.

Entre Guerrero e Ignacio Zaragoza, la profundidad del nivel en la proximidad del Basuchil se incrementa de 20 a 90 m, cerca de la Pinería en la margen derecha del río y a 70 m al suroeste de Agua Caliente próximos a la sierra.

En la margen izquierda también se incrementan hacia las sierras hasta 80 m cerca del Pedregoso, así como en la Mesa Miñaca comprendida entre la presa Abraham González, la margen derecha del Papigochic y la izquierda del Basuchil hasta su confluencia con el río anterior. La profundidad máxima se alcanza en el aprovechamiento No. 104, y de este nuevamente disminuye hacia el vaso de la presa y hacia el Papigochic, cerca del cual se define la curva de 20.

De Ignacio Zaragoza a San Rafael de la laguna, la profundidad del nivel en el dentro del valle es de 60 m, y también se incrementa hacia ambos bordes del mismo, hasta profundidades de 80 m. Al sur de la presa Abraham González la profundidad varía 50 m entre Guerrero y Pahuirachic a 80 m entre San Luis y el aprovechamiento No. 95.

Entre Guerrero y Carcichic en la margen derecha del Papigochic se definen profundidades de 5 m en su vecindad hasta 85 m cerca de los Rascón, en tanto que en la margen izquierda las profundidades varían también de 5 m cerca del río a 60 m cerca de generala los Estrada.

En la porción noroeste entre Matachic y el Progreso, se presentan profundidades de 10 m cerca del río a 20 m cerca del aprovechamiento 265 y 55 m en el aprovechamiento 239.

Finalmente cerca de la concha los niveles se presentan entre 20 y 80.

En general se observa que la posición de los niveles en la circulación regional del agua varía con la topografía del terreno, presentándose las profundidades menores en las porciones bajas del área por donde escurren al Basuchil y Papigochic y las más profundas hacia las partes altas del valle.

### **5.3.2 Elevación del nivel estático.**

La mayor elevación se presenta hacia las partes topográficamente más altas, bordes de la sierra y zona situada al sur de la presa Abraham González, en esta área las elevaciones varían de 2,070 msnm entre bajío de Aguilar y el aprovechamiento No. 97 a 2,210 msnm entre el aprovechamiento No. 268 y la Tinaja.

En la porción suroeste del área cerca de Pedernales se define la posición mas alta del nivel estático, 2240 msnm, a partir del cual hacia el centro y noroeste del valle disminuye, cerca de San Rafael de la lagunas se define la curva de igual elevación de 2100 msnm. De acuerdo con la configuración realizada para el área de laguna de Mexicanos en el estudio realizado en 1982, entre San Rafael de la laguna y Bajo de Arriba, se define un parteaguas natural que divide al flujo subterráneo que se genera en las sierras de San José y Ceballos, que limitan al valle al sur y al norte.

De ranchos de Santiago hacia el noroeste en ambos márgenes del río, las elevaciones del nivel disminuyen de la curva 2,080 msnm a 1,980 msnm cerca de rancho Colorado.

En la porción noroeste del área se definen las curvas 1,910 msnm entre Matachic y San Antonio y la de 1,960 msnm cerca de la Concha.

La disposición de las curvas, indica que la recarga principal del acuífero se genera en las sierras que circundan al valle, y que el Papigochic funciona como dren del acuífero.

En la mesa Miñaca en la vecindad de la presa Abraham González, la disposición de las curvas sugiere que lateralmente el vaso de la presa cede agua al acuífero o bien recibe de este descarga, cuando el nivel del agua en la presa desciende por debajo de la elevación 2,030 msnm.

### **5.3.3 Evolución del nivel estático**

Solo se cuenta con información de noviembre de 1983 y mayo de 1984, tiempo durante el cual los aprovechamientos tienen mínima operación, como consecuencia las evoluciones del nivel fueron mínimas y muy locales, presentando abatimientos hasta de 1 m. Esta evolución se atribuye al drenado natural del acuífero. Cabe hacer la aclaración de que a fines de mayo en que empezaron a operar algunos de los aprovechamientos, en pozos sin operar se registraron abatimientos fuertes, que reflejan el bajo coeficiente de almacenamiento del acuífero.

