



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO RÍO FUERTE (2501), ESTADO DE  
SINALOA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	5
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b>	<b>6</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>7</b>
3.1. Provincia fisiográfica.....	7
3.2. Clima.....	9
3.3. Hidrografía.....	10
3.4. Geomorfología.....	11
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
4.1. Estratigrafía.....	14
4.2. Geología estructural.....	19
4.3. Geología del subsuelo.....	20
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>21</b>
5.1. Tipo de acuífero.....	21
5.2. Parámetros hidráulicos.....	21
5.3. Piezometría.....	22
5.4. Comportamiento hidráulico.....	22
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	22
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	23
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	24
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	25
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>27</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>27</b>
7.1. Entradas.....	28
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	28
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	29
7.1.3. Recarga incidental(Ri).....	30
7.2. Salidas.....	30
7.2.1. Bombeo (B).....	30
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	31
7.2.3. Evapotranspiración (ETR).....	31
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	33
<b>8. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>34</b>
8.1. Recarga total media anual (R).....	35
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	35
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	35
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	36
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>37</b>

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

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

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

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

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

### **1.1. Localización**

El acuífero Río Fuerte, definido con la clave 2501 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo noroccidental del estado de Sinaloa, en el límite con los estados de Sonora y Chihuahua, entre los paralelos 25°25'49" y 28°14'44" de latitud norte y 106°20'14" y 109°24'10" de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 34,946 km<sup>2</sup>, que comprende en su mayor parte una extensa superficie de la zona serrana suroccidental del estado de Chihuahua.

Limita al norte, con los acuíferos San Bernardo y Nácori Chico, del estado de Sonora; al noreste y este Carichi-Nonoava, perteneciente al estado de Chihuahua, al sureste con los acuíferos Bocoyna y Río Culiacán, del estado de Chihuahua y Culiacán,

respectivamente; al sur con el acuífero Río Sinaloa; al oeste con Cuchujaqui y Fuerte-Mayo, del estado de Sonora y al suroeste con el acuífero El Carrizo, del estado de Sinaloa. En su extremo suroccidental, su límite natural es el Golfo de California (Figura 1).

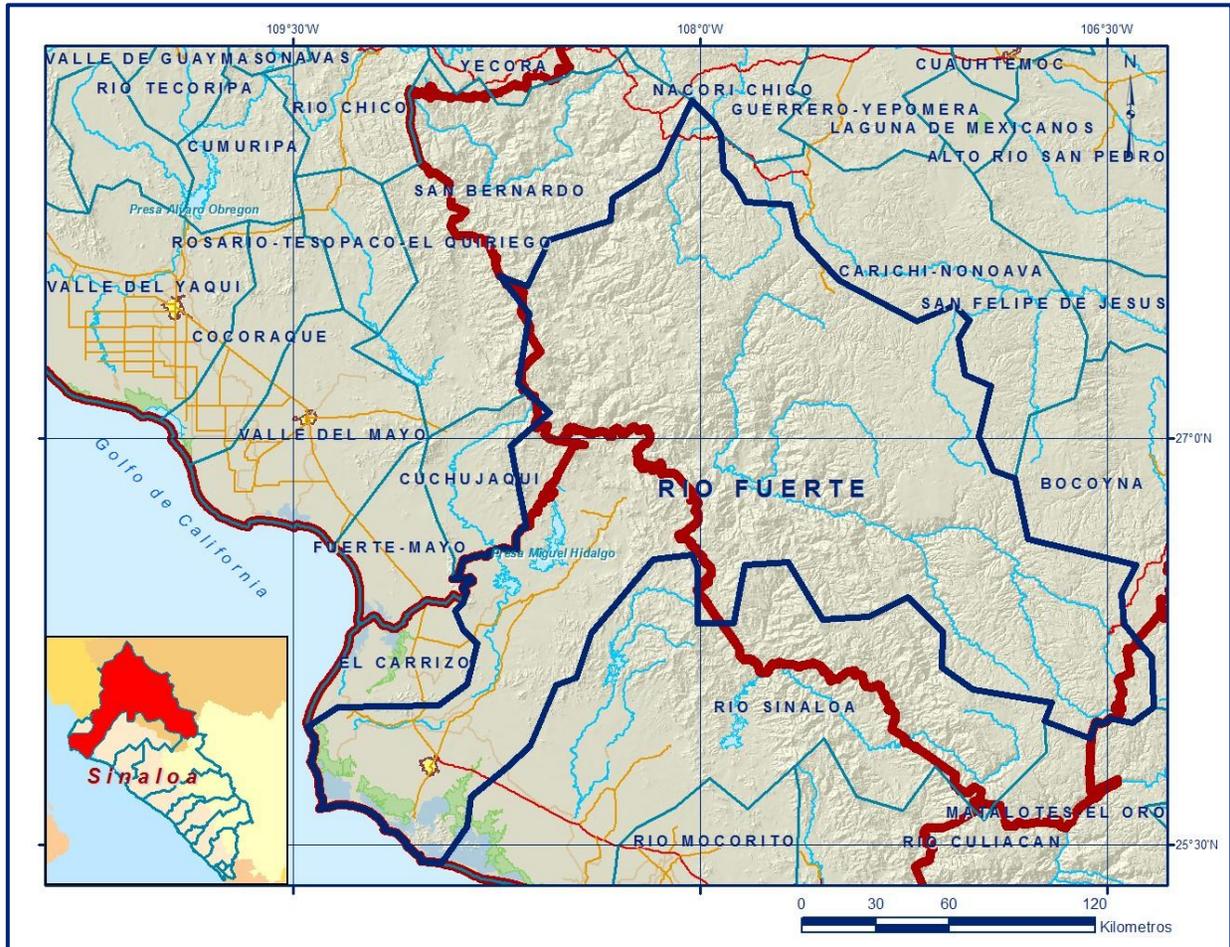


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el área que comprende el acuífero cubre parcialmente los municipios Choix, Morelos, El Fuerte, Ahome, así como pequeñas porciones de Sinaloa y Guasave, en el estado de Sinaloa. Del estado de Chihuahua abarca totalmente los municipios Guazapares, Urique y Batopilas; parcialmente los municipios Ocampo, Bocoyna, Uruachi, Maguarichi, Chínipas, Guachochi y Balleza, así como pequeñas porciones de Guadalupe y Calvo. Comprende también pequeñas áreas de los municipios Álamos, del estado de Sonora, y Guanaceví del estado de Durango.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero

ACUIFERO 2501 RIO FUERTE							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	108	41	51.9	26	58	19.2	
2	108	33	13.3	27	5	38.2	
3	108	37	56.9	27	9	51.9	
4	108	40	19.4	27	11	59.4	
5	108	37	48.1	27	27	35.7	
6	108	44	18.6	27	35	54.3	
7	108	38	10.0	27	33	44.4	
8	108	33	21.7	27	43	54.0	
9	108	19	44.2	27	48	16.2	
10	108	19	23.0	27	53	6.8	
11	108	9	7.6	27	59	38.0	
12	108	1	52.5	28	14	43.6	
13	107	56	46.2	28	9	27.5	
14	107	55	31.2	28	7	5.6	
15	107	54	47.3	27	59	25.1	
16	107	52	12.0	27	56	37.0	
17	107	49	57.4	27	52	10.9	
18	107	40	8.6	27	51	34.2	
19	107	38	29.5	27	44	50.0	
20	107	29	22.7	27	34	58.1	
21	107	12	9.9	27	25	58.6	
22	107	3	50.4	27	29	25.8	
23	107	0	29.2	27	26	0.9	
24	107	2	59.2	27	21	57.7	
25	107	1	26.8	27	14	1.5	
26	106	55	51.3	27	11	28.9	
27	106	58	27.4	27	0	24.6	
28	106	55	15.7	26	52	40.9	
29	106	50	21.4	26	51	14.0	
30	106	47	34.2	26	37	38.1	
31	106	23	37.2	26	31	58.2	
32	106	26	59.2	26	25	32.9	
33	106	26	15.4	26	18	53.5	
34	106	23	26.6	26	15	26.9	
35	106	20	13.1	26	11	26.3	
36	106	19	50.6	26	0	20.7	
37	106	24	28.1	25	56	55.5	
38	106	29	32.8	25	58	2.9	DEL 38 AL 39 POR EL LIMITE ESTATAL
39	106	33	36.8	25	53	25.2	
40	106	43	56.2	25	57	25.5	

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero (continuación)

