

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA
EN EL ACUÍFERO SANTA ROSALÍA (2623), ESTADO DE SONORA**

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.....	6
3.1	Provincia fisiográfica	6
3.2	Clima	6
3.3	Hidrografía.....	7
3.4	Geomorfología	7
4	GEOLOGÍA	7
4.1	Estratigrafía.....	8
4.2	Geología estructural.....	14
4.3	Geología del subsuelo	15
5	HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1	Tipo de acuífero.....	16
5.2	Parámetros hidráulicos	16
5.3	Piezometría.....	16
5.4	Comportamiento hidráulico	16
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	19
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA	19
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
7.1	Entradas.....	20
7.2	Salidas.....	23
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔVS)	23
8	DISPONIBILIDAD	24
8.1	Recarga total media anual (R)	24
8.2	Descarga natural comprometida (DNC)	25
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	25
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	25
9	BIBLIOGRAFÍA	27

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 2623 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción central del estado de Sonora, entre las coordenadas las coordenadas geográficas 28°52' y 29°23' de latitud norte y 109°52' y 110°37' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1867 km².

Colinda al norte con el acuífero Río Sonora; al este con Río Moctezuma; al sur con Río Mátape y Valle de Guaymas; y al oeste con Mesa del Seri-La Victoria y La Poza, todos ellos pertenecientes al estado de Sonora (figura 1).

Geopolíticamente el acuífero comprende parcialmente los municipios de Hermosillo, La Colorada, Villa Pesqueira, Mazatán y Ures.

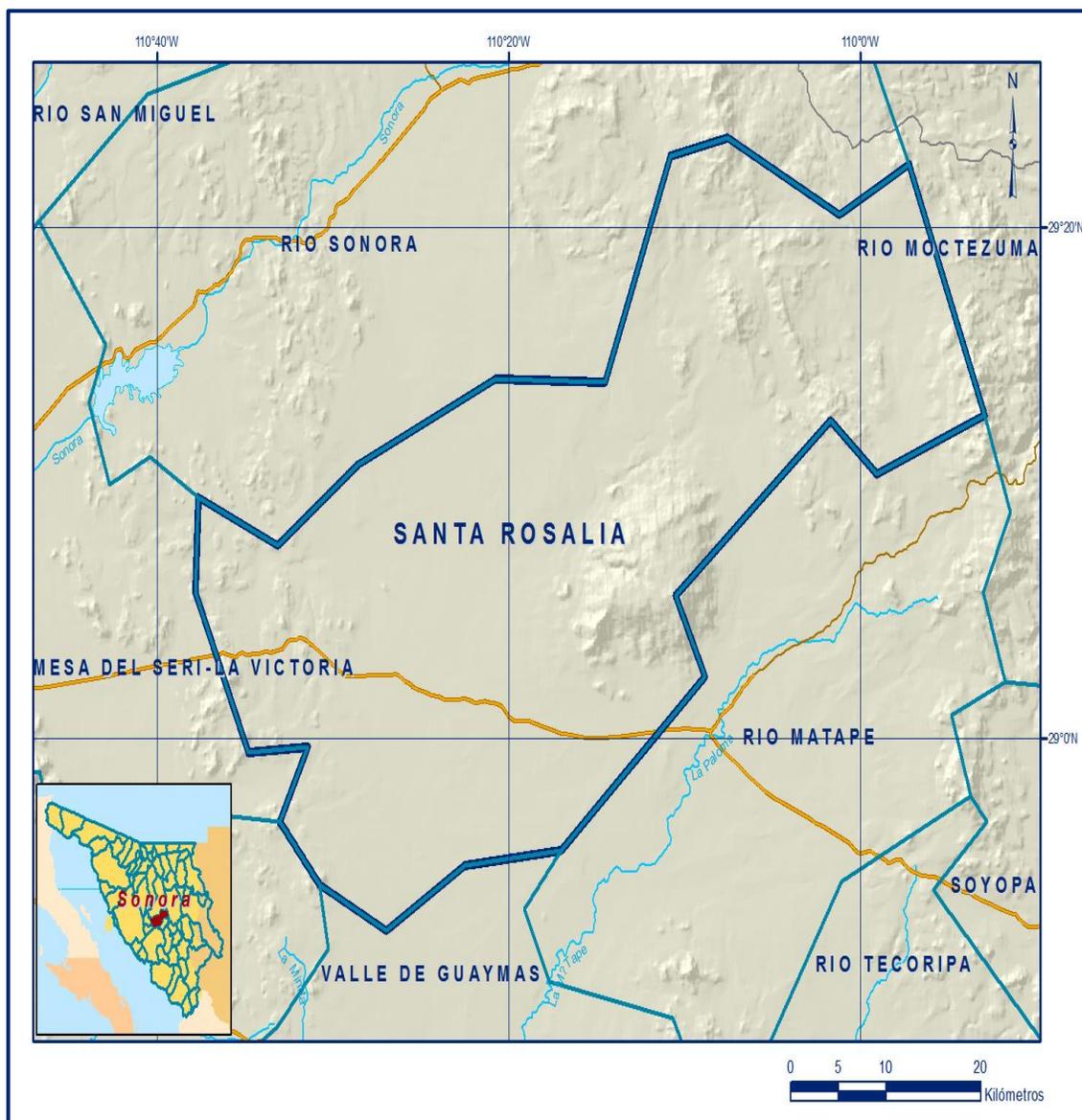


Figura 1. Localización del Acuífero Santa Rosalía

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 del acuífero

ACUIFERO 2623 SANTA ROSALIA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	57	14.2	29	22	28.4
2	109	52	54.4	29	12	38.3
3	109	59	4.8	29	10	21.5
4	110	1	42.2	29	12	27.0
5	110	10	31.6	29	5	36.5
6	110	8	49.4	29	2	25.9
7	110	17	0.8	28	55	35.6
8	110	22	29.4	28	55	17
9	110	26	57.3	28	52	28.6
10	110	30	45.8	28	54	15.8
11	110	33	0.4	28	56	44.4
12	110	31	25.2	28	59	39.2
13	110	34	47.7	28	59	27.3
14	110	37	48.7	29	5	44.0
15	110	37	39.4	29	9	25.1
16	110	33	8.4	29	7	32.0
17	110	28	33.0	29	10	44.2
18	110	20	44.2	29	14	5.1
19	110	14	31.0	29	13	55.5
20	110	10	46.7	29	22	47.1
21	110	7	32.6	29	23	31.5
22	110	1	11.4	29	20	28.8
1	109	57	14.2	29	22	28.4