#### **5.4. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.**

Cuando la empresa Consultores S. A. llevó a cabo su estudio (1984), se recolectaron muestras de agua de pozos y norias. Con el resultado de los análisis de más muestras, se pudo caracterizar el agua subterránea.

##### **Sólidos totales disueltos.**

La concentración se incrementa de la periferia del valle hacia el centro del mismo. Entre San Rafael de la Laguna y Guerrero las concentraciones de STD varían de 200 a 250 ppm en los flancos de las sierras, y es del orden de las 300 ppm en la proximidad del río Basuchil.

La reducida variación en el incremento de la concentración refleja que no existen variaciones en la litología del acuífero en esta porción. Solo se da una excepción en la zona comprendida entre Pascual Orozco y los Pinitos, en donde se observa una anomalía en las que las concentraciones se incrementan de las 250 ppm cerca de la sierra a 680 ppm en los Pinitos y a 400 ppm en el aprovechamiento No. 173, lo que se puede atribuir al contacto que tiene el agua con sedimentos calcáreos de las calizas mineralizadas que afloran alrededor del Pinito.

En la mesa localizada en la margen izquierda del Papigochic, comprendida entre el Terrero y la presa Abraham González, las concentraciones de STD varían de 150 ppm del área próxima a la sierra a 200 ppm cerca de Tacuba y Bajío Aguilar, en la margen derecha se carece de información entre el Terrero y la cola del vaso de la presa, pero a partir de este se observa un incremento en la concentración de STD de 200 ppm en las proximidades del vaso, a 300 ppm cerca de la margen izquierda del Basuchil.

Entre Guerrero y Carichic las concentraciones de STD varían en ambas márgenes del Papigochic, de 300 ppm de la proximidad de la sierra a 400 ppm cerca del río, lo que se atribuye a que en el área puede existir una mayor proporción de finos en los materiales granulares y/o relativa menor permeabilidad de las tobas que lo constituyen.

Finalmente en la porción norte de la zona, entre Matachic y Yepomera se observa que las concentraciones de STD también aumenta de la proximidad de la sierra (300 ppm) a la vecindad del río (400 ppm), definiéndose una anomalía alrededor del aprovechamiento No. 251, donde la concentración alcanza las 600 ppm, lo que se puede atribuir a cambio en la permeabilidad o bien a efectos de evaporaciones.

## **Calcio**

Se observa que las concentraciones de este catión ocurren en los flancos de las sierras que limitan la porción acuífera, hacia los ríos Basuchil y Papigochic. Al oriente de la presa Abraham González las concentraciones varían de 5 ppm en la parte más alta de la mesa, a 10 ppm en la proximidad del río. En la margen izquierda del Basuchil, entre Guerrero y la Laguna de San Rafael, las concentraciones varían de 10 ppm en la proximidad de la sierra a 20 ppm en las cercanías del río; en la margen izquierda se presenta concentraciones de 20 ppm en la parte alta a 30 ppm en la proximidad del río, definiéndose una anomalía alrededor del aprovechamiento No. 152, en donde se alcanzan concentraciones de 10 ppm, que conforme a lo mencionado para STD, se debe a que el agua en esta zona tiene contacto con rocas calcáreas que afloran alrededor del poblado de el Pinito.

En la margen derecha del Papigochic entre Guerrero y Tejolocachic, las concentraciones se incrementan a 15 ppm cerca de la sierra a 30 ppm cerca del río, definiéndose una anomalía alrededor del aprovechamiento No. 235, en donde se tienen 60 ppm, lo cual probablemente se deba a efecto de evaporación por la presencia de niveles someros.

En la margen izquierda se observa una dirección al incremento de la concentración de calcio, del área ubicada al poniente de la presa Abraham González, donde se tienen concentraciones de 5 ppm hacia el noroeste hasta alrededor de generala los Estrada, donde se tienen concentraciones de 40 ppm, a la vez, de este poblado las concentraciones disminuyen hacia el río a 35 ppm, lo cual se puede deber a intercambios catiónicos del calcio contenido en el agua, con el sodio contenido en los materiales que constituyen el acuífero.

En la porción noroeste, en la margen derecha del Papigochic comprendida entre Tejolocachic y Yepomera las concentraciones de calcio se incrementan de 20 ppm a 30 ppm, presentándose una anomalía alrededor de los aprovechamientos 187 y 252, en donde se tienen concentraciones de 40 ppm, que nos indica probable evaporación o variación en la permeabilidad.

