



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO RÍO ELOTA (2506), ESTADO DE  
SINALOA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES</b> .....	2
Antecedentes .....	2
1.1. Localización .....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero .....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD</b> .....	5
<b>3. FISIOGRAFÍA</b> .....	6
3.1. Provincia fisiográfica .....	6
3.2. Clima .....	8
3.3. Hidrografía .....	9
3.4. Geomorfología .....	10
<b>4. GEOLOGÍA</b> .....	11
4.1. Estratigrafía .....	13
4.2. Geología estructural .....	19
4.3. Geología del subsuelo .....	20
<b>5. HIDROGEOLOGÍA</b> .....	22
5.1. Tipo de acuífero .....	22
5.2. Parámetros hidráulicos .....	22
5.3. Piezometría .....	22
5.4. Comportamiento hidráulico .....	23
5.4.1. Profundidad al nivel estático .....	23
5.4.2. Elevación del nivel estático .....	24
5.4.3. Evolución del nivel estático .....	25
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	25
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA</b> .....	27
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS</b> .....	27
7.1. Entradas .....	28
7.1.1. Recarga vertical (Rv) .....	28
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	28
7.2. Salidas .....	30
7.2.1. Bombeo (B) .....	30
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	30
7.2.3. Evapotranspiración (ETR) .....	30
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	32
<b>8. DISPONIBILIDAD</b> .....	33
8.1. Recarga total media anual (R) .....	34
8.2. Descarga natural comprometida (DNC) .....	34
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) .....	34
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) .....	35
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	36

## **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 Elota, definido con la clave 2506 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-sur del estado de Sinaloa, entre los paralelos 23°48'33" y 24°33'32" de latitud norte y 106°09'48" y 107°05'41" de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 3,253km<sup>2</sup>, que comprende también una pequeña porción de la zona serrana occidental del estado de Durango. Limita al norte y oeste con el acuífero Río San Lorenzo; al este y sur con Río Piaxtla, pertenecientes al estado de Sinaloa. En su extremo suroccidental, su límite natural es el Océano Pacífico (figura 1).

Geopolíticamente, el área que cubre el acuífero comprende la mayor parte del municipio de Elota, parcialmente el municipio de Cosalá y porciones menores San Ignacio y Culiacán, en el estado de Sinaloa. En el estado de Durango abarca parcialmente el municipio de Tamazula y una pequeña porción de San Dimas.

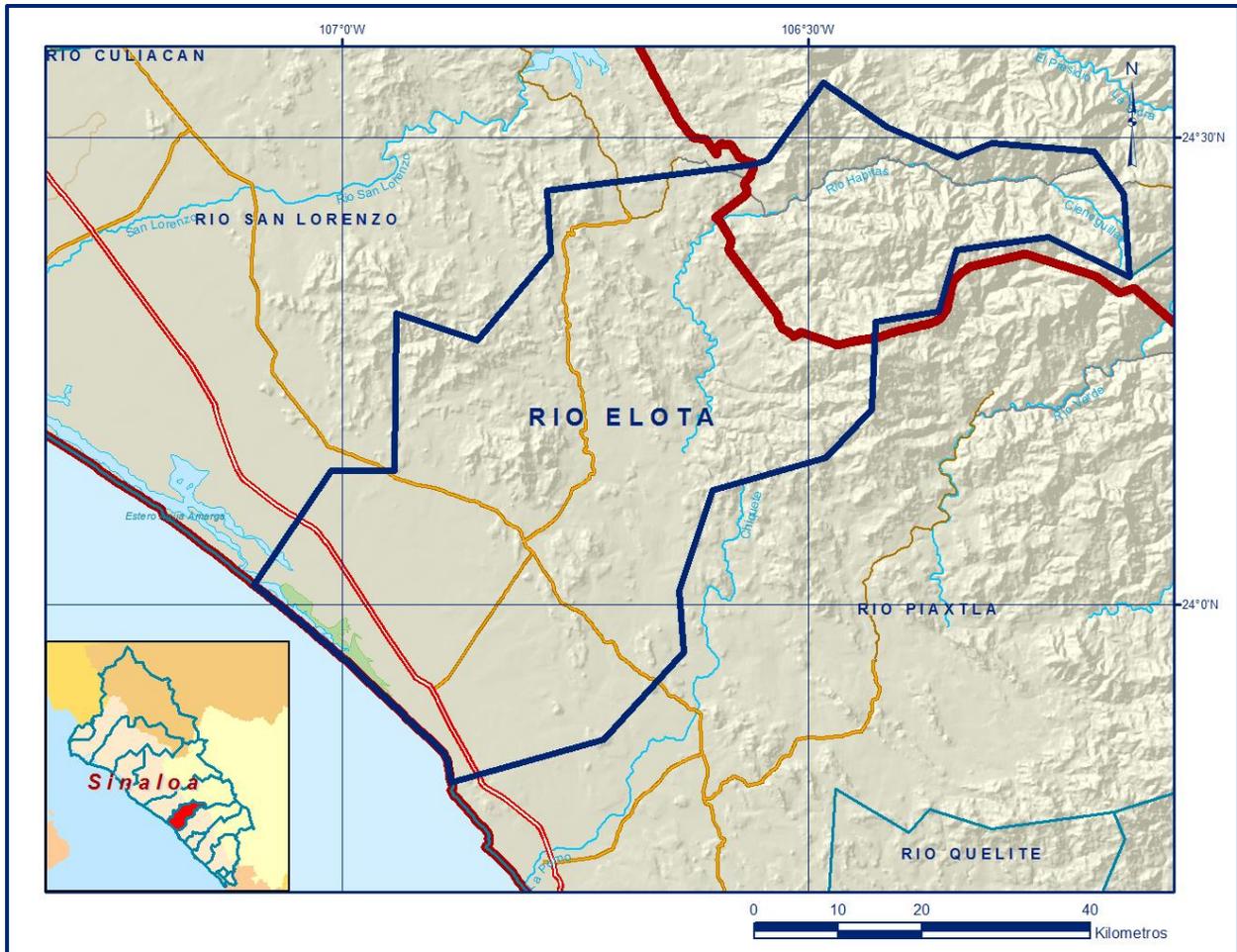


Figura 1. Localización del acuífero

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

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

ACUÍFERO 2506 RIO ELOTA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	106	25	58.0	24	12	30.0	
2	106	28	54.1	24	9	24.7	
3	106	36	13.4	24	7	17.6	
4	106	38	19.7	24	0	50.5	
5	106	38	4.4	23	56	52.6	
6	106	43	10.2	23	51	15.3	
7	106	53	0.6	23	48	31.9	DEL 7 AL 8 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
8	107	5	40.2	24	1	13.8	
9	107	0	43.0	24	8	35.0	
10	106	56	40.1	24	8	35.0	
11	106	56	32.2	24	18	39.7	
12	106	51	19.9	24	16	58.0	
13	106	46	37.4	24	22	32.7	
14	106	46	49.8	24	26	35.6	
15	106	33	33.1	24	28	14.6	
16	106	32	40.2	24	28	32.3	
17	106	29	5.7	24	33	31.1	
18	106	24	55.4	24	30	40.0	
19	106	20	27.2	24	28	42.5	
20	106	18	14.4	24	29	38.7	
21	106	11	41.9	24	29	5.1	
22	106	9	46.1	24	26	19.5	
23	106	9	25.4	24	21	1.6	
24	106	14	37.4	24	23	36.1	
25	106	20	32.3	24	22	45.0	
26	106	21	41.3	24	18	47.5	
27	106	25	43.9	24	18	6.6	
1	106	25	58.0	24	12	30.0	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Pacífico Norte y al Consejo de Cuenca Ríos Mocorito al Quelite, instalado el 10 de diciembre de 1999. En el territorio completo que cubre el acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea. Sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del "ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los 96 acuíferos que se indican", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en el 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 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 público-urbano. En el territorio del acuífero se localiza parte del Distrito de Riego 108 "Elota-Piaxtla". No se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). En la zona costera se localiza el sitio RAMSAR llamado "Sistema Lagunar Ceuta", considerado como tal desde el 2 de febrero de 2008.

