



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO RÍO SINALOA (2502), ESTADO DE
SINALOA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3. FISIOGRAFÍA.....	7
3.1. Provincia fisiográfica.....	7
3.2. Clima.....	8
3.3. Hidrografía.....	10
3.4. Geomorfología.....	10
4. GEOLOGÍA.....	11
4.1. Estratigrafía.....	14
4.2. Geología estructural.....	20
4.3. Geología del subsuelo.....	20
5. HIDROGEOLOGÍA.....	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.....	24
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	25
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	27
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	27
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.....	31
7.2.1. Bombeo (B).....	31
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
8. DISPONIBILIDAD.....	35
8.1. Recarga total media anual (R).....	35
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	35
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	36
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	36
9. BIBLIOGRAFÍA.....	38

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 Sinaloa, definido con la clave 2502 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte del estado de Sinaloa, entre los paralelos 25°11'31" y 26°34'09" de latitud norte y 106°42'28" y 108°57'13" de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 15,348km², que comprende también una porción de la zona serrana suroccidental del estado de Chihuahua.

Limita al norte, noreste y oeste con el acuífero Río Fuerte; al sureste con el acuífero Río Culiacán y al sur con Río Mocorito todos ellos en el estado de Sinaloa. En su extremo suroccidental, su límite natural es el Golfo de California (Figura 1).

Geopolíticamente, el área que cubre el acuífero comprende la mayor parte de los municipios de Sinaloa y Guasave; parcialmente los municipios El Fuerte, Choix, Badiraguato y pequeñas porciones de Angostura, Ahome, Mocorito y Salvador Alvarado, en el estado de Sinaloa. En el estado de Chihuahua abarca parcialmente los municipios Morelos y Guadalupe y Calvo.