## **Sodio**

Se observa que las direcciones de incremento en la concentración del sodio, son las mismas que para el caso de STD y calcio.

En la margen izquierda del Basuchil, en el tramo comprendido entre la laguna de San Rafael y el poblado de Guerrero, las concentraciones se incrementan de 30 ppm cerca de la sierra a 40 ppm en la proximidad del río.

En su margen derecha ocurre que las concentraciones disminuyen de 50 ppm cerca de la sierra a 40 ppm cerca del río, esto se atribuye a efectos de intercambio catiónico.

En la margen derecha del Papigochic, al sur de la presa Abraham González, los contenidos varían de 40 a 50 ppm; hacia el norte, entre Guerrero y Carichic las concentraciones varían de 15 ppm en la sierra a 40 ppm en la proximidad del río.

Por otra parte, en la margen derecha del mismo tramo, se presentan concentraciones de 40 ppm, y una anomalía alrededor de Santo Tomás, con valor de 100 ppm, la que se atribuye a cambios en la permeabilidad como consecuencia de una mayor proporción en los finos que constituyen al aluvión o bien a efectos de evaporación.

Entre Matachic y Yepomera, las concentraciones se incrementan de 40 ppm en la proximidad de la sierra a 50 ppm en la proximidad del río.

Alrededor del pozo No. 252 se presenta la anomalía observada en STD y calcio, en una concentración de 120 ppm, la que se atribuye a cambios de permeabilidad y/o efectos de evaporación.

## **Magnesio**

La concentración del magnesio es baja.

Al suroeste entre Guerrero y la laguna de San Rafael, las concentraciones varían de 1 ppm cerca de San José de Baqueachic hasta 10 ppm entre Ignacio Zaragoza y Juárez de Guerrero, en tanto en la porción suroriental va de 3 a 10 ppm en el área antes mencionada, entre Guerrero y la Junta las concentraciones varían en la margen derecha del Basuchil de 3 a 8 ppm, y de la presa Abraham González de 1 ppm a los 8 ppm cerca del Basuchil.

Alrededor del aprovechamiento No. 152 se presenta la anomalía antes citada, presentando concentraciones de 15 ppm que se atribuye a que el área estuvo sujeta a la evaporación, coincidiendo con las rocas calcáreas que afloran hacia el sitio.

En la margen izquierda del río, en el tramo comprendido entre el Terrero y la presa Abraham González, la concentración varía de 1 ppm en Tacuba a 6 ppm en el aprovechamiento No. 97 y el 218 en general a los Estrada, y de este último lugar disminuye hacia el Papigochic, cerca de San Ignacio a 1 ppm.

Lo anterior indica el contacto del agua con los basaltos que afloran al poniente de general a los Estrada, y que después por intercambio catiónico disminuye su concentración.

En la margen izquierda las concentraciones disminuyen de 3 ppm cerca de la sierra a 1 ppm en la vecindad del río, lo que se debe al citado fenómeno de intercambio catiónico.

Continuando hacia el norte, entre los Rascón y Tejolocachic se presentan concentraciones de 15 ppm.

Lo que se atribuye a la proporción significativa de estratos derivados de las rocas sedimentarias calcáreas que afloran al sur de San José de Nava, en la composición de las areniscas y conglomerados que constituyen al acuífero en esta porción del valle.

Finalmente, en la porción noroeste entre Yepomera y Tomosachic, las concentraciones varían de 10 ppm cerca de las sierras y de 5 ppm en la proximidad del río, comportamiento que se atribuye al intercambio catiónico, sin que se aprecian fenómenos de evaporación, como ocurre con los cationes antes estudiados. Estos cambios se deben a variación de la permeabilidad.

### **Bicarbonato.**

Se observan las mismas direcciones de incremento señaladas en los casos anteriores, es decir de la periferia del valle o mesetas, hacia su porción central y del sureste del área hacia el noroeste de la misma.

En el tramo del Basuchil comprendido entre Guerrero y la laguna de San Rafael, en su margen izquierda las concentraciones varían de 130 ppm cerca de la sierra a 200 ppm, y en su margen derecha de 140 ppm a 200 ppm en la porción central.