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

En la zona que comprende el acuífero se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, otros con fines de prospección minera y algunos de cobertura regional en acuíferos vecinos. Entre los más importantes se mencionan los siguientes:

**EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS EN LA ZONA ELOTA-CAÑAS, EN EL ESTADO DE SINALOA. Realizado en 1978 por Consultores, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).** El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial acuífero de los valles alojados en esta porción de la planicie costera del estado de Sinaloa. El censo de aprovechamientos reveló la existencia de 550 aprovechamientos del agua subterránea, la gran mayoría de ellos norias, que en conjunto extraían un volumen anual de 39 hm<sup>3</sup>. La recarga sólo fue estimada para el valle de del Río Presidio y era de 25 hm<sup>3</sup> anuales.

**ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LOS RÍOS ELOTA, PIAXTLA Y QUELITE, SINALOA. Realizado en 2001 por PROTYC, S.A. DE C.V. para la Comisión Nacional del Agua.** Entre sus actividades más relevantes destacaron el censo de aprovechamientos, piezometría, realización de pruebas de bombeo y toma de muestras de agua subterránea para análisis fisicoquímicos. En el acuífero Río Elota se identificaron 74 aprovechamientos que en total extraían un volumen anual de 6.8 hm<sup>3</sup>, de buena calidad para todos los usos. Como resultado del balance se calculó una recarga media anual de 58.7 hm<sup>3</sup> con un volumen de salidas totales de 37.5 hm<sup>3</sup>.

**INTEGRACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO JUSTIFICATIVO DE LOS ACUÍFEROS RÍO ELOTA CLAVE 2506, RÍO PIAXTLA CLAVE 2507, RÍO QUELITE CLAVE 2508, RÍO BALUARTE CLAVE 2510 Y LAGUNA AGUA GRANDE CLAVE 2512, EN EL ESTADO DE SINALOA. Realizado en 2014 para la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Pacífico Sur, por SANX Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V. (SIIDSA).** Su objetivo general fue integrar los estudios técnicos que permitan determinar las causales de interés y utilidad públicos necesarios para la fundamentación y motivación que requiere la emisión del ordenamiento de los acuíferos.

Adicionalmente incluyó actividades de campo como piezometría, ejecución de pruebas de bombeo, sondeos geofísicos y toma de muestras de agua para análisis fisicoquímicos.

**INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO RÍO ELOTA, 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 Duranguenses, Pie de la Sierra y una pequeña parte en la subprovincia Mesetas y Cañadas del Sur; y en la Provincia Llanura Costera del Pacífico, Subprovincia Llanura Costera de Mazatlán.

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 1500 km 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 Cañones Duranguenses está constituida por rocas ígneas extrusivas ácidas y formada principalmente por mesetas de gran superficie con cañadas y de sierras altas con cañones.

En el acuífero presenta las principales elevaciones topográficas que varían de 2,200 a 2,400 msnm; su principal rasgo son las grandes mesetas limitadas por abruptos y enormes acantilados. Las características especiales de esta subprovincia son su elevación sobre el nivel medio del mar y el gran número y extensión de sus hermosos y fértiles valles, separados uno de otros por altas barreras montañosas.

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 Subprovincia Mesetas y Cañadas del sur forma parte de la espina dorsal de la Sierra Madre Occidental, se caracteriza por presentar altas mesetas interrumpidas de manera abrupta por profundos cañones y cañadas, que son el resultado del tectonismo y de la erosión fluvial sobre los diversos tipos de rocas volcánicas y vulcanoclásticas que conforman la sierra. Presenta superficies de meseta en promedio más altas que las del resto de la provincia; cañones paralelos y alternos a las superficies de meseta, interrumpidos en ocasiones por valles de laderas tendidas que, río abajo, vuelven a encañonarse; está drenada por corrientes fluviales que escurren hacia el sur

y vierten sus aguas en el Río Grande de Santiago o desembocan en la Llanura Costera del Pacífico.

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 de Mazatlán presenta las menores pendientes y está conformada por materiales de arrastre fluvial y de oleaje complejos, dominada por una llanura irregular con lomeríos bajos y muy modelados por la acción eólica y marina, con grandes llanuras de inundación, lagunas y pantanos, que conforman la interface marino-terrestre fluvial.

### **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, se presentan varios tipos de clima: BSo(h')hw y BSl(h')hw que corresponden a climas semiáridos; Awo clima de tipo cálido subhúmedo; (A)C(w2) que representa clima de tipo templado subhúmedo; y en una mínima porción de la zona serrana el tipo de clima es C(E)(w2)C(x´) que corresponde a un clima semifrío subhúmedo.

En la porción sur del acuífero el clima predominante es de tipo BSo (h') hw, que corresponde a un clima árido, cálido, con temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor a 18 °C, y un clima de tipo BSl (h')hw, semiárido cálido, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, temperatura del mes más frío

entre -3 y 18 °C, temperatura del mes más caliente menor de 22 °C; ambos con régimen de lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.

En la región central, hacia las estribaciones de la sierra, el clima es Awo cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual. En la zona serrana el clima es de tipo (A)C(w2), semicálido, templado subhúmedo, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C, con precipitación anual entre 500 y 2,500 milímetros y precipitación del mes más seco de 0 a 60 milímetros; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2 del total anual.

En una pequeña porción se registra clima de tipo C(E)(w2)C(x´) semifrío subhúmedo la zona de estudio está expuesta a dos regímenes de precipitación: las lluvias de verano y las de invierno; las primeras son producidas por la temporada normal de lluvias y eventos hidroclimatológicos extremos, como los ciclones, los cuales se presentan con regularidad; generalmente estas lluvias se presentan en los meses de junio a octubre; suelen ser intensas y de corta duración, generando fuertes avenidas.

La segunda temporada de lluvias es invernal, producida por los frentes fríos que se presentan durante los meses de noviembre a enero, de menor intensidad que las de verano. El período de estiaje, donde las precipitaciones son prácticamente nulas, ocurre de febrero a mayo.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 5 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: La Cruz, Acatitán, Elota, Guadalupe de los Reyes y Nuestra Señora, con un periodo de registro que comprende de 1965 a 2015. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual representativos del área de balance de **693.4 mm** y **24.7 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor promedio de **1,585.4 mm anuales**.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero Río Elota se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 10“Sinaloa”, Subregión Hidrológica Ríos Elota, Piaxtla y San Lorenzo, cuenca Elota-Piaxtla-Quelite.

Una pequeña área de la porción suroccidental pertenece a la cuenca hidrográfica del Río San Lorenzo. Las subcuencas que conforman la superficie del acuífero son las de los ríos Elota, Habitas y del Arroyo Tocuchamora.

En el territorio que cubre el acuífero la mayoría de las corrientes superficiales son de régimen intermitente; existen ríos perennes, lagunas y zonas inundables. Las principales corrientes superficiales son los ríos Elota, Habitas y los arroyos Potrerillos y Tacuichamona. El Río Elota tiene su origen en el estado de Durango, en la Sierra Madre Occidental, a una altitud cercana a 2,600 msnm. Inicia su recorrido con el nombre de Río Habitas, en dirección al oeste en un punto situado aguas abajo del poblado Santa Ana. De ahí la corriente se interna al estado de Sinaloa y desvía su curso hacia el sur. Aguas abajo del poblado Cosalá, el río cambia su dirección al suroeste, recibiendo un afluente por su margen izquierda que es el Arroyo La Boquilla, cuya confluencia se encuentra al norte del rancho Las Playitas; a partir de la cual toma el nombre de Río Elota, siguiendo su trayecto hasta la Presa Aurelio Benassini o “El Salto” y de ahí hacia la localidad de Elota, donde cambia su dirección al suroeste hacia la desembocadura en el Océano Pacífico. Presenta una pendiente media de 0.33% y una longitud de recorrido de 90.5 km, desde el sitio donde toma su nombre hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

El Arroyo Potrerillos es la otra corriente superficial importante, su régimen de escurrimiento era intermitente y ahora es perenne. Otros arroyos son los conocidos con los nombres de Norote, que nace en el extremo suroriental de la Sierra de Conitaca y desemboca en la Bahía de Ceuta, el Arroyo Japuino, sobre la Sierra de Campanillas, y el Arroyo Del Tapón, que desemboca en la Bahía Tempehuaya. En el Municipio de Elota se ubica la Laguna Los Patos, localizada al sur de la Presa El Salto, que recibe las aportaciones del Arroyo Los Patos. Tiene una superficie de 81.2 ha y se utiliza para la acuicultura y pesca.