ACUIFERO 2501 RIO FUERTE							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
41	106	42	16.8	26	1	23.6	
42	106	59	42.2	26	4	17.0	
43	107	6	34.7	26	9	12.4	
44	107	6	25.3	26	17	10.5	
45	107	14	9.4	26	24	50.0	
46	107	22	40.4	26	20	32.1	
47	107	33	3.9	26	19	54.6	
48	107	40	29.3	26	32	34.1	
49	107	50	10.6	26	32	1.2	
50	107	52	31.2	26	18	58.4	
51	108	0	34.0	26	19	7.7	
52	108	0	32.6	26	31	16.6	
53	108	1	49.0	26	34	7.8	
54	108	10	29.4	26	33	6.9	
55	108	24	0.4	26	16	51.8	
56	108	27	22.0	26	6	56.4	
57	108	31	49.0	26	5	24.9	
58	108	37	40.8	25	51	47.0	
59	108	42	40.5	25	47	13.6	DEL 59 AL 60 POR EL CAUCE DEL ARROYO GUAYPARIME
60	108	50	45.4	25	40	41.6	
61	108	51	30.0	25	34	0.0	
62	108	57	13.3	25	25	47.5	DEL 62 AL 63 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
63	109	26	38.7	25	56	5.7	
64	109	20	1.4	26	0	21.3	
65	108	57	51.7	26	0	56.4	
66	108	51	31.0	26	5	38.6	
67	108	49	11.7	26	14	30.1	
68	108	52	31.1	26	17	50.9	
69	108	54	10.3	26	21	42.4	
70	108	52	16.4	26	23	40.0	
71	108	51	35.0	26	25	56.7	DEL 71 AL 72 POR EL LIMITE ESTATAL
72	108	54	42.4	26	28	49.0	DEL 72 AL 73 POR EL LIMITE ESTATAL
73	108	38	26.2	26	40	21.0	
1	108	41	51.9	26	58	19.2	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Pacífico Norte y al Consejo de Cuenca Ríos Fuerte y Sinaloa, instalado el 10 de diciembre de 1999. Su territorio se encuentra parcialmente vedado. La porción suroccidental y la cuenca baja están sujetas a las disposiciones del “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo de la zona que el mismo delimita en el Estado de Sinaloa” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 25 de

agosto de 1956. Esta veda se clasifica como tipo III en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

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

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, vigente para el año 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. En el territorio del acuífero se localiza el Distrito de Riego 075 “Río Fuerte”. No se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). En la zona costera existen los sitios RAMSAR “Lagunas de Santa María-Topolobampo-Ohuira”, decretado el 02 de febrero de 2009, y parte del “Sistema Lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule” y del “Sistema Lagunar Agiabampo-Bacorehuis-Río Fuerte Antiguo”, ambos decretados el 02 de febrero de 2008.

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

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios geohidrológicos, de cobertura regional. Los estudios que abarcaron la mayor parte de la superficie de explotación del acuífero son los que se describe a continuación:

**EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS EN LA ZONA EL FUERTE- SINALOA. Realizado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., para la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), en 1978.** El estudio tuvo como objetivo la evaluación de los acuíferos de la zona Fuerte-Mayo; como parte de las actividades se realizaron

censos de aprovechamientos, mediciones piezométricas, se elaboraron los balances de aguas subterráneas por zonas, se determinó el modelo conceptual de flujo de los acuíferos y se analizaron datos de estudios anteriores para determinar las familias de agua.

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LOS ACUÍFEROS DE LOS RÍOS CULIACÁN, MOCORITO, SINALOA Y FUERTE, EN EL ESTADO DE SINALOA. Realizado por SPIC Servicios y Proyectos de Ingeniería Civil, S.A. de C.V. en 2010.** El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el análisis de la evolución de los niveles del agua; obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

**INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO RÍO SINALOA, SINALOA. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Pacífico Norte, 2019.** Se utilizó la información piezométrica para la elaboración de las configuraciones del nivel estático.

El último estudio y la piezometría obtenida por el Organismo de Cuenca Pacífico Norte, son la base para la elaboración del presente documento

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1. Provincia fisiográfica**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre casi la totalidad del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica “Sierra Madre Occidental”, que se caracteriza por un conjunto de sierras con orientación NW-SE y E-W, que presentan una flexión al N-S. La porción costera pertenece a la Provincia Fisiográfica “Llanura Costera de Sinaloa”.

Por otro lado, según la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental, Subprovincias Gran Meseta y Cañadas Chihuahuenses y Pie de la Sierra; y en la Provincia Llanura Costera del Pacífico, Subprovincia Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa.

La Sierra Madre Occidental (SMO) es una cadena montañosa que abarca todo el oeste mexicano y el extremo suroccidental de los Estados Unidos. En sus 1500km de longitud recorre Arizona, parte de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nayarit y Jalisco, lugar donde se une al Eje Volcánico Transversal de México. Cubre 289,000 km<sup>2</sup> y ocupa la sexta parte del territorio mexicano. Su punto más alto es el Cerro Gordo ubicado en Durango, su ancho promedio es de 150 km, con alturas de hasta 3,000 msnm. Presenta una orientación NW-SE y comprende la porción oriental del estado de Sinaloa; es una extensa meseta formada por rocas volcánicas disectada por fallas normales y grabens, cuyo borde occidental se caracteriza por presentar una terminación abrupta con fallas normales que presentan grandes desplazamientos y zonas de barrancas profundas

La Subprovincia Gran Meseta y Cañadas Chihuahuenses presenta algunos de los paisajes más espectaculares del país, como son las Barrancas del Cobre. Es una enorme meseta de rocas volcánicas entre las que dominan las ignimbritas, con fuerte disección en toda su amplitud y en la que los ríos de la vertiente occidental han labrado profundos cañones. La comparten los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa y Sonora. Su morfología es de una gran meseta con 2 200 msnm en promedio, disectada por pocos, pero profundos cañones. Sus mayores elevaciones varían de 2,700 a 3,000 msnm. La Subprovincia Pie de la Sierra se extiende como una franja angosta en el oeste de la SMO y tiene una orientación NW-SE. Se caracteriza por presentar sierras y lomeríos con litología similar a la de la subprovincia Mesetas y Cañadas del Sur, aunque mucho más heterogénea, ya que tiene unidades de granito, andesita, basalto y conglomerado; asimismo, las sierras son de altitud menor que las de dicha subprovincia, las mesetas son escasas, dominan los lomeríos bajos disectados, y los valles, algunos de ellos muy llanos; se trata de una región transicional entre la Sierra Madre Occidental y la Llanura Costera del Pacífico, pero presenta una afinidad genética y morfológica mucho mayor a la primera.

La Provincia Fisiográfica Llanura Costera de Sinaloa se caracteriza por ser una extensa llanura en forma de cuña, que comienza al sur, en Mazatlán, que se va haciendo más extensa al norte hasta alcanzar su ancho máximo en Los Mochis. Forma un plano inclinado hacia el suroeste que ocasiona que los ríos en ella tengan en su curso una dirección casi normal a la costa. Estos ríos son: Canoas, Rosario, Quelite, Piaxtla, Elota, San Lorenzo, Culiacán o Tamazula, Mocorito, Sinaloa y Fuerte. Presenta abanicos aluviales, antiguos valles fluvio-deltaicos, pequeñas colinas constituidas por rocas pre-deltaicas, deltas actuales, estuarios, complejos lagunares, cauces de ríos y arroyos, depósitos eólicos y marinos, las cuales pueden ser

clasificadas como unidades fisiográficas en cuanto al ambiente de formación como: continentales, fluviales, mixtas o de transición, eólicas y marinas.

La Subprovincia Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa se caracteriza por presentar abanicos aluviales, antiguos valles fluvio-deltaicos, pequeñas colinas constituidas por rocas pre-deltaicas, deltas actuales, estuarios, complejos lagunares, cauces de ríos y arroyos, ríos, depósitos eólicos y marinos, las cuales pueden ser clasificadas como unidades fisiográficas en cuanto al ambiente de formación como: continentales, fluviales, mixtas o de transición, eólicas y marinas.

### **3.2. Clima**

Con base en la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1981 para las condiciones particulares de la República Mexicana, se puede afirmar que los climas en la zona sur del estado de Sinaloa, están definidos por franjas paralelas a la planicie costera. Debido a la gran extensión territorial del acuífero y a la diversidad de altitudes que varía desde la zona costera hasta las mayores elevaciones de la Sierra Madre Occidental, de 3000 msnm, se presentan varios tipos de clima.

En la parte alta de la cuenca, dominan los climas Awo, que corresponden a un clima subhúmedo; (A)C(wo) semicálido subhúmedo del grupo C, con temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más cálido mayor de 22°C. Lluvias de verano con índice P/T (precipitación/temperatura) menor a 43; y el clima C(w2) templado, subhúmedo, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más cálido menor de 22°C y un índice P/T mayor de 55. Ambos climas tienen un régimen de lluvias en verano, con precipitación en el mes más seco menor de 40 mm y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. En la parte baja prevalecen los climas BSl(h')w, semiárido cálido, BSo(h')w árido, cálido, y BW(h')w, muy árido cálido; extremosos con temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C, régimen de lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

El régimen pluvial presenta en términos generales dos períodos de ocurrencia, uno de junio a septiembre que correspondiente a la temporada de verano que es cuando se registran los valores más altos y otro de lluvias invernales que abarca de octubre a enero, con precipitaciones menos significativas, provocadas principalmente por los frentes fríos que afectan la región. En cuanto a la distribución mensual de la

temperatura media, mayo es el mes más cálido, mientras que enero registra la menor temperatura media.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 10 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Los Mochis, Huites, Choix, El Cazanate, El Mahone, Tubares, Urique, Chínipas, San Blas e Higuera de Zaragoza, cuyo registro comprende el periodo 1975-2015. Con estos datos, utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación, temperatura y evaporación potencial medias anuales de **693.0 mm, 24.2°C, 2 178 mm**, respectivamente, representativos de toda la superficie del acuífero.