Entre la Junta y Guerrero en la porción central, las concentraciones solo alcanzan el valor de 170 ppm y en la margen derecha del Basuchil.

En el área comprendida entre el Juaguey y la Pinería se tienen 190 ppm, coincidiendo con la anomalía ya citada anteriormente, y que se atribuye al contacto del agua con las rocas calcáreas que afloran en la proximidad, este comportamiento o fenómeno de radiación de los sulfatos con producción de iones de hidrógeno hacia el agua más ácida y disuelven el carbonato de calcio. Hacia el sur de la presa Abraham González se presentan concentraciones de 10 ppm. Del vaso de la presa hacia el Basuchil las concentraciones se incrementan de 130 a 150 ppm.

En la margen derecha del Papigochic entre general a los Estrada y Santo Tomás, las concentraciones varían de 200 ppm a 300 ppm respectivamente, en tanto que en la margen izquierda solo se define la curva de 200 ppm de concentración. En porción noroeste del área, entre Yepomera y Matachic, las concentraciones varían de 180 ppm cerca de las sierras a 200 ppm en la proximidad del río, presentándose una anomalía con valor de 250 ppm entre Temosachic, el Progreso y del Monte, lo que se atribuye a variaciones en la permeabilidad del acuífero.

### **Sulfatos**

En general se aprecian las mismas direcciones de incremento observadas en los casos anteriores, en la margen izquierda del Basuchil entre Guerrero e Ignacio Zaragoza las concentraciones varían de 10 ppm cerca de la sierra a 15 ppm en la proximidad del río y a 60 ppm cerca de ranchos de San Diego, lo que se atribuye a la presencia de una mayor proporción de finos en los sedimentos granulares que constituyen al acuífero.

En la margen derecha solo se define la curva de 20 ppm en la proximidad del río y la anomalía con 250 ppm alrededor del aprovechamiento No. 152 indicativo del contacto del agua con rocas sedimentarias afectadas por evaporación, la disminución de la concentración de este punto hacia la proximidad del río se explica como ya se mencionó en el caso de los bicarbonatos, por fenómenos de radiación de los sulfatos.

Entre la presa Abraham González y el Basuchil las concentraciones varían de 10 ppm próximo a la presa a 15 ppm en la proximidad del río.

En la margen izquierda del Papigochic comprendida entre el Terrero y la presa Abraham González se presentan concentraciones de 5ppm en bajío de Aguilar, de 50 ppm en Tacuba y de 110 ppm en el aprovechamiento No. 97, estos dos últimos se atribuyen a cambio en la permeabilidad por un mayor contenido de finos.

Entre Guerrero y Tejolocachic en la margen izquierda las concentraciones varían de 5 ppm cerca de generala los Estrada a 40 ppm en el aprovechamiento No. 225 y disminuyen por fenómenos de radiación a 10 ppm. En la proximidad del Papigochic, en la margen izquierda se tiene que las concentraciones disminuyen de 120 ppm próximo a las sierras, a 20 ppm en la cercanía del río. En la margen derecha las concentraciones varían de 70 ppm cerca de los Rascón a 20 ppm en el aprovechamiento No. 237, disminución que se atribuyen a la reducción que sufren los sulfatos en esta área.

Finalmente en la porción noroeste de la zona, entre Yepomera y Temosachic las concentraciones varían de 30 ppm en la proximidad de las sierras a 15 ppm en la proximidad del río, disminución que también se atribuye a fenómenos de radiación.

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

Para el estudio de 1984, se levantó un censo de aprovechamientos, de aquí se contabilizaron 331, de los cuales 220 estaban activos y 111 inactivos, de los activos 157 fueron pozos, 48 norias, 10 manantiales, 3 tajos y 2 galerías filtrantes.

La profundidad de los pozos era de 5 a 213 m, el caudal variaba entre 0.5 y 65 lps.