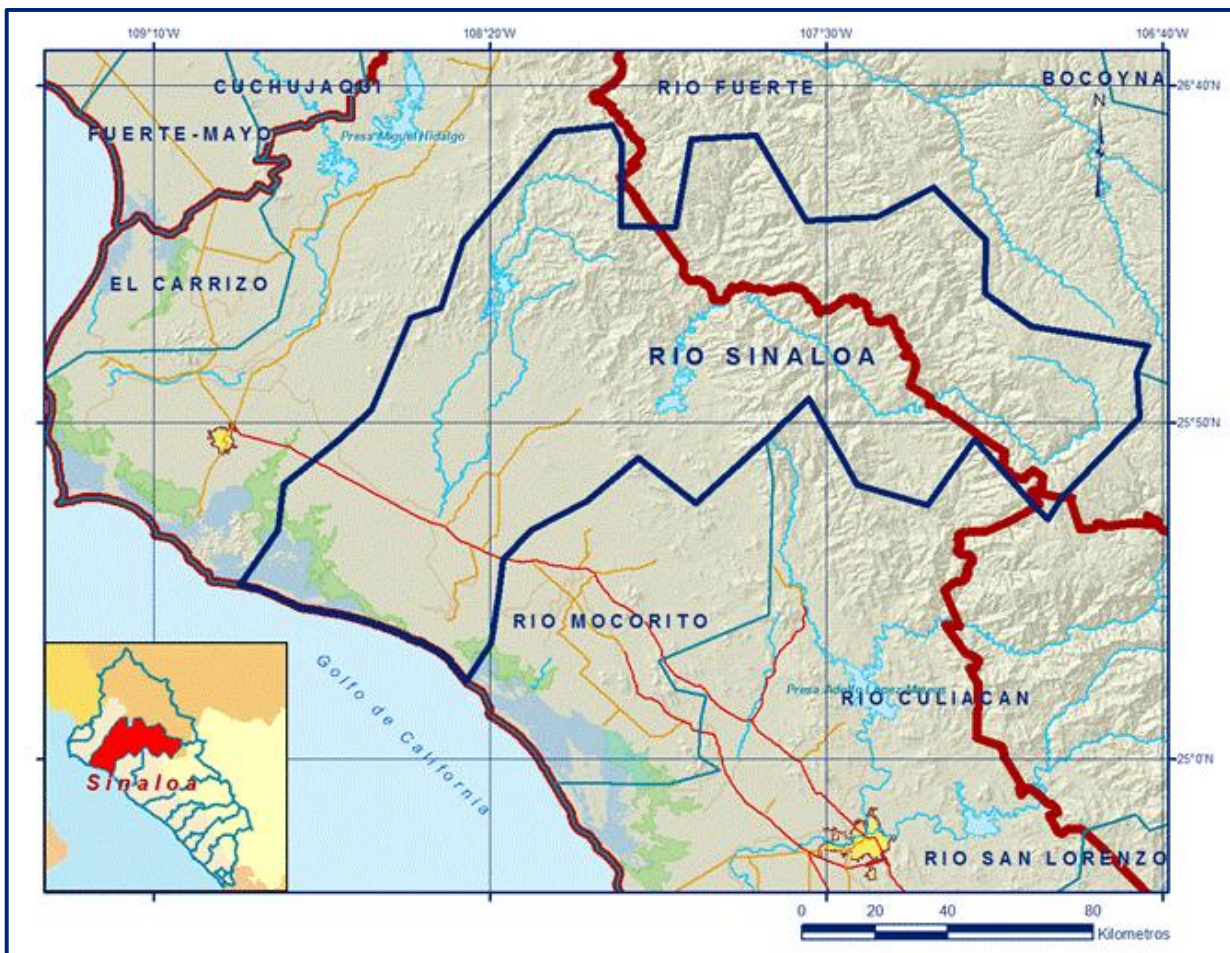


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 2502 RIO SINALOA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	107	57	57.2	25	44	40.7	
2	108	5	39.8	25	38	14.3	
3	108	13	56.9	25	33	52.8	DEL 3 AL 4 POR EL CAUCE DEL ARROYO SAN RAFAEL
4	108	18	7.3	25	29	36.0	
5	108	18	50.0	25	24	10.0	
6	108	19	55.0	25	17	10.0	
7	108	23	34.5	25	11	29.7	DEL 7 AL 8 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
8	108	57	13.3	25	25	47.5	
9	108	51	30.0	25	34	0.0	
10	108	50	45.4	25	40	41.6	DEL 10 AL 11 POR EL CAUCE DEL ARROYO GUAYPARIME
11	108	42	40.5	25	47	13.6	
12	108	37	40.8	25	51	47.0	
13	108	31	49.0	26	5	24.9	
14	108	27	22.0	26	6	56.4	
15	108	24	0.4	26	16	51.8	
16	108	10	29.4	26	33	6.9	
17	108	1	49.0	26	34	7.8	
18	108	0	32.6	26	31	16.6	
19	108	0	34.0	26	19	7.7	
20	107	52	31.2	26	18	58.4	
21	107	50	10.6	26	32	1.2	
22	107	40	29.3	26	32	34.1	
23	107	33	3.9	26	19	54.6	
24	107	22	40.4	26	20	32.1	
25	107	14	9.4	26	24	50.0	
26	107	6	25.3	26	17	10.5	
27	107	6	34.7	26	9	12.4	
28	106	59	42.2	26	4	17.0	
29	106	42	16.8	26	1	23.6	
30	106	43	56.2	25	57	25.5	
31	106	43	30.1	25	50	40.9	
32	106	55	9.8	25	38	44.2	
33	106	57	12.7	25	35	31.6	
34	106	59	9.5	25	37	19.4	
35	107	8	1.6	25	47	24.7	
36	107	15	6.7	25	37	36.1	
37	107	25	28.0	25	40	39.2	
38	107	32	39.6	25	53	30.9	
39	107	39	1.2	25	47	26.2	
40	107	49	32.7	25	37	57.4	
1	107	57	57.2	25	44	40.7	

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 media y baja de la cuenca están sujetas a las disposiciones de tres decretos de veda; el primero cubre la mayor parte de la esta zona y es el *“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; el segundo es el *“Acuerdo que crea el Distrito de Riego del Río Sinaloa y declara de utilidad pública la construcción de las obras que lo forman, así como la adquisición de los terrenos necesarios para alojarlas y operarlas”*, publicado en el DOF el 14 de noviembre de 1958; estas vedas se clasifican como tipo III en las que la capacidad de los mantos acuíferos permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. El tercero es el *“Decreto por el que se declara de utilidad pública el establecimiento del Distrito de Riego de la Presa Eustaquio Buelna, en terrenos ubicados en los Municipios de Sinaloa, Guasave, Mocorito, Angostura y Salvador Alvarado, Sin”* publicado en el DOF el 17 de abril de 1975, esta veda se clasifica como tipo II en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

En la superficie restante no rige ningún decreto de veda para la extracción del agua subterránea. La porción no vedada del acuífero Río Sinaloa 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 parte de los Distritos de Riego 075 “Río Fuerte” y 074 “Mocorito”, y la totalidad del Distrito de Riego 063 “Guasave”. No se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). En la zona costera existe el Área de Protección de Flora y Fauna llamada Islas del Golfo de California, decretada el 07 de junio de 2000, y el sitio RAMSAR Sistema Lagunar Navachiste Macapule, considerado como tal desde 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 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 Secretaría 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 Duranguenses 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 km² 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 2,300 a 2,600 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 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 2700 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 BS1(h')w, semiárido cálido, y BSo(h')w árido, cálido; ambos 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.

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 que tienen influencia en el área del acuífero: Guasave, Ruíz Cortines, Yecorato, Jainay Guadalupe y Calvo, cuyo registro comprende el periodo 1969- 2009. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación, temperatura y evaporación potenciales medios anuales, representativos de **toda la superficie del acuífero**, de **811 mm, 25.1 °C y 1418 mm**, respectivamente.

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 y evaporación

potencial, de la estación Guasave, representativa de la porción baja de la cuenca: **22.1 °C, 444.7 mm y 1253.0 mm**, respectivamente.

3.3. Hidrografía

El acuífero Río Sinaloa se encuentra ubicado en su totalidad en la Región Hidrológica 10“Sinaloa”, Subregión Hidrológica Sinaloa, cuencas del Río Sinaloa, Bahía Lechuguilla-Chuira-Navachiste y Río Mocorito; subcuencas B. Navachiste, R. Sinaloa, A. Mezquitillo, B. Ohuira, A. Ocoroni, B. Santa María y A. Cabrera.

La corriente superficial más importante en el valle es el río Sinaloa; se origina en el suroeste del estado de Chihuahua con la confluencia de los Arroyos Nahirora y Besanopa, ingresan al municipio de Sinaloa, donde recibe afluentes de los Arroyos Magdalena, San José de Gracia y Bacubirito. Dentro de la zona del acuífero recibe los afluentes de los arroyos Ocoroni y Cabrera. Su cuenca de captación es de 8,179 km² y presenta un escurrimiento medio anual de 1,239 hm³. El río Sinaloa se adentra 70 km en el municipio de Guasave que corresponden al 17% de su longitud total. En la ribera de su trayecto por el municipio se localizan las poblaciones de Bamoa, Cruz Blanca, Pueblo Viejo, Guasave, Tamazula y La Brecha. Vierte sus aguas al Golfo de California en la comunidad de Boca del Río, ubicada a 1 km de Las Juntas, Sindicatura de La Brecha. Otros afluentes son los arroyos Mezquitillo y San Rafael; en la zona costera se localizan las Lagunas Huyaqui, Jupabampo y Chamicari, así como los esteros La Presa y El Cohui.