Sin embargo, debido a la extensión del acuífero y la gran variabilidad de condiciones climáticas que se presentan por efecto de la topografía, para fines del balance y la estimación de las variables climatológicas en la **zona de explotación** del acuífero, se obtuvieron los valores medios anuales de temperatura, precipitación de la estación Los Mochis, representativa de la porción baja de la cuenca: **24.9°C, 393.3 mm**, respectivamente.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero Río Fuerte se encuentra ubicado en su totalidad en la Región Hidrológica 10 "Sinaloa", Subregión Hidrológica Río Fuerte, cuencas Río Fuerte, Río Conchos-P. de la Colina (zona este), cuenca del Río Mayo y Estero de Bacorehuis (zona oeste); por último la región sur se localiza en las cuencas de los Río Sinaloa y Culiacán.

La hidrología de la zona está configurada principalmente por una gran cantidad de escurrimientos torrenciales provenientes de la Sierra Madre Occidental que dan origen al Río Fuerte, la principal corriente superficial de la región. Se origina en la Sierra Madre y escurre en dirección general noreste-suroeste; a la altura del poblado El Fuerte sus aguas son controladas mediante la Presa Miguel Hidalgo. Aguas abajo, estos escurrimientos son derivados a los canales del distrito de riego de la mayor parte de la llanura costera

En la superficie que cubre el acuífero se localizan las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez, Así como una red importante de canales hidroagrícolas en la zona del Distrito de Riego 075 "Río Fuerte".

### **3.4. Geomorfología**

Morfológicamente la porción noroeste y suroeste presentan zonas de bajo relieve caracterizadas por valles y pequeños lomeríos; en la región central y noreste predomina la topografía abrupta con cañones profundos y mesetas altas que alcanzan altitudes hasta de 2,500 msnm en región serrana de Chihuahua. Las topoformas de las diferentes litologías son variadas, ya que tanto las rocas intrusivas como metamórficas se identifican por constituir lomeríos de pendiente suave, producto de la intensa actividad erosiva a que han estado sujetas. Las rocas volcánicas y calcáreas conforman las mayores elevaciones y poseen un relieve escarpado y pendiente abrupta, producto de fallamientos verticales.

En la superficie que cubre el acuífero se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas: lomeríos, sierras, mesetas, abanicos aluviales, cauces fluviales, valles deltaicos, lagunas litorales, manglares, dunas y playas, relacionadas con el origen y naturaleza de las rocas y depósitos que las conforman. Las mayores elevaciones topográficas conforman las sierras y mesetas constituidas por las rocas volcánicas ácidas de la Sierra Madre Occidental y las rocas intrusivas que forman parte de Batolito de Sinaloa, de naturaleza granítica y granodiorítica.

Se observan dos rasgos geomorfológicos principales: una zona montañosa y otra de llanura costera. La zona montañosa conforma las regiones norte y oriental del acuífero que forman parte de la Sierra Madre Occidental y se caracteriza por presentar relieves accidentados, donde generalmente los valles son estrechos en forma de “v” y las corrientes tienen grandes pendientes; la región se encuentra en una etapa juvenil del ciclo geomorfológico.

En la porción suroccidental se encuentra la zona de planicie, donde el río Fuerte ha depositado materiales deltaicos, formando numerosos meandros que hacia su desembocadura han sido divagantes, dejando huellas de antiguos cauces. Estos cauces por lo general tienen la forma típica de “u” por lo que se considera a la planicie en una etapa de madurez avanzada. Hacia el este y sureste los arroyos se amplían y la zona muestra una etapa de madurez incipiente. En la zona de transición con la Sierra Madre Occidental, la planicie costera presenta una topografía de lomeríos aislados de más de 20 m de altura, que disminuyen gradualmente a 10 m en promedio, hasta volverse semiplana, en dirección a la línea de costa.

## **4. GEOLOGÍA**

El basamento de la región está constituido por una secuencia metamórfica conformada por filitas, pizarras, esquistos, cuarcitas, metaconglomerados, unidad

que se le ubica en el Paleozoico por correlación con la Formación San José de Gracia, del norte de Sinaloa, Malpica (1974), Su distribución comprende desde Aguas Blanca hasta Buchinari; en las márgenes del Río Sinaloa se encuentra cabalgando sobre rocas más jóvenes, en la localidad de Pueblo Viejo y al norte de Sarabia. La Formación Borahui, consiste de metaandesitas, metatobas y lavas almohadilladas, que Servais (1982), le asigna una edad tentativa del Jurásico Medio-Superior-Cretácico Inferior. La secuencia vulcanosedimentaria plegada, denominada Formación Bacurato, con un espesor de 1,000 m, de grauvacas, tobas, conglomerados y pelitas negras hacia su base (Servais, 1981) y la cima caracterizada por calizas, yesos, lutitas, limolitas y turbiditas, así como diques andesíticos también plegados, Sus mejores exposiciones se presentan en los cerros El Yeso, El Oro y La Arrocería, al NE de Los Mochis. Bioestratigráficamente se le ha ubicado en el Albiano (Boneau, 1970). Descansando discordantemente sobre la serie cretácica, se encuentra un paquete andesítico constituido por derrames, tobas y brechas, cuyas mejores exposiciones están localizadas al oriente de San Miguel Zapotitlán y al sureste de Guamúchil. Por su similitud litológica con la Formación San Blas y posición estratigráfica, se le confiere un rango de Paleoceno-Eoceno (Ledezma, 1970). Al oriente de San Miguel estas rocas se encuentran cubiertas discordantemente por riolitas (Figura 2).

El evento andesítico culmina a finales del Eoceno con un ciclo sedimentarios, donde se depositaron areniscas derivadas de la desintegración de las andesitas, con intercalaciones de horizontes andesíticos y ocasionalmente conglomerados. La unidad subyace a paquetes riolíticos e ignimbríticos y sus mejores exposiciones se observan en el Rancho Los Mezquites. El Oligoceno Inferior se manifiesta por un conglomerado polimíctico con fragmentos de andesita y/o rocas vulcanosedimentarias, bien consolidado, con horizontes arenosos de origen volcánico, como se observa en las localidades de Llano Grande, Portugués de Norzagaray, Presa de Eustaquio Balbuena al norte de Guamúchil y Ciénega de Casal. La edad asignada fue con base en su posición estratigráfica.

Durante el Oligoceno-Mioceno se presenta un vulcanismo de tipo extrusivo caracterizado por riolitas, tobas y brechas riolíticas e ignimbríticas que coronan las partes altas, las cuales muestran comúnmente estructura de flujo y en ocasiones esferulitas. Excelentes afloramientos se observan en Charco Verde, Santa Ana, y San Miguel. Se encuentran cubriendo discordantemente a las rocas andesíticas. Estos paquetes riolíticos fueron basculados y cubiertos en discordancia angular por depósitos piroclásticos de composición riolíticas, constituidos por tobas arenosas que afloran ampliamente a 2 km al sur del Rancho Agua Caliente de Cota.



#### **4.1. Estratigrafía**

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende edades que varían del Paleozoico (?) al Holoceno y está constituida por rocas metamórficas, sedimentarias, vulcanosedimentaria e ígneas intrusivas y extrusivas.

#### **PRECAMBRICO-PALEOZOICO**

##### **Complejo Sonobari**

Las rocas más antiguas corresponden a un complejo metamórfico o meta plutónico correlacionado con el Complejo Sonobari, constituido por gneises anfibolíticos, metatonalitas y metadioritas con un alto grado de deformación; tentativamente se les asigna una edad Precámbrico (?), aflora a manera de "colgantes" en un intrusivo granodiorítico, por lo que se desconoce su relación con las demás unidades.

#### **PALEOZOICO METASEDIMENTARIO**

El basamento estratigráfico de la región está constituido por una secuencia metamórfica de filitas, esquistos, pizarras y cuarcitas con esporádicos horizontes lávicos andesíticos intercalados, cuya edad se ha asignado al Paleozoico (?) por correlación y similitud litológica con la Formación San José de Gracia del norte de Sinaloa.

Con este nombre se designa a una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Paleozoico que presentan grados de bajo metamorfismo de la facies de esquistos verdes y de anfibolita. En general, la unidad se caracteriza por rocas esquistosas, pizarras, cuarcitas, calizas recristalizadas, pedernal, otras rocas arcillo-arenosas, así como esquistos y pizarras moteadas que indican metamorfismo de contacto, cuyos afloramientos muestran una morfología de lomeríos bajos y redondeados.

