

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Río Mátape (2634),
Estado de Sonora***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE SONORA							
2634	RÍO MÁTAPE	16.2	0.0	11.079186	4.8	5.120814	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales “3” y “4” de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y

Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA
EN EL ACUÍFERO 2634 RÍO MÁTAPE, ESTADO
SONORA***

México, D.F. Marzo de 2009

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	3
Antecedentes	3
1.1. Localización	3
1.2. Situación Administrativa del Acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1. Provincias Fisiográficas	6
3.2. Clima	7
3.3. Hidrografía	7
3.4. Geomorfología	8
4. GEOLOGÍA	9
4.1. Estratigrafía	9
4.2. Geología estructural	15
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	18
5.4.2. Elevación del nivel estático	18
5.4.3. Evolución del nivel estático	21
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	22
7.1. Entradas	22
7.1.1. Recarga Vertical (Rv)	23
7.1.2. Recarga Inducida (Ri)	23
7.1.3. Entradas por flujo horizontal (Eh)	24
7.2. Salidas	26
7.2.1. Evapotranspiración real (ETR)	26
7.2.2. Bombeo (B)	26
7.2.3. Salidas por flujo horizontal (Sh)	27
7.3. Cambio de Almacenamiento $\Delta V(S)$	27
8. DISPONIBILIDAD	28
8.1. Recarga Total Media Anual	29
8.2. Descarga Natural Comprometida	29
8.3. Volumen Concesionado de Aguas Subterráneas	29
8.4. Disponibilidad de Aguas Subterráneas	29
9. BIBLIOGRAFÍA	30

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CNA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana” que establece 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, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa).

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, a transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1. Localización

El acuífero Río Mátape, definido con la clave 2634 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción norte del Estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas 28° 45' y 29° 12' de latitud, y 109° 50' y 110° 19' de longitud, cubriendo una superficie de 1137 km². Limita al norte y oeste con el acuífero Santa Rosalía, al este con el Acuífero Río Moctezuma y Soyopa, y al sur con el Valle de Guaymas (figura 1).

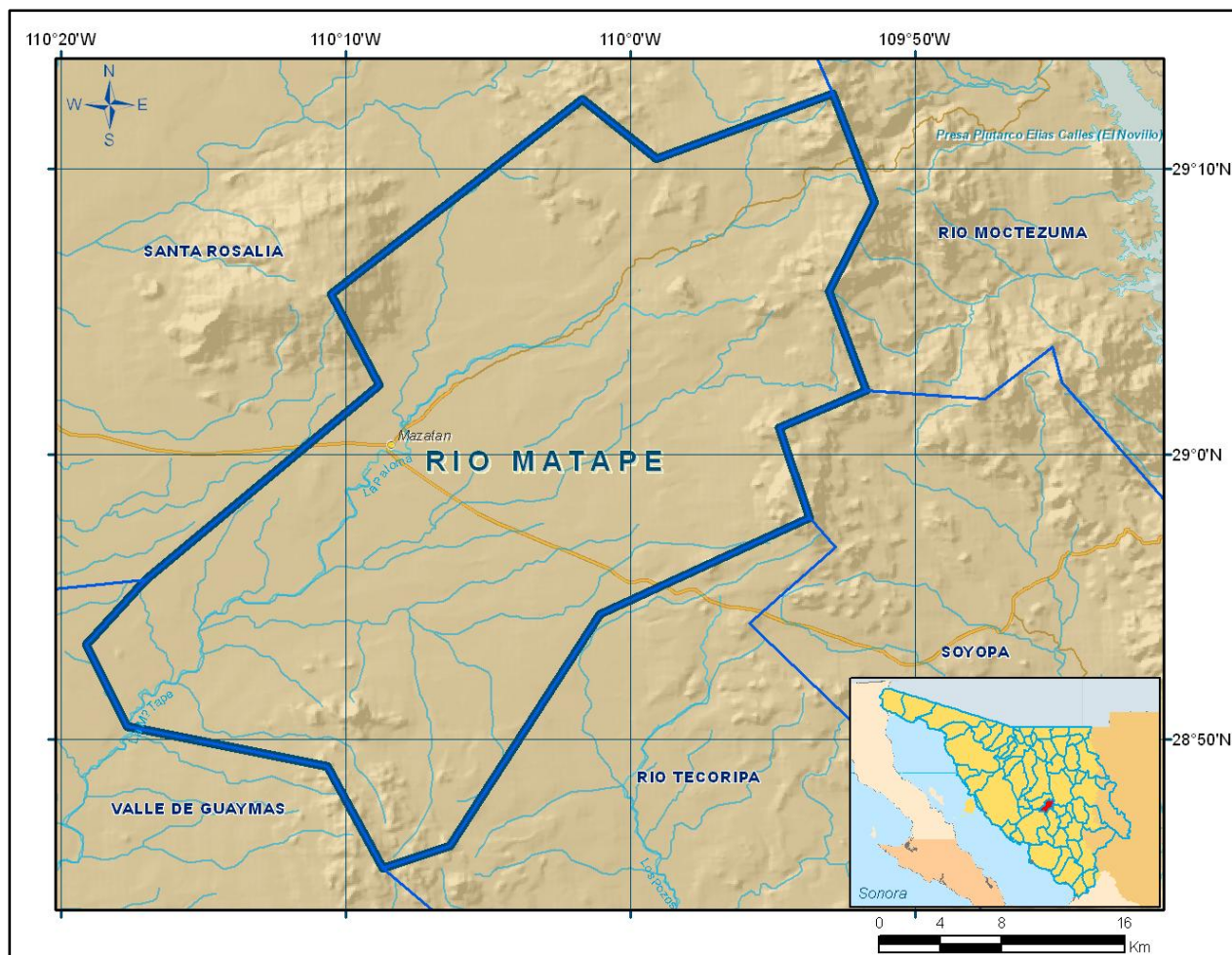


Figura 1. Localización del Acuífero

Geopolíticamente cubre parcialmente territorio de los municipios Villa Pesqueira, Mazatán, La Colorada, Ures, San Pedro de la Cueva y Soyopa. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

1.2. Situación Administrativa del Acuífero

El Acuífero Río Mátape pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. La porción oeste 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 el 2 de junio de 1967. La porción noreste del acuífero no se encuentra sujeta a ningún decreto de veda.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2009), el municipio Villa Pesqueira corresponde a zona de disponibilidad 7, y los municipios Mazatán, La Colorada y Ures pertenecen a la zona 6.