La infraestructura hidráulica está constituida por la presa de almacenamiento Aurelio Benassini Vizcaíno o “El Salto”, que tiene una capacidad de almacenamiento de 815.5 hm<sup>3</sup>, que se utiliza en el Distrito de Riego 108, para el riego en promedio de 21,000 ha. Se cuenta además con canales principales y canales de distribución, estructuras de operación y servicios y diques, como parte del sistema de irrigación.

### **3.4. Geomorfología**

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.

De acuerdo con los rasgos fisiográficos principales, se identifican dos zonas: una de planicie y otra montañosa. La primera es sensiblemente plana con una ligera pendiente hacia el Océano Pacífico, se caracteriza por presentar bajo relieve representado por valles y pequeños lomeríos. Las geoformas son variadas, ya que tanto las rocas intrusivas y metamórficas se identifican por constituir lomeríos de pendientes suaves, producto del intenso intemperismo. Los rasgos montañosos se inician hacia el oriente, en dirección hacia la Sierra Madre Occidental, que se caracteriza por presentar relieves más accidentados, donde generalmente los valles son estrechos en forma de “V” y las corrientes tienen gradientes pronunciados que hacen que la zona se encuentre en una etapa geomorfológica juvenil.

En la zona de planicie, el río Elota ha depositado materiales deltaicos, formando numerosos meandros que hacia su desembocadura presentan cursos divagantes, dejando huellas de antiguos cauces, que en muchos casos han sido rehabilitados como drenes agrícolas.

Estos cauces por lo general tienen la forma típica de “u” por lo que se considera a la planicie en etapa de madurez avanzada. Hacia el este y sureste, los arroyos se amplían adquiriendo relieves topográficos de forma más suave y redondeada, determinado que se encuentran en una etapa de madurez incipiente.

#### **4. GEOLOGÍA**

El basamento de la región está constituido por una secuencia meta-vulcanosedimentaria, conformada por pizarras, filitas y esquistos, con algunos horizontes andesíticos intercalados, cuya edad se ubicó en el Paleozoico por su correlación y similitud litológica con la Formación San José de Gracia (Malpica, 1974) del norte de Sinaloa. Esta secuencia subyace discordantemente a las unidades de la cubierta mesozoica y terciaria (figura 2).

El Cretácico Inferior está representado por una secuencia vulcanosedimentaria caracterizada por vulcano-arenitas calcáreas y derrames andesíticos en la base, que se relaciona a un arco volcánico, posiblemente del Terreno Guerrero (Campa y Coney,

1983), que subyace en relación discordante a un paquete de rocas calcáreas arrecifales, de estratificación masiva, cuya edad determinada por métodos bioestratigráficos se asigna al intervalo Aptiano-Cretácico Superior. Descansando en discordancia sobre el Cretácico, se presentan andesitas y brechas andesíticas, andesitas y tobas andesíticas que afloran en la porción oriental, que por su posición estratigráfica se les ubica en el Paleógeno-Eoceno. Sobre las rocas andesíticas se depositaron discordantemente conglomerados polimícticos ubicados tentativamente en el Eoceno-Oligoceno, que afloran en una franja orientada NW-SE en la porción central de la zona. Sobreyaciendo discordantemente aflora un paquete de brechas riolíticas e ignimbríticas distribuidas en la porción oriental.

Descansando en aparente concordancia sobre el paquete anterior, se depositaron ignimbritas y tobas riolíticas, brechas, así como coladas de riolitas, en menor proporción; que constituyen las zonas topográficamente más elevadas de la región. Su edad se determinó en 22 a 32 Ma por correlación con rocas similares datadas al suroeste del distrito minero Tayoltita (Smith y Hall, 1974), ubicándolas en el Oligoceno-Mioceno. Intrusionando a las rocas antes descritas, afloran intrusivos de composición granodiorítica y granítico-granodiorítica que forman parte del Batolito de Sinaloa, cuyas edades radiométricas obtenidas varían de 100 a 27 Ma, aunque se han determinado edades aisladas de 135 Ma. Las relaciones de campo observadas indican una intrusión de rocas riolíticas del Oligoceno-Mioceno. Es probable que la evolución de la granodiorita haya iniciado en el Cretácico Inferior y concluido en el Terciario, como puede interpretarse también a partir de las edades radiométricas.

Estas rocas se encuentran afectadas por generaciones de diques andesíticos y aplíticos, así como de cuerpos subvolcánicos representados por pórfidos dioríticos y andesíticos, asociados a la mineralización de la zona, de edad posterior a la granodiorita.

Sobreyaciendo concordantemente sobre el paquete de ignimbritas y tobas riolíticas, aflora una secuencia vulcanoclástica constituida por una alternancia de areniscas y limolitas de la Formación San Ignacio (Fredrikson, 1974), que se distribuye localmente en la porción suroriental de la zona. Cubriendo en discordancia a la secuencia anterior, se depositaron sedimentos continentales, conformando un conglomerado polimíctico de edad Mioceno, constituido por clastos de las secuencias volcánicas preexistentes. Los eventos finales del Neógeno, se definen por gruesas coladas de andesitas y basaltos, que cubren en discordancia a las rocas riolíticas de la porción oriental, en el Rancho La Traspansa y al poniente en la Huerta de Alaya. Finalmente, el Cuaternario

está constituido por coladas de basalto, depósitos conglomeráticos no consolidados, así como depósitos eólicos, aluviales, lacustres y palustres (Carta Geológico-Minera CuliacánG13-10. Escala 1:250,000. SGM, 1999).

#### **4.1. Estratigrafía**

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende edades que varían del Precámbrico-Paleozoico al Holoceno y está constituida por rocas volcánicas e intrusivas, metamórficas y sedimentarias (figura 2). La sucesión de eventos magmáticos ocurridos se encuentra cubriendo, mediante una discordancia petrológica, a escasos afloramientos de rocas sedimentarias del Cretácico Inferior y Superior. El magmatismo inicia en el Oligoceno y continúa de manera interrumpida hasta el Holoceno.

#### **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 anfíbolita.

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 anfíbolita, 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.