En su litología pueden distinguirse dos grupos diferentes de rocas: Las rocas metasedimentarias esquistosas, producto de un metamorfismo de bajo grado, cuya mineralogía indica una facies de anfibolita, en las que los esquistos más comunes son los de clorita y cuarzo, albita y muscovita o cuarzo- feldespáticos. El otro grupo corresponde a rocas metamórficas de contacto presentadas por esquistos y pizarras moteadas, producto de las aureolas del contacto con los intrusivos que las afectan. Representa, de manera general, un protolito constituido por una antigua secuencia arcillo-arenosa, algunas veces conglomerática, con intercalaciones de rocas carbonatadas, la cual fue afectada por metamorfismo regional y de contacto, plegada, fallada e intrusionada cuando menos en tres ocasiones.

## **JURÁSICO**

Está representado por una secuencia compuesta de metaandesitas y tobas andesíticas, con intercalaciones de estratos delgados a gruesos de calizas y areniscas, cuya edad se ha asignado al Jurásico Tithoniano-Cretácico Albiano, correlacionable con el Terreno Guerrero. El análisis bioestratigráfico en un horizonte de calizas de la base de esta secuencia, al sur de la localidad minera Lluvia de Oro, reporta una edad Jurásico Tithoniano tardío, con base en el contenido fósil faunístico. La secuencia está cabalgada por la unidad de posible edad paleozoica. Del Jurásico también es el Conglomerado Guanaceví compuesto por fragmentos de cuarzo y metaandesita, que por posición estratigráfica se le ha asignado una edad del Tithoniano, ya que subyace concordante y transicionalmente a la unidad de limolitas y tobas andesíticas del Cretácico Inferior, ubicado bioestratigráficamente en el Berriasiano (López, 1998).

## **CRETÁCICO**

Sobreyaciendo concordantemente a la unidad anterior, aflora en la porción centro-oriental, un paquete de rocas calcáreas de estratificación masiva (arrecifales), con horizontes de lutita intercalados, que ha sido datado en el Albiano; sin embargo, se ha observado que, al norte del estado, estos cuerpos calcáreos tienen un rango estratigráfico que abarca al Cenomaniano-Turoniano y ocasionalmente al Maestrichtiano.

Está representado también por las rocas intrusivas, principalmente graníticas y granodioríticas, que forman parte de gran Batolito de Sinaloa, cuyas edades obtenidas abarcan un rango de 100 a 27 Ma, aunque se han obtenido edades aisladas de 135 y 18 Ma. Los cuerpos intrusivos están afectados por generaciones de diques aplíticos y andesíticos, así como por pórfidos dioríticos y por cuerpos de composición ultrabásica, en los cuales es común la mineralización de cobre, cromo y níquel.

## **TERCIARIO**

Durante el Terciario Paleoceno-Eoceno ocurre una actividad volcánica representada por una secuencia de andesitas y tobas andesíticas, distribuidas en la región oriental, las cuales descansan en discordancia sobre las unidades del Jurásico y Cretácico. Las rocas de este tipo se correlacionan con las del Complejo Volcánico Inferior (McDowell y Keizer, 1977) que constituyen la base de la Sierra Madre Occidental y que están representadas de la base a la cima por la unidad de andesitas-brechas volcánicas andesíticas, con intercalaciones de ceniza y piroclastos, de edad Paleoceno-Eoceno determinada por datación radiométrica. La secuencia se

presenta afectada por un intrusivo de composición granítica-granodiorítica. La secuencia andesítica es seguida por un período de erosión que origina el relleno de cuencas continentales en las que se depositaron areniscas y conglomerados polimícticos que cubren parcialmente a las unidades anteriores, cuyos componentes se derivan de las secuencias sedimentarias cretácicas y de los derrames andesíticos.

El Oligoceno está caracterizado por un vulcanismo de tipo efusivo compuesto por tobas riolíticas e ignimbritas, con brechas riolíticas y riolitas esporádicas, que afloran en las zonas más elevadas de la región oriental. Su posición estratigráfica se determinó por correlación con rocas similares de la Sierra Madre Occidental y se correlacionan con las del Supergrupo Volcánico Superior (McDowell y Keizer, 1977). Su morfología es muy distintiva, ya que forma grandes mesetas inclinadas generalmente hacia el poniente. Dataciones radiométricas de rocas de esta unidad indican una edad de 13 Ma por lo que probablemente representan el intervalo comprendido entre la parte superior del Terciario Medio y la inferior del Terciario Superior. McDowell y Clabaugh (1981) datan y cartografían dos grandes secuencias de rocas ígneas, cuyo contacto marca un periodo intermedio de calma, la primera y más antigua la forman rocas principalmente intermedias con grandes cuerpos batolíticos de edades que varían entre 100 y 45 Ma. La segunda, más joven, está representada por rocas ignimbríticas y riolíticas con edades entre 34 y 27 Ma; de acuerdo con lo anterior y por correlación y posición estratigráfica, la unidad se ubica en el Oligoceno. Descansan discordantemente cubriendo a los depósitos continentales y a la secuencia andesítica del Terciario Paleoceno-Eoceno.

Sobreyaciendo concordantemente a la unidad de tobas riolíticas e ignimbritas del Oligoceno, aflora una amplia gama de unidades depositadas durante el Mioceno; que incluyen tobas riolíticas con andesitas basálticas, que de manera contemporánea se depositó con la unidad clástica de relleno, conformada de conglomerados polimícticos y areniscas. Este depósito clástico es a su vez cubierto por tobas riolíticas, riolitas, tobas riolíticas y por basaltos. Finalmente, estas unidades están cubiertas por un depósito clástico compuesto de conglomerados y areniscas de edad Terciario Plioceno.

### **Conglomerado Polimíctico**

Secuencia conglomerática que rellena las depresiones de los valles y presenta intercalaciones de basaltos. El conglomerado está constituido por clastos mal clasificados de variada composición y tamaño, de 1 a 20 cm. La composición de los clastos está en función del paquete rocoso que lo delimita, se aprecia cierta gradación y alternancia en la secuencia de depósito que grada de finos a gruesos,

aunque en la mayoría de los casos se manifiesta como depósito caótico. Los clastos son de color gris claro-amarillento a rojizo, angulosos y subangulosos, de tamaño variable, cementados por una matriz areno-arcillosa, areno-tobácea y carbonatada de pigmentación rojiza.

Considerando su posible correlación con la Formación Báucarit, se puede considerar que la secuencia pertenece a una facies clástica que comprende conglomerados polimícticos y areniscas, asociados a la formación de un abanico aluvial. Por otro lado, su origen también se asocia al proceso distensivo que dio origen a las depresiones y por consiguiente a los clásticos que rellenan estas fosas.

### **Formación Metates**

Nombre fue propuesto por Córdoba (1963) para referirse a los derrames de basalto con olivino que sobreyacen en discordancia erosional con la Formación Río Chico. El autor sitúa la localidad tipo en el km 990 de la carretera Durango-Mazatlán, en las cercanías del poblado Metates y le atribuye una edad correspondiente al Paleógeno Superior. Se encuentra en discordancia con las rocas riolíticas, en forma de pequeños afloramientos de basalto de escasa potencia que presentan una coloración gris oscura, intemperizando a gris rojizo. Aflora al norte del acuífero. Algunos autores mencionan que estos basaltos son correlacionables con los de la Formación Guadiana.

## **CUATERNARIO**

### **Formación Guadiana**

Albritton (1958) asigna el nombre de Formación Guadiana a los derrames de basaltos que afloran a 25 km al este de la ciudad de Durango, en el poblado Saltito de La Constancia. Está constituida por derrames de brecha basáltica; basalto de color oscuro en superficie fresca que intemperiza a café oscuro, de textura afanítica con estructura vesicular, con presencia de olivino de color amarillo verdoso; su localidad tipo se encuentra en la población de Cárdenas, localizada al SW de la ciudad de Durango, en donde se encuentra constituida exclusivamente por gravas con lentes arenosos, con un espesor que varía de 6 a 12 m. Por otra parte, es sobreyacida por sedimentos aluviales recientes, distinguiéndose de éstos por su textura gravillenta y arenosa de color café claro parcialmente cementados por caliche, así como por la presencia de huesos y dientes de vertebrados de edad **Pleistoceno**.

Por la similitud litológica y posición estratigráfica, los basaltos del área se correlacionan con los de la localidad tipo, que se ubican en el Pleistoceno. Según Lyons (1975) la emisión de los basaltos ocurrió después del segundo colapso de la

Caldera Chupaderos. Representan la última actividad volcánica del Neógeno y cubren grandes extensiones de terreno; por su color y forma son fáciles de identificar en campo. Se presentan en forma de derrames intercalados en el Conglomerado Polimíctico; volcanes y conos cineríticos. Los basaltos son de color gris oscuro a negro de textura afanítica que varía a fanerítica, puede ser compacta o vesicular dependiendo de su génesis, contiene plagioclasa sódica con cristales de olivino y ferromagnesianos. Afloran en el extremo norte del acuífero.