Tabla 1 Coordenadas geográficas que delimitan la poligonal del acuífero

ACUIFERO 2634 RIO MATAPE						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	110	17	0.8	28	55	35.6
2	110	8	49.4	29	2	25.9
3	110	10	31.6	29	5	36.5
4	110	1	42.2	29	12	27
5	109	59	4.8	29	10	21.5
6	109	52	54.4	29	12	38.3
7	109	51	26.7	29	8	50.1
8	109	53	1.5	29	5	42
9	109	51	44.1	29	2	13.7
10	109	54	47.9	29	0	54.8
11	109	53	43.3	28	57	45.5
12	110	1	4.1	28	54	22.7
13	110	6	20.4	28	46	14.5
14	110	8	41.3	28	45	28.3
15	110	10	39.5	28	49	2.2
16	110	17	40.8	28	50	27.6
17	110	19	7	28	53	18.4
1	110	17	0.8	28	55	35.6

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Los estudios técnicos previos en la zona son escasos y en su mayoría con objetivos geológicos. A continuación se hace una breve reseña de los estudios previos.

GEOLOGÍA DE UN ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN COMPLEJO METAMÓRFICO EN LA PARTE SUR DE LA PROVINCIA DE “BASIN AND RANGE. Por Ricardo Vega Granillo, 1996.

Expone a la Sierra de Mazatán como el más meridional de los complejos metamórficos que siguen de manera discontinua a lo largo de la cordillera oeste-norteamericana. Muestra que las estructuras asociadas a la extensión son de tipo dúctil-frágil y que en las últimas etapas de cizallamiento dúctil se produjo un evento magmático caracterizado por la intrusión de un granito.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA RÍO MÁTAPE, SONORA. Lourdes Vega Granillo, 1992.

El estudio tiene un enfoque hidrogeoquímico y establece que la familia de agua predominante es bicarbonatada cálcico magnésica, lo que se atribuye a la disolución de rocas calcáreas. Determina contaminación en la parte sur de la cuenca debida a la invasión de aguas marinas siendo estas de la familia de agua clorurada-sulfatada con variación a cálcico-magnésica sódica.

ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL ESTADO DE SONORA. INEGI, (1993).

Se trata de una recopilación, análisis y síntesis de información que permite conocer de manera general el comportamiento de sus aguas superficiales y subterráneas del Estado de Sonora.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI, MÁTAPE, ESTADO DE SONORA. SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, en convenio con Comisión Nacional del Agua, 2008.

En este estudio se actualiza el conocimiento hidrogeológico de varios acuíferos, entre ellos Río Mátape, se lleva a cabo un censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría y pruebas de bombeo. Cabe mencionar que los resultados y conclusiones de este estudio 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. Provincias Fisiográficas

El acuífero Río Mátape se ubica dentro de las provincias fisiográficas Sierra Madre Occidental, y Llanura Sonorense (INEGI, 1993). De manera particular son dos las subprovincias que cubren el área; Sierras y Valles del Norte (al noroeste) y Sierras y Llanuras Sonorenses.

La Subprovincia de Sierras y Valles se caracteriza por sierras con orientación noroeste-sureste, limitadas por valles extensos rellenos por conglomerados bien consolidados con fragmentos de areniscas y tobas riolíticas (Formación Báucarit). Mientras que la Subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses se caracteriza por tener en su mayoría, sierras más angostas que las llanuras, mientras que sus pendientes son abruptas (rara vez menores de 20°).

La topografía de la zona se presenta abrupta en la Sierra de Mazatán, La Cañada y Martínez, mientras que la zona de valle se caracteriza por tener una amplitud superior a los 20 km, así como una longitud de más de 45 Km, con elevaciones entre los 400 a 800 m, formando lomeríos con topografía suave.

3.2. Clima

El análisis climatológico se llevó a cabo en las únicas dos estaciones con influencia en el acuífero; Mátape y Mazatán, ubicadas en las comunidades que llevan el mismo nombre.

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García (1981), la zona corresponde al grupo de climas secos, del subtipo semiseco en la mayor parte del acuífero y seco en la porción suroeste.

Seco BSohw(x'). Un 69.31% del área del acuífero tiene un subtipo de clima seco. Presenta menos de 10.2% de lluvia invernal. Se caracteriza por tener un invierno fresco y una temperatura media anual de 18° C.

Semiseco BS1hw(x'). Es semicálido con invierno fresco y temperatura media anual de 18° C, con temperatura media del mes más frío de 18° C. El 30.26% del área del acuífero presenta este clima.

Semiseco BS1kw(x'). El 0.43% del área acuífera presenta este tipo de clima, su porcentaje de lluvia invernal es mayor a 10.2, se caracteriza por ser templado con verano cálido, con temperatura media anual de 12 a 18° C y una temperatura media del mes más frío entre 3 y 1° C.

La temperatura media anual de la zona es de 24.2° C. De acuerdo con los registros de las estaciones climatológicas referidas debido a su influencia en la zona y con base en el método de polígonos de Thiessen, se determinó una precipitación media anual de 525 mm.

3.3. Hidrografía

La corriente principal del área es el Río Mátape, de tipo intermitente, nace en la Sierra Verde, al noreste de Mátape, para después dirigirse al suroeste a la Presa la Haciendita, continúa su recorrido al suroeste por los poblados Nácori Grande, Mazatán, Cobachí, San José de Pimas y San Marcial, para después verter sus aguas en la Presa Ignacio R. Alatorre, también conocida como Punta de Agua, ubicada fuera del acuífero.

El Río Mátape tiene una pendiente media de 0.38%. Sus tributarios principales son los arroyos Milpillas, Mazatán, ubicado al sur de la comunidad Mazatán, y Los Mezcales que cruza por la comunidad Adivino.

El acuífero Río Mátape queda comprendido dentro de la Región Hidrológica 9 Sonora Sur (RH-9). Esta región tiene un relieve de contrastante altimetría, donde la mayoría de sus corrientes nacen en la Sierra Madre Occidental. Pertenece a la Cuenca Río Mátape, Subcuenca Río Mátape – Punta de Agua.

Al suroeste de la comunidad Mátape se localiza la Presa La Haciendita, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 6.9 hm^3 , actualmente almacena 2.1 hm^3 . El agua de la presa es utilizada principalmente para la agricultura por medio de canales, la mayoría revestidos.

La infraestructura hidráulica consiste de obras de captación de agua subterránea, siendo en su mayoría norias con niveles estáticos de poca profundidad y pozos con profundidades también someros, así como algunos manantiales de poco caudal; la mayoría de estos aprovechamientos son utilizados con fines pecuarios, domésticos y agrícolas.