1.2 Situación administrativa del acuífero

El Acuífero Santa Rosalía pertenece al Organismo de Cuenca “Noroeste”. La mayor parte de su territorio se encuentra sujeta a las disposiciones del *“Decreto por medio del cual se amplía la zona de veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Costa de Hermosillo, Sonora”* publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 2 de junio de 1967. Este decreto se clasifica como tipo II, en el que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos. En el extremo nororiental del acuífero no rige ningún decreto de veda.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

El principal usuario es el agrícola. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna; ni tampoco se ha constituido, hasta la fecha, Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie cubierta por el acuífero se han realizado varios estudios geológicos y pocos hidrogeológicos, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ATLAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y RED DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DEL ESTADO DE SONORA, elaborado por la Universidad de Sonora, para la Comisión Nacional del Agua, en 2005. El estudio consistió en establecer una red de monitoreo piezométrico para cada acuífero que se encuentra bajo la administración del Organismo de Cuenca Noroeste, que incluye la totalidad del Estado de Sonora y parte del Estado de Chihuahua. Además de planos temáticos (clima, precipitación, temperatura, geomorfología, vegetación, etc.), se incluyen planos de profundidad y elevación (mostrando las direcciones de flujo subterráneo). Representa un estudio de consulta general de los acuíferos.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LAS SUBCUENCAS DE LOS RÍOS SONORA, ZANJÓN, SAN MIGUEL, MESA DEL SERI-LA VICTORIA Y CUENCA BACOACHITO, elaborado por la Universidad de Sonora, para la Comisión Estatal del Agua (CEA) de Sonora, en 2005. Mediante actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, ejecución de sondeos geofísicos y estimación de parámetros hidráulicos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual que reciben los acuíferos. Adicionalmente, se recabaron muestras de agua subterránea para su análisis fisicoquímico correspondiente. Recomienda realizar al prospección geofísica y directa para conocer el potencial de las rocas fracturadas y en la zona cercana a Hermosillo intensificar el monitoreo hidrodinámico e hidrogeoquímico.

ESTUDIO DE EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA OBTENER LA DISPONIBILIDAD DEL ACUÍFERO SANTA ROSALÍA, ESTADO DE SONORA, elaborado por la empresa Investigación y Desarrollo de Acuíferos y Ambiente (IDEAS), para Holcim APASCO, S.A. de C.V. en 2007. El estudio realiza la evaluación geohidrológicas del acuífero mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo, hidrometría, piezometría, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos, toma de muestras para análisis físicoquímicos, ejecución de sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL PARA EL ACUÍFERO SANTA ROSALÍA, ESTADO DE SONORA, elaborado por el Servicio Geológico Mexicano, en 2007. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua para plantear el balance de aguas subterráneas y calcular su recarga media anual. Los resultados y conclusiones de ambos 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

El acuífero Santa Rosalía se ubica en la Provincia Fisiográfica Desierto Sonorense (Erwin Raisz, 1964). Esta Provincia colinda en el extremo noroeste con la Península de Baja California, hacia el oriente con La Sierra Madre Occidental y en su extremo sur con La Llanura Costera del Pacífico. Se divide en dos subprovincias: Sierras y Llanuras Sonorenses, donde está enmarcado el Acuífero Santa Rosalía, y Sierra Madre Occidental.

La Subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses comprende un área de 81,661km², abarca los municipios de Caborca, Altar, Saric, Tubutama, Oquitoa, Pitiquito, Trincheras, Benjamín Hill, Carbó, San Miguel de Horcasitas, Empalme, Mazatán; asimismo incluye parte de San Luis Río Colorado, Puerto Peñasco, General Plutarco Elías Calles, Nogales, Magdalena, Santa Ana, Opodepe, Quiriego, La Colorada, Guaymas, Suaqui Grande, Cajeme, y por último Ures, Hermosillo y Villa Pesqueira, dentro de los cuales se ubica el Acuífero Santa Rosalía.

Está formada de sierras bajas separadas por llanuras, las sierras son más elevadas (700 a 1,400 msnm) y más estrechas (rara vez más de 6 km de ancho) en el oriente; y más bajas (de 700 msnm o menos) y más amplias (de 13 a 24 km) en el occidente.

3.2 Clima

En el acuífero se presenta climas muy secos, seco y semi-seco. De acuerdo con la clasificación climática de INEGI (1994) los climas son muy seco cálido con lluvias en verano ($BW(h^{\prime})hw(x^{\prime})$), Seco-cálido con lluvias en verano ($BSo(h^{\prime})hw(xi)$), seco-semicálido con lluvias en verano ($BSohw(x^{\prime})$), semiseco-semicálido con lluvias en verano ($BS1hw(x^{\prime})$), semiseco-templado con lluvias en verano ($BS1kw(x^{\prime})$).

La temperatura media anual es de 22° C, precipitación media anual es de 350 mm/año, en tanto que el valor de la evaporación potencial media es de 2346 mm anuales.

3.3 Hidrografía

El acuífero Santa Rosalía se encuentra ubicado en la Región Hidrológica RH-9 “Sonora Sur”, dentro de la cuenca del Río Sonora, subcuenca del arroyo Santa Rosalía. Se encuentra entre los cauces de Río Sonora y La Paloma.

3.4 Geomorfología

La geomorfología del acuífero está representada por una serie de unidades que son clasificadas dependiendo del relieve, litología, suelo, condición hidrológica, vegetación y procesos de erosión. Se observan pendientes que varían entre inestables de 35° a 45°, metaestables de 15 a 35° y estables de 0 a 15°.

Se clasificaron como laderas montañosas a las elevaciones con altura relativa mayor a los 400 msnm y lomeríos a las unidades que se encuentran entre 200 y 400 msnm. Se definieron como pie de monte a las pendientes suaves situadas al pie de los lomeríos y montañas formados por materiales procedentes de la erosión. Por último, las planicies con rangos que varían de 0 a 200 msnm.

