



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO RÍO MOCORITO (2503), ESTADO DE
SINALOA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	5
3. FISIOGRAFÍA	7
3.1. Provincia fisiográfica	7
3.2. Clima.....	8
3.3. Hidrografía	9
3.4. Geomorfología.....	10
4. GEOLOGÍA.....	11
4.1. Estratigrafía	14
4.2. Geología estructural	19
4.3. Geología del subsuelo	20
5. HIDROGEOLOGÍA	21
5.1. Tipo de acuífero	21
5.2. Parámetros hidráulicos	21
5.3. Piezometría	22
5.4. Comportamiento hidráulico	22
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	22
5.4.2. Elevación del nivel estático	23
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	24
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	25
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)	32
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.....	37

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 Mocorito, definido con la clave 2503 de la CONAGUA, se localiza en la porción centro-occidental del estado de Sinaloa, entre los paralelos 24°56'19" y 25°47'27" de latitud norte y 107°38'08" y 108°23'36" de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 4,492km².

Limita al norte y oeste con el acuífero Río Sinaloa, al sur y este con el acuífero Río Culiacán, ambos pertenecientes al Estado de Sinaloa; al suroeste con el Golfo de California (Figura 1). En su extremo suroccidental, su límite natural es el Golfo de

California. Geopolíticamente, el área que cubre el acuífero comprende prácticamente en su totalidad los municipios Angostura, Mocorito y Salvador Alvarado, así como pequeñas porciones de los municipios Badiraguato, Guasave, Navolato y Sinaloa.