3.4. Geomorfología

La geomorfología del área corresponde a una etapa de erosión madura, lo que puede verse debido a las distancias considerables que existen entre una elevación y otra.

Desde el punto de vista morfológico la Sierra de Mazatán es un domo con una altura máxima de 1540 msnm. En el límite noroeste del acuífero, el Cerro Chichiquelite tiene una altitud de 1080 msnm, mientras que en el extremo noreste la Sierra Agua Verde alcanza 1600 m de altitud, la Sierra El Carrizo, al noreste del área, tiene una elevación de 1400 m, al igual que la Sierra Martínez, cuya orientación preferente es noroeste-sureste.

La zona está drenada por corrientes intermitentes, por lo que el drenaje superficial corresponde al tipo dendrítico, relacionado a depósitos de relleno donde la pendiente topográfica es suave. Sierras como la de Mazatán genera un drenaje de tipo radial divergente a las formaciones rocosas cuyo relieve topográfico se presenta más accidentado y con mayores elevaciones topográficas.

4. GEOLOGÍA

En el Acuífero Río Mátape afloran unidades litoestratigráficas que varían en edad desde el Precámbrico hasta el Reciente. El paleozoico está formado por rocas sedimentarias constituidas por calizas, lutitas y areniscas.

La secuencia Mesozoica está formada por andesitas con coloraciones verdosas. Afloran también rocas volcánicas terciarias constituidas por riolitas, tobas riolíticas, basaltos y conglomerados que son resultado de la influencia que genera la cercanía de la Sierra Madre Occidental sobre la zona. El área presenta una serie de sierras sepultadas por los rellenos sedimentarios. En gran parte de la zona afloran rocas ígneas intrusivas, en su mayoría del tipo granítico (figuras 2 y 3).

Radelli *et al* (1987) determinan un basamento de rocas metamórficas precámbricas que afloran en la sierra de Mazatán coincidiendo con los informes de las cartas geológicas realizadas por el SGM en la zona, donde se menciona que las rocas precámbricas tentativamente asignadas al Precámbrico superior, constituyen el basamento.

4.1. Estratigrafía

Precámbrico

Granito-Gneiss (PTm Gr-Gn).

Conjunto de rocas ígneo-metamórficas, constituidas por gneises cuarzo feldespáticos de biotita y un granito porfídico con facies de augen gneis milonítico, que aflora en la Sierra de Mazatán, al parecer flotando en el granito batolítico, granito-granodiorita de color gris verdoso a oscuro o rosado. Comúnmente este granito está metamorfoseado formando gneis milonítico y augen gneis milonítico de color verde rosado, presenta bandas milimétricas claras de cuarzo y bandas rosadas a oscuras de feldespatos y biotita.

Se presenta en forma de gneises cuarzo feldespático heterogéneo, puede ser bandeado de biotita, augen y de grano fino, presenta cuarzo-microclina (ortoclasa) andesina-biotita-muscovita, se considera indicativa de las facies de anfibolita. Radelli *et. al* (1987) y COREMI (1998) coinciden en considerar este granito como el basamento hidrogeológico.

Paleozoico

En la región central de Sonora las rocas Paleozoicas se presentan en facies sedimentarias tanto de plataforma como de aguas profundas.

Metaarenisca-Metacaliza (PiMAr-Mcz)

Esta secuencia metamórfica del Cámbrico Inferior aflora en el arroyo de Las Rastritas de la Sierra Agua Verde; la secuencia de metareniscas, metacalizas y esquistos afloran también en la misma sierra como a 2 Km al noroeste de Villa Pesqueira.

Estas rocas están compuestas por cuarcitas de color blanco lechoso intensamente fracturadas, masivas y aparentemente con cierta tendencia de inclinación hacia el noreste, con un espesor aproximado de 90 m de cuarcitas combadas por cuerpos intrusivos en formas de dedos de composición granítica, la secuencia de metareniscas, metacalizas y esquistos, conforman una unidad de aproximadamente 100 m de espesor, que se encuentra afectada por un intrusivo Cretácico de dimensiones batolíticas y composición esencialmente granítica y que es base de la secuencia sedimentaria Paleozoica. Esta unidad debido a su génesis sedimentaria (lutita y arenisca cementada) es difícil que presente potencial hidrológico.

Lutita-Caliza (PmPoLu-Cz)

Secuencia de rocas de baja permeabilidad que consisten en intercalación de lutitas y calizas, cuya principal característica es el contenido de cuerpos mineralizados de barita sedimentaria. Rocas de edad Ordovícica se localizan en la región de Cobachi-Mazatán y la Sierra de Martínez, cuya litología consiste de lutitas negras y calizas; la unidad está afectada por grandes cuerpos intrusivos de composición granítica-granodiorítica en la mayor parte de sus afloramientos; en dicha sierra subyace a las secuencias paleozoicas de plataforma.

Caliza-Arenisca (Pdp Cz-Ar)

Esta secuencia sedimentaria del Paleozoico Superior, está constituida por calizas de plataforma fosilíferas con corales, crinoides y fusilínidos, textura de mudstone y packstone con intercalaciones de areniscas, lutitas y calcoarenitas que intemperiza a color amarillo ocre y rojizo; el espesor varía desde centímetros hacia la base hasta la decena de metros hacia la cima. La litología más común de esta unidad consiste en calizas recristalizadas de color gris claro con nódulos y bandas de pedernal masivo, que se intercalan con estratos delgados de cuarcitas.

En la descripción microscópica la calizas presentan una textura microcristalina con indicios de calcita anhedral formando parte de la matriz, cuarzo como microcristales de origen detrítico subredondeados con inclusiones de apatito y wollastonita dispersa en la roca; la cuarcita presenta una textura granoblástica con más del 75% de cuarzo, los granos presentan límites rectos e irregulares. El fracturamiento de esta secuencia le infiere una permeabilidad media a

alta. Aflora en las Sierras Agua Verde, El Carrizo, La Cañada, La Sierrita, Sierra de Martínez, y El Cerro Cobachi.

Mesozoico

En el área existen afloramientos de rocas sedimentarias con características textuales areno-arcillosas formadoras del Grupo Barranca, así como rocas volcánicas relacionadas con la Formación Tarahumara, la cual en algunas localidades puede estar cubierta discordantemente por las formaciones Baucarit y Lista Blanca.