4 GEOLOGÍA

En el área afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyas edades varían desde el Precámbrico al Reciente (figura 2).

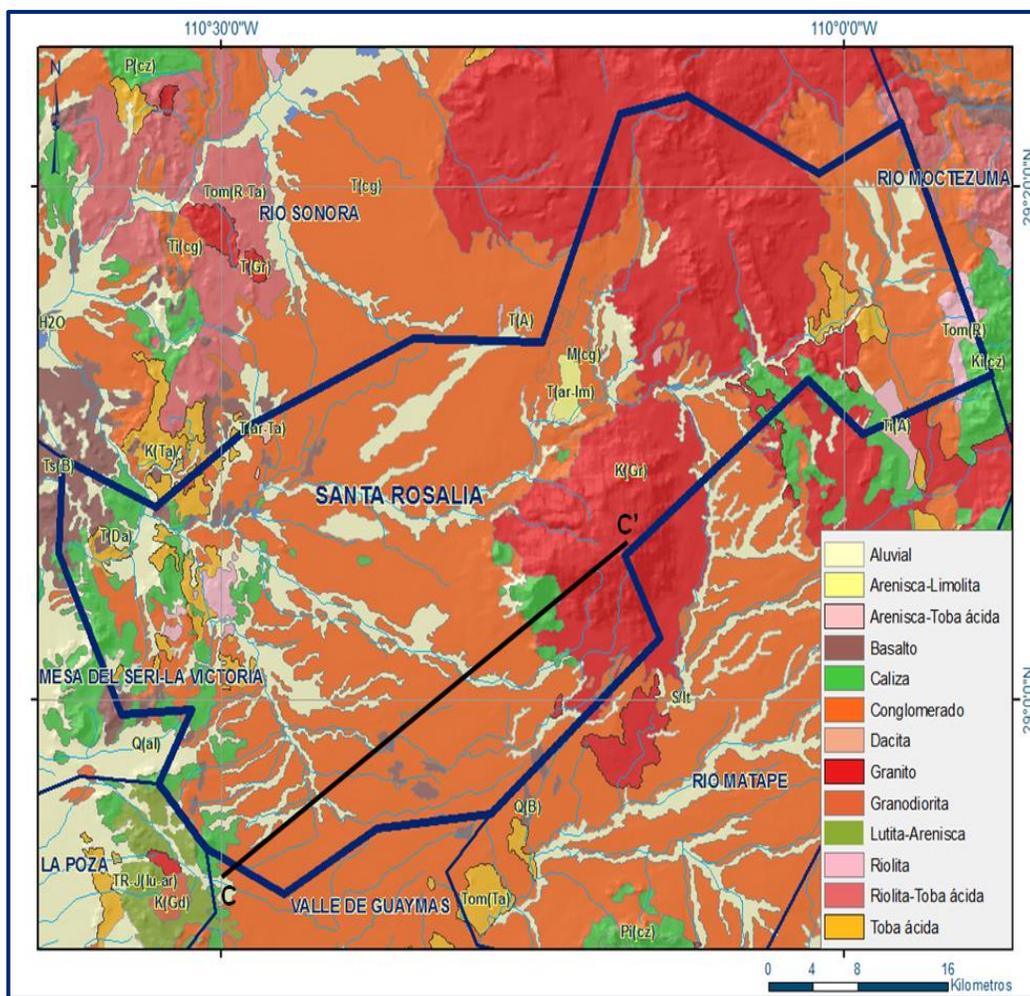


Figura 2. Geología del área Acuífero Santa Rosalía

4.1 Estratigrafía

A continuación, se presenta una descripción de las unidades estratigráficas presentes en el acuífero Santa Rosalía de la más antigua a la más reciente:

Precámbrico

Granito-Gneis pTm Gr-Gn

Se refiere a rocas ígneas y metamórficas de edad Precámbrico. Davis G. H., et al (1981), lo consideran como un complejo metamórfico. Vega G. R. (1996), lo define como un conjunto de rocas metamórficas cuyos protolitos son rocas intrusivas graníticas e intermedias y rocas sedimentarias, que presentan metamorfismo de facies anfibolita y de esquistos verdes, separados en dos conjuntos litológicos: el primero formado por una serie de gneises, rocas metasedimentarias, metavolcánicas y metaintrusivos intermedios; éstos se presentan dentro de la segunda unidad en forma de xenolitos y colgantes de dimensiones variables.

El segundo conjunto está constituido por un monzogranito aluminoso, el cual contiene una serie de diques o sills de granito orbicular. Aflora a lo largo de toda la Sierra de Mazatán, ubicada al surponiente de Pueblo de Álamos y al oriente de Rancho Viejo.

Estructuralmente presenta intenso fracturamiento y apariencia de pseudoestratificación, contiene estructuras de foliación, lineación mineral, cizallado y veteados. Morfológicamente tiene una forma cóncava cuyo eje mayor es de 15 km en dirección noreste.

Su espesor estimado es de 1000 m. Vega G. R. (1996), lo define como un granitoide bastante homogéneo, el cual consiste de un agregado de grano grueso de cuarzo y feldespatos, con biotita y moscovita en hojelillas aisladas de carácter primario.

Paleozoico

Caliza-Arenisca P Cz-Ar

En el acuífero existen varios afloramientos; el más grande se ubica al surponiente, en las inmediaciones de los cerros El Tordillo y el Huacal, otro de menor proporción se ubica al norponiente en las inmediaciones de las rancherías El Yeso y Norobabi, asimismo aflora al surponiente de la Sierra de Mazatán, en la Sierra La Cañada y al poniente del área en la Sierra Agua Verde.

Litológicamente los horizontes de caliza (Cerro El Tordillo) son de color gris con tonalidades blanquecinas, de textura microcristalina silicificada, se presenta en estratos gruesos y medianos, fuertemente deformada y fracturada, también se presenta en estratos medianos (C. El Huacal) de mudstone, intercalados con bandas y horizontes de pedernal negro plegados, otra forma de presentarse es en capas gruesas brechada y fracturada, marmorizada y fuertemente silicificada de color gris, textura grainstone.