## **DEPOSITOS SEDIMENTARIOS**

Los sedimentos de esta edad son los que cubren la mayor superficie de la porción media y llanura costera del acuífero. Están conformados por diferentes unidades.

Depósitos conglomeráticos de talud, pie de monte y abanicos aluviales que se localizan hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas; están constituidos por peñascos, bloques y guijarros de composición variable. Las gravas y conglomerados que constituyen a los abanicos aluviales y depósitos de talud son fragmentos angulosos y redondeados, de 20 cm hasta 1.0 m de diámetro, de composición volcánica intrusiva contenidos en una matriz arenosa o tobácea y ocasionalmente bien cementadas. Por su origen presentan una mala clasificación lo que ocasiona que su permeabilidad sea variable, dependiendo del contenido arcilloso y grado de compactación. Morfológicamente, se presentan como lomeríos de suave relieve.

Las llanuras deltáicas se conforman de conglomerados, sedimentos arenosos y areno-limosos que presentan una clasificación pobre y estratificación cruzada, en ocasiones con abundante materia orgánica. Las arenas y arcillas de origen fluvial, son depositadas por los ríos y arroyos al divagar en la planicie costera antes de desembocar en el mar. Forman parte de la llanura costera y presentan un relieve suave caracterizado por lomeríos remanentes de la superficie preexistente. Incluye también las acumulaciones arenosas de origen eólico, que han quedado fuera de la fuente de aporte de sedimento y que han sido fijadas por la vegetación, formando dunas estabilizadas, o bien por la acción de las aguas circulantes.

Los depósitos aluviales se ubican en la porción media del valle y consisten de gravas y arenas de variada granulometría, así como limos y arcillas de origen aluvio-fluvial. Estos depósitos aluviales junto con los de la llanura deltaica constituyen el acuífero principal, de permeabilidad variable cuyo espesor total no se ha determinado.

Sedimentos limosos y arcillosos constituyen lodos negros ricos en materia orgánica (depósitos palustres) que se localizan en las zonas bajas, próximas a la desembocadura de los ríos y lagunas y están sujetos a la acción de las mareas y al flujo del río. Los sedimentos arenosos y arena limosos se localizan en albardones, las gravas en el lecho de los canales fluviales y ocasionalmente en la llanura de inundación. Por último, en amplias áreas bajas sin relieve, localizadas tierra adentro de las lagunas y barreras litorales inundables por la acción de las mareas, se presentan sedimentos finos, arenas de grano medio a fino y limos que conforman llanuras de inter-marea; identificadas en su límite superior por un pequeño escarpe de erosión causado por la acción erosiva de la marea ascendente y oleaje por viento.

#### **4.2. Geología estructural**

Estructuralmente la región está afectada principalmente por fallamientos de orientación NW-SE y NE-SW. Este último puede ser el más antiguo y tener su origen en la componente compresiva de la Orogenia Laramide. Al cese de los esfuerzos laramídicos la región entra en un periodo de relajamiento por procesos isostáticos y se genera una serie de fallamientos en sentido ortogonal al esfuerzo, que dieron origen al fallamiento de rumbo NW-SE. Es muy probable que este fallamiento se haya reactivado durante la apertura del Golfo de México. El fallamiento NE-SE constituye una serie de fosas y pilares tectónicos escalonados que se observa en la región y en general en el límite de la planicie costera y la Sierra Madre Occidental. El sistema estructural de dirección NE-SW, provoca desplazamientos de bloques e interrupción de estructuras.

La interpretación de imágenes de satélite y datos de campo revelan que estructuralmente la región está afectada por un patrón de fallas normales NW-SE, que constituyen una serie de fosas tectónicas en forma escalonada, ocasionalmente con desplazamientos laterales. En menor proporción existe fallamiento inverso, representado al noroeste por la cabalgadura de las rocas paleozoicas sobre las cretácicas; el segundo patrón de fallamiento presenta dirección NE-SW y está evidenciado por los ríos Tamazula, Humaya y Mohinora-Sinaloa, provocando desplazamientos de bloques e interrupción y formación de estructuras, como el caso del colapso de la caldera que se localiza al sureste (Carta Geológico-Minera "Pericos" G13-7. Escala 1:250 000, SGM, 1999).

La región está afectada por un patrón principal de fallamiento de rumbo NE-SW con cierta tendencia al norte, que a su vez está afectado por fallas de desplazamiento lateral, que ocasionan la formación de bloque y la interrupción de estructura. En menor proporción existen fallas normales con orientación NW-SE. También existe

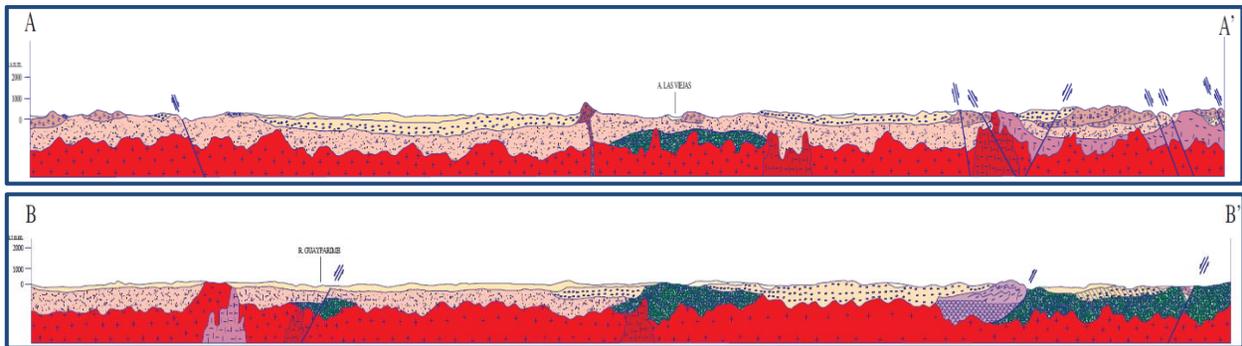
fallamiento inverso, que está representado por la cabalgadura de las rocas metamórficas paleozoicas sobre la Formación Bacurato del Cretácico Inferior, relación que se observa en la Ranchería Pueblo Viejo (Carta Geológico-Minera “Los Mochis” G13-9. Esc. 1:250,000, SGM, 1997).

Los intrusivos se asocian al emplazamiento del batolito de Sinaloa-Sonora durante la Orogenia Laramide y se relacionan directamente con la evolución de arco magmático activo, ocurrido durante el Cretácico al Oligoceno, debido a la convergencia de una placa oceánica contra el borde continental, cuya evolución tiene un largo periodo de desarrollo y por consiguiente varias etapas de magmatismo, así como varias etapas de vulcanismo. En el Mioceno se inicia la etapa tectónica extensional que imprime su sello a la morfología actual de la provincia Sierra Madre Occidental, caracterizada por una serie de fosas y pilares. Este periodo constituye el último paleo-régimen tectónico que afecta a la región, como consecuencia de los reacomodos que se produjeron cuando cesó la convergencia de placas

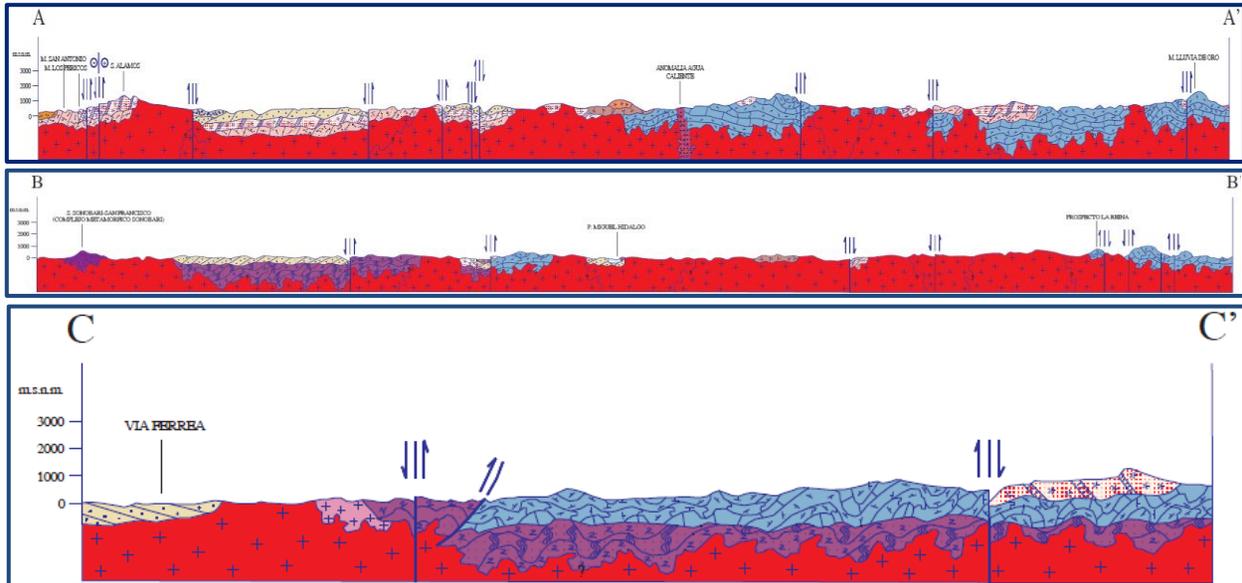
#### **4.3. Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información de cortes litológicos de pozos, geofísica y de geología superficial recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada, litorales, eólicos y lacustres, que constituyen el lecho y llanura de inundación del Río Fuerte y la planicie costera, así como en los conglomerados, cuyo espesor conjunto es de varios cientos de metros en la porción central de la planicie; esta es la unidad que actualmente se explota para satisfacer las necesidades de agua de la región.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas ígneas volcánicas de litología muy variada que comprende andesitas, riolitas, tobas y brechas volcánicas, y rocas sedimentarias como areniscas y conglomerados, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico, están representados por las mismas rocas ígneas y sedimentarias al desaparecer al fracturamiento a profundidad, y por rocas metamórficas e ígneas intrusivas (Figura 3).