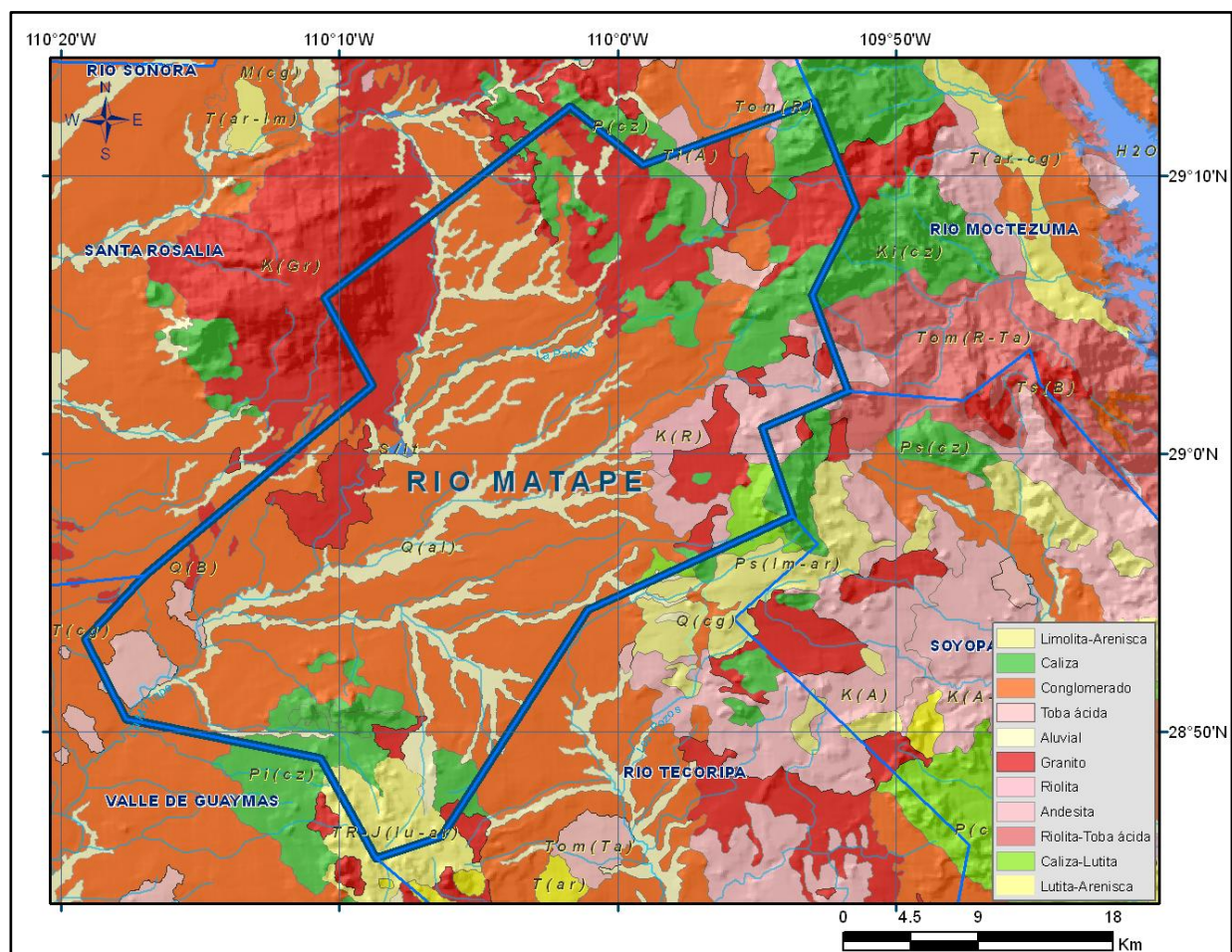


Figura 2. Mapa Geológico

Areniscas-lutitas (TrS Ar-Lu)

Esta unidad aflora en el sur del acuífero, en los cerros El Zacatón y El Guayacan. Esta unidad de permeabilidad media a baja debida a su constitución areno arcillosa corresponde al Grupo Barranca, el cual está dividido en tres formaciones, de la base a la cima: Formación Arrayanes, Santa Clara y Formación Coyotes. Las dos primeras están constituidas por depósitos fluviales y

deltaicos marinos y la Formación Coyotes por depósitos de abanicos aluviales (Alancaster, 1961).

La Formación Arrayanes consiste de areniscas de cuarzo, limonita y conglomerado con clastos de cuarcita y pedernal; las areniscas generalmente se presentan en estratos delgados, interestratificados con areniscas arcillosas con un espesor de 1150 m. La Formación Santa Clara, está compuesta de limolitas, lutitas, areniscas, conglomerados, lutitas carbonosas y mantos de carbón interestratificados con un espesor medido de 1400 m.

Esta unidad se encuentra cubierta discordantemente por la Formación Coyotes, la cual está compuesta por conglomerados con clastos de cuarcita, pedernal y caliza, en una matriz arenosa. Para esta unidad se considera un espesor de 600 m; el contacto de la Formación Coyotes con las rocas volcánicas de la Formación Tarahumara que la sobreyace es una discordancia (Stewart, 1991).

Conglomerado polimíctico- Arenisca (JsKiCgp-Ar)

Esta formación sólo se presenta en una pequeña porción en la esquina noreste de la zona pero fuera del acuífero. Estas rocas son unidades conglomeráticas arenosas con aproximadamente 200 m de espesor. El conglomerado presenta fragmentos de ortocuarcita, granito y calizas con tamaños de 2 a 60 cm cementados por material arenoso, por lo que hidrológicamente se le infiere una permeabilidad media a baja.

Andesita Toba Andesita, Andesita Traquita, Andesita Arenisca, (KsTeA-Ta, KsTeA-Tq, KsA-Ar)

Forman parte del Complejo volcánico inferior, constituido principalmente por andesitas de color verde y textura afanítica, compacta, que se presenta en algunas áreas como aglomerados andesíticos, tobas andesíticas porfídicas y varía en otras a dacitas, traquitas y riolitas con escasas intercalaciones de areniscas, lutitas y calizas. Se le atribuye una permeabilidad media.

Las KsTeA-TA se localizan en el cerro Chichiquelite y Cerro Prieto. Se relaciona con la Formación Tarahumara conformada por rocas volcánicas de composición andesítica dacítica y volcanosedimentarias. Las principales relaciones estratigráficas de esta unidad son con las rocas sedimentarias paleozoicas, a quienes sobreyacen discordantemente ó por contacto tectónico normal y en algunos casos es cabalgada por las unidades paleozoicas. Las KsTeA-Tq se correlacionan con la Formación Tarahumara, se localizan al este pero fuera del acuífero. La KsA-Ar aflora en una pequeña porción en la parte norte del acuífero.

Cenozoico

Los afloramientos Terciarios en la zona, consisten de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias continentales. En el Mioceno las características del volcanismo cambian fundamentalmente con la aparición de rocas básicas.