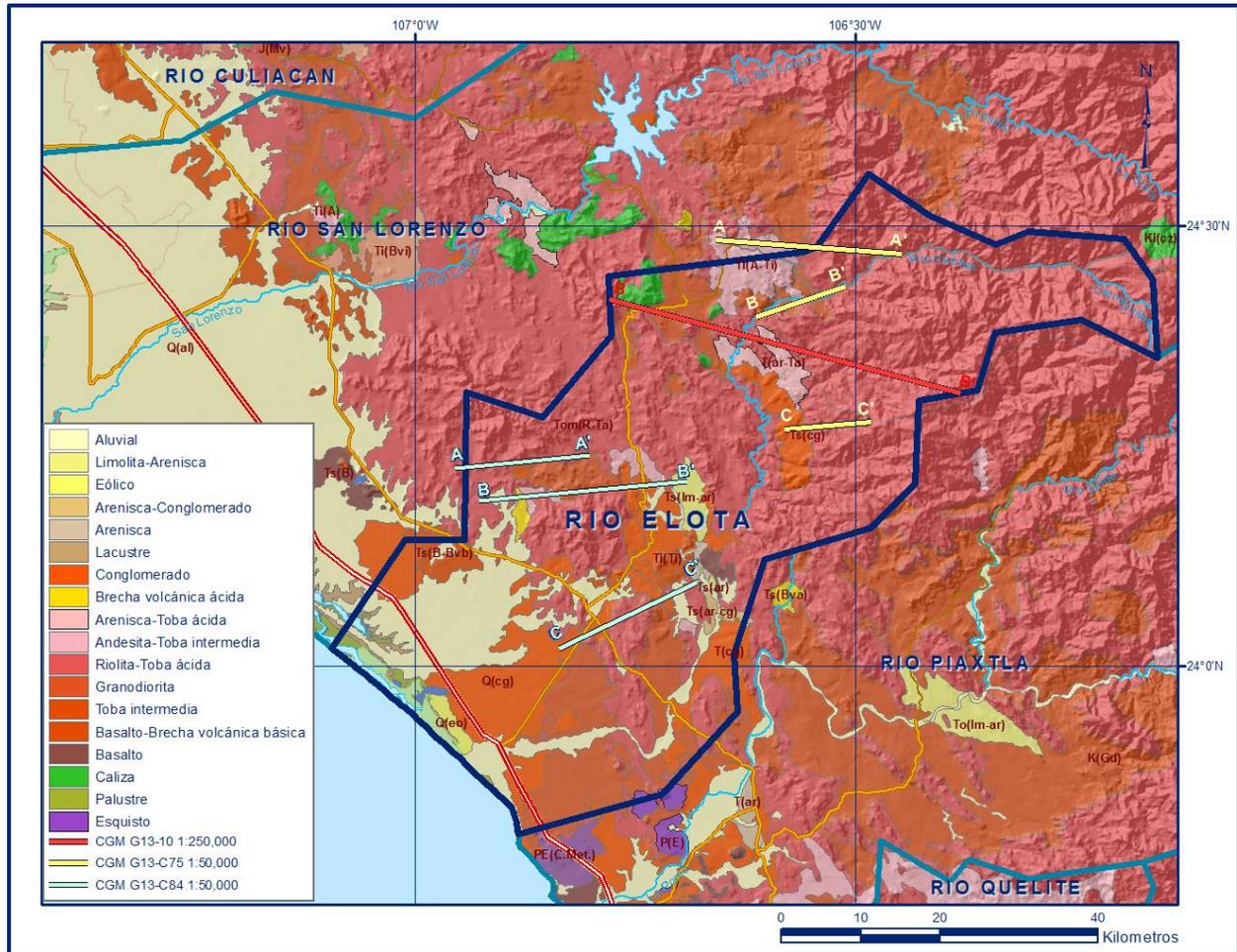


Figura 2. Geología general del acuífero

## 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 INFERIOR**

La litología característica de esta unidad inferior son las lavas andesíticas con textura porfídica y afanítica que presentan color violeta, tobas, aglomerados, sedimentos híbridos, andesitas basálticas y en algunas localidades rocas intermedias y ácidas interestratificadas, las cuales se encuentran generalmente alteradas y oxidadas. Sus afloramientos se presentan en forma de colinas bajas y onduladas, intensamente falladas y fracturadas como producto de la intensa deformación y alteración causada por intrusivos, en discordancia angular con las rocas metamórficas y las calizas del paleozoico, y cubiertas por rocas de composición riolítica.

También se presenta una secuencia de rocas volcánicas conformada por andesitas, tobas andesíticas, areniscas tobáceas oxidadas, con escasos afloramientos de dacitas, basaltos, y en menor proporción derrames riolíticos, aglomerados, brechas y materiales piroclásticos de composición intermedia. Asociados frecuentemente a esta unidad y estratigráficamente abajo, se encuentran algunos vitrificados de color negro. Su morfología característica es la de bloques escarpados con inclinaciones en diversas direcciones y en algunas localidades es común encontrarla muy erosionada. 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. La unidad de rocas ácidas está representada por derrames riolíticos, riolitas, riodacitas, tobas riolíticas, riodacíticas y areniscas conglomeráticas que presentan estructuras vesiculares y amidgaloides y como rasgo característico estructuras de flujo que forman una secuencia de planos verticales o inclinados en ángulos fuertes. Con frecuencia estos planos de flujo se observan formando pliegues primarios.

En el extremo nororiental del acuífero, en el estado de Durango, las rocas del Complejo Volcánico Inferior 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.

### **TERCIARIO MEDIO**

Está representado por una secuencia de rocas de origen vulcanoclástico constituida por arenisca, limo, areniscas tobáceas, aglomerados, tobas, lavas ácidas y tobas líticas,

que en su mayor parte presentan un color rojizo a verdoso. Se presentan en estratos tabulares de espesores que varían de 3 a 30 cm, como intercalaciones conglomeráticas en espesores variables de unos centímetros a varios metros; pueden reconocerse estructuras primarias como grietas de lodo, gotas de lluvia, horadaciones, estratificación cruzada, estratificación gradual, así como estratos de limolitas y lutitas.

### **TERCIARIO SUPERIOR**

En su base se presentan rocas volcánicas y piroclásticas de composición riolítica más jóvenes, entre las que destacan las ignimbritas. La riolita, es la litología volcánica más extendida en el área, en la que se observa la estructura fluidal que consiste en una masa oscura de grano fino entre lentes y trazas de color rosa y ocasionalmente fenocristales de feldespatos. 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.

Estas rocas se correlacionan con las del Supergrupo Volcánico Superior (McDowell y Keizer, 1977). En la porción del acuífero que se localiza en el estado de Durango, las rocas del Supergrupo Volcánico Superior están conformadas en su base por una brecha volcánica riolítica y hacia la cima por tobas riolíticas, con intercalaciones de tobas piroclásticas y ceniza de lapilli, cuya edad se asignó al Oligoceno mediante dataciones radiométricas. La unidad está afectada por cuerpos intrusivos hipabisales de composición diorítica y riolítica de edad Oligoceno y domos riolíticos exógenos de edad Oligoceno Tardío, ambas edades fueron determinadas por medio de sus relaciones de campo. Sobreyace discordantemente a las secuencias volcánicas anteriores la unidad de tobas riolíticas-ignimbritas, que forma parte del Grupo El Salto-Espinazo, de edad Terciario Mioceno determinada por medio de dataciones radiométricas.

Estas rocas se encuentran afectadas por una unidad de forma cóncava, de composición riolítica, conocida como Las Adjuntas, cuya edad es Mioceno Temprano, según datación radiométrica de K-Ar de  $27.7 \pm 0.3$  Ma.

El Terciario clástico está conformado por un espesor considerable de limos, areniscas tobáceas y conglomerados, con horizontes delgados de piroclastos y en ocasiones con lavas. Las rocas de esta unidad descansan en discordancia sobre rocas más antiguas. Frecuentemente su contacto es tectónico, en otros descansa en contacto erosional

sobre rocas de la unidad intrusiva ácida. La edad de las rocas de la base del Terciario y las de la unidad terciaria inferior volcánica, o unidad terciaria ácida no varían mucho, lo más probable es que representen una transición entre la mayoría de las unidades terciarias, tanto vertical como lateralmente.

### **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 gradada 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.

## **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.

## **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 arenolimosos 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.

Los depósitos arenosos de origen marino que indican el carácter progradante de la línea de costa (bermas o terrazas) fueron formados por la acción del oleaje y mareas que aportan los sedimentos hacia la alta playa y paulatinamente quedan fuera del alcance de la erosión marina. En general, están constituidos por arena de grano medio a fino, con dimensiones medias de 0.5 a 12 mm, con presencia de conchas fracturadas de pelecípodos en cantidades variables.

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**

La interpretación de imágenes de satélite define lineamientos orientados en dos direcciones: NW-SE y SE-NW, ocasionalmente E-W. El segundo patrón desplaza y modifica la orientación de las estructuras NW-SE, constituyendo una serie de bloques desplazados unos con respecto a otros. Se interpreta que estos lineamientos están estrechamente relacionados a la apertura del Golfo de California y que pudieran ser la continuidad en el continente de fallas transformantes. Las estructuras anulares observadas son generalmente abiertas, con diámetros que varían en un rango de 1 a 20 km; posiblemente están relacionadas a calderas o intrusiones dómicas. Estas estructuras son muy importantes desde el punto de vista minero, ya que gran número de evidencias de mineralización o prospectos se encuentran en sus bordes.