Estructuralmente es difícil apreciar su estratificación ya que se confunde con el fracturamiento. Además de presentar formas sigmoidales. Es afectada por vetillas de sílice, las alteraciones presentes son silicificación y marmorización. Cabe señalar que en el área existe presencia de hidrotermalismo, favorable para la mineralización. Está intrusada por diques andesíticos, de color gris oscuro, textura afanítica; en la zona de contacto hay brechamiento y oxidación. En la gran mayoría de los afloramientos estas rocas presentan deformación y fracturamiento intenso, generalmente abierto y asociado con zonas de disolución.

Triásico

Lutita-Arenisca Conglomerado (TRs Ar-Lu)

Estas unidades areno-arcillosas corresponden al Grupo Barranca, la cual está dividida en tres formaciones, de la base a la cima: Formación Arrayanes, Santa Clara y Coyotes (Alencaster, G., 1961). Se localizan al suroeste del área en las inmediaciones del Cerro San Francisco, fuera de los límites del acuífero.

Consiste de una alternancia de capas gruesas y medianas de areniscas de cuarzo, limolita y conglomerado; las areniscas son de color ocre y gris que intemperizan a color pardo, textura de grano medio a grueso, las capas de limolita son de color café y crema, el conglomerado es de color rosa y rojo, mal clasificado, intemperiza a color pardo, constituido por clastos de cuarcita, pedernal y caliza, cementados por sílice.

Cretácico

Andesita-Toba Andesítica (Ks A-TA)

Estas rocas corresponden a la parte inferior de la Formación Tarahumara, denominada por Wilson y Rocha (1946). Pequeños afloramientos se presentan en las inmediaciones de los cerros El Valiente, San Francisco y ranchos San Lorenzo y Zamorato; afloran ampliamente en las inmediaciones del Cerro La Paloma, Rancho Teopari, flanco oriental de la Sierra El Pajarito, Rancho La Noria de Varela y Cerro Los Torreones.

Litológicamente consiste en una serie de derrames andesíticos, tobas andesíticas y escasas capas de toba riolítica. Generalmente son de color gris y verde olivo, intemperizan de color ocre y rojizo. Dispuestas en una pseudoestratificación, en capas medianas y gruesas.

En las inmediaciones del Rancho La Noria de Varela son de color gris y café, intemperizan a color ocre y gris, textura afanítica y granular (parece fanerítica) muy alterada, con apariencia de intrusivo, contiene fenocristales de plagioclasas, biotita cuarzo amorfo y hornblenda.

Estructuralmente la pseudoestratificación contiene formas sigmoidales, fracturas, fallas y vetillas de cuarzo (atravesando las capas), afectada por diques de composición riolítica. Gran parte del fracturamiento está sellado, cabe señalar que varias capas tienen una apariencia de intrusivo, debido a la forma en que se alteran.

Cretácico – Paleógeno

Toba Riodacítica-Andesita (KsTe TR-A)

Se trata de una serie de rocas volcánicas entre las que se incluyen tobas riodacíticas, andesitas, tobas líticas, tobas soldadas y aglomerados, constituye la parte superior de la Formación Tarahumara (Wilson y Rocha, 1946). Se distribuye en la porción oriental del acuífero, a lo largo de los cerros Los Burros, La Tortuga, El Cusuri, Blanco, Tanque de Sierra, Los Novillos (ranchos Santa Catalina, López, Noria Blanca, Norababi).

Generalmente son rocas de color gris, verde y rosa, pseudoestratificadas en capas gruesas y delgadas, por el abundante fracturamiento que contiene es difícil de determinar su estratificación. Presenta textura afanítica en capas de andesita, lítica en las tobas riodacíticas y tobas riolíticas; forma pequeños lomeríos de pendientes suaves (Cerro Los Tioris) cuando están cubiertos por sedimentos y lomas semiescarpadas que forman serranías.

Granito Granodiorita (KsTpa Gr-Gd)

Es una roca que generalmente se presenta de color gris y crema, intemperiza de color ocre y verde, estructura compacta y en ocasiones muy intemperizado y deleznable.

Tiene textura fanerítica equigranular, constituido por cuarzo, feldespatos, plagioclasas, biotita; presenta alteraciones como propilitización, potásica, seritización, cloritización, epidotización y oxidación.

Al sur del Rancho La Noria de Varela aflora una roca de color gris oscuro que intemperiza a color pardo, cubierta por sedimentos recientes, rocas volcánicas de la Formación Lista Blanca, gravas y arenas del Cuaternario.

Granito (Pe Gr)

En la Sierra de Mazatán Richard D. (1991), reconoce la presencia de un granito de dos micas y establece que debe preferirse el término de leucogranito, el cual es una roca blanca cuarzofeldespática con predominancia de muscovita sobre la biotita y que no contiene esfena.

Se distribuye en la porción sur y norte de la Sierra de Mazatán y a lo largo de las sierras El Pajarito, Batamote y La Cañada. Generalmente es una roca de color gris y crema que intemperiza a color pardo con algunas tonalidades ocre.

En la localidad El Dique, se presenta como una masa granítica de color gris con tonalidades rojizas, de textura fanerítica, en la que se observan cuarzo, feldespatos, hornblenda alterada, micas (biotita, muscovita).

En los planos de falla se observan estrías, así como abundante fracturamiento. Morfológicamente presenta una topografía abrupta.

Conglomerado Polimíctico (Tom Cgp)

Richard D. (1991), define a esta unidad como una gruesa secuencia de rocas detríticas continentales, formada por alternancia de areniscas, limolita, conglomerados y brechas sedimentarias, ubicada en el borde suroeste de la Sierra de Mazatán.

En el área aflora en forma de una franja ancha orientada de suroeste a noreste, en las inmediaciones de los poblados Rancho Viejo y ranchos San Blas, El Parían, Los comalitos, Bamuco y los Hornos en la parte central del acuífero. Posiblemente su extensión sea más grande, pero no es factible determinarla por la cubierta de sedimentos conglomeráticos que lo cubren discordantemente.

Al oriente del Rancho La Belleza aflora una alternancia de arenisca y conglomerado, de color rojo oscuro, que intemperizan a color rojo; la arenisca se presenta en capas delgadas de textura gruesa; los conglomerados están constituidos por fragmentos de rocas volcánicas y metamórficas, cementados por arcilla.