En base a información del REPDA (abril del 2000) se encontró que hay 335 aprovechamientos que extraen 53.05 hm<sup>3</sup> anuales:

Aprovechamientos inscritos en el REPDA

Usos	No. Aprov.	Volumen (m <sup>3</sup> )
Agrícola	270	47218796.42
Doméstico	9	11500.00
Industrial	5	190020.00
Múltiples	9	462771.00
Pecuario	4	7975.00
Público Urbano	38	5168095.00
Total	335	53059157.00

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

El balance de agua subterránea es un método directo de evaluación de la potencialidad de un acuífero, trabaja directamente con el acuífero, con el agua ya infiltrada y relativamente al margen de los fenómenos que ocurren en la superficie.

Se basa en el principio de conservación de la materia y tiene por objeto principal la determinación del volumen de recarga.

El balance de aguas subterráneas está basado en factores que involucran el flujo de aguas subterráneas solamente.

La ecuación general, tiene la siguiente forma

$$E_h + R_v = B + F_b + D_m + E_v + \otimes V_s$$

Donde:

$E_h$ : entradas por flujo subterránea horizontal;

$R_v$ : recarga vertical;

$B$ : extracción por bombeo;

$F_b$ : descarga del acuífero a corrientes superficiales que constituyen un flujo base;

$D_m$ : descarga por materiales conectados con el sistema regional de circulación del agua subterránea;

$E_v$ : descarga por evapotranspiración

$\otimes V_s$ : cambio de volumen en el acuífero.

La información de que se dispone en el área se concentra principalmente en su porción suroeste, sin embargo, es insuficiente para evaluar dos términos que intervendrían en la ecuación de balance de esa área, por lo que con las restricciones que se tiene se hace un balance a nivel de toda el área para tener una idea preliminar de la recarga que recibe el acuífero.

Conviene aclarar que si el balance se establece de esta forma, no deberán considerarse entradas por flujo horizontal, ya que todo el flujo se genera dentro de la propia área y no existen aportaciones de zonas vecinas, así mismo por el funcionamiento actual del acuífero la descarga horizontal es nula; y se hace la consideración de que el acuífero prácticamente se encuentra en equilibrio, y que por lo tanto no existe variación en el almacenamiento, la ecuación de balance resulta:

$$R_v = B + F_b + D_m + E_v$$

De acuerdo con los caudales y tiempo de operación de los aprovechamientos, para un año este tiene un valor del orden de **18.5 hm<sup>3</sup>**.

El flujo base del Papigochic equivalente al volumen que descarga el acuífero al río, se estima con base a los aforos realizados antes de la derivadora de Tejolocachic y en los Maulas en noviembre de 1983, en donde se obtuvieron caudales de 1.88 y 2.43 m<sup>3</sup>/s respectivamente. La diferencia de caudales dividida entre los 25.7 km de longitud que los separa arroja un caudal promedio de 0.02 m<sup>3</sup>/s/km del río, y que aplicado a la longitud en que este recibe aportaciones, da un caudal total de 1.5 m<sup>3</sup>/s y un volumen anual de **23.6 hm<sup>3</sup>/año**.

El volumen descargado por materiales que tienen conexión con el sistema regional de circulación fue de **6.4 hm<sup>3</sup>/año**.

Finalmente, las pérdidas por evapotranspiración, se estiman considerando que estas ocurren solo en las áreas próximas al Papigochic, donde el nivel freático está a poca profundidad del terreno, menor a 2 m. El área considerada bajo este supuesto fin da 69.8 km<sup>2</sup>, se adaptó un coeficiente de reducción de 0.75, representativo de condiciones medias bajo las que ocurre la evapotranspiración; y la evaporación media anual de 1863 mm, resultado de un volumen de pérdidas por evapotranspiración da **97.5 hm<sup>3</sup>/año**.

Por lo tanto, la recarga da

$$\begin{aligned} R_v &= B + F_b + D_m + E_v \\ R &= 18.5 \text{ hm}^3/\text{año} + 23.6 \text{ hm}^3/\text{año} + 6.4 \text{ hm}^3/\text{año} + 97.5 \text{ hm}^3/\text{año} \\ R &= 146 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

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

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

### **8.1 Recarga total media anual (R)**

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Guerrero - Yepomera es de **146.0 hm<sup>3</sup>/año**.

### **8.2 Descarga natural comprometida (DNC)**

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso, su valor es de **0.0**

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

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **155,363,765 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

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

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 146.0 - 0.0 - 155.363765 \\ \text{DMA} &= -9.363765 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **9,363,765 m<sup>3</sup> anuales**.