Estructuralmente la región está afectada principalmente por un sistema de fallas normales orientadas NW-SE, que constituyen una serie de fosas y pilares en forma escalonada, como se observa en el camino de Tabal a Santa Cruz de Alaya, en general, en el límite de la Planicie Costera y la Sierra Madre Occidental.

En algunas zonas ubicadas al oriente y centro de la región, se presenta este mismo fallamiento, pero combinado con desplazamientos laterales, como se observa al sureste de la población de Cosalá y en Guadalupe de los Reyes, Sinaloa. El segundo patrón estructural está definido por un fallamiento con dirección NE-SW, representado por los ríos San Lorenzo, Elota y Verde, provocando desplazamientos de bloques e interrupción de estructuras. Al oriente de la zona se presenta una estructura anular que está relacionada a intrusiones subvolcánicas mineralizadas (Carta Geológico-Minera Culiacán G13-10. Escala 1:250,000. SGM, 1999).

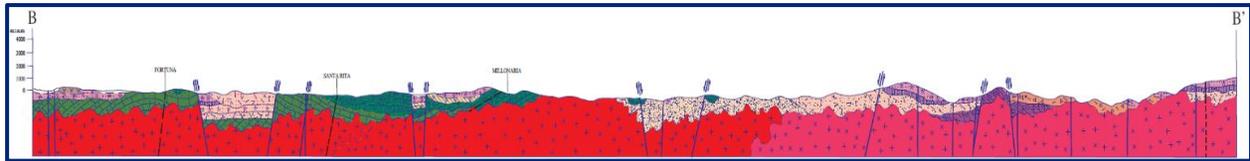
Se presenta deformación dúctil-frágil en la unidad volcánica del Cretácico, de manera restringida con foliaciones asociadas a micropliegues a escala de afloramiento y con horizontes de tobas andesíticas, que presentan plegamiento recumbente con plano axial recostado. Se reconocieron tres direcciones de estructuras que afectan a la región: uno de fallas regionales normales de rumbo N20°-35°W y en ocasiones N-S, representados por las fallas Potrerillos, Las Chapas, Ensenada de Elota y Otatal, que constituyen una morfología de fosas y pilares relacionados al evento distensivo de Cuencas y Sierras. El segundo patrón estructural es de rumbo N47°-75° de las vetas presentes, que probablemente sea más antiguo que el anterior, por lo que se le ha denominado como pre-cuencas. El tercer sistema de fallamiento normal de componente lateral presenta rumbo E-W (Carta Geológico-Minera Conitaca G13-C84. Escala 1:50,000. SGM, 2006).

### **4.3. Geología del subsuelo**

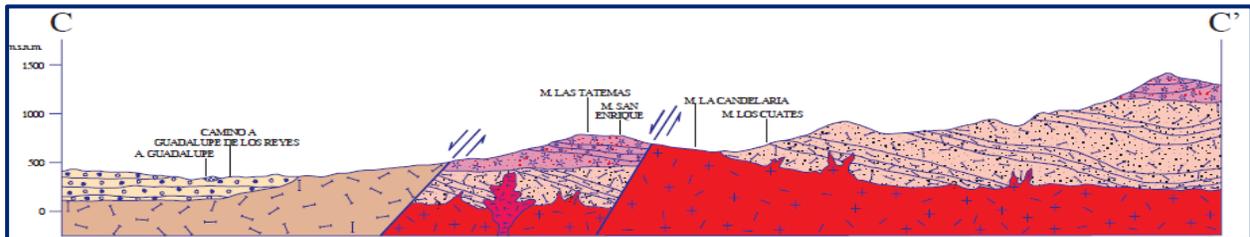
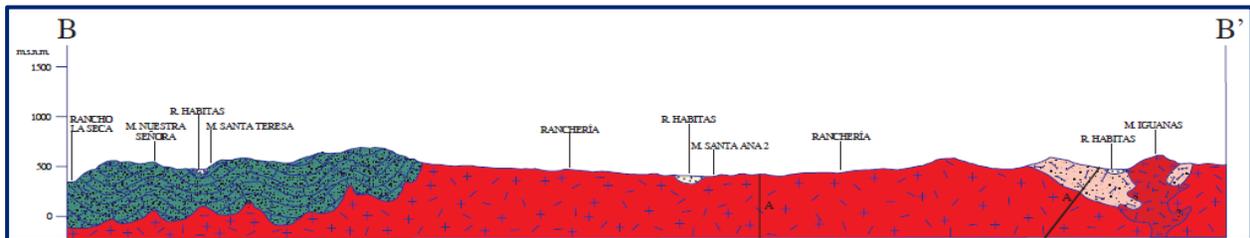
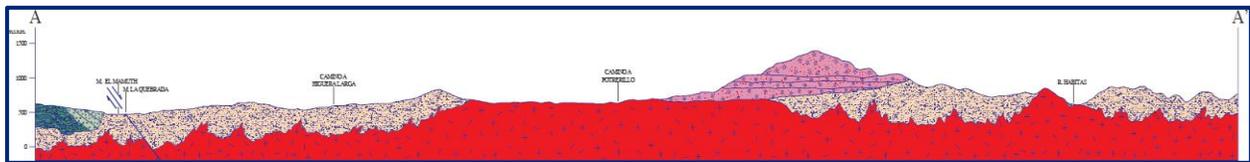
De acuerdo con la información geológica, hidrogeológica y geofísica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por sedimentos aluviales, fluviales, eólicos, de pie de monte y lacustres, de granulometría variada, producto del intemperismo de rocas preexistentes, así como por conglomerados polimícticos que rellenan los valles y constituyen el lecho y llanura de inundación del Río San Lorenzo. Esta es la unidad que se explota actualmente para satisfacer las necesidades de agua de la región. Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se produjeron después de la revolución laramídica.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas como tobas ácidas, riolitas, ignimbritas, andesitas y basaltos que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del

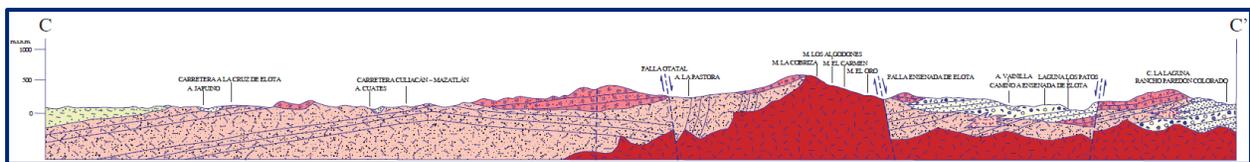
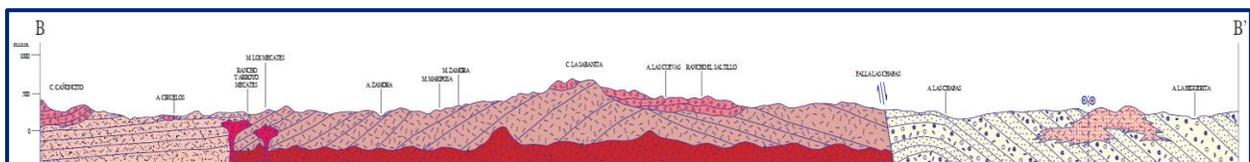
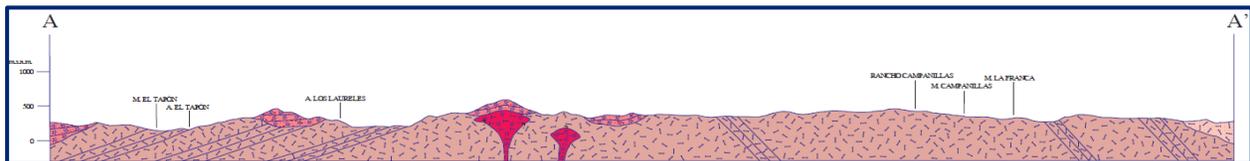
acuífero están representados por las mismas rocas volcánicas, al desaparecer el fracturamiento, y por rocas metamórficas e intrusivas (figura 3).