Su textura es fanerítica, contiene plagioclasas, feldespatos y escaso cuarzo, hornblenda, con alto contenido de ferromagnesianos que le da la coloración oscura. Intrusiona a las secuencias sedimentarias del Paleozoico, Triásico Superior y a las andesitas de la Formación Tarahumara, asimismo es intrusionado por diques pegmatíticos y aplíticos.

Le sobreyacen discordantemente los depósitos conglomeráticos de la Formación Báucarit conformados por fragmentos de rocas graníticas, metamórficas y escasa caliza, de tamaño de algunos milímetros a 25 cm de diámetro. Contiene una matriz arcillosa de coloración rojiza. Se presenta en capas gruesas inclusive mayores a un metro.

Esta unidad se encuentra subyaciendo discordantemente a sedimentos del Pleistoceno. Su base no aflora y es cubierto discordantemente por una delgada capa de conglomerado y arenas no consolidados.

Presenta una estratificación gruesa. Esta roca se depositó en una zona de fosa y al parecer fue afectada por eventos tectónicos del Paleógeno.

Conglomerado polimíctico Arenisca (Tm Cgp-Ar)

Se distribuye ampliamente en los flancos poniente de las sierras Agua Verde, Mazatán y en los cerros, El Tordillo, El Cuisiri, Blanco e inmediaciones del Cuervo, Loma El Mezquite y Mesa Extendida. En el Arroyo Chicural, el conglomerado es polimíctico semicompacto, mal clasificado, de color café claro, estratificado en capas gruesas, constituido por fragmentos de caliza, volcánicos andesíticos, pedernal, metamórficos, en una matriz arcillo-arenosa, cementados por caliche.

Estructuralmente presenta un ligero basculamiento al oriente, sus afloramientos se observan a lo largo de varios kilómetros y forma una serie de lomeríos algunos con escarpes ligeramente abruptos. Es cubierto discordantemente por depósitos más recientes.

Tobas riolíticas, dacita, andesita (Tm TR-A)

Esta secuencia volcánica es definida como Formación Lista Blanca (Dumble, 1900). En el área aflora en la porción sureste, en las inmediaciones de los ranchos El Aguajito, El Tecolote, Las Calaveras y Las Palomas. Tienden a formar pequeños lomeríos y mesetas, dispuestos de manera discordante sobre el conglomerado Báucarit.

Litológicamente consisten en una serie de derrames de tobas riolíticas, ignimbritas, riolitas y andesitas. Las tobas riolíticas generalmente son de color gris claro y rosa, intemperizan a pardo, con textura fluidal y estructura compacta en la base y amigdalar en la cima. La riolita es de color gris y rosa textura microgranular, contiene feldespatos y cuarzo.

Basalto (Tom B)

En el área aflora en las inmediaciones del poblado de Santa Rosalía, ranchos López y El Resbaladero. En Santa Rosalía los afloramientos de basalto se extienden formando pequeñas mesetas semicubiertas por sedimentos no consolidados recientes. Son generalmente de color gris oscuro a negro, de textura afanítica en la es posible observar algunos fenocristales de plagioclasa (blanca translúcida) y piroxenos (negro). Estructuralmente el fracturamiento que presentan es semicolumnar. Cubre discordantemente al Conglomerado Báucarit.

Conglomerado polimíctico (Qpt Cgp-ar)

Esta unidad consiste en un paquete de sedimentos semiconsolidados y no consolidados de diferente composición y granulometría que ocasionalmente presenta estratificación con una clasificación pobre, lo cual sugiere variaciones en el ritmo de sedimentación.

Se distribuye ampliamente en la parte central del área, de sur a norte, en forma de una franja ancha de 20 por 30 km; también aflora al poniente en las inmediaciones de Buenavista y al oriente en Pueblo de Álamos, El Gallego y El Caballo. Está constituido por una gran variedad de litologías tanto volcánicas, sedimentarias y metamórficas. Su granulometría varía de arcillas, arenas finas, gravas y escasos horizontes con cantos rodados.

Su espesor se estima en 100 m, se considera que este espesor puede ser mayor en El Yeso, Las Palomas y Pueblo Viejo, debido a que están depositados en una fosa.

Aluvión (Qhoal)

Dentro de esta unidad se agrupan una serie de depósitos constituidos por gravas de taludes y abanicos aluviales (Qpt gv); consisten en una acumulación de abanicos aluviales, producto de la erosión fluvial de rocas más antiguas. Litológicamente está constituido por arenas, limos, gravas y arcillas de terrazas antiguas. Constituye sedimentos en planicies de inundación antiguas y paleocauces de arroyos y ríos.

4.2 Geología estructural

Se observan dos tipos de deformación: La deformación dúctil-frágil originada por procesos compresivos regionales, asociados a la Orogenia Laramide y la deformación frágil, representada por fallas originadas por procesos distensivos post-laramídicos.

La deformación dúctil-frágil se manifiesta en forma de pliegues y cabalgaduras dentro de la secuencia de calizas-areniscas de edad Paleozoico y en la secuencia vulcanosedimentaria de la Formación Tarahumara, de edad Cretácico Superior; dentro de estas unidades es posible apreciar sigmoides de deformación, así como un gran número de fallas y fracturas. La deformación frágil se manifiesta prácticamente en todas las unidades litológicas desde el Precámbrico al Mioceno.

Una de las estructuras más sobresalientes es la Falla La Junta, de rumbo promedio noreste 70° suroeste, con desplazamiento derecho.

Tiene una longitud de aproximadamente 65 km y se extiende a lo largo del Arroyo La Junta (nombrado también Teopari, Pueblo de Álamos, Santa Rosalía, y San Francisco), el cual atraviesa de noreste a suroeste el acuífero.

Otra serie de estructuras importantes son una serie de fallas con rumbo promedio noroeste 30° sureste, como la Falla “El Pajarito”, ubicada a lo largo de la sierra del mismo nombre. Esta serie de fallas se ubican a lo largo del Arroyo La Junta, cortando y desplazando en varias direcciones a la Falla La Junta. Estas fallas y fracturas son de gran importancia ya que han dado lugar a la formación de una fosa tectónica de dimensiones considerables ubicada al poniente de la Sierra de Mazatán y representan conductos de recarga al acuífero.

