

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SANTA ROSALÍA (0337), ESTADO DE
BAJA CALIFORNIA**

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	4
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia Fisiográfica.....	6
3.2 Clima	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA	9
4.1 Estratigrafía	10
4.2 Geología Estructural	13
4.3 Geología del subsuelo.....	15
5. HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1 Tipo de acuífero.....	16
5.2 Parámetros hidráulicos	16
5.3 Piezometría.....	17
5.4 Comportamiento hidráulico.....	17
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3 Evolución del nivel estático	18
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	20
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
7.1 Entradas.....	20
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	21
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	21
7.2 Salidas	23
7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....	23
7.2.2 Extracción por bombeo (B).....	25
7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	25
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV_S)	26
8. DISPONIBILIDAD	27
8.1 Recarga total media anual (R)	27
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
9. BIBLIOGRAFÍA	29

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero Santa Rosalía, definido con la clave 0337 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción central del estado de Baja California Sur, entre los paralelos 27° 14' y 27° 24' de latitud norte y los meridianos 112° 14' y 112° 30' de longitud oeste; abarcando una superficie de 186 km² (figura 1). Limita al norte con el acuífero Las Vírgenes, al este con el Golfo de California, al sur con el acuífero Santa Águeda y al oeste con el acuífero San Ignacio. Geopolíticamente se encuentra ubicado al este del municipio de Mulegé.



Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	112	16	44.5	27	17	30.3	
2	112	19	17.9	27	16	50.2	
3	112	21	41.3	27	17	26.9	
4	112	22	2.1	27	16	3.9	
5	112	25	3.4	27	13	52.7	
6	112	27	42.4	27	15	49.8	
7	112	28	59.6	27	18	54.9	
8	112	26	28.1	27	18	27	
9	112	25	8.7	27	18	26.6	
10	112	20	35.4	27	23	8.5	
11	112	18	12.6	27	23	42.1	DEL 11 AL 12 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
12	112	14	25.4	27	19	28.6	
1	112	16	44.5	27	17	30.3	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Santa Rosalía pertenece a la Región Hidrológico – Administrativa “Península de Baja California”. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del *“Acuerdo que establece el Distrito Nacional de Riego de Baja California Sur, declarando de utilidad pública la construcción de las obras que lo forman”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 2 de julio de 1954. Este decreto se clasifica como tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El principal usuario es el agrícola. Actualmente no existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos que se describen a continuación:

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE SAN BRUNO-MULEGE-SANTA ROSALIA EN EL TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA SUR., TOMO I Y TOMO II. Realizado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1974. El objetivo de este estudio fue evaluar la disponibilidad del agua subterránea, conocer la condición de explotación del acuífero y recomendar políticas óptimas de explotación para evitar la intrusión marina. La zona de estudio se dividió en cinco subcuencas: San Marcos-Palo Verde, San Bruno, San Lucas, Mulegé y Santa Águeda, sin embargo no se identificó como unidad hidrológica.

HIDROGEOLOGÍA EN EL ÁREA DEL PROYECTO SANTA ROSALÍA, BAJA CALIFORNIA SUR, Realizado por la empresa Minera y Metalúrgica del Boleo, S.A. de C.V. en 2007. El objetivo del estudio fue conocer mejor las características físicas y químicas, así como el funcionamiento del sistema de flujo de agua subterránea a la escala local del proyecto. Las principales técnicas de estudio utilizadas fueron la geología, hidrología, piezometría, registros verticales de temperatura y conductividad eléctrica y pruebas de permeabilidad (slug tests) en barrenos, y el muestreo y análisis químico del agua subterránea.

El agua subterránea en el área del Proyecto Santa Rosalía se aloja principalmente en conglomerados y areniscas del Terciario, su flujo ocurre en dirección al Golfo de California. Los resultados de las pruebas de permeabilidad (por inyección) efectuadas en los barrenos 935, 941, 944, 951, 954 y 955 indican que la conductividad hidráulica de la roca es muy baja, y la zona de estos barrenos se clasifica como un acuífero muy pobre (casi acuitardo) y la zona donde están los barrenos 1207, 1215 y 1218, se consideran como un acuífero pobre y los caudales que pudieran extraerse de la zona son muy pequeños.

REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS CABO PULMO, CABO SAN LUCAS, MEZQUITAL SECO, LA PURÍSIMA, SANTA ÁGUEDA Y SANTA ROSALÍA, B.C.S. Realizado por la empresa Sanx, Ingeniería Integral, S.A. de C.V. en 2010. El objetivo fue establecer una red de monitoreo simplificada y confiable para la obtención de información hidrogeológica-piezométrica de los acuíferos en estudio, mediante la ubicación, inspección y selección en campo, de pozos de monitoreo; además de conocer la evolución y la condición actual de los niveles del agua subterránea así como las tendencias que se presentan inducidas por causas naturales o antropogénicas, mediante recorridos piezométricos.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS: LA PURÍSIMA, MEZQUITAL SECO, SAN BARTOLO, SANTA ROSALÍA, SANTA ÁGUEDA Y CABO SAN LUCAS EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Realizado por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en 2010. Este estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, para contar con información necesaria que permita calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea.

Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Los resultados y conclusiones de estos dos últimos estudios fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas del INEGI (1997), el acuífero se encuentra ubicado dentro de la Provincia Península de Baja California, Subprovincia Sierra La Giganta. La Provincia Península de Baja California está ubicada en el noroeste de la República Mexicana y ocupa desde el norte del paralelo 32 grados, hasta el sur del de 23 grados; en esta última localización se halla la región de San José del Cabo, más allá del Trópico de Cáncer.

Dicha provincia se extiende a lo largo de 1,333 km, con un rumbo noroeste-sureste. Las cumbres más elevadas se encuentran en las sierras de la porción norte, donde las elevaciones varían entre los 2,000 y 3,000 msnm.

La Subprovincia Sierra La Giganta forma parte de la cordillera peninsular cuya topografía se caracteriza por presentar elevaciones máximas del orden de 800-1,200 msnm y está conformada por rocas volcánicas en forma de mesetas inclinadas hacia el Océano Pacífico y altas crestas hacia el Golfo de California.

Localmente en área de estudio presenta tres zonas fisiográficas principales: zonas montañosas, pequeños valle aluvial intermontanos y planicie costera. La zona montañosa ocupa casi la totalidad del área, presenta una topografía abrupta, con fuertes pendientes en el noreste sobre la costa del Golfo de California. Están constituidas principalmente por rocas ígneas extrusivas de la Formación Comondú.