FUENTE: Carta Geológico-Minera: G13-10 "Culiacán" Escala 1:250.000 (SGM, 1999).



FUENTE: Carta Geológico-Minera: G13-C75 "Guadalupe de los Reyes" Escala 1:50.000 (SGM, 2005).



FUENTE: Carta Geológico-Minera: G13-C84 "Conitaca" Escala 1:50.000 (SGM, 2006).

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, andesitas y basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

### 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2014, se ejecutaron 6 pruebas de bombeo, 6 pruebas más realizadas en el estudio de 2001, así como otras realizadas en 2010 y en 1978 (SARH), tanto en este acuífero como otros vecinos de la zona que tienen el mismo origen, evolución y constitución geológica; todas ellas de corta duración, tanto en tapa de abatimiento como de recuperación. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales se establece que los valores promedio de transmisividad varían entre  **$0.9 \times 10^{-3}$**  y  **$3.1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$** , y la conductividad hidráulica registra valores de  **$9.0 \times 10^{-5}$**  a  **$2.1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$** , (**7.8 a 181.4 m/d**), que se asocian a sedimentos de granulometría fina a 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 geohidrológica con acuíferos vecinos que tienen la misma constitución geológica, para fines del balance se adoptó un valor de **0.15**.

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 los registros históricos durante el periodo 2000-2019, 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 2006-2019 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 2016.

## 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 menos de 1 m hasta a 7 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía de la zona costera y del cauce del río Elota y arroyos hacia las estribaciones de las sierras que limitan el valle. Los niveles estáticos más someros, menores de 2 m, se registran a lo largo del cauce del Río Elota, arroyos y en toda la zona costera, desde donde se incrementan gradualmente, conforme se asciende topográficamente. Los más profundos, de 5 a 7 m, se presentan en la porción central del valle y hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas que delimitan la planicie costera, entre los poblados Tanques, Potrerillos y La Cruz de Elota (figura 4).

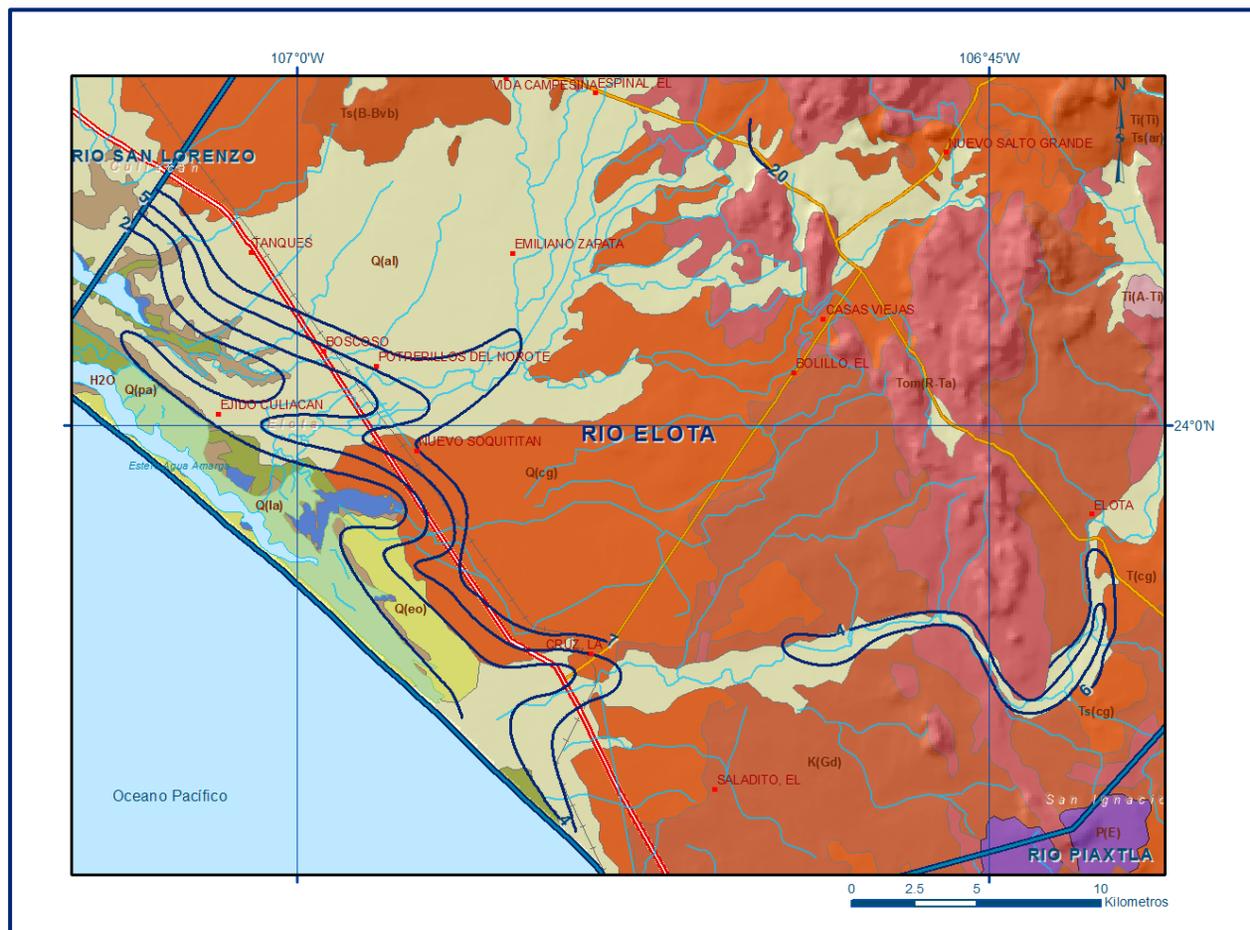


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2019)

### 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 2 a 40 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 Elota. Los valores más altos, de 30 a 40 msnm, se registran sobre el cauce del río Elota, hacia el poblado llamado Elota, y de 25 a 30 msnm en la porción media del valle, entre los poblados Tanques y Potrerillos, desde donde descienden gradualmente por efecto de la topografía, al igual que los valores de profundidad, hacia la zona costera. Los valores más bajos, de 2 a 4 msnm, se presentan en toda la zona costera. La dirección preferencial del flujo subterráneo es noreste-suroeste, paralela a la dirección de escurrimiento del Río Elota y de la red de drenaje superficial (figura 5).