FUENTE: Carta Geológico-Minera: G12-9 "Los Mochis" Escala 1:250.000 (SGM, 1997).



FUENTE: Carta Geológica-Minera G12-6 "Huatabampo", Escala 1: 50,000 (SGM, 2000)

Figura 3. Secciones Geológicas Esquemáticas

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, fluviales, eólicos, de pie de monte y lacustres, así como por conglomerados polimícticos, cuyo espesor puede alcanzar algunas centenas de metros en el centro de la planicie. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan las tobas ácidas, riolitas, ignimbritas y andesitas, e intrusivas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y alteración.

### 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se realizaron 7 pruebas de bombeo, de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como recuperación, 3 en este acuífero y 4 en el acuífero vecino Río Sinaloa, así como otras de estudios

previos (SARH, 1978). De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales se establece que los valores medios de transmisividad varían entre  **$3.2 \times 10^{-3}$**  y  **$2.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$** , con un valor promedio de  **$7.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$**  (**674  $\text{m}^2/\text{día}$** ). Los valores de conductividad hidráulica varían de  **$1.6 \times 10^{-4}$**  a  **$8.9 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** , (**13.8 a 76.9  $\text{m/d}$** ) con un valor promedio de  **$5.2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$**  (**44.9  $\text{m/d}$** ), que se asocian a sedimentos de granulometría media.

Ninguna prueba de bombeo contó con pozo de observación por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento. Sin embargo, por correlación con acuíferos vecinos que tienen la misma constitución geológica, para fines del balance se adoptó un valor de **0.1**.

Los valores más bajos de estos parámetros se asocian a los sedimentos clásticos de granulometría más fina y los más altos a los depósitos aluviales de mayor granulometría que conforman el cauce de los ríos, arroyos y sus planicies de inundación.

### **5.3. Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información recabada como parte de las actividades del estudio realizado en 2010 además de registros históricos durante el periodo 2000-2016, obtenidos por el Organismo de Cuenca Pacífico Norte, en la red de monitoreo piezométrico. Para el planteamiento del balance de aguas subterráneas se eligió el periodo 2010-2019 que tiene mayor y mejor distribución espacial. Debido a que los niveles estáticos se han mantenido más o menos constantes, únicamente se describen las configuraciones del 2019.

### **5.4. Comportamiento hidráulico**

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

La profundidad al nivel del agua subterránea en el año 2019 presentó valores que variaron de 1 a 20m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía de la zona costera y del cauce del río Fuerte hacia las estribaciones de las sierras que limitan la planicie. Los niveles estáticos más someros, de 1 a 5 m, se registran en la porción baja de la cuenca que comprende la zona agrícola del distrito de riego, desde Higuera de Zaragoza hasta el noreste de Los Mochis; desde donde se incrementan gradualmente, conforme se asciende topográficamente. Los más profundos, de 10 a 20 m, en la margen izquierda del río Fuerte, al sur de la presa Josefa Ortíz de Domínguez (Figura 4).

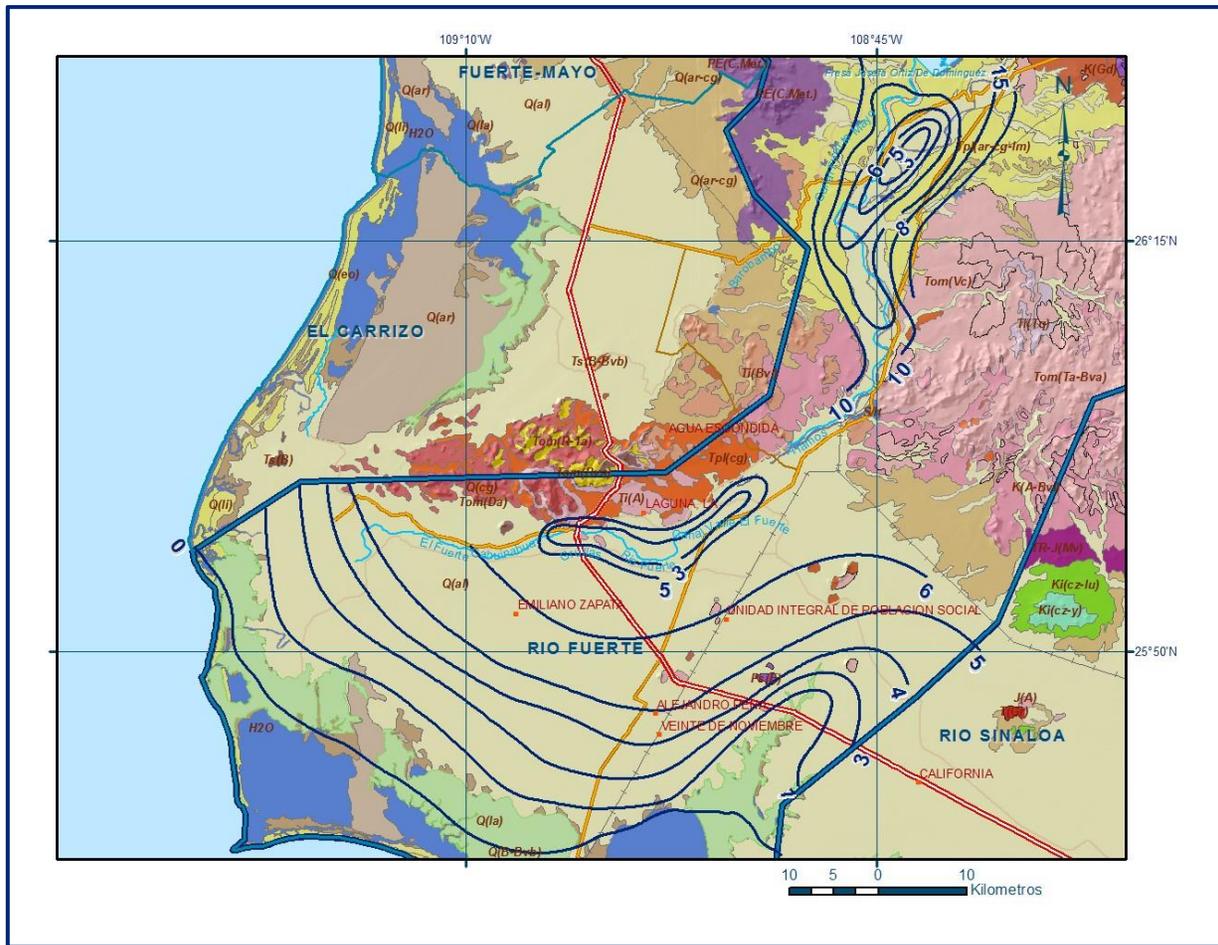


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2019)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, en 2019 se registraron valores que variaron de 1 a 70 msnm, que se incrementan de la zona costera hacia los flancos de las sierras que delimitan el acuífero y aguas arriba a lo largo del cauce del Río Fuerte. Los valores más altos, 60 a 70 msnm, se registran en la porción norte del valle, en la zona ubicada al sur de la presa Josefa Ortiz de Domínguez, desde donde descienden gradualmente por efecto de la topografía, al igual que los valores de profundidad, hacia la planicie costera. Los valores más bajos, de 1 a 5 msnm, se presentan en la zona más próxima al litoral marino y de las lagunas. La dirección preferencial del flujo subterráneo es norte-sur y noreste-suroeste, paralela a la dirección de escurrimiento del Río Fuerte (Figura 5).