En la superficie que cubre el acuífero se localizan las presas Guillermo Blake Aguilar (El Sabinal) y Gustavo Díaz Ordaz (Bacurato); existe también una red importante de canales hidroagrícolas en la zona de los Distritos de Riego No. 075 Río Fuerte y 063 Guasave.

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 topofomas 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.

En la región montañosa ubicada al noreste del acuífero, se localizan las sierras Surutato o de Parra Blanca, Baragua o Cuerno de Ciervo, Santiago de los Caballeros, Badiraguato, Potrero y Capirato, esta última en la cercanía de Mocorito, en donde forma los cerros Caiquiea y Jey.

En la porción suroccidental se encuentra la zona de planicie, donde el río Sinaloa 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. 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. Los valles son estrechos en forma de “v” y las corrientes presentan gradientes altos que las ubica en una etapa juvenil.

4. GEOLOGÍA

El basamento de la región está constituido por una secuencia meta-vulcanosedimentaria conformada por pizarras, esquistos, cuarcitas, meta-andesitas y filitas que, por su correlación y similitud litológica con la Formación San José de Gracia, del norte de Sinaloa, Malpica (1974) las ubicó en el Paleozoico Superior. Subyace discordantemente a las unidades de la cubierta mesozoica y terciaria y cabalga a rocas más jóvenes en algunas zonas. El Jurásico Superior está representado por el Conglomerado Guanaceví compuesto por fragmentos de cuarzo y metaandesita, que por su 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, ubicada bioestratigráficamente en el

Berriasiano (López, 1998). El Cretácico Inferior está integrado por una secuencia vulcanosedimentaria representada por limolitas y tobas andesíticas del Berriasiano Medio (López, 1998 op. cit.); el Aptiano se constituye de lavas almohadilladas, relacionadas a piso oceánico y de andesitas en medios continentales; el Albiano está integrado por dos secuencias sedimentarias representadas por caliza-lutita y lutita-arenisca, en las cuales la edad Albiano fue determinada con base a dos amonoideos mal preservados (Ortega, 1979). Las rocas intrusivas están representadas principalmente por un cuerpo dunítico considerado del Cretácico Inferior, que aflora al poniente del El Palmar de Los Sepúlveda. En el Cretácico Superior se tiene el batolito granodiorítico de Sinaloa aflorando principalmente hacia el pie de la sierra, zona de costa y partes bajas, ambas unidades se encuentran afectando a las rocas más antiguas.

EL Terciario Paleógeno descansa en discordancia sobre el Cretácico Inferior y está integrado por andesitas y tobas andesíticas correlacionables con la Formación San Blas, que por su posición estratigráfica se le confiere un rango del Paleoceno-Eoceno (Ledezma, 1971). Al vulcanismo del Paleógeno Temprano le prosigue un periodo sin magmatismo, en donde la erosión rellenó con materiales clásticos algunas cuencas continentales, constituidas por unidades sedimentarias conglomeráticas consolidadas, una compuesta principalmente por fragmentos de arenisca, caliza y cuarzo; otra de fragmentos de arenisca, lutita, caliza y limolita. En el Terciario Paleógeno-Neógeno se presenta un intenso vulcanismo de tipo explosivo caracterizado por tobas riolíticas e ignimbríticas que coronan las partes altas de la Sierra Madre Occidental. Su edad se determinó por correlación con rocas similares datadas al suroeste del distrito minero Tayoltita, ubicándolas en el Oligoceno-Mioceno (Smith y Hall, 1974). Este paquete descansa en discordancia sobre los depósitos continentales de relleno de fosa de finales del Terciario-Paleógeno y está cubierto discordantemente por una secuencia sedimentaria constituida por una alternancia de areniscas y limolitas de estratificación delgada, denominada Formación San Ignacio; Fredrickson (1974), define que estos depósitos son post-ignimbríticos desarrollados en fosas formadas por fallas gravitatorias, ocurridas con mayor frecuencia en la planicie costera y al pie de las montañas. En los últimos eventos volcánicos del Neógeno se definen gruesas coladas de andesitas basálticas que cubren, en discordancia, a las rocas riolíticas en la porción sureste. El final de este periodo se define por un depósito continental formado por un conglomerado polimíctico consolidado a semiconsolidado, constituido por clastos de las rocas preexistentes que cubren parcialmente en discordancia a la secuencia vulcanoclástica

y a las secuencias volcánicas descritas anteriormente. También del Terciario se presenta un intrusivo post-batolítico (Eoceno) que varía en su composición de granodiorita, diorita a cuarzomonzonita; que se encuentra afectando a la granodiorita del Cretácico Superior y a todas las rocas preexistentes. Existen también algunos afloramientos de gabro en el área de Bacubirito y de kimberlita en el área de Surutato. Los cuerpos intrusivos están afectados por generaciones de diques andesíticos, así como de cuerpos subvolcánicos representados por pórfidos de composición andesítica y riolítica, los cuales están ligados íntimamente a la mineralización polimetálica de la región (Figura 2).