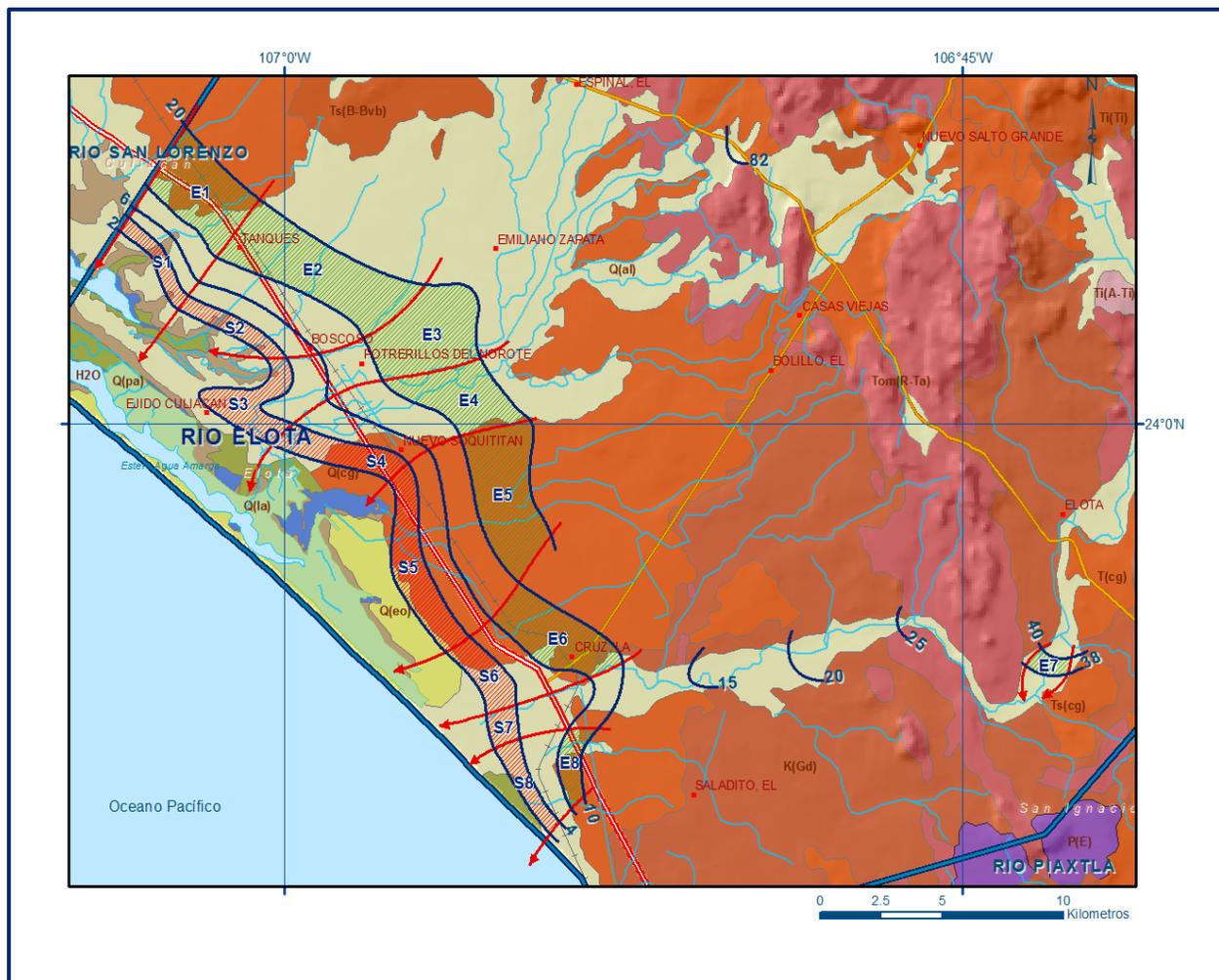


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2019)

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2006-2019 solo registró abatimientos locales de 0.5 a 2.0 m, que representan 0.04 a 0.15 m anuales, que se observan en la porción central del valle, entre los poblados Potrerillos y Emiliano Zapata, así como a lo largo del cauce del río Elota, en las inmediaciones de La Cruz de Elota y hacia el poblado Elota. En la mayor parte de la zona de explotación los niveles del agua subterránea no registraron cambios en su posición (figura 6).

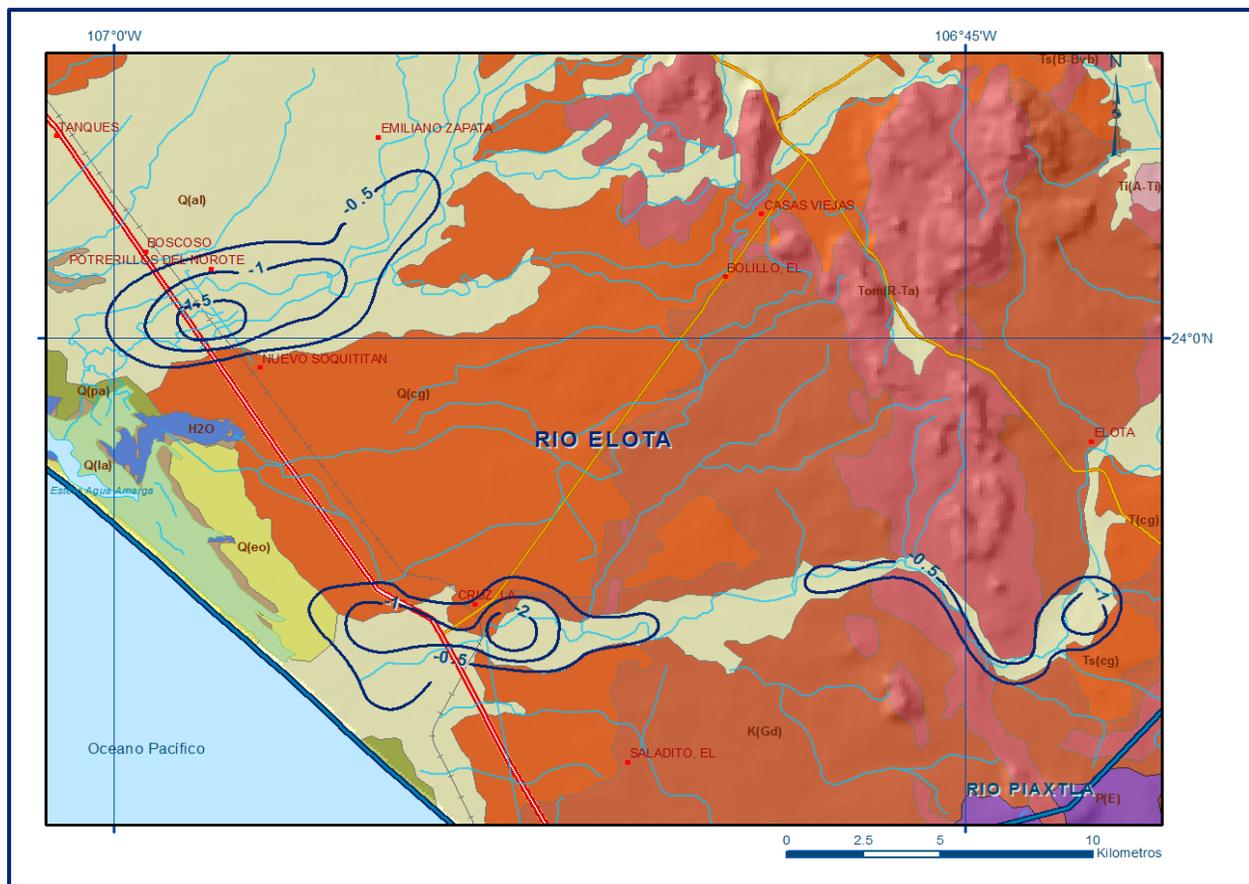


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2006-2019)

### 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2014, se tomaron 5 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y

bacteriológicos, iones principales, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos (STD), Fe, Mn, coliformes fecales y totales, así como metales pesados, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasaron los límites máximos permisibles (LMP) que establece la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, para los diferentes usos. La concentración de STD presentó valores que varían de 236 a 575 ppm que no superan el LMP de 1000 mg/l para el agua destinada al consumo humano, según la norma mexicana mencionada. Los valores más bajos se registraron en los aprovechamientos localizados en las inmediaciones del cauce del río Elota y arroyo Potrerillos. De las determinaciones de laboratorio realizadas, en las 5 muestras analizadas, se superó la concentración de nitratos 10 mg/l que establece la norma oficial como LMP y en la mismas se detectaron coliformes fecales y totales, en particular en el poblado El Bolillo; en ambos casos, se asocian al uso de agroquímicos y/o a la contaminación con agua residuales urbanas y pecuarias.

Según con la clasificación establecida por la American Public Health Association (APHA, 1995), el agua del acuífero se clasifica como agua dulce, ya que los valores de conductividad eléctrica varían de 560 a 1360 $\mu$ S/cm. Los valores de STD y conductividad eléctrica se incrementan, de manera general, en dirección el suroeste, confirmando con ello la dirección preferencial del flujo subterráneo. Las mayores concentraciones de STD se registraron en la porción sur-suroeste, por su cercanía a la zona costera y/o quizá por la presencia de evaporitas. La temperatura del agua varió de 22.2 a 28.0°C y el pH de 5.2 a 6.3.

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 como C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, 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 más como C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>, que representa agua con salinidad alta y 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, el agua pertenece a la familia bicarbonatada-cálcica que representa agua de reciente infiltración con periodos cortos de residencia que han circulado a través de rocas volcánicas. Hacia la zona costera, en las inmediaciones del poblado Bellavista, se presenta la familia del agua sódica-clorurada que puede mostrar la influencia del agua marina.