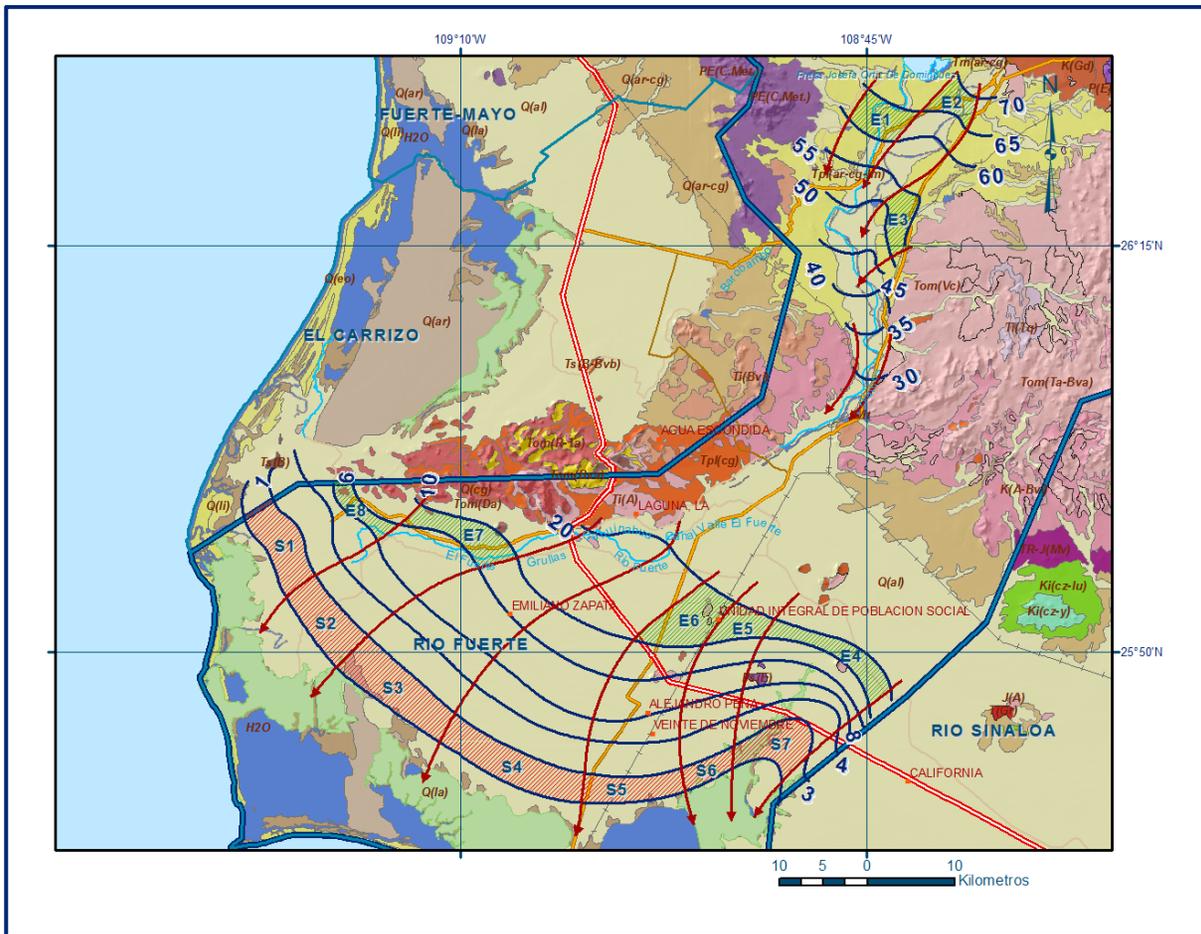


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2019)

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2010-2019 registró valores de abatimiento y recuperación en la posición de los niveles del agua subterránea en distintas áreas a lo largo del cauce del río Fuerte. Los abatimientos son de 1 a 2 m, que representan 0.1 a 0.2 m anuales; se presentan de manera puntual al suroeste de El Fuerte y al noreste de Emiliano Zapata. Las recuperaciones varían de 1 a 3 m, es decir 0.1 a 0.3 m anuales, también son puntuales y se registraron en la zona localizada al sur de la presa Josefa Ortiz de Domínguez. En la mayor parte de la zona de explotación, que incluye la superficie completa del distrito de riego, no se presentan cambios en la posición del nivel estático (Figura 6).



total, sílice, fluoruro, bario, cadmio, arsénico, cromo, mercurio, plomo, fierro, manganeso, níquel, cianuro, cobre, selenio y zinc, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

La concentración de SDT presenta valores que varían de 65 a 5,600 mg/l predominando las concentraciones menores de 400 mg/l en todo el acuífero. Los valores se incrementan en el sentido de escurrimiento del Río Fuerte, de manera similar a la dirección preferencial del flujo subterráneo. Los valores más altos de concentración de SDT, que superan 1,000 mg/l, se asocian a fuentes puntuales de contaminación agrícola y urbana, provocadas por las descargas de aguas residuales urbanas, industriales y pecuarias, por el uso de agroquímicos, por los retornos de riego agrícola o presencia de evaporitas.

Los parámetros cuyas concentraciones superan el LMP establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022, son coliformes fecales, sólidos disueltos totales, manganeso y arsénico. Las concentraciones máximas de coliformes fecales encontrados en el agua subterránea son de 1872 NMP/100ml, mientras que el LMP es no detectable; la máxima concentración de manganeso es de 0.82 mg/l, mientras que el LMP es de 0.15 mg/l, y la máxima concentración de arsénico es de 0.143 mg/l, cuyo LMP para consumo humano es de 0.025 mg/l.

Según con la clasificación establecida por la American Public Health Association (APHA, 1995), el agua del acuífero se clasifica como agua dulce a salobre, ya que los valores de conductividad eléctrica varían de 100 a 8760  $\mu$ S/cm. Los valores más bajos de SDT y conductividad eléctrica se registran en la región norte del acuífero, y se incrementan en dirección general hacia el sur, confirmando con ello la dirección preferencial del flujo subterráneo. Los valores de temperatura varían de 26.3 a 29.2°C y los de pH entre 6.8 y 8.0.

Para determinar la calidad del agua para uso en riego, se utilizó la clasificación de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), 3 de las muestras analizadas se clasifican C2-S1, que representa agua de salinidad media con bajo contenido de sodio intercambiable, apta para la agricultura sin restricción alguna en tipo de cultivos ni suelos, y 2 muestras C3-S1 que representa agua de salinidad alta con bajo contenido de sodio intercambiable, cuyo

uso se recomienda en suelos con buen drenaje, que pueden requerir lavados periódicos o ser utilizada en cultivos tolerantes a la salinidad.

Con respecto a las familias del agua por ion dominante, existen las familias bicarbonatada-cálcico-magnésica y sulfatada-cálcico-magnésica. En menor proporción se presentan las familias sulfatada-sódico-clorurada y bicarbonatada-sódica. La presencia de bicarbonatos, sodio y calcio indican agua de reciente infiltración con periodos cortos de residencia; mientras que contenido de calcio-magnesio, asociado con sulfatos, cloruros y sodio son la característica principal de las aguas que se extraen de la zona costera próxima al mar, o bien indican evaporación, presencia de evaporitas y/o contaminación por fertilizantes.

Se identificaron fuentes de contaminación difusa causadas por la descarga de aguas residuales sin tratamiento de algunos centros de población y de las actividades pecuarias, por los retornos de riego y por uso de agroquímicos en las zonas agrícolas, así como de manera natural en la zona costera por la presencia de agua salobre.

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

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró un total de 547 aprovechamientos, de los cuales 162 son pozos, 379 norias, 1 manantial, 4 galerías filtrantes y 1 jagüey; de las cuales 219 están activas y 328 inactivas.

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPD), se tiene registrado un volumen de extracción de **215.3 hm<sup>3</sup> anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022, de los cuales 153.9hm<sup>3</sup> (71.5 %) son para uso agrícola, 46.1 hm<sup>3</sup> (21.4%) para uso público- urbano y 15.3 hm<sup>3</sup> (7.1%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-pecuario.

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

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2010-2019, en una superficie de **2,192 km<sup>2</sup>**, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

## 7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos y arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (Ri).