Granito-Granodiorita (KsTpa Gr-Gd)

Es un grupo de rocas intrusivas cuya composición varía entre granito, granodiorita y cuarzomonzonita. Estas rocas forman parte del batolito Laramide de Sonora, cuyo periodo de edad varía del Cretácico superior – Eoceno superior (90-40 Ma.). Dicho Batolito consiste de un granito porfídico de biotita con cristales de cuarzo y feldespatos, que gradúa a granodiorita y cuarzomonzonita. La textura es muy variada, debido a la naturaleza de la roca y va desde pegmatítica, porfídica hasta granular de grano fino, pero la textura más común en el granito y granodiorita es la porfídica. En la Sierra de Mazatán este cuerpo intrusivo corta toda la secuencia sedimentaria del Paleozoico. Tienen una permeabilidad baja.

Conglomerado polimíctico-arenisca (TmCgpAr)

Forma parte de la secuencia sedimentaria vulcanogénica continental. Pertenece a la Formación Baucarit, que por su edad se correlaciona con el Conglomerado Gila del sur de Arizona. Dicha formación ha sido definida por King (1939) como una secuencia de areniscas, conglomerados de color pardo claro a oscuro y arcillas bien estratificadas, ligeramente consolidadas y cuya parte inferior contiene flujos de basaltos intercalados con aglomerados basálticos.

La Formación Baucarit cubre prácticamente a todas las unidades Preterciarias, pero en la mayor parte de los afloramientos no se conoce su límite inferior, porque regularmente estos contactos son por fallas normales regionales; se encuentran cubiertos por rocas volcánicas recientes de naturaleza básica y por depósitos de talud y terrazas aluviales recientes. Dentro del acuífero se localiza al oeste de la Sierra Agua Verde y en las inmediaciones de la carretera, al Pueblo de Álamo pero abundan al oeste de la Sierra de Mazatán. Esta unidad presenta características hidrogeológicas importantes, debido a su extensión, su espesor y a los sedimentos que la conforman con baja a muy baja permeabilidad.

Toba Riolítica Riolita, Basalto (TmTR-R) y (TmB)

Pertenece a la secuencia Volcánica Terciaria, cubre discordantemente a las unidades paleozoicas deformadas y erosionadas, y consiste en una serie de rocas volcánicas de

composición variable, como riolíticas, tobas riolíticas, traquíticas, andesita-dacita y basáltica, con textura variable.

La roca más abundante son las riolitas y tobas riolíticas; estas rocas presentan una coloración gris claro a blanco lechoso, en algunos lugares tiene una coloración rojiza, debido a la oxidación de la misma. Las tobas riolíticas pertenecientes a la Formación Lista Blanca, presentan petrográficamente una textura volcanoclástica con más del 75% de vidrio volcánico formando la matriz de la roca y fragmentos líticos dentro de la matriz vítrea. Los componentes secundarios son sericita, producto de la alteración del vidrio volcánico, sílice y hematita en los bordes de los minerales opacos.

Los basaltos afloran solamente al norte de Cobachi y se supone un espesor de 500 m, se encuentran cubriendo discordantemente las unidades paleozoicas deformadas y erosionadas; se intercalan y sobreyacen al conglomerado Baucarit, mientras que las Tobas afloran al este de Cobachi y La Galera en la porción suroeste del acuífero. Presenta buenas características de permeabilidad y debe ser productora de agua.

Conglomerado Polimítico (QpTCgp)

Son remanentes de depósitos de sedimentos de grava, conglomerados, arenas y compuestos de bloques, cantos, guijarros y clastos con gran variedad litológica, y están distribuidos caóticamente en una matriz arcillosa. Se localizan principalmente en llanuras intermontanas, formando lomeríos con pendientes suaves, así como terrazas y pequeños taludes. Son remanentes de todas las rocas que afloran, así como de sedimentos de gravas, conglomerados, arenas y limos, su espesor es muy variado pero alcanza hasta 50 m en algunos lugares. Es la unidad más abundante en la zona y es donde se localizan la mayoría de los aprovechamientos.

Estos depósitos por lo general cubren a las rocas de la Formación Baucarit y en algunas localidades a otras unidades preterciarias, y son cubiertas por todos los depósitos aluviales del Cuaternario, la edad de estos depósitos es el Pleistoceno. Estos sedimentos se depositaron en ambientes continentales y son productos de la erosión de los sedimentos del Terciario y de las rocas preexistentes. Debido a su granulometría y espesor se considera buen captador de agua.

Depósitos Aluviales (Qhoal)

Estos depósitos se presentan distribuidos en diferentes localidades del área, pero principalmente a lo largo de los afluentes principales. Se encuentran constituidos por gravas, arenas y arcillas sin consolidar, producto de la erosión e intemperismo de las rocas

preexistentes. Esta unidad incluye a los coaluviones, suelos arenosos y suelos arcillo-arenosos que se encuentran en forma de terrazas y abanicos. Estos depósitos constituyen el último evento sedimentario del Cuaternario. Desde el punto de vista geohidrológico esta unidad es buena para la infiltración de agua pluvial debido a su granulometría y a su poco espesor.

4.2. Geología estructural

Se presenta una sucesión de sierras altas y alargadas de rumbo preferencial noroeste-sureste, que están separadas por valles intermontanos, y afectadas por fallas normales que las colocan en contacto con unidades terciarias. Se observan numerosos cuerpos batolíticos (Laramídicos), de edad Cretácico Tardío - Terciario Temprano, que alteran la disposición estructural de las secuencias anteriormente mencionadas.

En el Pérmico tardío - Triásico surgen estructuras plegadas de tipo abierto con echados hacia el noreste, donde se desarrollaron plegamientos y algunos fallamientos inversos, así como una serie de cabalgaduras. Dentro de los eventos deformacionales ocurridos en el Terciario, resalta la formación de zonas de cizalla.

En el área existen fallas normales con orientación preferente noroeste-sureste, así como fracturamiento noreste-suroeste y noroeste-sureste. Las fracturas constituyen en algunos casos los cauces de los principales arroyos, los cuales tienden a ser paralelos entre sí o limitan una serie de estructuras semi-circulares y anulares que pudieran evidenciar la presencia de cuerpos ígneos intrusivos.

4.3. Geología del Subsuelo

El acuífero que se explota actualmente está constituido principalmente por los horizontes superficiales de la unidad aluvial reciente, conformada por gravas, arenas y arcillas, así como por depósitos conglomeráticos con permeabilidades de medias a bajas, que en conjunto pueden llegar a formar un espesor de hasta 50 m.