4.3 Geología del subsuelo

Con base en los resultados del análisis de la geología del subsuelo: descripción de cortes litológicos; interpretación de sondeos geofísicos de estudios previos, análisis hidrogeomorfológico, hidrología superficial y la interpretación de pruebas de bombeo, entre otros, es posible establecer la presencia de un sistema acuífero heterogéneo y anisótropo, en general de tipo libre, con condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes arcillosos, conformado por un medio granular, hacia la parte superior, y otro fracturado subyacente.

El medio granular está constituido por depósitos aluviales y conglomerados de permeabilidad media que conforman el acuífero regional que actualmente se explota, cuyo espesor alcanza los 100 m. El medio fracturado está formado por rocas sedimentarias y volcánicas cretácicas (calizas, tobas y riolitas) que afloran en el extremo este y oeste, así como rocas volcánicas del paleógeno y neógeno (basaltos), que afloran al centro del acuífero, conformando las sierras delimitan el acuífero. La permeabilidad que presentan estas rocas es media a baja. Las fronteras inferiores y laterales están constituidas por las rocas graníticas y riolíticas, así como las rocas volcánicas cuando su permeabilidad por fracturamiento desaparece (figura 3).

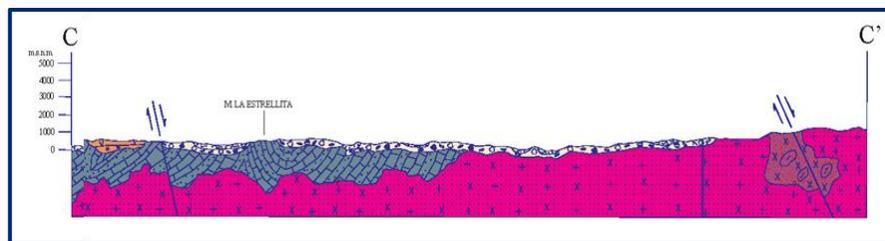


Figura 3. Sección Geológica de C-C' en el acuífero de Santa Rosalía

Fuente: Cartas Geológico-Minera Esc. 1:250,000 “H12-8 Hermosillo” y “H12-11 Sierra Libre” (SGM, 1999)

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con las unidades hidrogeológicas identificadas y los sondeos geofísicos ejecutados, es posible definir la presencia de un acuífero heterogéneo y anisotrópico, de **tipo libre** que presenta condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de lentes de sedimentos arcillosos. Está conformado, en porción superior, por depósitos aluviales y conglomerados; y en su porción inferior por rocas sedimentarias y volcánicas fracturadas, que en conjunto presenta un espesor promedio de 150 m.

La existencia de dos medios de circulación del agua subterránea podría sugerir la existencia de dos acuíferos diferentes, sin embargo, ambos se comunican por medio de fallas, aun cuando existen lentes granulares de baja permeabilidad, constituidos por conglomerados cementados con caliche, que actúan como capas semiconfinantes.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de los estudios realizados en el 2007, se ejecutaron 8 pruebas de bombeo en igual número de aprovechamientos distribuidos en el acuífero. De los resultados de su interpretación se concluye que los valores de transmisividad varían de **1.2 a 17.0 $\times 10^{-3}$ m²/s**, en tanto que el valor promedio de la conductividad hidráulica es **3.8 $\times 10^{-4}$ m/s**. En ninguna de las pruebas de bombeo se contó con pozo de observación, por lo que no fue posible obtener valores del coeficiente de almacenamiento o rendimiento específico.

5.3 Piezometría

Para el análisis piezométrico únicamente se cuenta con información del año 2007.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático del 2007 (figura 4) es posible afirmar que los valores varían de 5 a 35 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía, desde las inmediaciones del cauce de los arroyos hacia las estribaciones de las sierras. Los valores más bajos, de 2 a 15 m, se registran en la porción norte, entre las poblaciones Santa Rosa de Mátape, El Pajarito y Pueblo de Álamos; en tanto que en la región central del acuífero las profundidades oscilan entre 10 y 30 m.