La zona de costa es reducida y está constituido por sedimentos aluviales provenientes de la erosión de las partes altas de la Sierra La Giganta que han sido transportados por los escurrimientos superficiales y depositados en las partes topográficamente más bajas, con espesor se desconocido, limolitas-areniscas, conglomerados y fluviales.

En general, el tipo de vegetación de mayor distribución es característico al de zonas áridas como el matorral sarcocaulé y vegetación de galería.

Los suelos existentes son Regosol, Vertisol, Yermosol y Fluvisol y Arenosol háplico, se desarrollan sobre materiales no consolidados de textura arenosa que, en pequeñas áreas aparece sobre areniscas o rocas silíceas muy alteradas y arenadas. Aparecen sobre dunas recientes, lomas de playas y llanuras arenosas.

3.2 Clima

Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación potencial de las estaciones climatológicas que se ubican en esta porción de la península de Baja California, y con apoyo en la carta de climas, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García para nuestro país, se determina que en la región prevalece grupo de clima muy árido (BW).

De acuerdo a la elevación topográfica de la zona, se presentan variantes en franjas paralelas orientadas en sentido norte sur: En las partes topográficamente más bajas cercanas a la línea de costa es clima es de tipo BW(h')(x') muy árido cálido con temperatura media anual mayor a 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C y presenta lluvias repartidas todo el año con un porcentaje de lluvia invernal mayor del 18% del total anual.

Por último, en la sierra predomina el clima BW(h')(x') muy árido semicálido con temperatura media anual entre 12 y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C con lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de dos estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Santa Rosalía y San Ignacio, cuyo registro comprende los periodos 1976-2007 y 1939-2004, respectivamente. De acuerdo con estos datos se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **98.4 mm y 21.7 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,378 mm anuales**.

La región se caracteriza por presentar periodos prolongados de sequía, que eventualmente son interrumpidos por la incidencia de tormentas tropicales y huracanes. Aunque el valor de la precipitación pluvial media anual es muy bajo, las lluvias de temporada y la presencia ocasional de fenómenos ciclónicos, tienen un efecto importante sobre la recarga al acuífero.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 5, Baja California Centro-Este (Santa Rosalía) y forma parte de la cuenca Santa Águeda, una pequeña porción se ubica en la cuenca Santa Rosalía. A nivel local se ubica en la cuenca Arroyo Paterna-Arroyo Mulegé.

La cuenca hidrológica Santa Rosalía, tiene una superficie de aportación de 152.7 km² y se encuentra delimitada al norte por la cuenca hidrológica Las Vírgenes, al este por el Mar de Cortés, al sur por la cuenca hidrológica Santa Águeda, y al oeste por las cuencas hidrológicas San Ignacio y Las Vírgenes.

Debido al clima desértico, la región se caracteriza por presentar condiciones de régimen de lluvias en verano con valores bajos de precipitación y escasez natural de agua. Los escurrimientos superficiales son de tipo intermitente que generalmente desaparecen por infiltración hacia el valle aluvial y la planicie costera. Los escurrimientos superficiales únicamente ocurren durante la temporada de lluvias. El arroyo con mayor longitud es conocido con el nombre de El Purgatorio, que este se origina en el cordón fisiográfico Las Calabazas con el nombre de Arroyo Pozo Verde, en su recorrido se adjuntan los gastos de los arroyos El Difuntito y La Manguera, para finalmente desembocar al Golfo de California. Otros afluentes de carácter intermitente dentro de la zona de estudio son. El Boleo, A. La Soledad y A. Providencia que descienden de la Sierra La Giganta hacia los llanos en sentido suroeste-noreste y sólo conducen agua durante las esporádicas lluvias torrenciales como las causadas por huracanes. No existen escurrimientos permanentes en la cuenca y los que se forman son de carácter torrencial y efímero.

En la zona no existen estaciones hidrométricas ni tampoco infraestructura hidráulica para el almacenamiento y control de las corrientes superficiales.

3.4 Geomorfología

Los rasgos morfológicos en el área de estudio denotan un estado geomorfológico de madurez temprana, en el que destacan las sierras constituidas por rocas volcánicas erosionadas de la Formación Comondú, con desnivel de más de 1,400 m y fuertes pendientes que terminan en acantilados sobre el Golfo de California. En ella nacen 5 arroyos principales que drenan hacia el Golfo de California.

La red de drenaje característico es de tipo dendrítico con cauces generalmente profundos en la zona serrana. De manera particular, en el área de estudio se distinguen unidades geomorfológicas clasificadas como Sierras Altas, Sierras Bajas, pequeños valle aluvial y una reducida planicie costera. Los rasgos fisiográficos y geomorfológicos en la zona centro del acuífero presentan condiciones desfavorables para el desarrollo de un acuífero debido a su planicie reducida con escaso desarrollo costero.

4. GEOLOGÍA

El acuífero Santa Rosalía pertenece a la Región La Giganta, la cual ocupa dos terceras partes de la ladera Oriental de la Sierra La Giganta sobre formaciones volcánicas y una franja costera de 105 km. Las unidades que afloran dentro del acuífero se relacionan con la apertura del Proto Golfo de California ya que formó una serie de cuencas divergentes las cuales almacenaron principalmente sedimentos siliciclásticos durante las primeras invasiones marinas de edad Cenozoica dentro del periodo Neógeno.

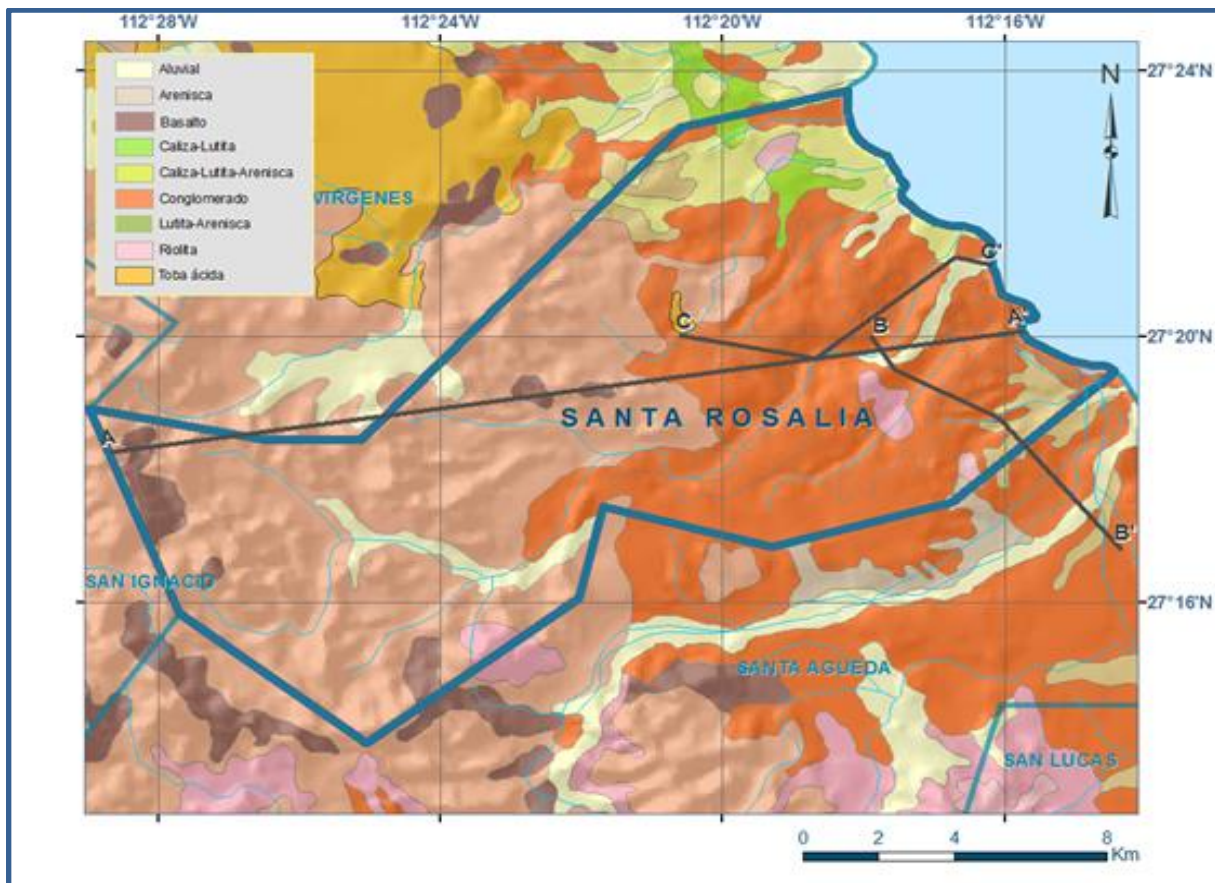


Figura 2. Geología general del acuífero

Al finalizar el Mioceno se inició una intensa actividad volcánica en zonas de fracturamiento incipiente, a lo largo de un eje de fallamiento paralelo al borde de la actual costa oriental de la Península de Baja California.

Esta actividad volcánica formó la denominada Sierra de la Giganta, la cual llega a alcanzar más de 1,500 metros de espesor de sedimentos volcánicos, que se depositaron sobre las rocas graníticas del batolito peninsular. En esta época el paisaje de la actual cuenca de San Bruno-Mulegé-Santa Rosalía, era el de una cadena montañosa que se continuaba al oriente, posiblemente hasta las actuales costas de Sonora y Sinaloa, puesto que el Golfo de California no existía todavía.

Durante el Plioceno, el eje de fallamientos que se inició en el Mioceno, cobró mayor actividad formándose como consecuencia de esto una serie de depresiones tectónicas que cubrían el borde de la actual Costa de Baja California desde Santa Rosalía a Mulegé, y donde se originaron lagunas por el escurrimiento proveniente de las partes altas, debido a las intensas lluvias de esa época, formándose en ellas depósitos de evaporitas en volúmenes considerables y de las que actualmente queda como representativa la Isla de San Marcos.

Posteriormente, en el Pleistoceno el eje de fallamiento del Mioceno, cobró su máximo desplazamiento con lo cual se formó un sistema de fallas paralelas que originó un “graben” que ocupa el Golfo de Baja California hundiendo la actual franja costera de la cuenca y quedando solamente emergidas las partes altas de la Sierra de La Giganta y las Islas de San Marcos y Tortuga.

Durante casi todo el Pleistoceno, la erosión de las tierras altas del poniente acumuló grandes cantidades de sedimentos en la plataforma submarina o zona de mar epicontinental. El paisaje que representa actualmente la cuenca está modelado por el desarrollo de varios arroyos que nacen en la Sierra de la Giganta.

4.1 Estratigrafía

Las rocas más antiguas que afloran en el área cubierta por el acuífero, pertenecen a la Formación Comondú (Mioceno). Sobre estas descansan, en forma discordante, rocas sedimentarias marinas del Plioceno correspondientes a las Formaciones Boleo, Gloria e Infierno.

Este paquete de rocas se encuentra cubierto por la delgada capa de Formación de Santa Rosalía, así como las rocas basálticas y piroclásticas de la Formación Tres Vírgenes. Gravasy arenas semiconsolidadas del Reciente y Cuaternario se depositaron en las planicies, cubriendo las rocas antes mencionadas. En la figura 2 se muestra la distribución de las distintas litologías.

MIOCENO

Formación Comondú

La Formación Comondú aflora formando la Sierra La Giganta cuyo origen se asocia a un arco volcánico del Oligoceno-Mioceno (Heim Arnold, 1922). Está constituida por una alternancia de materiales volcánicos y sedimentarios que incluye areniscas, conglomerados, brechas volcánicas, andesitas y tobas. Las areniscas se presentan bien consolidadas y compactas, en tanto que los conglomerados están constituidos por fragmentos redondeados, de origen ígneo, empacados en arenas.

Ambas litologías se encuentran complejamente interestratificadas e intrusionadas por diques de composición intermedia y básica. Las tobas y brechas presentan una composición predominantemente básica.

Las brechas están constituidas por una mezcla de fragmentos, empacadas en una matriz tobácea, intrusionadas por diques. Constituye la mayor parte de las elevaciones topográficas que corresponden a la Sierra La Giganta. Presenta una estratificación casi horizontal, con una sensible inclinación hacia el poniente. Su espesor se estima en más de 1,200 metros.

Federico Mina (1957) la dividió en dos unidades diferentes. La primera formada por rocas piroclásticas y volcánicas, presenta composición andesítica, basáltica y riolítica, así como conglomerados lenticulares y brechas de talud. La segunda unidad, que subyace a la anterior, está formada principalmente por conglomerados, areniscas y ocasionales argilitas. A través del fracturamiento recarga lentamente el agua retenida durante las lluvias hacia la zona baja, donde se localizan los rellenos aluviales del Cuaternario.

Hausback (1984) restringe el nombre de Formación Comondú al arco miocénico representado por rocas volcánicas y volcanoclásticas que conforman el grueso de la Sierra La Giganta.

Formación El Boleo

Representan las rocas más antiguas que conforman el relleno sedimentario de la cuenca. La unidad fue descrita inicialmente por Wilson en 1984 en honor al distrito minero cuprífero El Boleo. Esta formación se ha dividido en 3 unidades principales: Miembro Calizas, Miembro Yeso y Miembro Clástico (Ortlieb, 1984).

La primera de estas y la más basal se encuentra conformada por capas delgadas de calizas en algunas comunidades fosilíferas cuya coloración va de gris a rojizo.

La unidad sobreyace a la Formación Comondú conformando un contacto discordante erosivo. Ortlieb (1984) dató estas rocas como Mioceno Tardío.

El Miembro Yeso, que se encuentra sobreyaciendo al Miembro Calizas, está constituido por estratos de yeso de coloración blanca a rojiza entre los cuales se encuentran también alternadas algunas capas de rocas clásticas.

Por último, el Miembro Clástico, que ha sido muy estudiado debido a su contenido de cobre, ha sido dividido por Ochoa-Landín, (2000) en 5 litofacies: D, C1, C, B y A.

Formación Gloria. De edad Plioceno Medio, consiste de una secuencia de areniscas marinas y conglomerados marinos y terrestres, que descansan en forma discordante sobre la Formación Boleo. Su espesor es de 60 m variando de 25 a 185 m.

Formación Infierno. Esta formación de edad Plioceno Superior, consiste en una secuencia de areniscas marinas fosilíferas que descansan con ligera inconformidad sobre la Formación Gloria, sobre la cual se encuentra un conglomerado compuesto por fragmentos de rocas volcánicas Comondú en una matriz arenosa. Su espesor promedio es de 55 m correspondiente 30 m a las areniscas y 25 m al conglomerado.

PLESTIOCENO

Formación Santa Rosalía. Esta formación de edad Pleistoceno, está constituida por areniscas y conglomerados fosilíferos que descansan en inconformidad sobre la Formación Infierno. Esta formación es abundante en fósiles y su espesor varía entre 5 a 15 m.

PLEISTOCENO RECIENTE

Formación Tres Vírgenes. Consiste principalmente de flujos de lava y capas piroclásticas que cubren extensas áreas sobre las mesetas al NW de Santa Rosalía, descansa en inconformidad sobre la Formación Santa Rosalía y su espesor fluctúa de 30 a 50 m.

El norte del área estudiada está cubierto por una serie de rocas volcánicas que se presentan formando como cineríticos con coladas superpuestas de basalto de olivino. Pueden observarse también paquetes de tobas intercaladas con corrientes lávicas de composición latítica, tobas soldadas y brechas volcánicas. Todas ellas han sido incluidas dentro de la Formación Tres Vírgenes.

En las inmediaciones del Arroyo del Purgatorio se presentan estructuras de flujo producidas por tobas soldadas o ignimbritas y hacia el Sur del arroyo La Providencia, conos y derrames también de ignimbritas que se han correlacionado con esta formación.

Gravas y Aluviones. Estos depósitos consisten en gravas sueltas intercaladas con capas de conglomerados parcialmente cementados, depositadas en un ambiente marino, su espesor máximo es de 20 m.

La erosión ha sido intensa en la zona, originando la acumulación superficial abundante de gravas y arenas, terrazas fluviales y taludes.

Los depósitos recientes muestran un drenaje superficial poco desarrollado con una tendencia a formar mesas. Esta última característica constituye un rasgo típico en el área.

4.2 Geología Estructural

La historia tectónica del Golfo de California y provincias peninsulares es muy compleja debido al hecho de estar ubicadas sobre una margen continental que ha sido afectada por varios procesos de convergencia y divergencia. Federico Mina ha dividido a la Península en cuatro unidades tectónicas: a) El Macizo marginal Oriental b) El Macizo del Cabo c) Los sinclinales Californianos y Soledad. Finalmente postula una plataforma marginal Occidental ahora sumergida, de la que podrían ser testigos las islas de Cedros y Santa Margarita.

La estructura geológica de la Península es un gran bloque orogénico alargado, cuya orientación es de NW a SE, paralela en general al Golfo de California. Sobre este bloque, como se ha visto es de naturaleza granítica, descansan formaciones sedimentarias Mesozoicas y Terciarias, que forman en la porción occidental del estado Sur, sierras poco elevadas paralelas a la costa, altiplanicies o llanuras ligeramente inclinadas hacia el W. Las formaciones del Cretácico Medio y Superior, presentan en su estratificación una discordancia angular, en tanto que el Eoceno descansa concordantemente sobre el Cretácico superior.

La estructura de derrames y sierras, ocurridas en el Mioceno es producto de un sistema de fallas regionales del Distrito del Boleo con rumbo NW-SE, el cual se observan en la porción sur, y continúa hacia el noroeste. El fallamiento ha sido activo hasta tiempos recientes, ya que pueden observarse aún evidencias de zonas que han sido rellenadas por material reciente.

Este sistema en conjunto representa una serie de bloques con un sistema de fallas normales, en donde el suelo se hunde hacia el poniente, resultado del graben del Golfo de California.

En las zonas que han sido minadas puede notarse que la alteración está controlada e influenciada por la estratigrafía y tectónica.

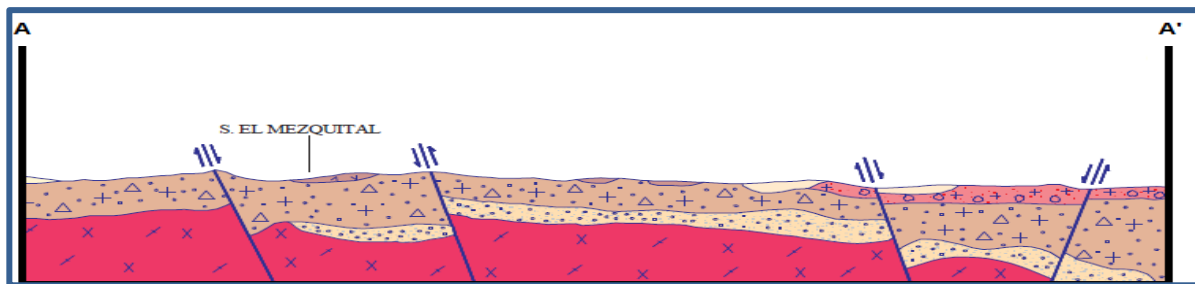
La estructura del basamento de la región, (Formación Comondú), tiene una dirección preferencial al SW de Santa Rosalía, constituyendo un macizo montañoso que atraviesa la región de Santa Águeda y culmina en el Cerro del Infierno.

Los derrames que constituyen esta formación presentan pseudoestratificaciones cuyas inclinaciones generalmente están hacia el Este y Sureste con ángulos menores de 40°.

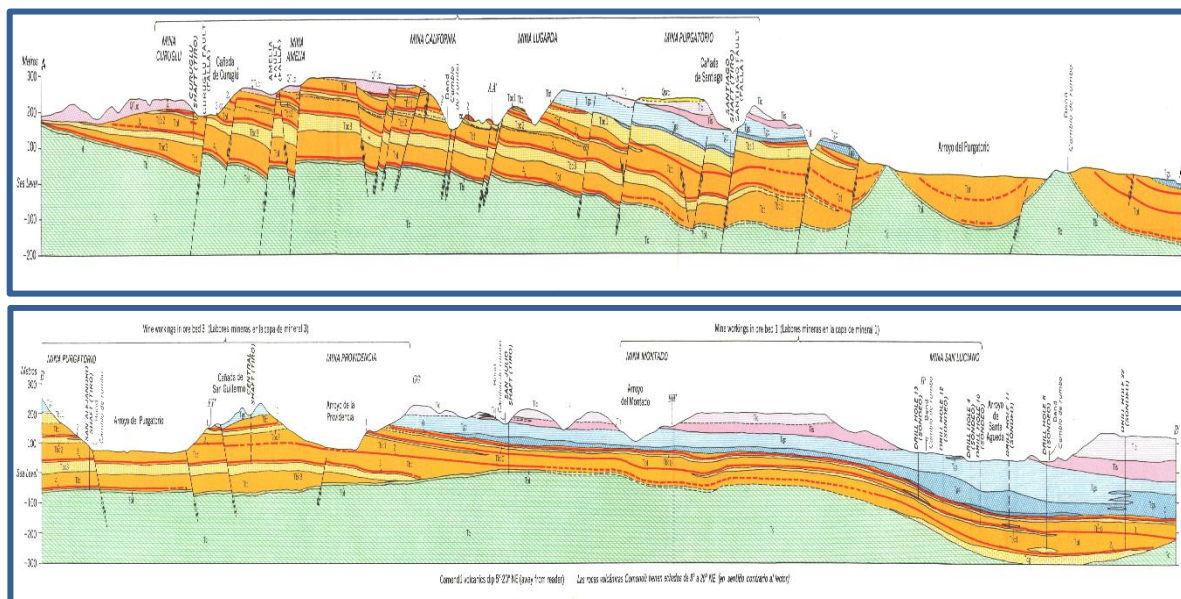
Entre el Arroyo El Boleo y El Purgatorio y entre este último y el de Santa Águeda pueden notarse dos áreas que por sus características topográficas representan dos subcuencas limitadas por la Formación Comondú, al oeste en donde aflora la Formación Boleo. Dichas regiones no han sido exploradas aún con detalle, pero tienen características estructurales y estratigráficas semejantes a áreas mineras que se encuentran en el Distrito El Boleo.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con las evidencias de campo, la información de la geología del de la carta geológico-minera Santa Rosalía, clave G12-1, Baja California Sur, escala 1:250,000 del SGM y con recorridos de campo, fue posible definir que el acuíferos se aloja en los sedimentos aluviales y fluviales provenientes de la erosión de las partes altas de la Sierra La Giganta que han sido transportados por los escurrimientos superficiales y depositados en forma de valle aluvial, en los cauces de los arroyos y en la planicie costera. Su espesor se desconoce, pero se infiere que puede variar desde algunos metros hasta un espesor de algunas decenas de metros. El acuífero se encuentra bordeado por las rocas volcánicas impermeables de la Formación Comondú, que generalmente funcionan como barreras laterales e inferiores; al oriente la frontera es de carga constante representada por el Golfo de California.



Fuente: SGM (1997). Carta geológico-Minera G-12-1, Santa Rosalía, escala 1:250,000



Fuente: SUR Minera Metalúrgica del Boleo, S.A. de C.V., 2007

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica disponible y con base en la descripción previa de las unidades hidrogeológicas el acuífero es de tipo libre heterogéneo (en los sentidos horizontal y vertical) constituido por sedimentos aluviales y fluviales depositados tanto en los subálveos de los arroyos como en la planicie costera.

De acuerdo con la distribución topográfica del relieve dentro del acuífero Santa Rosalía y a las características geológicas de la zona, favorecen que la recarga que recibe el acuífero procede de la infiltración directa de la lluvia, así como por la infiltración del agua superficial que escurre a través de los arroyos intermitentes, durante la época de lluvias, aunado a una porción de fracturas en rocas volcánicas.

La trayectoria del flujo del agua es a través de depósitos de material no consolidado de espesor irregular que yace sobre la andesitas y brechas volcánicas de la Formación Comondú, con direcciones de flujo de este a noroeste, el tránsito es restringido por los límites del cauce del arroyo por la barreras impermeables volcánicas.

La descarga se produce de manera natural por flujo subterráneo hacia el mar, donde existen manifestaciones superficiales que evidencien la zona de descarga (manantiales) que se ubican en la parte de la sierra en la zona minera. La evapotranspiración se presenta en zonas con niveles freáticos someros.

Aunque el valor de la precipitación pluvial media anual es bajo, las lluvias de temporada y la presencia ocasional de fenómenos ciclónicos tienen un efecto importante sobre la recarga subterránea del acuífero.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se ejecutaron 2 pruebas de bombeo de corta duración en etapa de abatimiento y recuperación. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de transmisividad varían de **0.23 a $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , con un valor promedio de **$1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , en tanto que los valores de conductividad hidráulica varían de **0.12 a $0.15 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** con un valor promedio de **$0.81 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** . Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se pudieron obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, no existe registro histórico, sólo se dispone de la información recabada en el año 2010 por la Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua en Baja California Sur.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático, mostrada en la figura 4, presenta valores que varían desde algunos metros, a lo largo de los arroyos y en la planicie costera hasta los 18, 31 y 75 m, para las áreas de balance El Montado, La Soledad y Santa Rosalía respectivamente, aumentando gradualmente de la planicie costera hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, conforme se asciende topográficamente. Los valores más someros se ubican en la parte baja de los arroyos El Boleo, La Soledad, El Purgatorio, Providencia, El Montado y en los alrededores de las comunidades cercanas a la costa (Punta Limantur, Zona Industrial y Punta Casa Blanca).

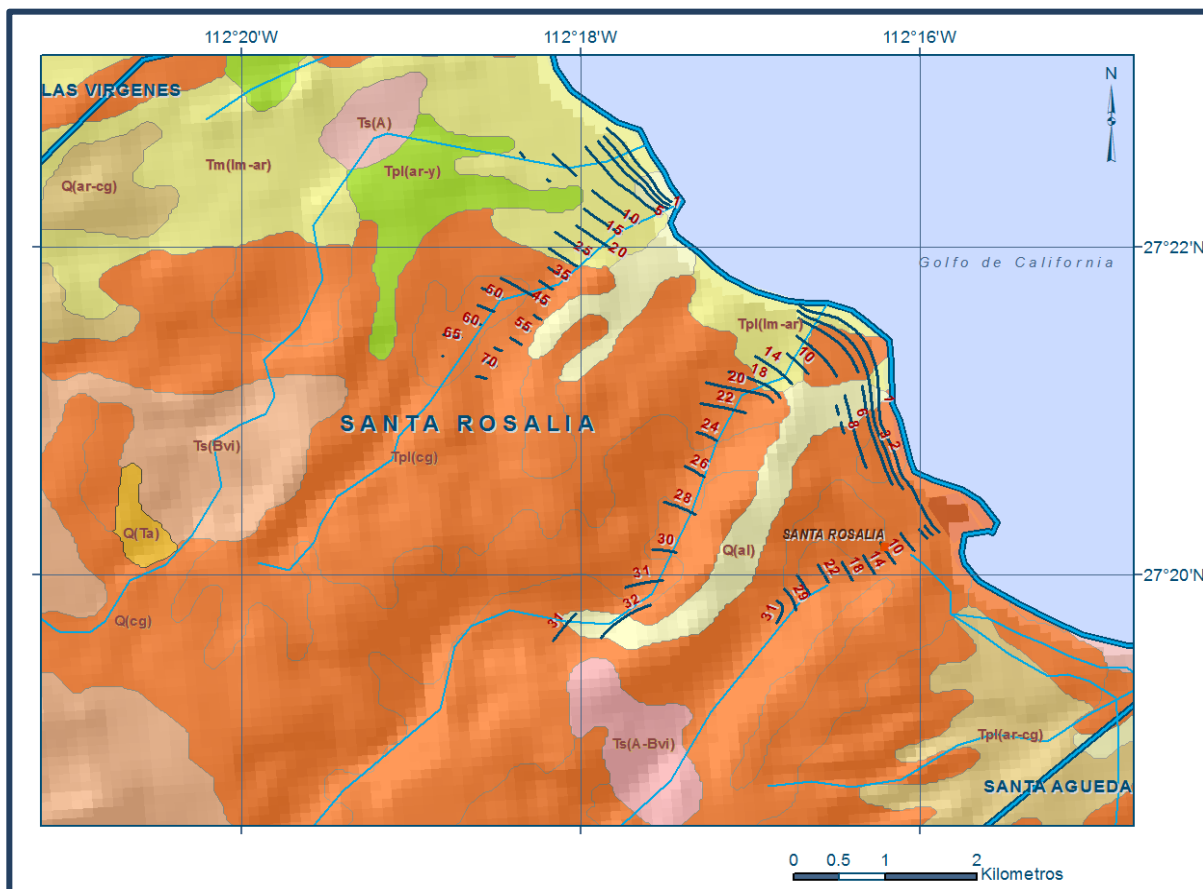


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2010)

5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático (figura 5), se observa que los valores varían entre 0 y 48 msnm, mostrando el reflejo de la topografía, al igual que los valores de profundidad, lo que indica que el flujo subterráneo no ha sufrido alteraciones causadas por la concentración de pozos o del bombeo.

Los valores más bajos se localizan en la porción costera, desde donde se incrementan gradualmente por efecto de la topografía hacia la porción poniente, mostrando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo de suroeste a noreste.

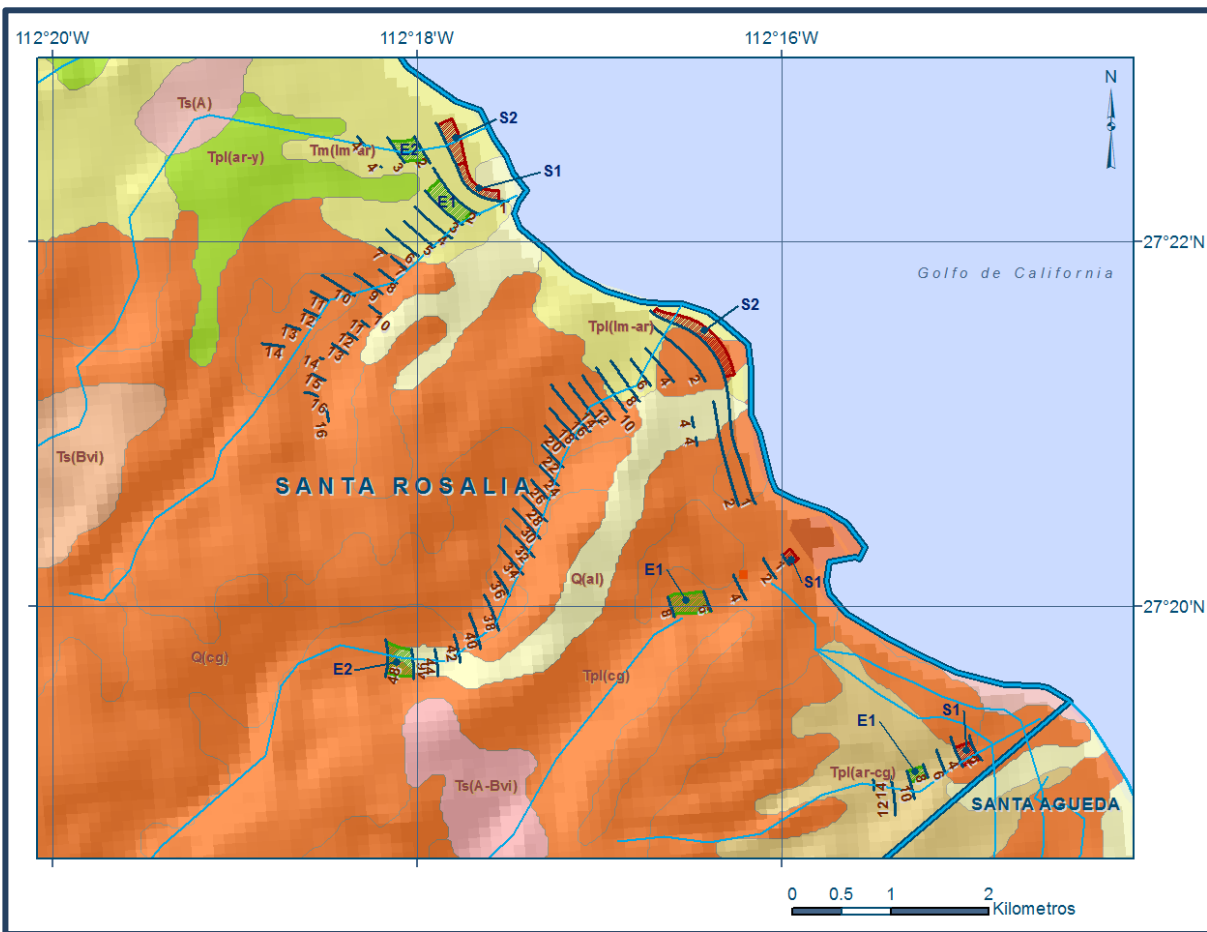


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración.

Las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Las mediciones realizadas en el año 2010 serán el punto de partida para el establecimiento del monitoreo de los niveles del agua subterránea.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 6 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (6 norias y 2 minas), para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, coliformes fecales y totales, etc, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 1,130 a 6,740 ppm, sobrepasando el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido 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.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como agua muy altamente salina (C4), baja en sodio (S-1) y de contenido moderado de sodio (S-2), lo que indica que no es apropiada en condiciones para el riego. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante la sódico-cálcica-clorurada.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 9 aprovechamientos, de los cuales 1 es pozo, 4 norias y 4 son piezómetros; de ellos 8 están activos (1 pozo, 3 norias y 4 piezómetros) y 1 inactivo. El volumen de extracción se ha estimado en **0.1 hm³ anuales**, de los cuales 0.078 hm³/año (78%) se destinan al uso agrícola y los 0.022 hm³/año (22%) restantes para abastecer el uso doméstico.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el año 2010 en tres zonas de balance; la primera corresponde al cauce del arroyo La Soledad, la segunda corresponde al área de Santa Rosalía y la tercera sobre el cauce del arroyo El Montado. En total cubren una superficie aproximada de 5 km².

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 la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita sobre los depósitos aluviales y conglomerados que conforman los valles, así como la infiltración de los escurrimientos superficiales a lo largo de los 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 inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i).

Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes y el riego agrícola es incipiente, no existe recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña. Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$R_v + E_h - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Dónde:

R_v : Recarga vertical (Infiltración por lluvia)

E_h : Recarga por flujo horizontal

B : Bombeo

S_h : Salidas por flujo horizontal

ETR : Evapotranspiración real

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h + ETR \pm \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h \pm \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

La recarga del acuífero tiene su origen por la precipitación sobre las zonas topográficamente más altas del área y por la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El agua se infiltra a través de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan las zonas de explotación.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, a partir de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

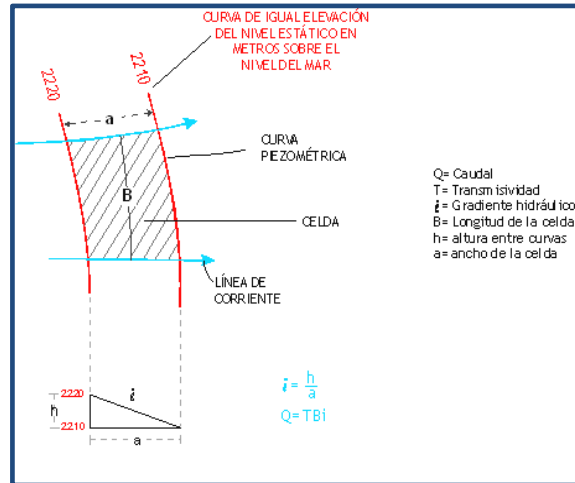
Dónde:

Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;

T = transmisividad;

B = largo de la celda;

i = gradiente hidráulico



Con base en la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010 (figura 5) se seleccionaron las celdas de entrada de flujo subterráneo de acuerdo a la geología para cada zona o área de balance. El caudal de entrada por flujo subterráneo horizontal calculado para éste año se muestra en la tabla 2, 3 y 4.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo 2010. (Zona La Soledad)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h2 - h1 (m)	Gradiente Hidráulico i (m)	T (m ² /s)	Caudal Q = TBi (m ³ /s)	Volúmen (Hm ³ /año)
E1	440	160	1	0.006250	0.002	0.005500	0.17
E2	220	220	1	0.004545	0.002	0.002000	0.06
Total de entradas =							0.24

Tabla 3. Cálculo de entradas por flujo subterráneo 2010. (Zona Santa Rosalía)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h2 - h1 (m)	Gradiente Hidráulico i (m)	T (m ² /s)	Caudal Q = TBi (m ³ /s)	Volúmen (Hm ³ /año)
E1	280	230	2	0.008696	0.002	0.004870	0.15
E2	200	330	2	0.006061	0.002	0.002424	0.08
Total de entradas =							0.23

Tabla 4. Cálculo de entradas por flujo subterráneo 2010. (Zona El Montado)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h2 - h1 (m)	Gradiente Hidráulico i (m)	T (m ² /s)	Caudal Q = TBi (m ³ /s)	Volúmen (Hm ³ /año)
E1	120	160	2	0.012500	0.002	0.003000	0.09
Total de entradas =							0.09

Los valores de T utilizados para calcular entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en acuíferos vecinos San Ignacio y Santa Águeda, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas. El volumen de entrada subterránea promedio anual es igual a **0.6 hm³**.