### 7.1.1. Recarga vertical (Rv)

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

$$Rv + Ri + Eh - B - Sh - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

- Rv:** Recarga vertical
- Eh:** Entradas por flujo subterráneo horizontal
- Ri:** Recarga incidental
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo subterráneo horizontal
- ETR:** Evapotranspiración real
- $\Delta V(S)$ :** Cambio de almacenamiento

$$R_v = B + Sh + ETR - E_h - R_i \pm \Delta VS \quad (2)$$

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

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2019 mostrada en la figura 5. Con base en ella se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

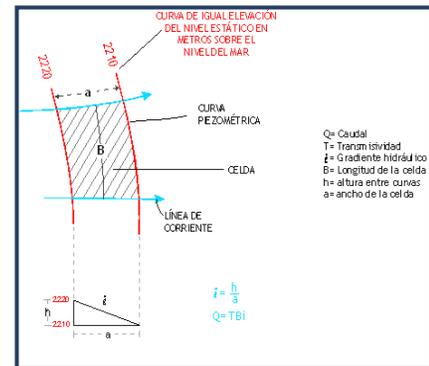
Donde:

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

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

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

**i:** Gradiente Hidráulico (adimensional)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **32.7 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal (2019)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
E1	5650	4250	5	0.0012	0.0250	0.1662	5.2
E2	4400	3475	5	0.0014	0.0250	0.1583	5.0
E3	6900	4025	5	0.0012	0.0100	0.0857	2.7
E4	14720	2485	10	0.0007	0.0100	0.0169	0.5
E5	5120	4180	10	0.0024	0.0060	0.0735	2.3
E6	5305	8340	10	0.0012	0.0060	0.0382	1.2
E7	6850	12100	10	0.0008	0.0080	0.0453	1.4
E8	10970	3415	10	0.0029	0.0080	0.2570	8.1
E9	7650	1925	2	0.0010	0.0250	0.1987	6.3
<b>TOTAL</b>							<b>32.7</b>

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

### **7.1.3. Recarga incidental(Ri)**

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Debido a la falta de información confiable de láminas de riego por cultivo, se considera que el 20% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga incidental, considerando la profundidad somera al nivel del agua subterránea en la zona agrícola y la presencia de estratos de permeabilidad media en el subsuelo.

De esta manera, tomando en cuenta que para uso agrícola se utiliza un volumen promedio anual de 1141.6 hm<sup>3</sup>, de los cuales 987.7 hm<sup>3</sup> son de agua superficial procedente de las presas Miguel Hidalgo (Mahone) y Josefa Ortíz de Domínguez; y 153.9 hm<sup>3</sup> de agua subterránea, al aplicar el 20% de retornos de riego, se obtiene un volumen de 228.3 hm<sup>3</sup> anuales.

Por otra parte, las pérdidas por fugas en las redes de distribución de agua potable y alcantarillado varían según la zona y su estado físico, para este caso se consideró también un coeficiente de infiltración de 20%, que aplicado al volumen destinado al uso público-urbano de 46.1 hm<sup>3</sup> resulta un volumen de 9.2hm<sup>3</sup> anuales. Por lo tanto,  $R_i = 228.3 + 9.2 = 237.5$ . **Ri = 237.5 hm<sup>3</sup>/año**

## **7.2. Salidas**

La descarga del acuífero ocurre principalmente a través del bombeo (B), por salidas subterráneas horizontales (Sh) y por evapotranspiración (ETR) en las áreas de niveles freáticos someros.

### **7.2.1. Bombeo (B)**

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **215.3 hm<sup>3</sup> anuales.**

### 7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2019, mostrada en la figura 5, tal como se muestra en la tabla 3. El volumen total de salidas por flujo horizontal subterráneo asciende a **7.3 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal (2019)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$ (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
S1	9765	4390	2	0.0005	0.0060	0.0267	0.8
S2	9165	4340	2	0.0005	0.0060	0.0253	0.8
S3	13065	4425	2	0.0005	0.0060	0.0354	1.1
S4	15770	3755	2	0.0005	0.0060	0.0504	1.6
S5	10470	2900	2	0.0007	0.0060	0.0433	1.4
S6	5800	2390	2	0.0008	0.0060	0.0291	0.9
S7	9620	5085	2	0.0004	0.0060	0.0227	0.7
<b>TOTAL</b>							<b>7.3</b>

### 7.2.3. Evapotranspiración (ETR)

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

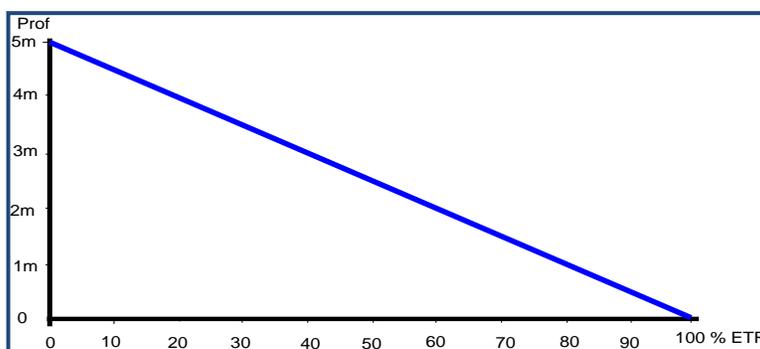
Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc; para no sobreestimar el valor de esta componente, se consideraron los valores medios anuales de precipitación y temperatura de la estación climatológica Los Mochis representativa del valle en el que se localiza el área de balance. Considerando los valores promedio anual de temperatura y precipitación de 24.9 °C y 393.3 mm se obtiene una lámina de evapotranspiración de 402.7 mm anuales, como se muestra a continuación:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	24.9		
P(mm) =	393.3	P <sup>2</sup> =	154684.89
L =	1694.41245	L <sup>2</sup> =	2871033.55
ETR (mm)	402.7		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el porcentaje que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior, tomando en cuenta las superficies entre curvas de igual valor de profundidad al nivel estático. El cálculo se puede observar en la tabla 4. El volumen de evapotranspiración **ETR = 177.4 hm<sup>3</sup>/año**

Tabla 4. Cálculo de la evapotranspiración (2019)

RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	LÁMINA ETR (m)	% ETR	VOLUMEN ETR (hm <sup>3</sup> /año)
5 a 4	4.5	274.0	0.4027	0.1	11.0
5 a 3	4	78.5	0.4027	0.2	6.3
4 a 3	3.5	251.1	0.4027	0.3	30.3
3 a 1	2	116.9	0.4027	0.6	28.2
3	3	59.1	0.4027	0.4	9.5
1 a 0	0.5	254.1	0.4027	0.9	92.1
<b>Total</b>		<b>1033.7</b>			<b>177.4</b>

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

El cálculo del cambio de almacenamiento se realizó a partir de la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2010-2019 que se muestra en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico  $S_y = 0.1$ , se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$\Delta VS$ : Cambio de almacenamiento en el período analizado

S: Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

A: Área entre curvas de igual evolución del nivel estático

h: Valor medio de la variación piezométrica en el período

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 5, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento para el periodo es de 4.7 hm<sup>3</sup>, es decir, un promedio anual de **0.5 hm<sup>3</sup>**.

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento (2010-2019)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub>	$\Delta V(S)$ (hm <sup>3</sup> /año)
3	3.0	16.4	0.1	4.9
2 a 1	1.5	44.6	0.1	6.7
2	2.0	7.8	0.1	1.6
1 a 0.5	0.75	63.4	0.1	4.8
0 a -1	-0.5	177.7	0.1	-8.9
0 a 1	0.5	33.4	0.1	1.7
-1	-1.0	55.3	0.1	-5.5
0 a -2	-1.0	18.7	0.1	-1.9
0 a 0.5	0.25	53.5	0.1	1.3
<b>TOTAL</b>		<b>470.7</b>	<b>TOTAL</b>	<b>4.7</b>
		<b>Promedio anual</b>		<b>0.5</b>

### Solución de la ecuación de balance

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

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh + ETR - R_i - E_h \pm \Delta V S \\ R_v &= 215.3 + 7.3 + 177.4 - 237.5 - 32.7 + 0.5 \\ R_v &= 130.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 130.3 + 32.7 + 237.5 \\ R &= 400.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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:

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

Donde:

**DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

**R** = Recarga total media anual

**DNC** = Descarga natural comprometida

**VEAS** = Volumen de extracción de aguas subterráneas

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

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como incidental. Para este caso su valor es **400.5 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 el caso del acuífero Río Fuerte, su valor es **140.4 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 7.3 hm<sup>3</sup> corresponden a las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina y 133.1 hm<sup>3</sup> al 75% del volumen de evapotranspiración que se deben comprometer para preservar los ecosistemas costeros. **DNC = 140.4hm<sup>3</sup> anuales.**

### **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 **199'193,847 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos del 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 400.5 - 140.4 - 199.193847 \\ \text{DMA} &= 60.906153 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible de **60'906,153 m<sup>3</sup>** para otorgar nuevas concesiones

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio geohidrológico de los acuíferos de los ríos Culiacán, Mocorito, Sinaloa y Fuerte, en el estado de Sinaloa. Realizado por SPIC Servicios y Proyectos de Ingeniería Civil, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2013. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Río Fuerte, estado de Sinaloa.

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Pacífico Norte, 2019. Información piezométrica del acuífero Río Fuerte, estado de Sinaloa.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1978. Evaluación de acuíferos en la zona El Fuerte-Sinaloa. Realizado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., Consultores

Servicio Geológico Mexicano, 1997, Carta Geológica-Minera G12-9 "Los Mochis", escala 1:250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 1999, Carta Geológica-Minera G13-7 "Pericos", escala 1:250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2000 Carta Geológica-Minera G13-6 "Huatabampo", escala 1:250,000.