Como basamento geohidrológico opera el conglomerado consolidado de la Formación Baucarit, así como el intrusivo Cretácico y las rocas metamórficas precámbricas que afloran en la Sierra de Mazatán.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de Acuífero

El acuífero que actualmente se explota es heterogéneo de tipo libre, con materiales arcillosos que generan la presencia de fenómenos locales de semiconfinamiento. La principal explotación se realiza en el cauce del Río Mátape y sus tributarios.

El acuífero está constituido por depósitos aluviales y el conglomerado polimíctico, que por su granulometría le confieren permeabilidades que varían de medias a bajas. El material conglomerático del Cuaternario sustenta la mayor parte de los aprovechamientos hidráulicos, cuyos gastos varían de 2 a 5 lps, mientras que depósitos aluviales recientes ubicados principalmente sobre las márgenes del Río Mátape, soportan un gasto mayor, hasta de 10 lps, principalmente en época de lluvias.

Una de las unidades hidrogeológicas más importantes es la Formación Báucarit, cuya permeabilidad baja a nula hace que opere como basamento hidrogeológico para la zona granular reciente, que conforma el acuífero actualmente en explotación (figura 3), y que genera un posible acuífero confinado formado por calizas del Paleozoico con alto fracturamiento.

El material volcánico ácido de la Formación Lista Blanca, ubicado al suroeste del acuífero, se caracteriza por tener potencial hidrológico atractivo, para gastos que varían entre 30 y 40 lps.

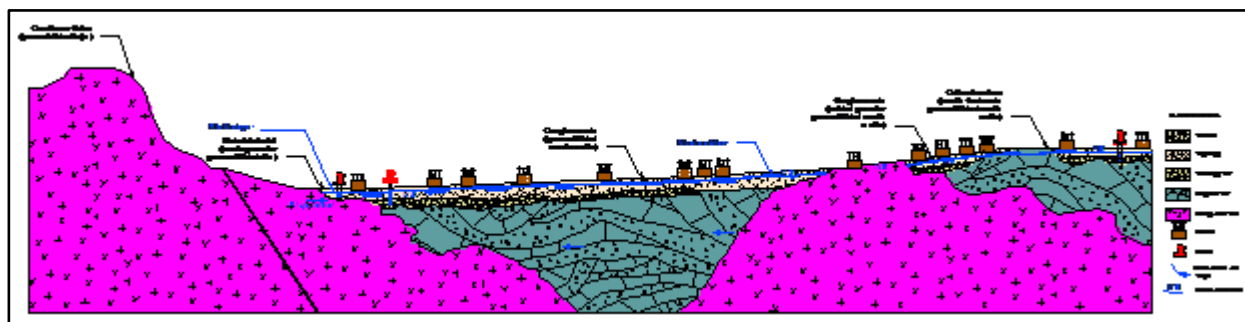


Figura 3. Modelo conceptual de funcionamiento

5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de los trabajos realizados durante el estudio de 2008, no fue posible realizar pruebas de larga duración, debido al uso y condiciones de bombeo, además dado que la mayoría de los aprovechamientos son norias, el gasto de funcionamiento es poco.

La definición de parámetros hidráulicos se estableció a partir de la interpretación de 4 pruebas de bombeo de corta duración, distribuidas estratégicamente en el acuífero.

Para el Acuífero Río Mátape se obtuvo una transmisividad promedio de **114 m²/día (1.3 X10⁻³ m²/s)** y una conductividad hidráulica de **3.57x10⁻⁵ m/s**.

5.3. Piezometría

Con la finalidad de conocer las condiciones piezométricas del Acuífero Río Mátape, de manera paralela a la campaña de censo de aprovechamientos realizado en el año 2008 por el Servicio Geológico Mexicano, se realizaron mediciones piezométricas donde se obtuvieron los niveles estáticos de 196 aprovechamientos, de los cuales 179 corresponden a norias y 17 a pozos. Los datos de los aprovechamientos censados se muestran en las tablas 3a y 3b.

5.4. Comportamiento hidráulico

En el Acuífero Río Mátape la principal zona de recarga se localiza en la parte central del acuífero constituida por el medio granular, del cual se extrae la mayor parte de agua en la región. Así mismo las zonas fracturadas en las sierras, son también aportadoras de agua.

La descarga natural del acuífero se concentra principalmente al suroeste, la dirección de flujo subterráneo coincide con la del flujo superficial del río Mátape, lo que indica que la extracción no excede a la recarga; además en el censo se ubicaron 2 manantiales perennes al noreste del acuífero.

El modelo conceptual de funcionamiento del acuífero mostrado en la figura 4 revela que el acuífero se encuentra en la zona de valle con presencia de material granular de permeabilidad alta y de bajo espesor en el caso del material aluvial y con espesores hasta de 50 m en el conglomerado no consolidado. Existe material volcánico con permeabilidades bajas. El basamento geohidrológico está conformado por el conglomerado consolidado de la Formación Baucarit, el intrusivo Cretácico y las rocas metamórficas precámbricas que afloran en la Sierra de Mazatán.

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La mayoría de los aprovechamientos están asentados sobre la parte granular en la zona de valle. En la configuración de profundidad del nivel estático puede observarse que los niveles del agua son someros en su mayoría en las cercanías a los ríos y arroyos, y que la profundidad aumenta con respecto a la distancia a las corrientes superficiales.

La profundidad al nivel estático es somera en las márgenes del Río Mátape y sus arroyos tributarios, donde se localizan la mayoría de las norias, ya que varía entre 0.12 y 15 m en el año 2008. En los aprovechamientos que se encuentran alejados de la influencia de los arroyos la profundidad al nivel estático es mayor a 35 m.

Tal es el caso de la noria perforada en el rancho San Alberto al suroeste de Adivino, cuya profundidad es de 23.27 m o la construida en el rancho Pozo nuevo con 41.1 m de profundidad y del pozo localizado en el predio Llano Grande, en el límite noroeste del acuífero el cual registra una profundidad al nivel estático de 35.5 m. La distribución de curvas al nivel estático se observa en la Figura 4.

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático para el año 2008 (figura 5) presenta elevaciones que varían desde 440 hasta 900 msnm, los valores máximos se presentan al norte y noreste del acuífero, con elevaciones mayores a 800 msnm. La elevación disminuye hacia la parte suroeste del acuífero conforme avanza el flujo del río Mátape, alcanza las menores elevaciones en la porción suroeste con valores de 450 msnm, por lo se puede decir que el flujo subterráneo avanza en la misma dirección que el superficial.

19

20

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita su configuración; debido a la falta de estudios hidrogeológicos previos no fue posible establecer una evolución de niveles piezométricos. 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 y/o del bombeo, ya que el volumen de extracción es muy bajo.

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

Durante la etapa de censo y piezometría efectuados en el 2008, se midieron en campo diversos parámetros fisicoquímicos como: temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, salinidad, oxígeno disuelto, pH y Eh.

Dado que la mayor parte de los parámetros físicos y químicos medidos en 2008 presentan valores de pH cercanos a la neutralidad, así como valores bajos de Sólidos Totales Disueltos (STD), la mayor parte del agua subterránea está asociada a agua de reciente infiltración. De igual forma existen concentraciones elevadas de STD, sin embargo, se ubican en zonas puntuales donde la geología y sus procesos mineralógicos cambian la calidad del agua, la cual está asociada a un tiempo mayor de residencia y tránsito en el acuífero.

La concentración de sólidos totales disueltos es de 62 ppm en el Rancho Las Pilas, mientras que en el Rancho la Esmeralda es de 4080 ppm. Así mismo el pH varía desde 3.4 hasta 9.67, quedando fuera de la norma menos del 10% de los aprovechamientos medidos.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo realizado en octubre-noviembre de 2008, dentro del Acuífero Río Mátape existen 213 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 188 son norias, 23 son pozos y 2 manantiales. Del total, 37 aprovechamientos se encuentran inactivos, de los cuales 32 son norias y 5 pozos. Cabe señalar que existen aprovechamientos adicionales que no se consideraron en este estudio, ya que no fue posible el acceso a ellos o a la información

relacionada con su uso, y otros aprovechamientos fueron enterrados bajo sedimentos transportados por el río Mátape en su crecida extraordinaria ocurrida en agosto de 2007.

En cuanto a los resultados hidrométricos arrojados se calcula una extracción total anual de 4.765 millones de m^3 en el Acuífero Río Mátape, de los cuales 1.748 (36.7%) corresponden al uso pecuario, 1.150 (24.13%) corresponden al uso público urbano, 1.019 (21.4%) corresponden al uso doméstico, 0.844 (17.7%) al uso agrícola y los restantes 0.004 (0.1%) corresponden a usos múltiples.

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. El balance de aguas subterráneas se definió para una superficie de 898 km^2 que corresponde a la zona donde se localizan los aprovechamientos de agua subterránea.

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 están 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 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 (R_v), y por flujo subterráneo (E_h).

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; y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (R_i).

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 definida por la expresión:

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

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Entradas por flujo horizontal

Ri: Recarga inducida

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración real en niveles someros

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2. Recarga Inducida (Ri)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen exclusivamente por concepto de los excedentes del riego, tanto de origen subterráneo como superficial, ya que en la región no existen asentamientos humanos importantes cuya infraestructura hidráulica pueda generar fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable y/o de alcantarillado.

La recarga inducida o retorno de riego del agua de origen subterráneo se determinó en función del volumen que se extrae del acuífero para uso agrícola, de manera general se estimó que un 20% de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida. De acuerdo a la hidrometría estimada por SGM (2008), en el Acuífero Río Mátape se utilizan $0.84 \text{ hm}^3/\text{año}$ para uso agrícola, por lo cual se consideró **$0.17 \text{ hm}^3/\text{año}$** como un volumen representativo de recarga inducida por retornos de riego de agua de origen subterráneo. En la zona del Acuífero Río Mátape parte del riego agrícola se lleva a cabo con agua superficial de la Presa La Haciendita, a través de un sistema de canales, la mayoría revestidos. El volumen total destinado para riego es de $0.33 \text{ hm}^3/\text{año}$, al igual que la recarga inducida, se consideró que el 20% se infiltra al subsuelo (**$0.07 \text{ hm}^3/\text{año}$**).

Por lo tanto la recarga inducida para el Acuífero Río Mátape es la suma de lo que se infiltra entre riego agrícola y agua rodada, resultando en **0.2 hm³/año**.

7.1.3. Entradas por flujo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio 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 tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

La cuantificación del caudal de agua subterránea que participa como flujo de entrada subterránea horizontal al acuífero, para un período considerado, se realiza aplicando la Ley de Darcy a la red de flujo a través de una sección limitada por dos isolíneas equipotenciales y dos líneas de corriente, definidas en la configuración de elevación del nivel estático para el período analizado. La ley de Darcy, se expresa de la siguiente manera:

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (figura 5). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos:

$$Q = V \cdot A$$

Considerando una sección, con una longitud (B) y ancho (a), con una diferencia de alturas de (Δh). El área de la sección quedará definida por:

$$A = B \cdot a$$

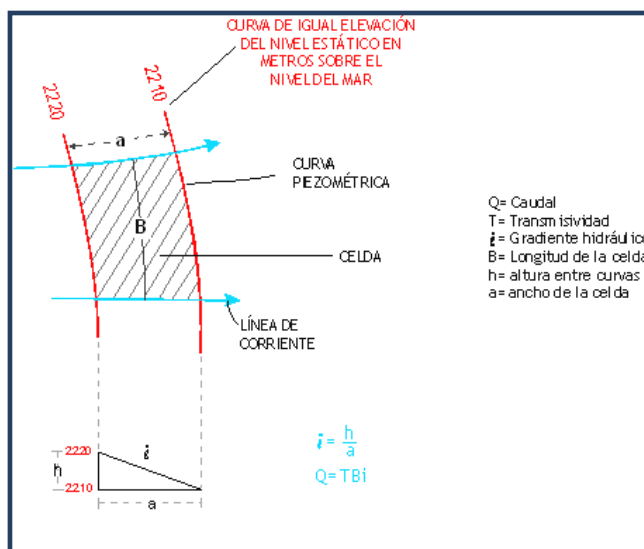
Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

i = Gradiente hidráulico ($\Delta h / \Delta L$) Δh y ΔL son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.



Sustituyendo en la ecuación de continuidad:

$$Q = B \cdot a \cdot K \cdot i$$

Ya que la transmisividad $T = K \cdot a$, la ecuación queda reducida a:

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

Donde:

T = Transmisividad en m^2/s .

B= Longitud de la celda en m

i = Gradiente Hidráulico, en m

Para el cálculo es necesario conocer el espesor saturado del acuífero (b) y su coeficiente de permeabilidad (K), o bien, el valor de transmisividad (T). Los demás datos se obtienen de la piezometría. Las celdas se trazan a partir de la configuración de elevación del nivel estático y la geología, y se calcula el flujo a través de cada una de ellas.

El coeficiente K, se obtiene a partir de las pruebas de bombeo de las cuales se obtiene el valor de transmisividad (T), que es el producto de la conductividad hidráulica (K) por el espesor saturado:

$$T = K b$$

Se generaron 6 celdas de flujo de entrada al acuífero, como se observa en la figura 5. El valor de transmisividad utilizado fue estimado con base en las pruebas de bombeo y a las características del subsuelo de la zona, siendo este de $114 m^2/día$.

Como resultado del análisis de las celdas de flujo se obtuvo un valor de **12.7** $hm^3/año$ que representa las entradas horizontales a la zona de influencia del balance de aguas subterráneas realizado en la zona de valle. En la Tabla 2 se muestra en resumen el cálculo del volumen de entrada.

Tabla 2 Cálculo de entradas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
			(m)		(m^2/s)		
E1	2099	1587	20	0.0126	0.0013	0.0344	1.09
E2	1720	913	20	0.0219	0.0013	0.0490	1.55
E3	3460	2554	20	0.0078	0.0013	0.0352	1.11
E4	3681	1322	20	0.0151	0.0013	0.0724	2.29
E5	3066	1238	20	0.0162	0.0013	0.0644	2.03
E6	2759	668	20	0.0299	0.0013	0.1074	3.39
E7	2743	1748	20	0.0114	0.0013	0.0408	1.29
Total entradas							12.7

7.2. Salidas

Son los volúmenes de agua ya sean naturales o extraídos que salen del acuífero y son representados por la evapotranspiración real (Etr), el bombeo (B) y salidas horizontales (Sh).

7.2.1. Evapotranspiración real (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).

La evapotranspiración fue estimada al considerar un valor de evapotranspiración media anual de 524 mm, obtenido por el método de Turc, que involucrarlo con el área del intervalo de las curvas de 0 a 4 m y con el porcentaje de evapotranspiración se obtiene una evapotranspiración real de **8.7** hm³/año. En la Tabla 3 se muestra un resumen para el cálculo de evapotranspiración. Cabe mencionar que esta metodología considera niveles someros donde la evapotranspiración tiene influencia en los primeros 4 metros de profundidad, esto en función del tipo de vegetación y la profundidad de las raíces, donde los porcentajes utilizados corresponden al volumen de agua evapotranspirado, el cual disminuye en función de la profundidad.

Tabla 3. Cálculo de evapotranspiración real

Intervalo curvas (m)	Profundidad (m)	Area (km ²)	%	ETR (m)	Vol ETR (hm ³ / año)
1 a 2	1.5	3.71	0.625	0.524	1.2
1 a 3	2	18.65	0.5	0.524	4.9
2	2	2.82	0.5	0.524	0.7
2 a 4	3	12.54	0.25	0.524	1.6
3 a 4	3.5	3.68	0.125	0.524	0.2
Total					8.7

7.2.2. Bombeo (B)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos realizado en el estudio del 2008, se cuantificó el volumen de extracción de agua subterránea de manera directa cuando el equipo de extracción cuenta con medidor de flujo, o través de la información recabada en campo durante el censo:

tiempo de operación, superficie regada, láminas de cultivo y estimaciones de acuerdo a las características de las obras. Se calculó un volumen total de extracción de **4.8 hm³** al año.

7.2.3. Salidas por flujo horizontal (Sh)

Existe una salida natural del acuífero en forma de flujo subterráneo horizontal, esta se mantiene gracias a las condiciones hidrogeológicas de la zona y debido a que no existe sobreexplotación que pueda invertir las direcciones de flujo subterráneo.

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma forma que se calcularon las entradas a partir de la configuración del nivel estático para 2008. El valor estimado es de **2.7 hm³/año**, calculado en la sección suroeste del acuífero. Cabe mencionar que para determinar el valor de salidas horizontales fue utilizada un valor de transmisividad de $3.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, asociado a la granulometría observada en campo en la zona de salidas.

Las celdas de flujo utilizadas para estimar la salida horizontal se observan en la figura 10 y el cálculo del caudal se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN
			(m)		(m ² /s)		(hm ³ /año)
S1	2965	4084	20	0.0049	0.0032	0.0465	1.5
S2	3204	5050	20	0.0040	0.0032	0.0410	1.2
Total salidas							2.7

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 histórica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. 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 consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo **$\Delta V(S) = 0$** .

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 infiltración por lluvia (R_v), por lo que despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 2.7 + 4.8 + 8.7 - 0.0 - 12.7 - 0.2$$

$$R_v = 3.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto la recarga total es igual a $R_t = R_v + E_h + R_i$

$$R_t = 3.3 + 12.7 + 0.2$$

$$R_t = 16.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que indica la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS \quad (3)$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

R = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

8.1. Recarga Total Media Anual

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R_t), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **16.2 hm³/año**, de los cuales 16.0 hm³ son recarga natural y los 0.2 hm³ restantes corresponden a la recarga inducida.

8.2. Descarga Natural Comprometida

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

Para el caso del Acuífero Río Mátape no se comprometen las salidas horizontales debido a que aguas inmediatas abajo no existen obras hidráulicas para su aprovechamiento, de igual forma la descarga de los 2 manantiales perennes, de 0.006 hm³/año se considera despreciable.

8.3. Volumen Concesionado de Aguas Subterráneas

El volumen anual de la extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPD), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 31 de marzo de 2009, es de **12'163,734 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de Aguas Subterráneas

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 Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPD.

De acuerdo a la expresión (3), se tiene que:

$$\text{DAS} = 16.2 - 0.0 - 12.163734$$

$$\text{DAS} = 4.036266 \text{ hm}^3/\text{año}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **4'036,266 hm³** anuales para otorgar nuevas concesiones.

Cabe aclarar que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero y por lo tanto, la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en que existen aprovechamientos de agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que el valor sea mayor, sin embargo debido a la falta de información precisa no es posible incluir en este balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares.

9. BIBLIOGRAFÍA

INEGI, 1993. Estudio Hidrológico del Estado de Sonora

Servicio Geológico Mexicano, en convenio con Comisión Nacional del Agua, 2008. Actualización Hidrogeológica de los Acuíferos del Río Yaqui, Mátape, Sonora. Hermosillo, Sonora.

Vega Granillo Ricardo, 1996. "La sierra de Mazatán, Sonora, México: Geología de un análisis estructural de un complejo metamórfico en la parte sur de la provincia de "Basin and Range"" Tesis de Maestría, para obtener el grado de Maestro en Ciencias por la Universidad de Sonora.

Vega Granillo Eva Lourdes, 1992. Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Río Mátape, Sonora.