Finalmente, el Cuaternario está constituido por andesitas basálticas, brechas de la misma composición, derrames basálticos, depósitos aluviales, fluviales, litorales y lacustres

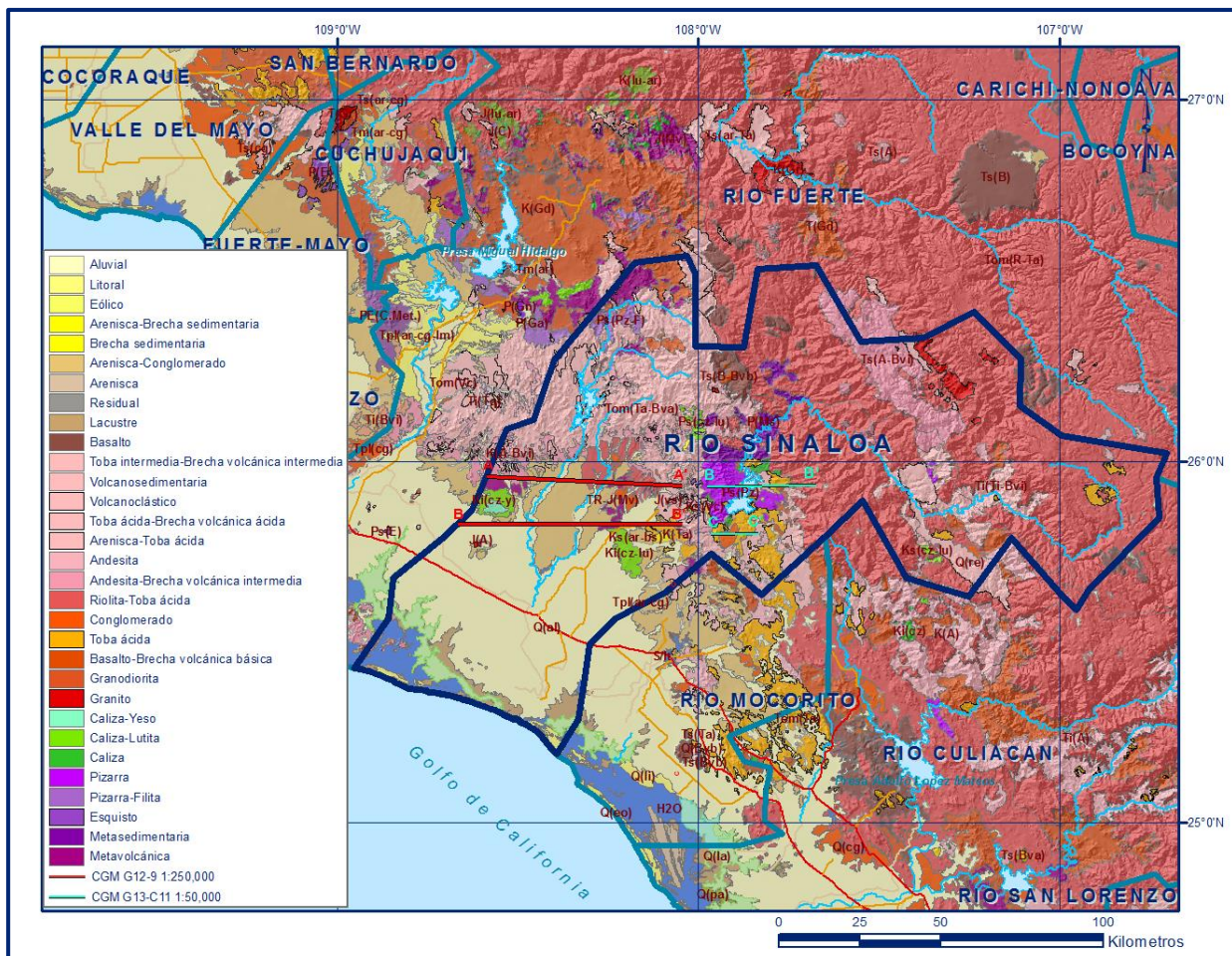


Figura 2. Geología general del acuífero

Las rocas intrusivas están representadas principalmente por un cuerpo dunítico considerado de edad Cretácico Inferior, que aflora al poniente de Palmar de Los Sepúlveda. Del Cretácico Superior se tiene el batolito granodiorítico de Sinaloa aflorado principalmente hacia el pie de la sierra, zona de costa y partes bajas; ambas unidades se encuentran afectando a las rocas más antiguas. En el Terciario se presenta un intrusivo post-batolítico (Eoceno) que varía en su composición de granodiorita, diorita a cuarzomonzonita; que hacia el noroeste de la zona se encuentra afectando a la granodiorita del Cretácico Superior y a todas las unidades preexistentes. Existen también algunos afloramientos de gabro en el área de Bacubirito y de kimberlita en el área de Surutato. Los cuerpos intrusivos están afectados por generaciones de diques andesíticos, así como de cuerpos intrusivos subvolcánicos representados por pórfidos de composición andesítica a riolítica, los cuales están ligados íntimamente a la mineralización polimetálica de la región (Carta Geológico-Minera "Pericos" G13-7. Esc. 1:250000, SGM, 1999).

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 meta-vulcanosedimentarias, vulcanosedimentarias, sedimentarias, ígneas intrusivas y extrusivas (figura 2).

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 meta-andesitas 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.

PALEÓGENO

Durante el Paleógeno 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 ignimbríticas 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 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.

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 areno 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 situación geográfica y las características geológicas del estado de Sinaloa favorecen la observación de los principales rasgos estructurales de la secuencia de rocas existentes en la región. Los rasgos estructurales son claramente observables en rocas precámbricas, paleozoicas y mesozoicas, disminuyendo su intensidad en relación inversa a su edad, es decir, que los efectos de los esfuerzos compresivos en las rocas desde el Precámbrico hasta el Mesozoico Tardío o Cenozoico Temprano, disminuyeron rápidamente en las rocas más jóvenes.

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.

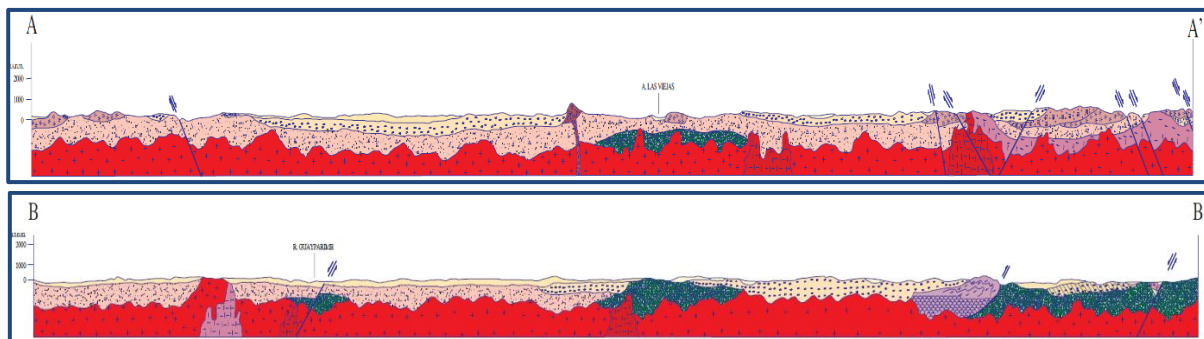
La interpretación de imágenes de satélite y datos de campo revelan que estructuralmente la región está afectada por un patrón de fallas normales NW-SE, que constituyen una serie de fosas tectónicas en forma escalonada, ocasionalmente con desplazamientos laterales. En menor proporción existe fallamiento 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).

4.3. Geología del subsuelo

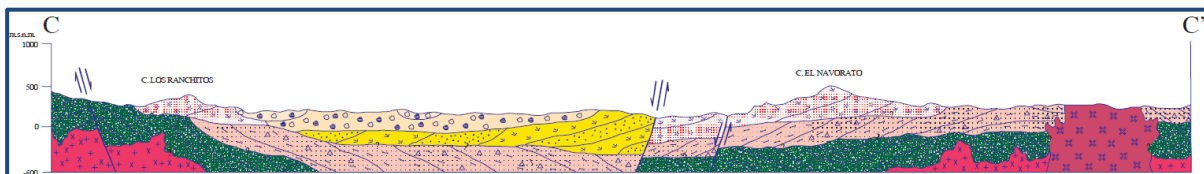
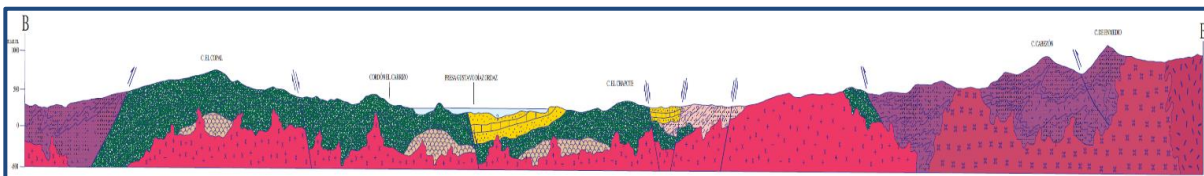
De acuerdo con la información de cortes litológicos de pozos, geofísica y de geología superficial recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada, litorales, eólicos y lacustres,

que constituyen el lecho y llanura de inundación del Río Sinaloa y los arroyos Ocoroni y Cabrera 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 G13-C11 "Tamuchina", Escala 1: 50,000 (SGM, 1999)

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, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se llevaron a cabo 4 pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como recuperación, así como otras en este acuífero y en el acuífero Río Fuerte (SARH, 1978). De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales se establece que los valores medios de transmisividad varían entre **2.9×10^{-3}** y **2.3×10^{-2} m²/s**, con un valor promedio de **0.012 m²/s** (1037 m²/día). Los valores de conductividad hidráulica varían de **2.4×10^{-5}** a **1.5×10^{-4} m/s**, (**2.1 a 13.0 m/d**) con un valor promedio de **8.9×10^{-5} m/s** (**7.7 m/d**), que se asocian a sedimentos de granulometría media a fina.

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 2000-2019, 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 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 40 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía de la zona costera y del cauce de ríos y arroyos 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 de los distritos de riego, desde San Narciso hasta Guasave; desde donde se incrementan gradualmente, conforme se asciende topográficamente. Los más profundos, de 20 a 40 m, se presentan hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas, entre Sinaloa de Leyva y Genaro Estrada (Figura 4).

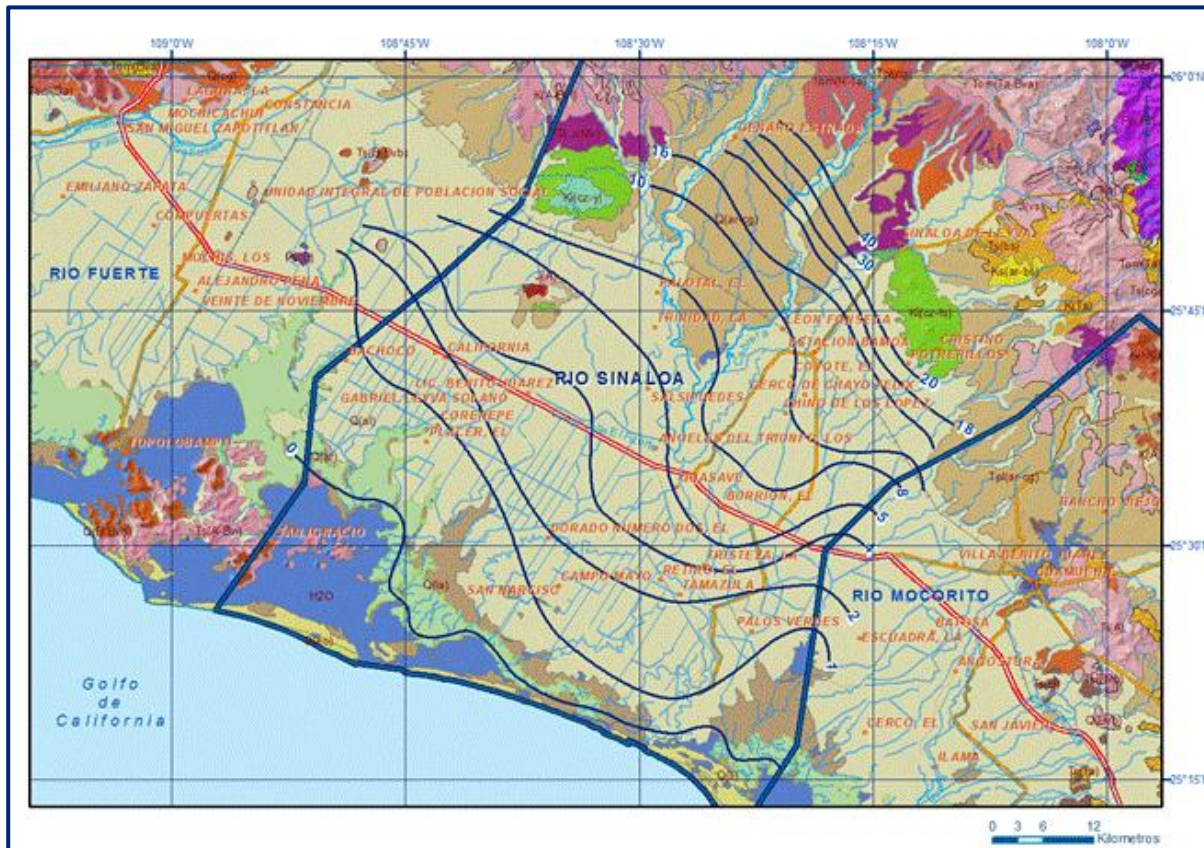


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2019)

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 75 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 Sinaloa. Los valores más altos, 75 a 60 msnm, se registran en la porción norte del valle, en la zona ubicada entre Sinaloa de Leyva y Genaro Estrada, 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 Sinaloa (Figura 5).

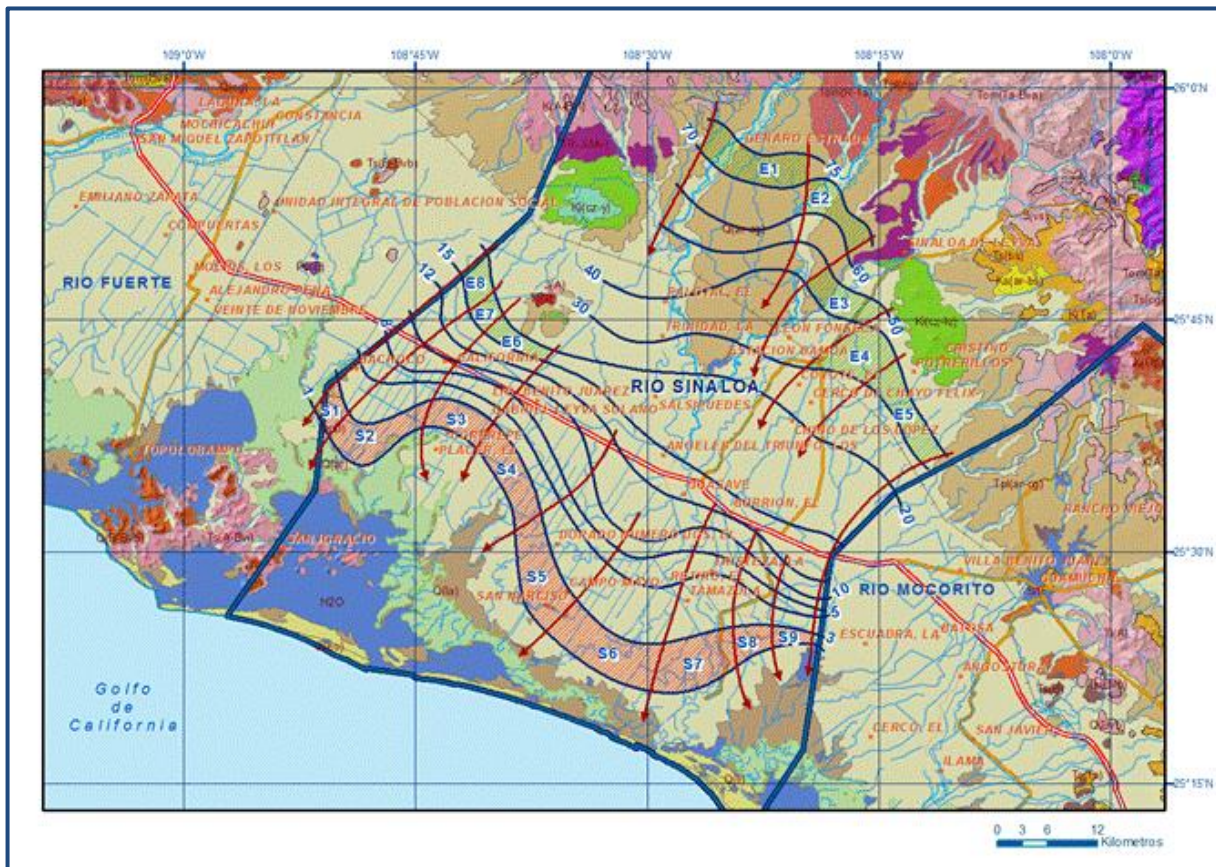


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2019)

5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2006-2019 registró valores de abatimiento y recuperación en la posición de los niveles del agua subterránea en distintas áreas de la zona de explotación. Los abatimientos son de 1 a 12 m, que representan 0.1 a 0.9 m anuales; los mayores, de 5 a 12 m, se presentan al

norte del poblado León Fonseca, sobre el cauce del arroyo Cabrera y de 5 a 7 m en la zona ubicada entre Guasave y el poblado El Retiro. Las recuperaciones varían de 1 a 10 m, 0.1 a 0.8 m anuales, se registraron en la zona comprendida entre los poblados El Palotal y Genaro Estrada, y entre Salsipuedes y Los Ángeles del Triunfo. En la mayor parte de la zona agrícola de los distritos de riego no se presentan cambios en la posición del nivel estático (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 2010, se tomaron 5 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para los análisis fisicoquímicos correspondientes y 600 mediciones in situ de temperatura, pH y conductividad eléctrica. Las determinaciones de laboratorio incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos: temperatura, pH, conductividad eléctrica, coliformes fecales y totales, iones principales, sólidos disueltos totales (SDT), nitratos, fosfatos, fierro, manganeso, cadmio, cobre, plomo, mercurio, arsénico, plomo y zinc.

Así mismo, como parte de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA 2018-2020) se tomaron 8 muestras de agua subterránea en el año 2018 y 4 muestras en el año 2020. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados: temperatura, conductividad eléctrica, SDT, iones mayoritarios, pH, potencial redox (Eh), alcalinidad, dureza total, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, coliformes fecales y totales, carbono orgánico 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 240 a 5,345 mg/l predominando las concentraciones menores de 400 mg/l cerca del río Sinaloa y arroyos; en la zona costera los valores de concentración de SDT varían de 800 a 1200 mg/l, con valores mayores a 2000 mg/l en algunas zonas locales, que sobrepasan el límite máximo permisible (LMP) de 1,000 mg/l 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. Esto se debe a la salinización de suelos causada por la presencia de niveles freáticos someros, evaporitas, retornos del riego agrícola y drenaje deficiente.

Otros parámetros cuyas concentraciones superan el LMP establecido en la norma referida son coliformes fecales, fierro y manganeso. Las concentraciones máximas de coliformes fecales encontrados en el agua subterránea son de 1658 NMP/100ml, mientras que el LMP es no detectable; la máxima concentración de fierro es de 0.339 mg/l que rebasa el LMP de 0.3 mg/l, la máxima concentración de manganeso es de 2.18 mg/l, cuyo LMP para consumo humano es de 0.15 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 330 a 7200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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 25.4 a 33.1 $^{\circ}\text{C}$ y los de pH entre 6.7 y 8.3.

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), la mayoría 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 otras muestras como 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 991 aprovechamientos, de los cuales 725 son pozos, 258 norias, 4 manantiales, 3 galería filtrante y 1 jagüey; del total de obras 758 están activas y 233 inactivas.

El volumen total de extracción calculado es de **252.4 hm³/año**, de los cuales 140.3 hm³(55.6 %) son para uso agrícola, 65.9 hm³ (26.1%) para uso doméstico, 44.4 hm³(17.6%) para uso público- urbano, 1.3 hm³ (0.5%) para abrevadero y 0.5 hm³ (0.2%) para otros usos. La descarga a través de manantiales es insignificante.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2006-2019, en una superficie de **2,544 km²**, 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
- ΔV(S):** Cambio de almacenamiento

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

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

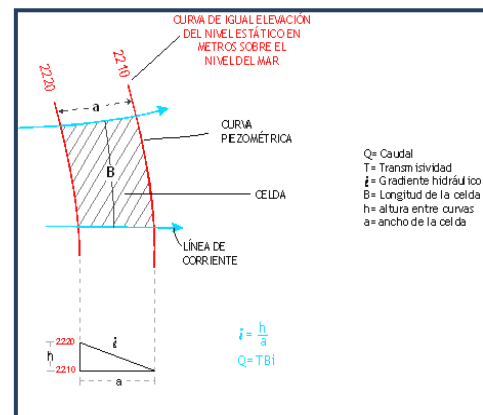
Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de 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 (m³/s)
- T** = Transmisividad (m²/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 **43.9 hm³/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 ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	12200	3900	5	0.0013	0.0150	0.2346	7.4
E2	9600	2500	10	0.0040	0.0070	0.2688	8.5
E3	8500	4500	10	0.0022	0.0150	0.2833	8.9
E4	6200	6600	10	0.0015	0.0080	0.0752	2.4
E5	11900	2800	10	0.0036	0.0070	0.2975	9.4
E6	7300	2200	5	0.0023	0.0070	0.1161	3.7
E7	2850	3300	5	0.0015	0.0120	0.0518	1.6
E8	4500	3500	5	0.0014	0.0100	0.0643	2.0
TOTAL							43.9

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 1158.2 hm³, de los cuales 1017.9 hm³ son de agua superficial procedente de las presas Gustavo Díaz Ordaz (Bacurato), Guillermo Blake Aguilar (El Sabinal) y Miguel Hidalgo (Mahone); y 140.3 hm³ de agua subterránea, al aplicar el 20% de retornos de riego, se obtiene un volumen de 231.6 hm³ 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 44.4 hm³ resulta un volumen de 8.9hm³ anuales. Por lo tanto, $R_i = 231.6 + 8.9 = 240.5$. **$R_i = 240.5 \text{ hm}^3/\text{año}$.**

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 **252.4 hm³ 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 **11.6 hm³/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 ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	3750	3700	2	0.0005	0.0050	0.0101	0.3
S2	12600	6400	2	0.0003	0.0050	0.0197	0.6
S3	7300	3600	2	0.0006	0.0080	0.0324	1.0
S4	11550	3400	2	0.0006	0.0080	0.0544	1.7
S5	12000	4650	2	0.0004	0.0150	0.0774	2.4
S6	12700	5000	2	0.0004	0.0220	0.1118	3.5
S7	9000	6500	2	0.0003	0.0020	0.0055	0.2
S8	4200	3700	2	0.0005	0.0100	0.0227	0.7
S9	4400	1900	2	0.0011	0.0080	0.0371	1.2
TOTAL							11.6

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.

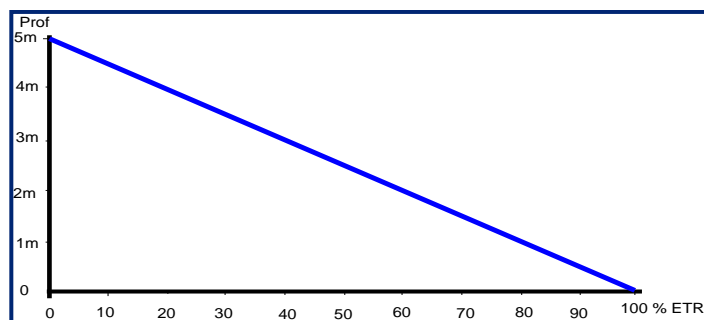
Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc; para no sobreestimar el valor de esta componente, se consideraron los valores medios anuales de precipitación y temperatura de la estación climatológica Guasave representativa del valle en el que se localiza el área de balance. Considerando los valores promedio anual de temperatura y precipitación de 22.1 °C y 444.7 mm se obtiene una lámina de evapotranspiración de 441.2 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) =	22.1		
P(mm) =	444.7	P ² =	197758.09
L =	1392.19305	L ² =	1938201.49
ETR (mm)	444.2		

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 = 285.1 hm³/año.**

Tabla 4. Cálculo de la evapotranspiración (2019)

RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	ÁREA (km ²)	LÁMINA ETR (m)	% ETR	VOLUMEN ETR (hm ³ /año)
5 a 4	4.5	435.4	0.4442	0.1	19.3
4 a 2	3	338.4	0.4442	0.4	60.1
2 a 1	1.5	234.3	0.4442	0.7	72.9
0 a 1	0.5	332.2	0.4442	0.9	132.8
Total		1340.3		Total	285.1

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 $S_y = 0.1$, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

ΔVS : 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 13.3 hm³, es decir, un promedio anual de **1.0 hm³**.

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

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km ²)	Sy	ΔV(S) (hm ³ /año)
10	10.0	8.0	0.1	8.0
2	2.0	21.5	0.1	4.3
1 a 2	1.5	210.5	0.1	31.6
-7	-7.0	4.3	0.1	-3.0
-5 a -7	-6.0	27.5	0.1	-16.5
0 a -5	-2.5	63.1	0.1	-15.8
-1	-1.0	8.4	0.1	-0.8
0 a -1	-0.5	144.9	0.1	-7.2
-5	-5.0	3.3	0.1	-1.7
-3 a -5	-4.0	19.9	0.1	-8.0
5 a 6	5.5	26.8	0.1	14.7
6	6.0	10.5	0.1	6.3
1 a 5	3.0	117.5	0.1	35.2
-12	-12.0	13.7	0.1	-16.4
-5 a -12	-8.5	17.0	0.1	-14.4
-1 a -5	-3.0	39.0	0.1	-11.7
0 a 1	0.5	173.5	0.1	8.7
	TOTAL	909.2	TOTAL	13.3
		Promedio anual		1.0

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:

$$R_v = B + Sh + ETR - R_i - E_h \pm \Delta V_S$$

$$R_v = 252.4 + 11.6 + 285.1 - 240.5 - 43.9 + 1.0$$

$$R_v = 265.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 265.7 + 43.9 + 240.5 \\ R &= 550.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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 **550.1 hm³/año**, de los cuales 309.6 hm³ son recarga natural y 240.5 hm³ recarga incidental.

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 Sinaloa, su valor es **225.4hm³ anuales**, de los cuales 11.6 hm³ corresponden a las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina y 213.8 hm³ al 75% del volumen de evapotranspiración que se deben comprometer para preservar los ecosistemas costeros. **DNC = 225.4hm³ 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 (REPDA), 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 **300,825,194 m³ 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 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 550.1 - 225.4 - 300.825194 \\ \text{DMA} &= 23.874806 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible de **23,874,806** m³ 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 Sinaloa, estado de Sinaloa.

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Pacífico Norte, 2019. Información piezométrica del acuífero Río Sinaloa, 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, 1999. Carta Geológico-Minera "Tamuchina" G13-C11, escala 1:50,000.