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

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el 2001, se registraron un total de 74 aprovechamientos, de los cuales 47 corresponden a pozos y 27 a norias. Del total de obras, 37 son para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, 20 para uso agrícola, 8 para uso pecuario-doméstico y 9 para usos múltiples.

El volumen de extracción calculado es de **6.7 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 4.6 hm<sup>3</sup> (68.7%) son para dotación de agua potable, 2.0 hm<sup>3</sup> (29.8%) para uso agrícola y 0.1 hm<sup>3</sup> (1.5%) para uso pecuario-doméstico.

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

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2006-2019, en una superficie de **214 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:

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

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

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

## 7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) 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). Para este caso, debido a que los volúmenes de agua para usos agrícola y público-urbano son pequeños, se considera despreciable la recarga incidental.

### 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:

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

Donde:

**Rv:** Recarga vertical

**Eh:** Entradas por flujo subterráneo horizontal

**B:** Bombeo

**Sh:** Salidas por flujo subterráneo horizontal

**ETR:** Evapotranspiración real

**$\Delta V(S)$ :** Cambio de almacenamiento

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

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

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del 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:

$$Q = T * B * i$$

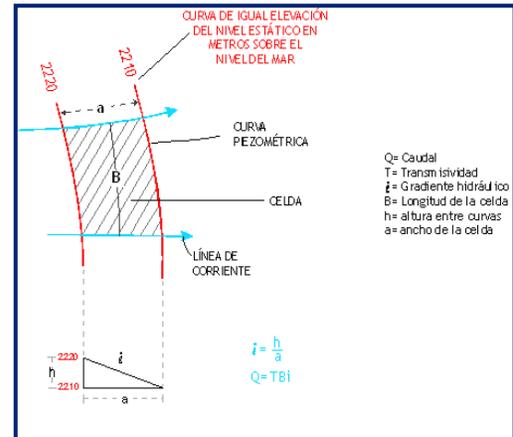
Donde:

**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 **23.3 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas 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)
E1	3950	2580	10	0.0039	0.0030	0.0459	1.4
E2	6930	2070	10	0.0048	0.0050	0.1674	5.2
E3	2710	4650	10	0.0022	0.0150	0.0874	2.7
E4	3000	2540	10	0.0039	0.0150	0.1772	5.6
E5	5400	2180	10	0.0046	0.0030	0.0743	2.3
E6	4670	2230	4	0.0018	0.0030	0.0251	0.8
E7	1520	780	2	0.0026	0.0080	0.0312	1.0
E8	3050	890	4	0.0045	0.0100	0.1371	4.3
<b>TOTAL</b>							<b>23.3</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.

## 7.2. 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 **6.7 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 **9.3 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	3840	580	2	0.0034	0.0020	0.0265	0.8
S2	4180	790	2	0.0025	0.002	0.0212	0.7
S3	4750	2350	2	0.0009	0.015	0.0606	1.9
S4	6420	1080	2	0.0019	0.005	0.0594	1.9
S5	7400	1310	2	0.0015	0.003	0.0339	1.1
S6	3090	1200	2	0.0017	0.003	0.0155	0.5
S7	1330	1140	2	0.0018	0.01	0.0233	0.7
S8	3810	700	2	0.0029	0.005	0.0544	1.7
<b>TOTAL</b>							<b>9.3</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.

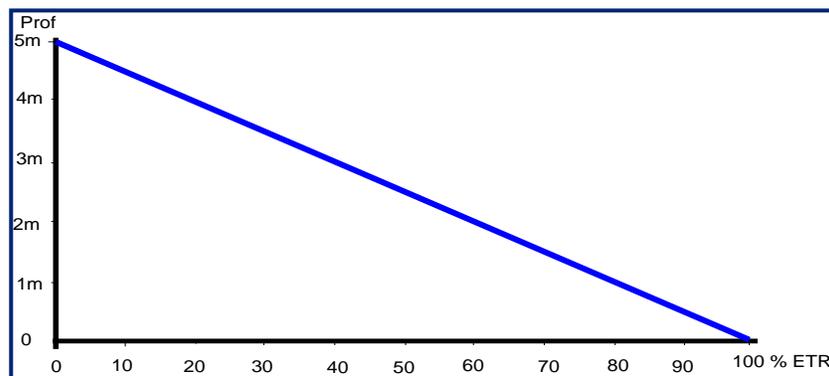
Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de temperatura y precipitación de 24.7 °C y 693.4 mm, representativos del área de balance. Con ellos se obtiene una lámina de evapotranspiración de 669.6mm anuales, como se muestra a continuación:

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

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

T (°C) =	24.7		
P(mm) =	693.4	P <sup>2</sup> =	480803.56
L =	1670.96115	L <sup>2</sup> =	2792111.16
ETR (mm)	669.6		

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 =29.0 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)
4	4	10.3	0.6696	0.2	1.4
2 a 4	3	33.8	0.6696	0.4	9.1
4 a 5	4.5	21.6	0.6696	0.1	1.4
2	2	42.5	0.6696	0.6	17.1
	<b>Total</b>	<b>108.2</b>			<b>29.0</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 2006-2019 que se muestra en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico  $S_y = 0.15$ , 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  $-9.6 \text{ hm}^3$ , es decir, un promedio anual de  $-0.7 \text{ hm}^3$ . Por lo tanto,  **$\Delta V(S) = -0.7 \text{ hm}^3$  anuales.**

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento (2006-2019)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Sy	ΔV(S) (hm <sup>3</sup> /año)
-1	-1.0	1.3	0.15	-0.2
0.5 a -1	-0.75	44.2	0.15	-5.0
-2	-2	1.5	0.15	-0.5
-1 a -2	-1.5	7.5	0.15	-1.7
-1.5	-1.5	2.2	0.15	-0.5
-1 a -1.5	-1.125	10.3	0.15	-1.7
	<b>TOTAL</b>	<b>67.0</b>	<b>TOTAL</b>	<b>-9.6</b>
		<b>Promedio anual</b>		<b>-0.7</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:

$$R_v = B + Sh + ETR - E_h \pm \Delta V S$$

$$R_v = 6.7 + 9.3 + 29.0 - 23.3 - 0.7$$

$$R_v = 21.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 21.0 + 23.3$$

$$R = 44.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

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

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

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 **44.3 hm<sup>3</sup>/año**, todo él recarga natural.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Río Elota, su valor es **23.8 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 9.3 hm<sup>3</sup> corresponden a las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina y 14.5 hm<sup>3</sup> al 50% de la ETR para preservar los ecosistemas costeros y ribereño. **DNC = 23.8 hm<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 **30'533,776 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2020**.

#### **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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 44.3 - 23.8 - 30.533776 \\ \text{DMA} &= - 10.033776 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; su déficit es de **10'033,776 m<sup>3</sup>**

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 2001. Estudio de actualización geohidrológica en los acuíferos de los ríos Elota, Piaxtla y Quelite, Sinaloa. Realizado por PROTYC, S.A. DE C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2007. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Río Elota, estado de Sinaloa.

Comisión Nacional del Agua, 2014. Integración del estudio técnico justificativo de los acuíferos Río Elota clave 2506, Río Piaxtla clave 2507, Río Quelite clave 2508, Río Baluarte clave 2510 y Laguna Agua Grande clave 2512, en el estado de Sinaloa. Realizado por SANX Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V. (SIIDSA)

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

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1978. Evaluación de acuíferos en la zona Elota-Cañas, en el estado de Sinaloa. Realizado por Consultores,S.A.

Servicio Geológico Mexicano, 1999, Carta Geológica-Minera G13-10 "Culiacán", escala 1:250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2005, Carta Geológica-Minera G13-C75 "Guadalupe de los Reyes" Escala 1:50.000.

Servicio Geológico Mexicano, 2006, Carta Geológica-Minera G13-C84 "Conitaca" Escala 1:50.000.