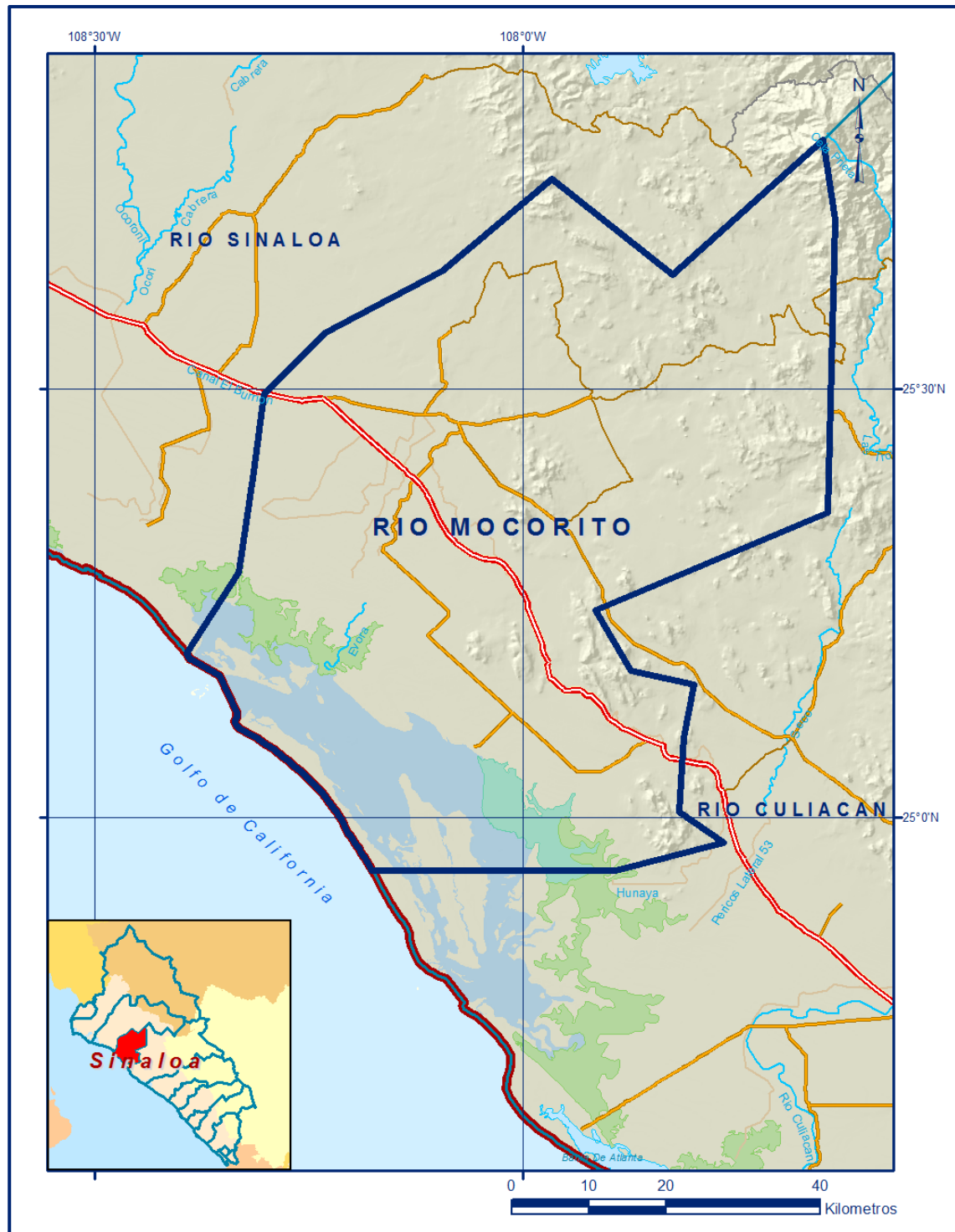


Figura 1. Localización del acuífero

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 2503 RIO MOCORITO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	107	38	38.6	25	21	20.6	
2	107	54	56.1	25	14	31.6	
3	107	52	27.0	25	10	17.0	
4	107	48	0.0	25	9	17.0	
5	107	48	46.0	25	5	35.0	
6	107	49	4.1	25	0	23.3	
7	107	45	56.0	24	58	16.0	
8	107	53	30.0	24	56	17.0	
9	108	10	34.4	24	56	19.1	DEL 9 AL 10 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
10	108	23	34.5	25	11	29.7	
11	108	19	55.0	25	17	10.0	
12	108	18	50.0	25	24	10.0	
13	108	18	7.3	25	29	36.0	DEL 13 AL 14 POR EL CAUCE DEL ARROYO SAN RAFAEL
14	108	13	56.9	25	33	52.8	
15	108	5	39.8	25	38	14.3	
16	107	57	57.2	25	44	40.7	
17	107	49	32.7	25	37	57.4	
18	107	39	1.2	25	47	26.2	
19	107	38	6.8	25	41	47.3	
1	107	38	38.6	25	21	20.6	

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. Su territorio se encuentra parcialmente vedado por cuatro decretos de veda. La mayor parte se encuentra vedado y sujeto a las disposiciones del *“Acuerdo que establece el Distrito de Riego del Río Mocorito y declara de utilidad pública la construcción de las obras que lo formen y la adquisición de los terrenos necesarios para construirlas y operarlas”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 18 de diciembre de 1956. Una pequeña porción ubicada al noroeste del acuífero está regida por 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 dos vedas son tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

En la porción central del acuífero rige el *“Acuerdo que incorpora al Distrito de Riego del río Culiacán, Sin., para formar parte de él, la superficie de sesenta y cinco mil hectáreas ubicadas en el Valle de Guamúchil, de la propia entidad”*, publicado en el DOF el 25 de octubre de 1960. En una porción del noroeste del acuífero rige el *“Decreto por el que se declara de utilidad pública el establecimiento del Distrito de Riego de la Presa 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. Estas dos vedas son tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

En las porciones suroccidental, suroriental y sur del acuífero no rige ningún decreto de vedapara la extracción del agua subterránea. La porción no vedada del acuífero Río Mocorito 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 21 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 2. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. En el territorio del acuífero se localiza el Distrito de Riego 074 “Mocorito”. No se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). En la zona costera existe el sitio RAMSAR Laguna Playa Colorada-Santa María La Reforma, decretado el 2 febrero de 2004.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

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

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO Y GEOFÍSICO EN LOS VALLES DE EL CARRIZO, MOCORITO- PERICOS-CULIACÁN Y SAN LORENZO, EN EL ESTADO DE SINALOA. Realizado por Consultores, S.A, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1981. El objetivo de este trabajo fue conocer las condiciones geohidrológicas que prevalecían en estos valles y proponer la extracción de aguas subterráneas para apoyar el desarrollo de la región.

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.

ESTUDIO TÉCNICO JUSTIFICATIVO PARA EL ORDENAMIENTO EN EL ACUÍFERO RÍO MOCORITO CLAVE 2503, EN EL ESTADO DE SINALOA. Realizado en el año 2013 por Sanx, Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V. (SIIDSA). Su objetivo fue integrar el estudio técnico que permita establecer las causales de interés y de utilidad públicas para establecer la fundamentación y motivación requeridas para sustentar la emisión del ordenamiento del acuífero. Adicionalmente recabó información piezométrica e hidrogeológica para el planteamiento del balance de aguas subterráneas

INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO RÍO MOCORITO, 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 el acuífero se localiza entre las Provincias Fisiográficas “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, y 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. Está situada en la porción oriental del estado de Sinaloa; tiene un ancho promedio de 30 a 50 km, elevación media que varía de 2,000 a 2,700 msnm y se caracteriza por su constitución ígnea. Sus rasgos fisiográficos más importantes están representados por altas mesetas riolíticas y por sierras sepultadas que se localizan entre las altas mesetas y la planicie costera.

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 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

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en el área que cubre el acuífero predominan tres tipos de climas: en la porción norte y noreste el clima es de tipo BSi (h') w (e) estepario muy cálido. En la porción sur, centro y suroeste el clima

predominante es del tipo BSo (h') w, que corresponde a un clima semiárido cálido. En ambos la temperatura media anual es mayor de 22 °C, temperatura media del mes más frío mayor a 18 °C, con régimen de lluvias de verano y lluvias de invierno de 5 al 10% de la lluvia total anual.

En la porción norte del acuífero el clima es de tipo Awo, cálido subhúmedo, con temperatura media anual mayor a 22°C, temperatura del mes más frío mayor a 18°C, con una precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con un índice de P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 5 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Guamúchil, El Playón, Rosa Morada, Mocorito y Pericos, con registro de 47 años en promedio (1962-2013). Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anual de precipitación y temperatura de **577 mm** y **24.3°C** respectivamente. De igual manera se obtuvo un valor de evaporación potencial promedio de **2027 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia uno en verano de junio a octubre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias invernales que abarca de noviembre a enero, con precipitaciones menos significativas. La época de estiaje queda definida de marzo a junio.

3.3. Hidrografía

El acuífero Río Mocorito se encuentra ubicado en su totalidad en la Región Hidrológica 10“Sinaloa”, Subregión Hidrológica Río Mocorito, cuenca del Río Mocorito, subcuencas del Río Mocorito, Arroyo Mezquitillo y Bahía de Santa María.

La corriente superficial más importante es el río Mocorito; que tiene su origen en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, a partir de los escurrimientos de la Sierra de Suruto, Baragua, Caprato, y en la porción llamada Sierra de Parras, la cual se estrecha en la parte media-baja, hasta su desembocadura en el Golfo de California. La dirección general de curso es noreste-suroeste y pasa por los poblados San Benito, La Misión, Mocorito, Guamúchil, Angostura y El Playón, para descargar finalmente al Golfo de California, en el estero de Altamira. En su recorrido el Río Mocorito recibe aportaciones de los arroyos intermitentes La Ciénega, Palmar de Los Leal, Del Valle,

La Huerta, Comanjito y Capirato. Sus aportaciones convergen a la Presa Eustaquio Buelna; aguas abajo el agua es canalizada al Distrito de Riego 074 Mocorito. El flujo del Río Mocorito continúa su flujo de manera intermitente cruzando por la localidad Angostura hasta llegar a El Playón

En la superficie que cubre el acuífero se localiza la presa Eustaquio Buelna y existe también una red importante de canales hidroagrícolas en el Distrito de Riego No. 074 Río Mocorito. La presa Eustaquio Buelna se localiza sobre el Río Mocorito; el agua almacenada es utilizada para auxiliar el Distrito de Riego 074, ubicado en su margen derecha, con una superficie de 40,665 ha, distribuidas en 4,694 usuarios. Esta obra también es utilizada para recargar la batería de pozos que suministran agua potable a la Ciudad de Guamúchil y al poblado Tamazula II.

3.4. Geomorfología

La superficie cubierta por el acuífero 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. Las rocas volcánicas y calcáreas, que conforman las mayores elevaciones, presentan relieves escarpados y pendientes abruptas producto de fallamientos verticales.

En la zona de planicie, el Río Mocorito ha depositado materiales deltaicos, formando numerosos meandros que hacia su desembocadura tienen un comportamiento divagante, 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” que caracteriza a las planicies en 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 metros de altura, que disminuyen gradualmente hasta 10 m en promedio, hasta volverse semiplana, hacia la zona costera. Los rasgos montañosos se inician a la altura de la población de Mocorito y al sureste de la ciudad de Guamúchil, donde se observan elevaciones hasta de 250 msnm en promedio, las cuales aumentan paulatinamente hacia el oriente con relieves más accidentados. Los valles son estrechos en forma de “v” y las corrientes poseen gradientes altos, por lo que se considera que se encuentran 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 (Figura 2).

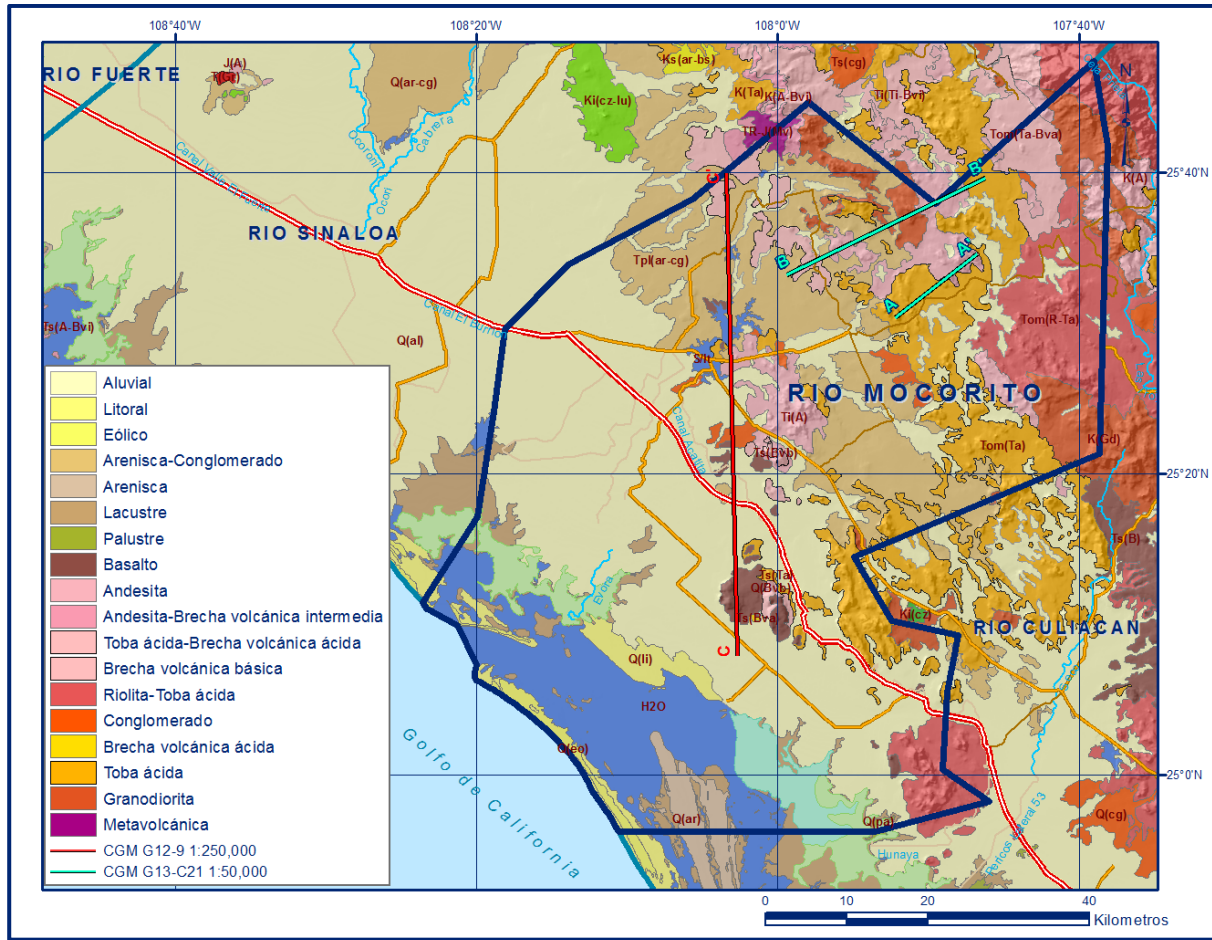


Figura 2. Geología general del acuífero

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 relleno 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.

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

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). Hacia la parte baja y

costera del acuífero, donde se localiza Guamúchil, Angostura, El Playón, Baturi, Leopoldo Sánchez y Las Golondrinas predominan sedimento de litoral, lacustres y eólicos intercalados con evaporitas

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.

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 recrystalizadas, pedernal, otras rocas arcillo-arenosas así como esquistos y pizarras moteadas que indican metamorfismo de contacto, cuyos afloramientos muestran una morfología de lomeríos bajos y redondeados.

En su litología pueden distinguirse dos grupos diferentes de rocas: Las rocas metasedimentarias esquistosas, producto de un metamorfismo de bajo grado, cuya mineralogía indica una facies de anfibolita, en las que los esquistos más comunes son los de clorita y cuarzo, albita y muscovita o cuarzo- feldespáticos. El otro grupo corresponde a rocas metamórficas de contacto presentadas por esquistos y pizarras

moteadas, producto de las aureolas del contacto con los intrusivos que las afectan. Representa, de manera general, un protolito constituido por una antigua secuencia arcillo-arenosa, algunas veces conglomerática, con intercalaciones de rocas carbonatadas, la cual fue afectada por metamorfismo regional y de contacto, plegada, fallada e intrusionada cuando menos en tres ocasiones.

JURÁSICO

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

CRETÁCICO

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

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

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

están cubiertas por un depósito clástico compuesto de conglomerados y areniscas de edad Terciario Plioceno.

Conglomerado Polimíctico

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

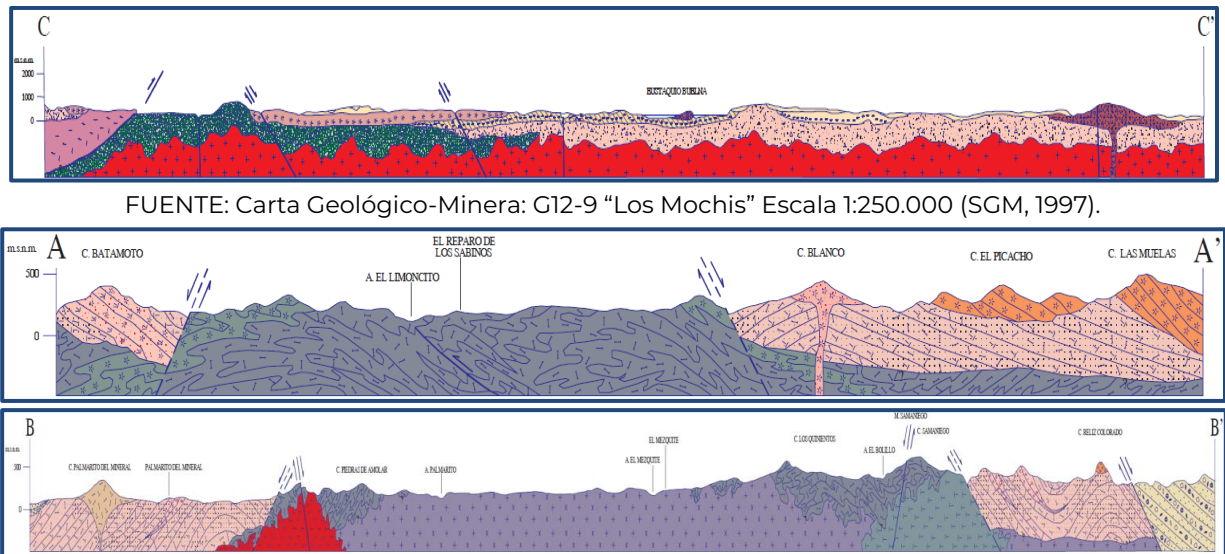
origen al fallamiento de rumbo NW-SE. Es muy probable que este fallamiento se haya reactivado durante la apertura del Golfo de México. El fallamiento NE-SE constituye una serie de fosas y pilares tectónicos escalonados que se observa en la región y en general en el límite de la planicie costera y la 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 Mocorito 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, brechas volcánicas y basaltos, 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 Geológica-Minera G12-9 "Los Mochis" Escala 1:250,000 (SGM, 1997).

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 de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, que se encuentra constituido, en su porción superior, por los sedimentos aluviales, fluviales de granulometría variada, litorales, eólicos y lacustres, que constituyen el lecho y llanura de inundación del Río Mocorito 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. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se llevaron 4 pruebas de bombeo y se recopiló información de otras pruebas ejecutadas en los acuíferos vecinos Río Sinaloa y Río Fuerte (SARH, 1978); todas ellas de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como recuperación. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales se establece que los valores medios de transmisividad varían entre 1.4×10^{-3} y $2.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, con un valor promedio de $12.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (1037 $\text{m}^2/\text{día}$). La conductividad hidráulica varía de 2.3×10^{-5} a $2.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$, (2.0 a 21.6 m/d) con un valor promedio de $1.4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (12.1 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 durante el periodo 2000-2019, obtenida 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 2013-2019 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 del 1 a 10m, 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 del distrito de riego, desde Costa Azul hasta La Escuadra, Ejido Independencia, Colonia Agrícola Independencia y a lo largo del cauce del Río Mocorito al, suroeste de Guamúchil; desde donde se incrementan gradualmente, conforme se asciende topográficamente. Los más profundos, de 10 m, se presentan hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas, entre Guamúchil y General Francisco R. Serrato (Figura 4).

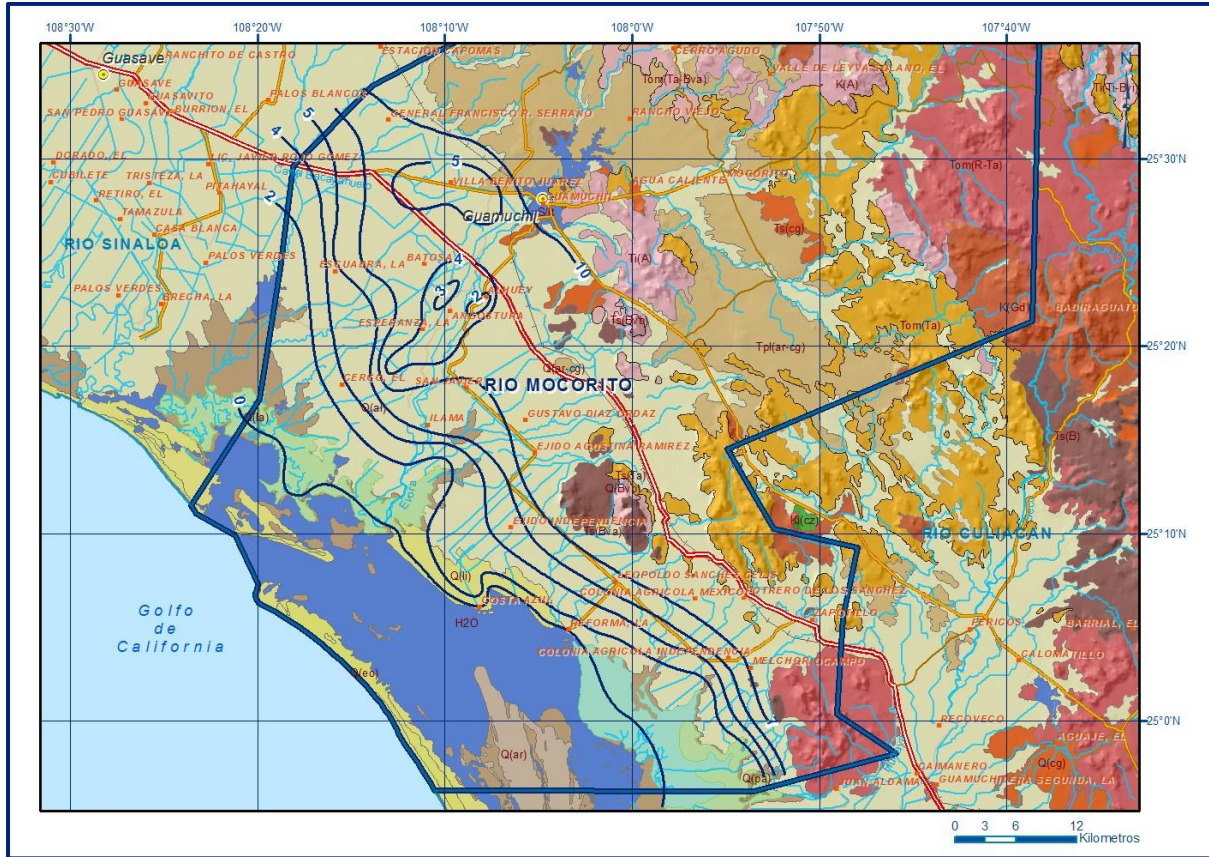


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2019)

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 35 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 Mocorito. Los valores más altos, 30 a 35 msnm, se registran en la porción norte del valle, en la zona ubicada entre Guamúchil y General Francisco R. Serrato, 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 4 msnm, se presentan en la zona más próxima al litoral marino y de las lagunas. La dirección preferencial del flujo subterráneo es noreste-suroeste, paralela a la dirección de escurrimiento del Río Mocorito (Figura 5).

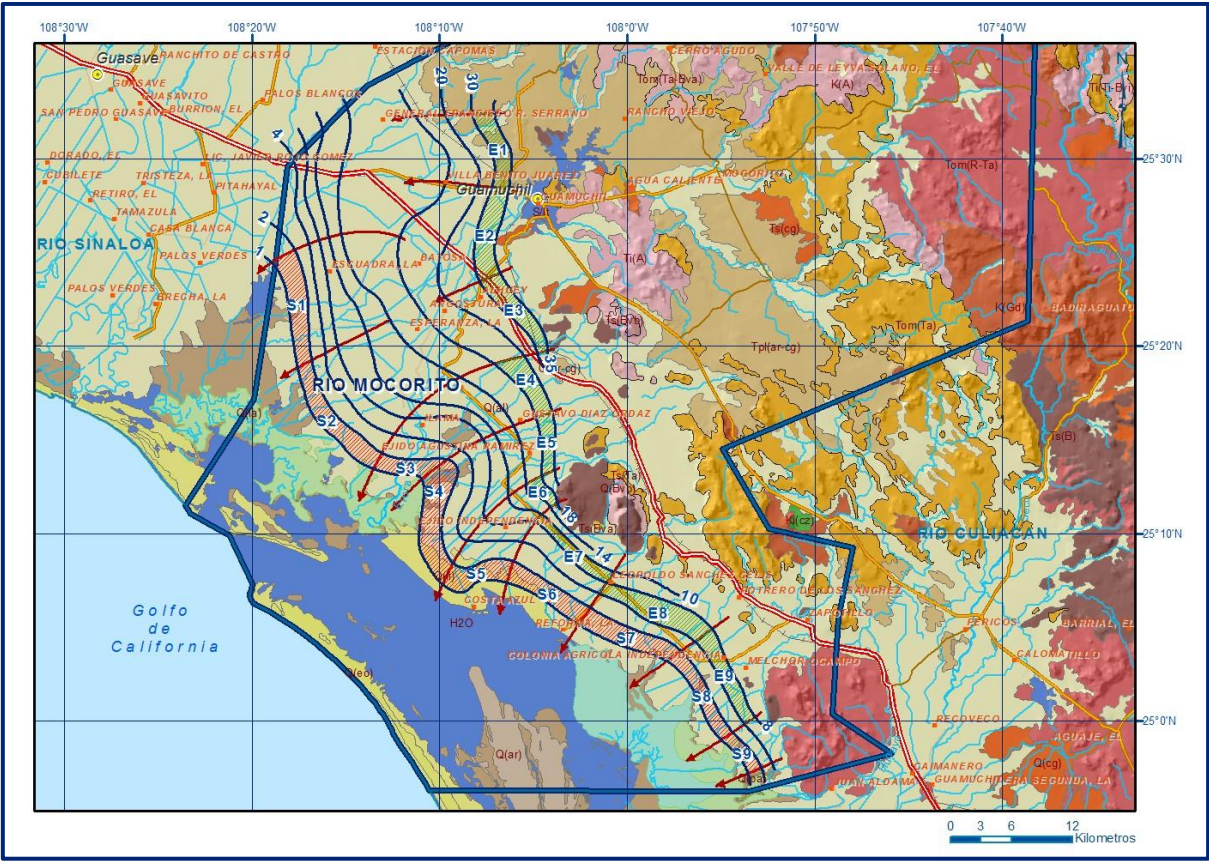


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2019)

5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2013-2019 registró valores de abatimiento 0.5 a 1.5 m en la posición de los niveles del agua subterránea en la porción norte del distrito de riego, que representan 0.1 a 0.25 m anuales; los mayores, 0.25 m anuales, se presentan de manera local al norte en la zona cercana al Río Mocorito al sur de San Javier y suroeste de Guamúchil. En la mayor parte de la zona agrícola del distrito de riego no se presentan cambios significativos en la posición del nivel estático (Figura 6).

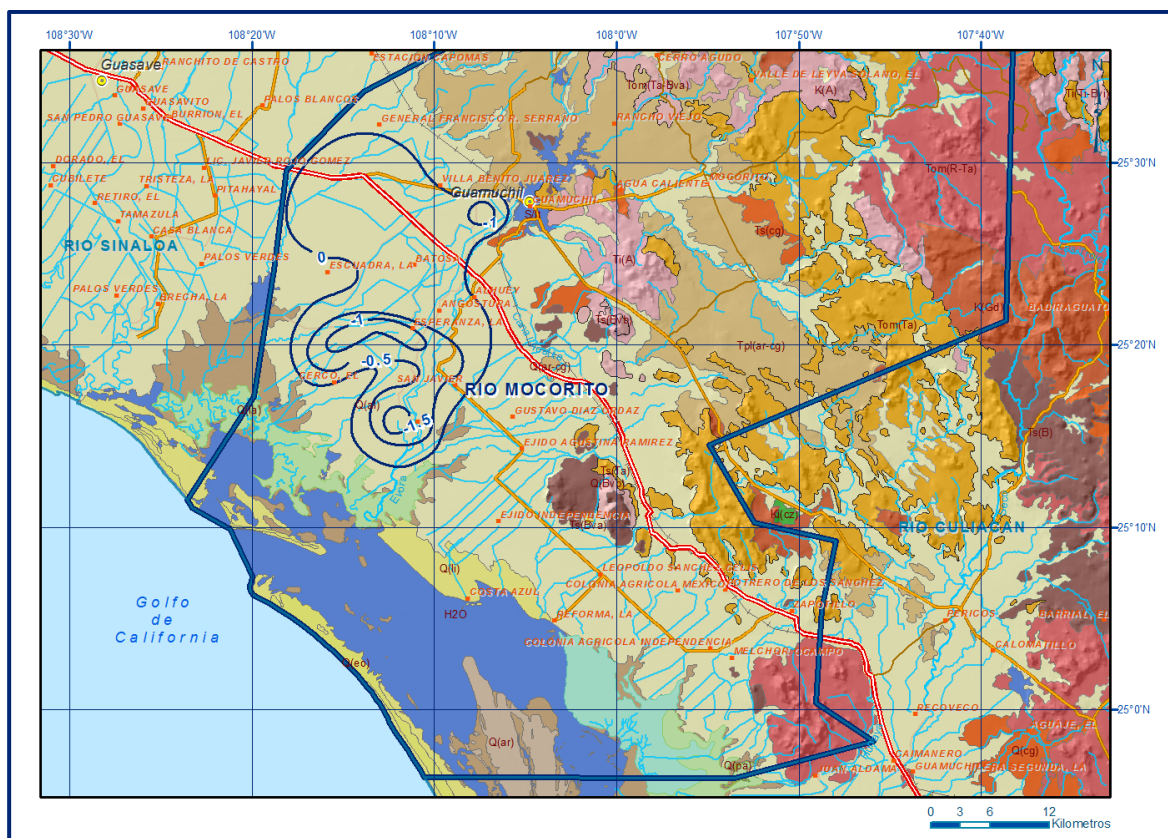


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2013-2019)

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 su análisis fisicoquímico correspondiente, así como 187 mediciones in situ de temperatura, pH y conductividad eléctrica. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos: temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), iones mayoritarios, potencial de hidrógeno (pH), potencial redox (Eh), dureza total, dureza al calcio, nitratos, fosfatos, coliformes fecales y totales, cadmio, cobre, cromo y hierro.

Así mismo, como parte de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA 2018-2020) se tomaron 14 muestras de agua subterránea en el año 2018 y 7 muestras en el año 2020. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados: temperatura, conductividad eléctrica, STD, 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 en el agua subterránea varía de 392 a 7,600 mg/l, predominando las concentraciones de 500 a 2,000 mg/l cerca del río Mocorito y arroyos y en la mayor parte de acuífero; en la zona costera la concentración varía de 800 a los 2000 mg/l, con valores puntuales mayores a 2000 mg/l, 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/o drenaje deficiente.

Otros parámetros cuyas concentraciones superan el LMP establecido en la norma referida son coliformes, nitratos, fierro, manganeso y arsénico. Las concentraciones máximas de coliformes fecales encontrados en el agua subterránea son de 554 NMP/100ml, mientras que el LMP es no detectable; la máxima concentración de nitratos es de 20.52 mg/l de N-NO₃, cuyo LMP es de 11 mg/l; la máxima concentración de manganeso es de 2.3 mg/l, cuyo LMP para consumo humano es de 0.15 mg/l; y la máxima concentración de arsénico es de 0.029 mg/l, que rebasa el LMP de 0.025 mg/l.

Según con la clasificación establecida por la American Public Health Association (APHA, 1995), el agua del acuífero se clasifica como agua dulce asalobre, ya que los valores de conductividad eléctrica varían de 1464 a 15,200 μ S/cm. Los valores más bajos de SDT y conductividad eléctrica se registran en la región norte del acuífero, y se incrementan en dirección general hacia el suroeste, confirmando con ello la dirección preferencial del flujo subterráneo. Los valores de temperatura varían de 25.8 a 31.7°C y los de pH entre 7.03 y 8.2. En el poblado Ciénega de Casal existen aguas termales.

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 como C₃-S₄, que representa agua de salinidad alta con muy alto contenido de sodio intercambiable,

no apta para la agricultura en condiciones normales, solo en cultivos tolerantes a la salinidad; otras muestras se clasifican como C_3-S_1 y C_4-S_1 que representan agua de salinidad alta con bajo contenido de sodio intercambiable y de salinidad muy alta con bajo contenido de sodio, respectivamente, 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, de acuerdo con el diagrama de Piper, se presentan las familias sulfatadas-cloruradas-magnésicas y cloruradas y/o sulfatadas-sódicas; las otras dos familias muestran influencia del agua marina. El 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 las localidades Mocorito y Angostura, 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, complementado en 2012 por la Conagua, se registraron un total de 755 aprovechamientos, de los cuales 601 son pozos y 154 norias; del total de obras 642 están activas y 113 inactivas.

El volumen total de extracción calculado es de **89.8 $hm^3/año$** , de los cuales 66.0 hm^3 (73.5%) son para uso agrícola, 22.8 hm^3 (25.4 %) se destinan al uso público-urbano y el 1.0 hm^3 restante (1.1%) para uso doméstico y otros.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2013-2019, en una superficie de **1,062 km^2** , 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:

$$R_v + R_i + E_h - B - S_h - E_{TR} = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh = Entradas por flujo subterráneo horizontal

Ri = Recarga incidental

B = Bombeo

Sh = Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR: = Evapotranspiración real

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento

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

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

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

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

$$Q = T * B * i$$

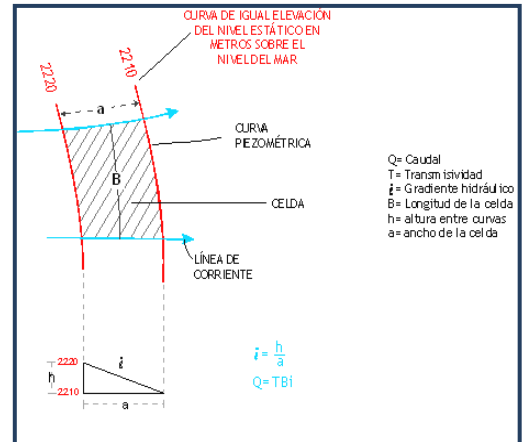
Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

T = Transmisividad (m^2/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 **60.9 $hm^3/año$** .

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	7720	1760	5	0.0028	0.0250	0.5483	17.3
E2	9000	1900	5	0.0026	0.0250	0.5921	18.7
E3	8900	1850	5	0.0027	0.0098	0.2357	7.4
E4	6400	1700	2	0.0012	0.0098	0.0738	2.3
E5	5750	1350	2	0.0015	0.0033	0.0281	0.9
E6	3100	1450	4	0.0028	0.0033	0.0282	0.9
E7	8800	1200	2	0.0017	0.0073	0.1071	3.4
E8	10200	2500	4	0.0016	0.0073	0.1191	3.8
E9	9500	1400	4	0.0029	0.0073	0.1981	6.2
TOTAL							60.9

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 425.4 hm³, de los cuales 359.4 hm³ son de agua superficial procedente de la presa Eustaquio Buelna (promedio del periodo 2010-2016, según información del DR 074 Mocorito, CONAGUA-OCPN, 2017); y 66.0 hm³ de agua subterránea, al aplicar el 20% de retornos de riego, se obtiene un volumen de 85.1 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 22.8 hm³ resulta un volumen de 4.6hm³ anuales. Por lo tanto, $R_i = 85.1 + 4.6 = 89.7$. **$R_i = 89.7 \text{ hm}^3/\text{año}$**

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 **89.8 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 **22.2 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	10800	1900	1	0.0005	0.0250	0.1421	4.5
S2	12000	1800	1	0.0006	0.0250	0.1667	5.3
S3	5500	2200	1	0.0005	0.0098	0.0245	0.8
S4	11300	2400	1	0.0004	0.0098	0.0461	1.5
S5	6350	2900	1	0.0003	0.0033	0.0072	0.2
S6	8000	1900	1	0.0005	0.0073	0.0307	1.0
S7	9000	2300	1	0.0004	0.0073	0.0286	0.9
S8	9300	1300	1	0.0008	0.0250	0.1788	5.6
S9	4300	1400	1	0.0007	0.0250	0.0768	2.4
TOTAL							22.2

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.

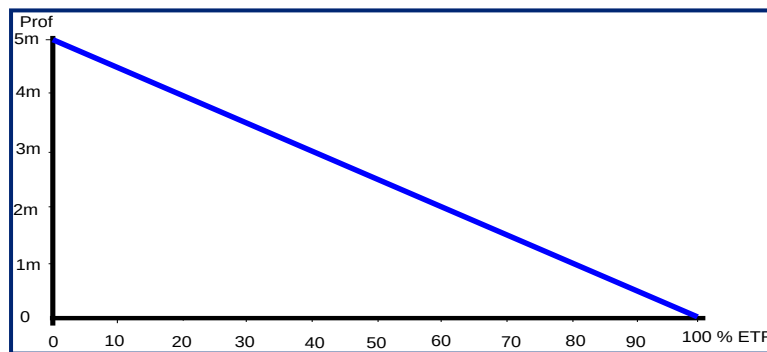
Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de temperatura y precipitación de 24.3 °C y 577.0 mm de la estación Guamúchil, representativa del área de balance. Con ellos se obtiene una lámina de evapotranspiración de 569.6 mm anuales, como se muestra a continuación:

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

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

T (°C) =	24.3		
P(mm) =	577	P ² =	332929
L =	1624.94535	L ² =	2640447.39
ETR (mm)	569.6		

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 =102.8 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)
3	3	2.9	0.5696	0.4	0.7
2	2	2.8	0.5696	0.6	1.0
4 a 5	4.5	142.8	0.5696	0.1	8.1
3 a 4	3.5	48.5	0.5696	0.3	8.3
2 a 4	3	115.7	0.5696	0.4	26.4
0 a 2	1	127.9	0.5696	0.8	58.3
Total		440.6			102.8

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 2013-2019 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 -18.9 hm^3 , es decir, un promedio anual de **-3.2 hm^3**

Tabla 5. Cálculo del cambio de almacenamiento (2013-2019)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km^2)	Sy	$\Delta V(S)$ ($\text{hm}^3/\text{año}$)
-1.5	-1.5	4.9	0.1	-0.7
-1	-1.0	20.5	0.1	-2.1
-0.5 a -1.5	-1.0	76.5	0.1	-7.7
0 a -0.5	-0.25	336.3	0.1	-8.4
	TOTAL	438.2	TOTAL	-18.9
		Promedio anual		-3.2

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:

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

$$R_v = 89.8 + 22.2 + 102.8 - 89.7 - 60.9 - 3.2$$

$$R_v = 61.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R = R_v + E_h + R_i$$

$$R = 61.0 + 60.9 + 89.7$$

$$R = 211.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

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 **211.6 hm³/año**, de los cuales 121.9 hm³ son recarga natural y 89.7 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 Mocorito, su valor es **99.3 hm³ anuales**, de los cuales 22.2 hm³ corresponden a las salidas por flujo subterráneo horizontal hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina y 77.1 hm³ al 75% del volumen de

evapotranspiración que se deben comprometer para preservar los ecosistemas marinos. **DNC = 99.3hm³ 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 **114,525,283 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 211.6 - 99.3 - 114.525283 \\ \text{DMA} &= - 2.225283 \text{ hm}^3/\text{año}\end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones, su déficit es de **2,225,283 m³**

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 Mocorito, estado de Sinaloa.

Comisión Nacional del Agua, 2013. Estudio técnico justificativo para el ordenamiento en el acuífero Río Mocorito clave 2503, 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, 2017. Información piezométrica del acuífero Río Mocorito, estado de Sinaloa.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1981. Servicios de prospección y levantamiento geológico y geofísico en los valles de El Carrizo, Mocorito-Pericos-Culiacán y San Lorenzo, en el estado de Sinaloa. Realizado por Consultores, S.A.

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, 2002. Carta Geológico-Minera “Palmar de Sepúlveda” G13-C21, escala 1:50,000.