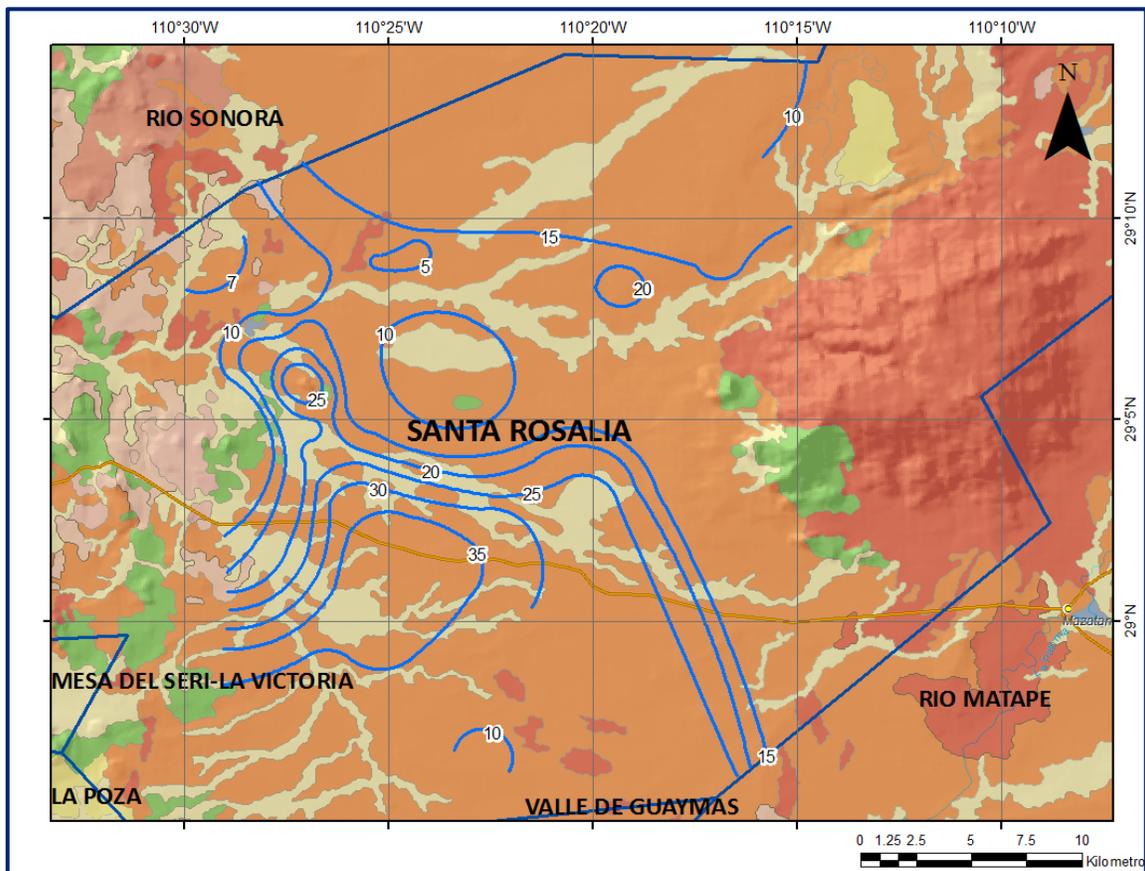


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2007)

Niveles piezométricos mayores a los 35 m se registran en la región suroccidental del acuífero, entre las poblaciones El Socorro y El Aguajito, aunque más al sur se registran profundidades de 10 m. El comportamiento piezométrico indica la presencia de dos niveles, uno somero con profundidades menores a 15 m y otro nivel cuya profundidad es mayor a 20 m. el primero representa la parte del subálveo del acuífero que está directamente relacionado con la presencia de lluvias, mientras que el segundo nivel representa la parte potencial del acuífero, poco explotado y con un fuerte control estructural.

5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, es posible afirmar que los valores de elevación varían, al igual de la profundidad, gradualmente por efecto de la topografía conforme se asciende topográficamente desde el cauce de los arroyos hacia las estribaciones de las sierras que conforman el límite del acuífero. Las elevaciones varían de los 340 a 500 msnm, las mayores elevaciones se registran al norte y este del acuífero con valores de 440 a 500 msnm.

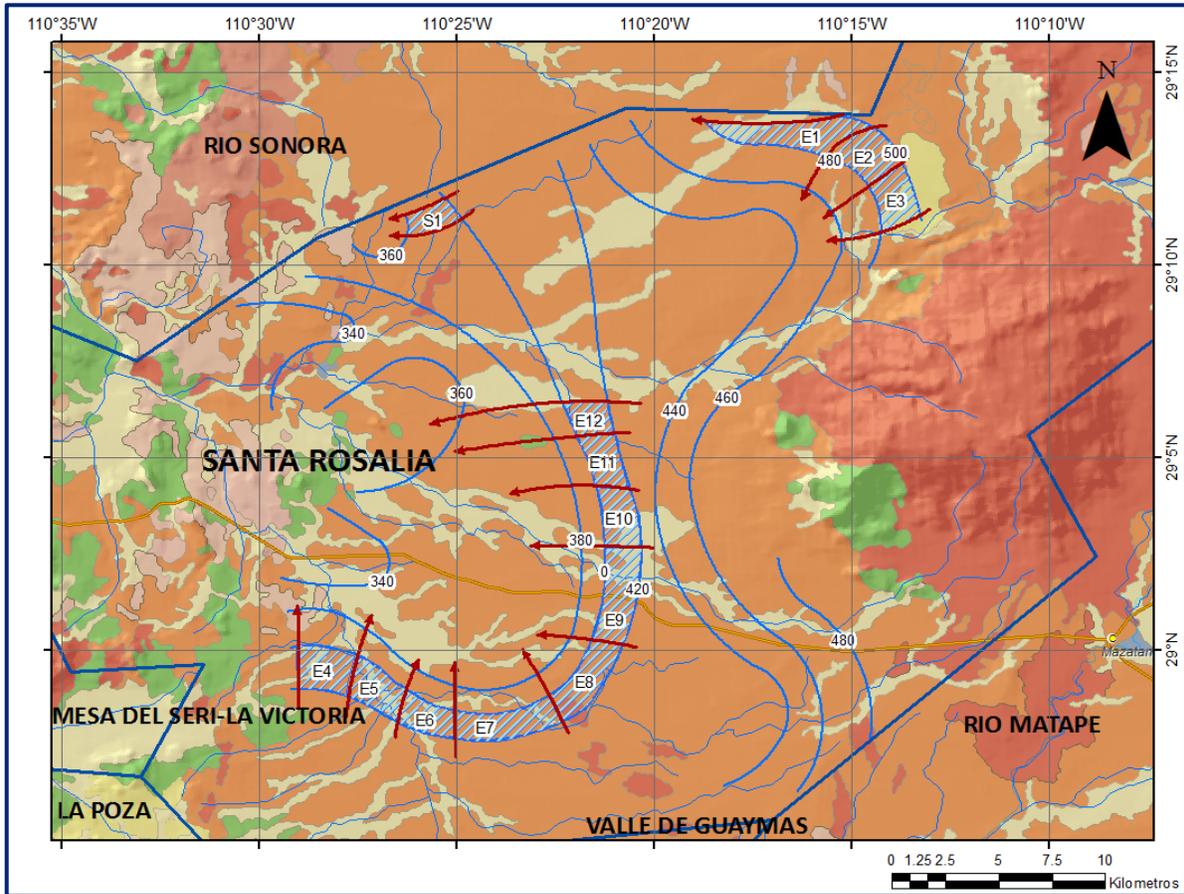


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

Entre las localidades Pueblo de Álamos, Santa Rosa Matape y El Pajarito; mientras que en la porción occidental, entre las localidades Rancho Viejo, El Seguro y Santa Rosalía, se presentan las elevaciones mínimas que fluctúan entre 340 y 420 msnm. La dirección preferencial del flujo subterráneo muestra una trayectoria de noreste a suroeste, paralela a la dirección de escurrimiento del Arroyo La Junta, con alimentaciones laterales que provienen de las sierras circundantes.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica suficiente que permita elaborar una configuración confiable. Las escasas mediciones piezométricas recabadas se encuentran dispersas en tiempo y espacio son insuficientes y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, la configuración del nivel estático no muestra alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo que indiquen conos de abatimiento causados por la concentración del bombeo.