7.2 Salidas

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

7.2.1 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.

Aunque el valor de la evapotranspiración se estima que es pequeño para este acuífero, dada la escasez natural del agua, se consideró importante estimar su valor para incluirlo en la recarga total que recibe el acuífero. Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	21.7		
P(mm) =	98.40	P² =	9682.56
L =	1353.42	L² =	1831733.92
ETR (mm) =	103.42		

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc es que la precipitación no debe ser menor a la relación $0.31L$. Entonces debido a que la precipitación resultó menor que la relación $0.31L = 419.6$, el valor de la evapotranspiración real debe despreciarse, ya que su valor resulta mayor valor de la precipitación.

El fenómeno presente en el área es la evaporación directa del agua freática somera, debido a la ausencia de cobertura vegetal. Para la observación del comportamiento del fenómeno de evapotranspiración se considera el tanque evaporímetro expresado como un porcentaje de evapotranspiración, donde la evaporación es comparativamente más alta, en los niveles freáticos < 100 cm de la superficie del suelo, posteriormente disminuye hasta hacerse despreciable, para las zonas donde los niveles freáticos son > 300 cm, según White citado por Keith (1973).

De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno (profundidad al NE menor a 3 m, dentro del área de balance) por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial media en las estaciones climatológicas (2,378 mm CONAGUA, Dirección Local en Baja California Sur). El valor de esa fracción varía entre un máximo de uno, cuando el nivel freático aflora, y cero cuando éste se halla a profundidades mayores a la altura de la franja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático. De la figura 4 se deduce que para una profundidad al NE de 2 m (80 pulgadas) el % de evaporación es del 2%. Considerando una superficie promedio de 2.7 km², donde la profundidad al NE es en promedio de 2 m y un 2 % de la evaporación potencial, se tiene que la evaporación es de **0.13 hm³/año**.

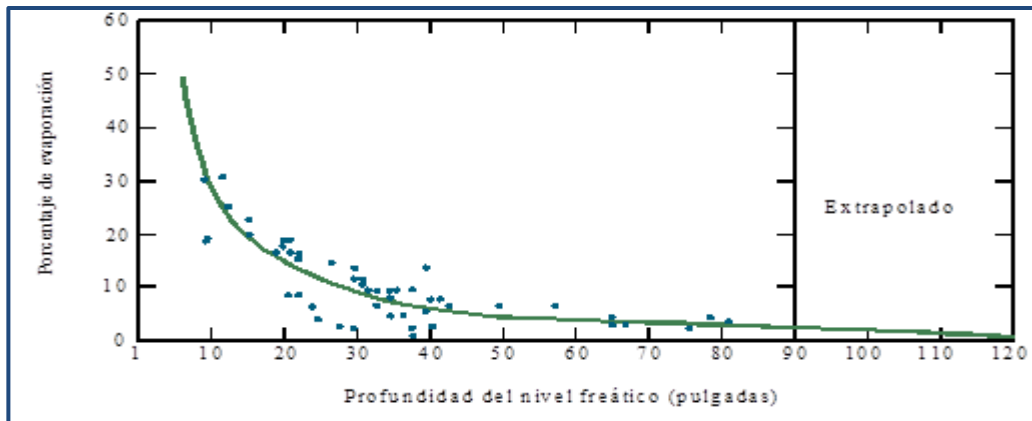


Figura 5. Evaporación del agua Subterránea expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático según White

Evaporación potencial media anual (m)	Área (km ²)	% de la Evaporación Potencial	Volumen Evaporación (hm ³ /año)
2.378	2.7	0.02	0.13

7.2.2 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **0.1 hm³ anuales**.

7.2.3 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 del año 2010, mostradas en la figura 5. Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación, hacia el mar. El valor estimado para este año de análisis se muestra en las tablas 5, 6 y 7. El valor de las salidas subterráneas es igual a **0.64 hm³/año**.

Tabla 5. Cálculo de las salidas por flujo subterráneo 2010. (Zona La Soledad)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h2 - h1 (m)	Gradiente Hidráulico i (m)	T (m ² /s)	Caudal Q = TBi (m ³ /s)	Volúmen (Hm ³ /año)
S1	500	80	0.5	0.006250	0.002	0.006250	0.20
S2	450	130	0.5	0.003846	0.002	0.003462	0.11
Total de salidas =							0.31

Tabla 6. Cálculo de las salidas por flujo subterráneo 2010. (Zona Santa Rosalía)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h2 - h1 (m)	Gradiente Hidráulico i (m)	T (m ² /s)	Caudal Q = TBi (m ³ /s)	Volúmen (Hm ³ /año)
S1	520	120	0.5	0.004167	0.002	0.004333	0.14
S2	120	100	0.5	0.005000	0.002	0.001200	0.04
Total de salidas =							0.17

Tabla 7. Cálculo de las salidas por flujo subterráneo 2010. (Zona El Montado)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h2 - h1 (m)	Gradiente Hidráulico i (m)	T (m ² /s)	Caudal Q = TBi (m ³ /s)	Volúmen (Hm ³ /año)
S1	200	160	2	0.012500	0.002	0.005000	0.16
Total de salidas =							0.16

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes se encuentran dispersos en espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

Bajo estas condiciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por lo tanto para fines del balance $\Delta V(S) = 0$

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:

$$R_v = B + Sh + ETR + Dm - \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2)$$

Sustituyendo valores:

$$R_v = 0.1 + 0.64 + 0.13 + 0.0 - 0.0 - 0.56 - 0.0$$

$$R_v = 0.31 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto el valor de la recarga total (R) es igual a la suma de las entradas.

$$R = R_v + E_h = 0.31 + 0.56$$

$$R = 0.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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. Para este caso, su valor es de **0.9 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para este caso, su valor es de. **DNC = 0.8 hm³ 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 **73,276 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 0.9 - 0.8 - 0.073276 \\ \text{DMA} &= 0.026724 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **26,724 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2010. Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico de los acuíferos Cabo Pulmo, Cabo San Lucas, Mezquital Seco, La Purísima, Santa Águeda y Santa Rosalía, B.C.S. Elaborado por la empresa Sanx, Ingeniería Integral, S.A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas (1974) Informe del Estudio Geohidrológico de los Valles de San Bruno, Mulegé-Santa Rosalía, BCS. Elaborado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S. A. Consultores.