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.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte del estudio realizado en el 2007, se tomaron muestras de agua en 10 aprovechamientos para sus análisis fisicoquímicos correspondientes.

Adicionalmente, se recabó información de los 4 análisis practicados en el 2004 por la Universidad de Sonora. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total y sólidos totales disueltos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 195 y 728 mg/l.

Con respecto a la conductividad eléctrica, el agua se clasifica de manera general como dulce, de acuerdo al criterio establecido por la American Potability and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 360 a 1054 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Según el diagrama de Piper la familia de agua predominante es la Bicarbonatada Cálculo-Sódica, que representa aguade reciente.

Como casos anómalos se presentan El Teópari (RSR-09) cuya agua se clasifica como Sulfatada-Sódica y en Las Calaveras (RSR-01), donde el agua tiende a ser Clorurada.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con el censo más reciente del acuífero, existe un total de 165 aprovechamientos de aguas subterráneas, de los cuales 120 se encuentran activos y los 45 restantes inactivos, Del total de obras 130 son norias, 34 pozos y un manantial.

El volumen de extracción calculado es de **10.4 hm³ anuales**, de los cuales 9.6 hm³ (92.3 %) se destinan al uso agrícola, 0.5 hm³ (4.8 %) al uso pecuario, 0.2 hm³ (1.9 %) al uso público-urbano para dotación de agua potable a las comunidades de la región y los 0.1 restantes (1.0%) para uso múltiple y doméstico.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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:

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

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 del acuífero:

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

El balance se definió para el año 2007 en una superficie de 613 km², que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

De esta manera la ecuación de balance propuesta para éste acuífero es la siguiente:

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

Donde:

R_v: Recarga vertical

E_h: Entradas por flujo subterráneo horizontal

R_r: Recarga Incidental por excedentes de riego

B: Bombeo

S_h: Salidas por flujo subterráneo horizontal

ΔV(S): Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R_t).

Ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero.

Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, solo se considera la recarga por retornos agrícolas (Rr).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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 (1).

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

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

7.1.2 Entrada 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.

El cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2007 (figura 5).

Mediante la siguiente expresión:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

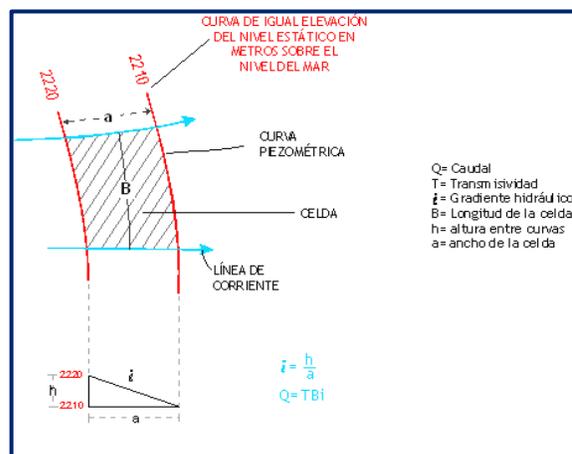
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



Partiendo de esta configuración se seleccionó un canal de flujo para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas (tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas horizontales (2007)

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h2-h1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	2360	4252	20	0.0047	0.0008	0.0089	0.3
E2	2668	2544	20	0.0079	0.0008	0.0168	0.5
E3	2276	1837	20	0.0109	0.0008	0.0198	0.6
E4	2716	1642	20	0.0122	0.0008	0.0265	0.8
E5	3039	1620	20	0.0123	0.0008	0.0300	0.9
E6	1987	2991	20	0.0067	0.0008	0.0106	0.3
E7	3704	1798	20	0.0111	0.0008	0.0330	1.0
E8	3114	1852	20	0.0108	0.0008	0.0269	0.8
E9	3676	1568	20	0.0128	0.0008	0.0375	1.2
E10	2718	1250	20	0.0160	0.0008	0.0348	1.1
E11	2408	1033	20	0.0194	0.0008	0.0373	1.2
E12	1774	941	20	0.0213	0.0008	0.0302	1.0
Total entradas							9.8

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas subterráneas de .0008 m²/s, fueron tomados de los resultados promedio de las pruebas de bombeo realizadas como parte de los estudios realizados en el 2007, adaptados al espesor saturado del acuífero en las celdas de flujo definidas.

El volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **9.7 hm³ anuales**.

7.1.3 Retornos de riego (Rr)

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.

A 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. Para este caso, **Ri = 0.0 hm³ anuales.**

7.2 Salidas

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el sistema acuífero. Para este caso ocurren únicamente por bombeo (B) y salidas subterráneas horizontales (Sh). La descarga del manantial no se considera porque es su volumen es muy pequeño.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **10.4 hm³/año**, destinados en su mayor parte al uso agrícola.

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 mostrada en la figura 5, tal como se muestra en la tabla 3. El valor de la transmisividad es mayor en la zona de salidas debido a que el espesor saturado es mayor.

Tabla 3. Cálculo de salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h2-h1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	1360	1880	40	0.0213	0.0015	0.0434	1.4
Total de salidas							1.4

El volumen total de salidas por flujo subterráneo se estima en **1.4 hm³ anuales.**

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 tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, la configuración de elevación del nivel estático no muestra alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento, que pudieran ser causadas por la concentración del bombeo y/o de aprovechamientos. Por ello 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, **$\Delta V(S) = 0$.**

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical (Rv), de esta manera mediante la ecuación (2), se tiene:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \quad (2) \\ R_v &= 10.4 + 1.4 - 0.0 - 9.8 - 1.9 \\ R_v &= 0.1 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 0.1 + 9.8 + 1.9 \\ R &= 11.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
- R** = Recarga total media anual
- DNC** = Descarga natural comprometida
- VEAS** = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **11.8 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **0.0 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 (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **11,981,837 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 11.8 - 0.0 - 11.981837 \\ \text{DMA} &= -0.181837 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **181,837 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA