

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Río Bacanora (2637),
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							
2637	RÍO BACANORA	8.6	0.0	2.066364	2.1	6.533636	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 RÍO BACANORA (2637), ESTADO DE
SONORA***

México, D.F., Mayo de 2013

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	1
Antecedentes.....	1
1.1. Localización	1
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	3
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA	5
3.1. Provincias fisiográficas	5
3.2. Clima.....	5
3.3. Hidrografía	6
3.4. Geomorfología	6
4. GEOLOGÍA	6
4.1. Estratigrafía	7
4.2. Geología estructural	10
4.3. Geología del subsuelo	11
5. HIDROGEOLOGÍA	12
5.1. Tipo de acuífero.....	12
5.2. Parámetros hidráulicos	13
5.3. Piezometría.....	13
5.4. Comportamiento hidráulico.....	13
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	13
5.4.2. Elevación del nivel estático	13
5.4.3. Evolución del nivel estático	13
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
7.1. Entradas	17
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	17
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	17
7.1.3. Retorno de Riego (Rr)	18
7.2. Salidas	19
7.2.1. Bombeo (B).....	19
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	19
7.2.3. Evapotranspiración (ETR)	19
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	21
8. DISPONIBILIDAD	21
8.1. Recarga total media anual (Rt).....	22
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	22
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	22
8.4. Disponibilidad de agua subterránea (DAS)	22
9. BIBLIOGRAFIA	23

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-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, 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1. Localización

El acuífero Río Bacanora, definido con la clave 2637 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Aguas Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se ubica en la porción centro-oriental del Estado de Sonora, entre los paralelos 28°37' y 29°06' de latitud norte y los meridianos 109°14' a 109°31' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 729 km².

Limita al noroeste con el acuífero Río Moctezuma, al noreste y este con el acuífero Río Sahuaripa, al sur con el acuífero Río Chico, al suroeste con el acuífero Ónavas y al oeste con el acuífero Soyopa, todos ellos en el Estado de Sonora (figura 1).

Geopolíticamente, prácticamente la totalidad de su territorio se encuentra dentro del municipio Bacanora y una pequeña porción de los extremos este y suroeste en los municipios Sahuaripa y Soyopa respectivamente.

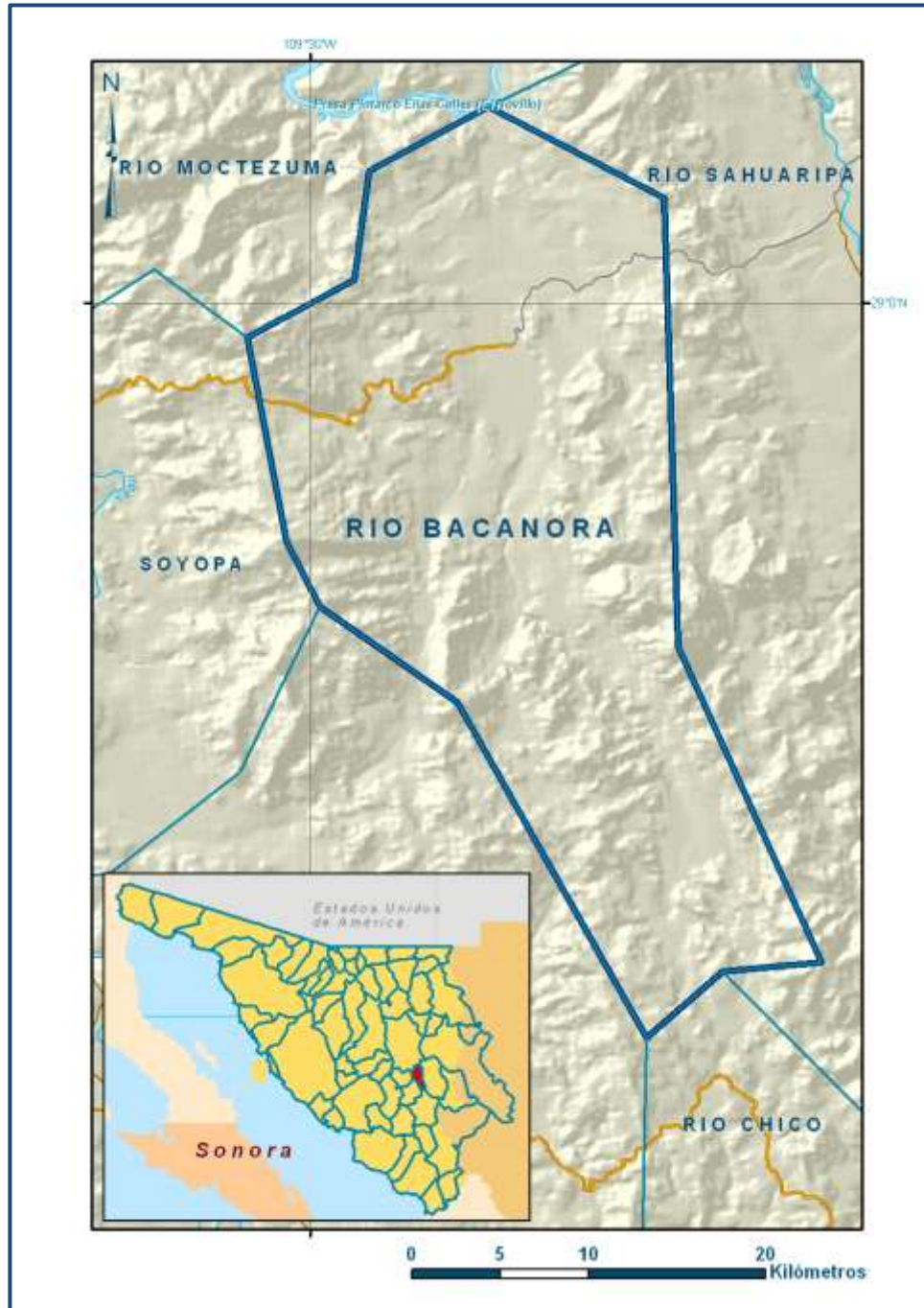


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero

ACUIFERO 2637 RIO BACANORA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	19	12.1	29	3	13.5
2	109	18	46.9	28	49	32.3
3	109	14	24.6	28	39	56.6
4	109	17	25.9	28	39	39.3
5	109	19	44.6	28	37	38.6
6	109	25	29.8	28	47	51.0
7	109	29	42.4	28	50	45.2
8	109	30	43.1	28	52	44.4
9	109	31	54.9	28	58	57.8
10	109	28	40.0	29	0	44.0
11	109	28	11.7	29	4	2.3
12	109	24	33.9	29	5	59.4
1	109	19	12.1	29	3	13.5

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Río Bacanora pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. En la superficie completa que comprende no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea. Sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del “*ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los 96 acuíferos que se indican*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en el acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

El principal usuario del agua es el agrícola. El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca “Ríos Yaqui y Mátape”, instalado el 30 de agosto de 2000. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2013, los municipios Bacanora, Sahuaripa y Soyopa se clasifican como zona de disponibilidad 7. En la superficie del acuífero no se localiza ningún distrito o unidad de riego ni se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el área que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios a escala regional, de los cuales a continuación se citan los más importantes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ESTADO DE SONORA, 1993. Elaborado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). En su informe se describen las características hidrológicas generales de los acuíferos del Estado de Sonora.

PROSPECCIÓN GEOLÓGICA PARA DEFINIR SITIOS Y POSIBLE GASTO DE POZOS EN LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO YAQUI. Elaborado por la Universidad de Sonora para la Comisión Estatal del Agua de Sonora en 2004. El estudio contiene información de las subcuencas del Río Yaqui, incluye información de geología, climatología, hidrología superficial, análisis hidrogeoquímico, configuración del nivel estático y la definición de las unidades hidrogeológicas.

ATLAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y RED DE MONITOREO DEL ESTADO DE SONORA, 2005. Elaborado por la Universidad de Sonora para la Comisión Nacional del Agua. El objetivo del estudio fue establecer una red de monitoreo piezométrico para cada uno de los acuíferos que son jurisdicción administrativa del Organismo de Cuenca Noroeste, (todo el estado de Sonora y los extremos occidental y suroccidental del estado de Chihuahua). Como parte de este estudio se elaboraron mapas temáticos (clima, precipitación, temperatura, geología, geomorfología, vegetación, uso de suelo, etc.), y de configuración del nivel estático (profundidad, elevación y evolución), mostrando las direcciones de flujo subterráneo. Es un estudio de consulta general de los acuíferos.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI, MÁTAPE, ESTADO DE SONORA, 2008. Elaborado por el Servicio Geológico Mexicano para la Comisión Nacional del Agua. En este estudio se actualiza el conocimiento hidrogeológico de los acuíferos serranos del Estado de Sonora y realizan actividades de campo como censo, hidrometría y nivelación de brocales. Plantea los balances de aguas subterráneas de los acuíferos de esta cuenca.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS RÍO BACANORA, EN EL ESTADO DE SONORA, Y LA NORTEÑA Y MADERA, EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA. Elaborado por la Universidad de Sonora, en 2011. El objetivo general de este estudio fue definir las condiciones geohidrológicas de los acuíferos, calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

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

De acuerdo con la clasificación fisiográfica del Instituto Nacional de Geografía (INEGI, 1997), la superficie cubierta por el acuífero se encuentra en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental en el territorio de la Subprovincia Sierras y Cañadas del Norte.

La Sierra Madre Occidental se prolonga hasta la Arizona Meridional, hacia el Sur de Sonora con una orientación NW-SE y la limita el flanco SE de la Meseta del Colorado. El tren estructural de esta subprovincia coincide con los fallamientos que afectan a la región, ocurridos posiblemente durante la Orogenia Laramide. Ocupa parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Nayarit y Zacatecas. Se inicia en el área fronteriza con Arizona, EE.UU. y termina en el Río Santiago en Nayarit, en donde se conecta con el Eje Volcánico Transversal. Constituye un importante sistema montañoso, de origen ígneo, volcánico en su mayor parte; la sierra se levanta hasta los 3,000 msnm con una región escarpada orientada al occidente; hacia el oriente la sierra desciende a una región con grandes mesetas. Las condiciones geológicas y fisiográficas tan peculiares de esta sierra han propiciado la formación de cañones profundos sobre su vertiente occidental, entre los que destaca el cañón del Cobre, labrado por el Río Urique y sus afluentes.

La Subprovincia Sierras y Cañadas del Norte presenta elevaciones de 1000 a 1200 msnm de sierras de laderas escarpadas constituidas principalmente de rocas volcánicas, entre las cuales se localizan algunos valles intermontanos.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por E. García para las condiciones particulares de México y la clasificación climática del INEGI, en el área se presentan tres tipos de clima: Semiseco BS1(h')hw(x') al norte del acuífero, Semiseco BS1hw(x') en la porción central y subhúmedo C(Wo)(x') en las regiones sur, este y oeste. Las regiones con clima semiseco están representadas por zonas cálidas, con un régimen de lluvia de verano y un porcentaje de lluvia invernal mayor a 10.2%. El clima semiseco se caracteriza por ser semicálido con un invierno seco, con un régimen de lluvia de verano y porcentaje de lluvia invernal semejante al semiseco. El clima subhúmedo se caracteriza por ser templado con humedad baja, es el más seco de los climas subhúmedos y también presenta régimen de lluvia de verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información de cuatro estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Sahuaripa, Rebeiquito, Arivechi y Ónavas. De acuerdo con los registros para el periodo 1982–2007 (25 años), mediante el método de polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **566 mm y 22.2 °C**, respectivamente. La evaporación potencial es de **2580 mm** anuales.

3.3. Hidrografía

El acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica 9 “Sonora Sur”, dentro de la cuenca del Río Yaqui y en la subcuenca de la Presa Plutarco Elías Calles. Su corriente principal es el Río Bacanora, que nace en la Sierra El Encinal, ubicada en la porción suroeste del acuífero, es de tipo intermitente y recorre el acuífero de sur a norte. En la porción norte se une al Río Yaqui antes de que éste se integre a la Presa “El Novillo”; drena una superficie de 70.5 km². Es alimentado por varios arroyos intermitentes; en la porción sur se localizan los arroyos Las Pirinolas, El Capulín y La Salvia, en la porción central confluyen los arroyos El Cochi, La Mina, Los Lobos y El Bajío de Las Palmas, al norte se ubican los arroyos La Guácima, Los Nopales y Los Hornitos. . El drenaje es principalmente de tipo dendrítico y en menor proporción paralelo.

3.4. Geomorfología

En análisis geomorfológico permitió identificar cuatro unidades: *laderas montañosas*, *lomeríos*, *piekemontes* y *planicies*. La primera se debe a procesos de plegamiento y vulcanismo; presenta una altura relativa mayor de 200 m. Los lomeríos presentan alturas relativas menores de 200 m y se originan por la nivelación de montañas (modelado endógeno) o por la disección de una planicie inclinada (exógeno erosivo). Los piedemontes constituyen las laderas de las montañas o las zonas de transición hacia el valle y están conformadas por depósitos detríticos. Por último, las planicies tienen poca inclinación y están conformadas por depósitos aluviales.

La mayor superficie está representada por laderas montañosas de origen volcánico y kárstico, seguido por lomeríos volcánicos. En la región norte-centro se encuentra un conglomerado polimíctico de origen denudatorio. En la porción sur predominan las rocas de origen volcánico de composición intermedia a ácida, en el oeste se localizan montañas altas inestables de calizas y areniscas.

4. GEOLOGÍA

Las rocas sedimentarias que predominan en el acuífero pertenecen a la Formación Báucarit la cual agrupa varios tipos de litología, como conglomerado polimíctico constituido por rocas volcánicas e intrusivas, e intercalaciones de arenisca y basalto. Las rocas presentes en la Sierra El Chiltepín ubicada en la región nororiental del acuífero están conformadas por areniscas, dolomías, calizas y

conglomerados. Las rocas ígneas presentes en el área se localizan en el centro de la porción norte, y su edad varía del Jurásico al Oligoceno (figura 2).

4.1. Estratigrafía

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área del acuífero varían en edad desde del Precámbrico al Reciente y están compuestas por rocas sedimentarias, ígneas intrusivas, y volcánicas. A continuación se describen brevemente las unidades litológicas, en orden cronológico de la más antigua a la más reciente.

Precámbrico

Areniscas, Dolomías

Rocas precámbricas que afloran al noreste, específicamente en la Sierra El Chiltepín. Se trata de areniscas de cuarzo, calizas, dolomías, areniscas calcáreas y en menor proporción conglomerados y lutitas; en general de muy de baja permeabilidad, que forman parte del basamento geohidrológico de la región.

Paleozoico

Lutitas-Calizas

Están representadas por lutitas de color negro, calizas con pedernal y limolitas, de edad Cámbrico-Ordovícico que afloran en la Sierra La Campanería, cerca de la Presa Las Calabazas; así como en el Cerro Soberbio, ubicado en las inmediaciones del Ranchos Agua Blanca y de Rancho Nuevo. El espesor de esta unidad se estima en alrededor de 400 m. Se consideran una continuación de sedimentación de la secuencia precámbrica, sufriendo durante el Paleozoico un hundimiento lento e ininterrumpido hasta el Pensylvánico. Incluyen en algunas localidades cuarcitas, esquistos, pizarras, metacalizas y metareniscas. Se presentan en la base de la secuencia paleozoica y se les ha considerado de edad Cámbrico, aunque podría ser más antigua, se incluyen dentro del paquete de rocas del Paleozoico Inferior

Caliza-Arenisca

Sus escasos afloramientos se ubican al noroeste, en las inmediaciones del Rancho El Aguaje, ubicado al norte de la Sierra El Batamote. Litológicamente los horizontes de caliza son de color gris con tonalidades blanquecinas, de textura micro-cristalina silicificada, fuertemente deformada y fracturada.

Secuencia Sedimentaria

Constituida por calizas de plataforma, con alto contenido de fósiles: corales, crinoides y fusulínidos, con intercalaciones de areniscas, lutitas y calcoarenitas.

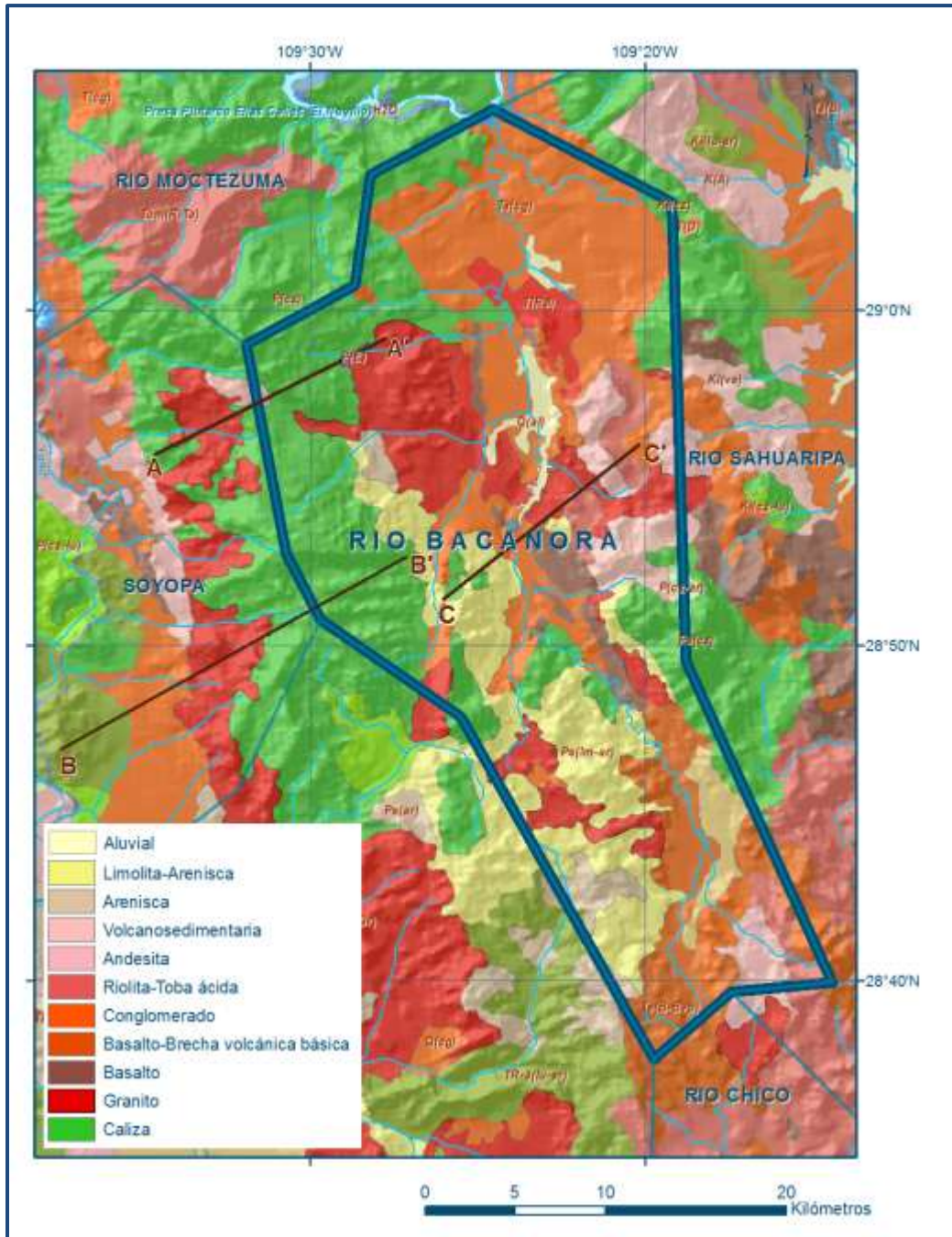


Figura 2. Geología superficial del acuífero

Mesozoico

Triásico

Está representado por un conjunto de rocas sedimentarias que incluyen lutitas, areniscas y conglomerados, denominado Grupo Barranca, correlacionables a escala regional con el miembro superior que aflora en la Sierra La Flojera, que aflora al noroeste de Hermosillo, y con las rocas del Triásico Superior de la región de San Marcial, al sureste de San José de Moradillas.

Jurásico

Tres unidades del Jurásico superior se encuentran expuestas en la porción centro del área del acuífero, una representada por rocas vulcanosedimentarias deformadas, la segunda es una secuencia de lutitas y areniscas y la tercera es un conglomerado polimíctico.

Cretácico

Está representado por el Grupo Bisbee, constituido por una secuencia de lutitas que están cabalgadas por rocas sedimentarias paleozoicas y precámbricas. Se encuentra sobreyaciendo al Conglomerado Glance y a la secuencia vulcanosedimentaria del Jurásico Superior, la sobreyacen conglomerados y basaltos del Paleógeno-Neógeno localmente se encuentra afectada por cuerpos ígneos intrusivos.

Complejo Volcánico Superior

Representado en la zona por la Formación Tarahumara, consiste de rocas volcánicas de composición andesítica, dacítica y vulcanosedimentaria, que se distribuyen ampliamente. Incluyen también secuencias volcánicas y vulcanoclásticas de la misma edad y aún más jóvenes del Eoceno-Oligoceno. Su espesor supera los 1000 m, sobreyacen discordantemente y por contacto tectónico a rocas paleozoicas.

Complejo Volcánico Inferior

Forma parte de un grupo de rocas constituido principalmente por andesitas de color verde, de textura afanítica, compacta, en algunas áreas en forma de aglomerados andesíticos, tobas andesíticas porfídicas que varían a dacitas, traquitas y riolitas, con escasas intercalaciones de areniscas, lutitas y calizas. Su espesor varía entre 500 y 1500 m, aflora ampliamente en la porción noroccidental del acuífero.

Batolito Laramide

Intrusivos Porfídicos Secundarios

El Batolito Laramide de Sonora se observa en la porción sur de la cabecera municipal de Bacanora, así como en el Cerro La Nopalera y Las Mojoneras. Es un granito de color blanco grisáceo, de textura fanerítica, generalmente de grano medio, constituido esencialmente por cristales de plagioclasa sódica, feldespatos potásicos, cuarzo, biotita y presencia de cloritización y seritización. La forma y distribución de estos afloramientos está controlada por la erosión y por los eventos tectónicos posteriores a su emplazamiento, principalmente la tectónica de extensión del Paleógeno-Neógeno.

Cenozoico

Formación Báucarit

Es una secuencia de areniscas, arcillas y conglomerados de composición polimíctica, bien estratificados y bien consolidados. En su parte inferior existen derrames de basaltos intercalados con

aglomerados basálticos. Dentro de esta formación se agrupa una secuencia volcánica intermedia y básica, intercalada con el material conglomerático en su base y parte superior, de igual forma se agrupa a un conglomerado polimíctico con clastos de basalto y andesitas basálticas. Esta unidad tiene una amplia distribución en la zona, sus afloramientos más importantes se presentan a lo largo del Río Bacanora, cruzando el acuífero de sur a norte. Se considera el basamento hidrogeológico del material sedimentario reciente y funciona como confinante entre el material granular que rellena la zona del valle y material fracturado de composición volcánica.

Toba Riolítica–Riolitas

Unidad compuesta por rocas volcánicas representadas por tobas riolíticas, ignimbritas, riolitas y riodacitas que conforman las principales zonas de recarga al acuífero. Su estructura es compacta y presenta fracturamiento medio, lo cual hace que su permeabilidad varíe de media a baja.

Aluvión

Está conformado por los sedimentos del Holoceno producidos por el intemperismo de rocas preexistentes depositados como abanicos aluviales y fluviales, constituidos por gravas de diferentes litologías, arenas y limos. Se encuentran a lo largo de ríos, arroyos y planicies de inundación activas, aunque tienen permeabilidad alta, su espesor es reducido.

4.2. Geología estructural

En la zona del acuífero existen estructuras propias de régimen de deformación dúctil, dúctil-frágil y frágil. Las primeras están representadas por foliación en la porción nor-noreste en rocas intrusivas de composición granítica-grandiorítica de Cretácico Superior-Paleoceno, dioritas, areniscas y lutitas

Los micropliegues y pliegues mayores, en rocas paleozoicas tienen, ejes con rumbo NW-SE y NE-SW, presentes principalmente en el occidente, centro norte, suroeste y noreste, formando anticlinales y sinclinales de pequeña escala desde chevrón hasta muy abiertos, que dan la apariencia de leves ondulaciones. Asociada a estas estructuras anteriores se desarrolló la Cabalgadura Sicórachi de rumbo NW, que se observa en la porción occidental, en donde rocas de la Formación Las Tierras cabalgan sobre rocas de la Formación Chubisco y la Cabalgadura Santo Domingo que está en el extremo oriental, en donde rocas de la Formación Las Tierras sobreyacen a la secuencia vulcanosedimentaria del Cretácico Superior por medio de una superficie de rumbo NW. El fallamiento inverso de rumbo NW, NE y E-W se observa en la porción centro-norte, afectando a rocas de las formaciones Las Tierras y Chubisco. Las fallas inversas, en la parte occidental, son de rumbo casi E-W y NW en rocas de la Formación Chubisco.

La deformación frágil se manifiesta mediante fallas normales, que originan fosas y pilares, y de corrimiento lateral, fracturamiento y lineamientos; las fallas normales son de rumbo NNW-SSE, como

las fallas La Campanería, El Novillo, La Estrella y Santo Domingo y NE-SW como las fallas El Zázachi, El Bojori y El Cochi; las fallas de corrimiento lateral son de reducidas dimensiones de rumbo NE-SW. Las fosas originadas por fallamiento normal presentan rumbo NW-SE como las fosas Río Yaqui, ubicada en el occidente y Piedras de Lumbre, en el oriente hasta casi N-S como las fosas Bacanora y Santa Teresa. Los lineamientos principales tienen rumbo N-S como el lineamiento El Pinito ubicado en la porción central. El área ha sido afectada por eventos tectono-magmáticos que se iniciaron con la fase compresiva durante la Orogenia Apalacheana del Paleozoico Superior y produjeron microplegamientos en las rocas de la Formación Las Tierras de edad Carbonífero-Pérmico Inferior. Continúan con la Orogenia Meso-cretácica, las cuales produjeron pliegues de rumbo NW-SE y NE SW en las rocas paleozoicas. Posteriormente fue el evento compresivo Laramide que produjo cabalgamiento de las rocas carbonífero-pérmicas de la Formación Las Tierras sobre las rocas de la Formación Chubisco en el occidente y de las primeras sobre las vulcanosedimentarias del Cretácico Superior en la porción oriental. Este evento de edad Cretácico Superior-Terciario Temprano estuvo acompañado de intrusión magmática. Posteriormente, el arco magmático continental del Oligoceno produjo vulcanismo de composición ríolítica-andesítica. Durante el Terciario hubo un evento tectónico distensivo que produjo sistemas de fallamiento normal en las rocas más antiguas, que dieron lugar a los rasgos morfo-estructurales más típicos de la región que corresponden a sierras alargadas separadas por depresiones rellenas de materiales clásticos continentales (Carta Geológico-Minera "Bacanora" H12-D55, escala 1:50000, SGM, 2004).

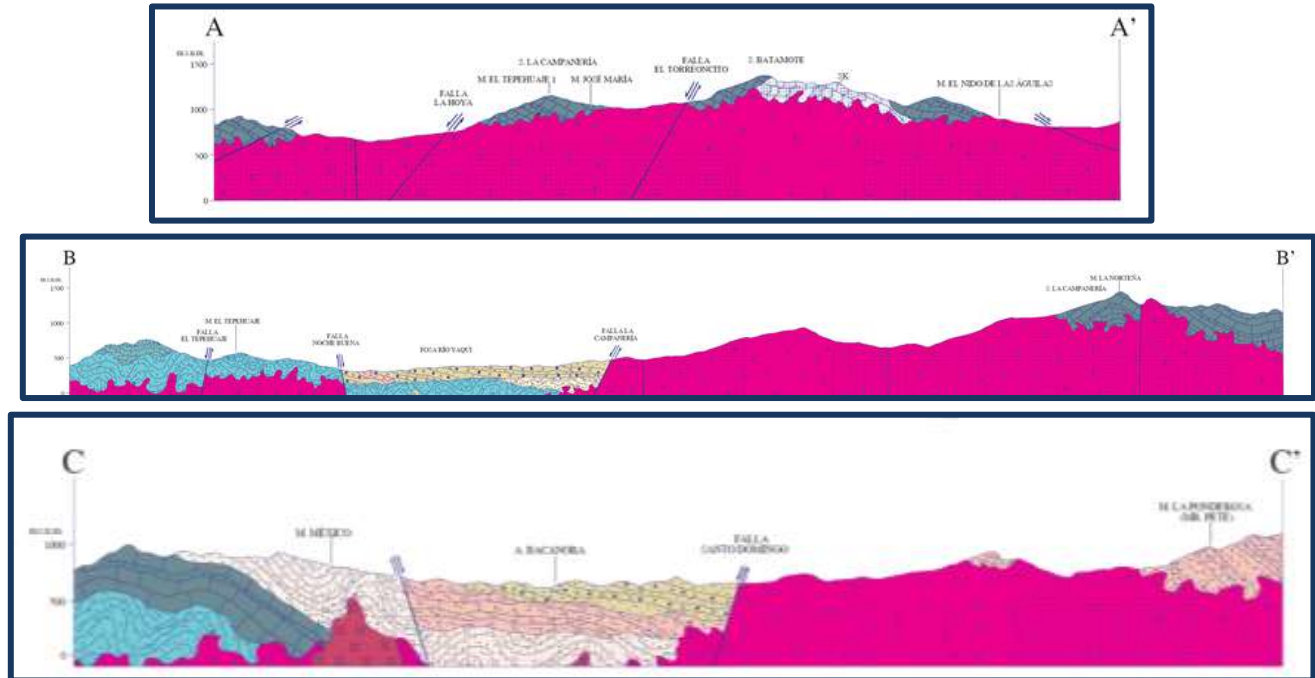
Los rasgos estructurales más sobresalientes consisten de un patrón de fallas y fracturas que conforman dos grupos: uno con dirección NE-SW y otro con dirección NW-SE. Estos patrones estructurales se correlacionan a la apertura del Golfo de California, que provocó la generación de fosas tectónicas donde se acumularon gruesos paquetes de productos vulcanoclásticos y detríticos.

Las fallas normales se localizan en la porción noreste, en las inmediaciones de la Sierra El Chiltepín, poniendo en contacto el conglomerado del Terciario Medio y la Formación Palmar (arenisca, dolomía, caliza y conglomerado del Precámbrico Superior).

4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y por correlación hidrogeológica y geofísica con acuíferos vecinos, se puede afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por depósitos aluviales y sedimentos clásticos, areniscas y conglomerados que rellenan el valle; la porción inferior se aloja en la secuencia de conglomerados y basaltos que constituyen la Formación Báucarit y las rocas ígneas extrusivas (basaltos, riolitas y tobas ácidas) que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo están representadas por las unidades de baja permeabilidad de la Formación Báucarit y por las mismas rocas volcánicas cuando a mayor profundidad desaparece el fracturamiento. El basamento regional está compuesto

por una secuencia de areniscas de cuarzo, dolomías, calizas, areniscas calcáreas y lutitas y por el intrusivo batolítico (figura 3)



Carta Geológico-Minera H12-D55 Bacanora. Escala 1:50 000. SGM (2004)

Figura 3. Secciones Geológica

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, hidrogeológicas, la distribución espacial de los medios poroso, fracturado y alto contenido de materiales tobáceos permiten definir un sistema acuífero que funciona como **libre** heterogéneo y anisótropo, constituido por dos medios: el superior de tipo granular y el inferior fracturado.

El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados y semi-consolidados que incluyen materiales clásticos de granulometría diversa (gravas, arenas, limos y arcillas) y conglomerados polimícticos originados a partir del intemperismo y erosión de las rocas que afloran en la región, así como los depósitos conglomeráticos consolidados de la Formación Báucarit. Su espesor puede alcanzar 300 m en el centro del valle. El medio fracturado subyace al medio granular y está alojado en rocas sedimentarias y volcánicas. Las unidades de baja permeabilidad de la Formación Báucarit constituyen capas confinantes entre el acuífero granular actualmente en explotación y la unidad volcánica fracturada.

5.2. Parámetros hidráulicos

No existe información de las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas que conforman el acuífero. Sin embargo, de acuerdo con la evidencias geológicas (litología y grado de fracturamiento), geofísicas (resistividad), por correlación hidrogeológica con acuíferos vecinos que presentan características similares (donde se realizaron pruebas de bombeo), es posible adoptar valores aproximados. Los valores de conductividad hidráulica varían **de 5.6×10^{-7} a 1.2×10^{-3} m/s (0.05 a 103.7 m/d)** y de transmisividad **de 1.5×10^{-5} a 5.5×10^{-2} m²/s (1.3 a 4752 m²/d)**. Para la estimación de las entradas y salidas subterráneas, localizadas en los cauces de los ríos y arroyos, utilizó un valor promedio de transmisividad de **27.0×10^{-3} m²/s**

5.3. Piezometría

No existe registro piezométrico histórico. Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró únicamente la información generada en 2011.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en 2011 registró valores que variaron de 4 a 14 m; los valores más profundos se ubican en la porción central del valle, disminuyendo hacia los costados. Los valores más someros se registran en la porción norte, al sur de Bacanora (figura 4).

5.4.2. Elevación del nivel estático

La configuración de elevación del estático en 2011 presenta valores que varían de 570 a 415 msnm, decreciendo por efecto de la topografía de la zona sur del acuífero, cerca del poblado La Mano, hacia el norte. Los valores máximos de elevación se localizan entre las localidades La Mano y Los Alisos, desde donde descienden en dirección norte, hacia las localidades Santa Teresa y El Destacamento.

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Además, 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 la extracción y el volumen de extracción estimado es muy inferior a la recarga más conservadora que pueda calcularse.

Por estas razones, se considera 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.

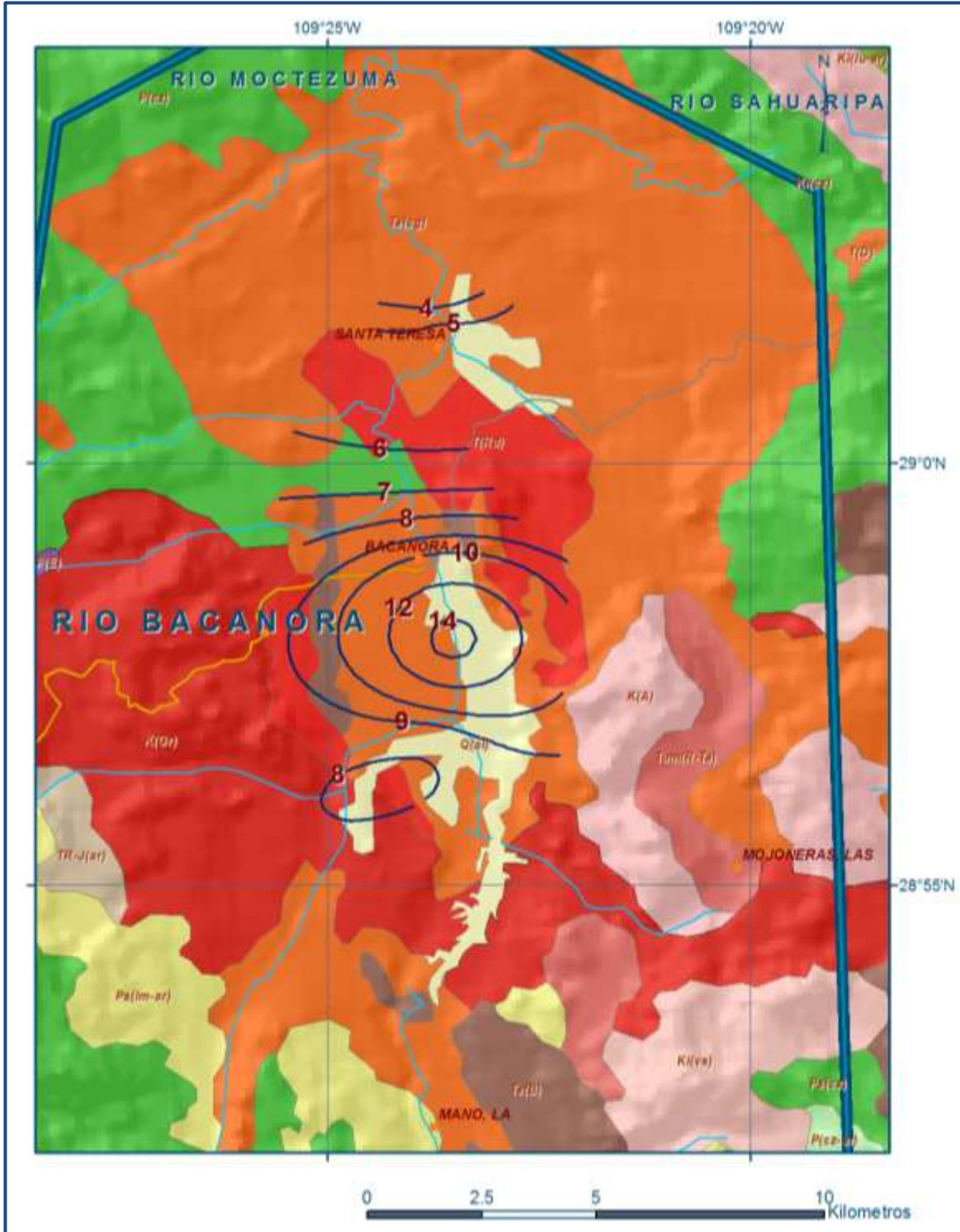


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2011).

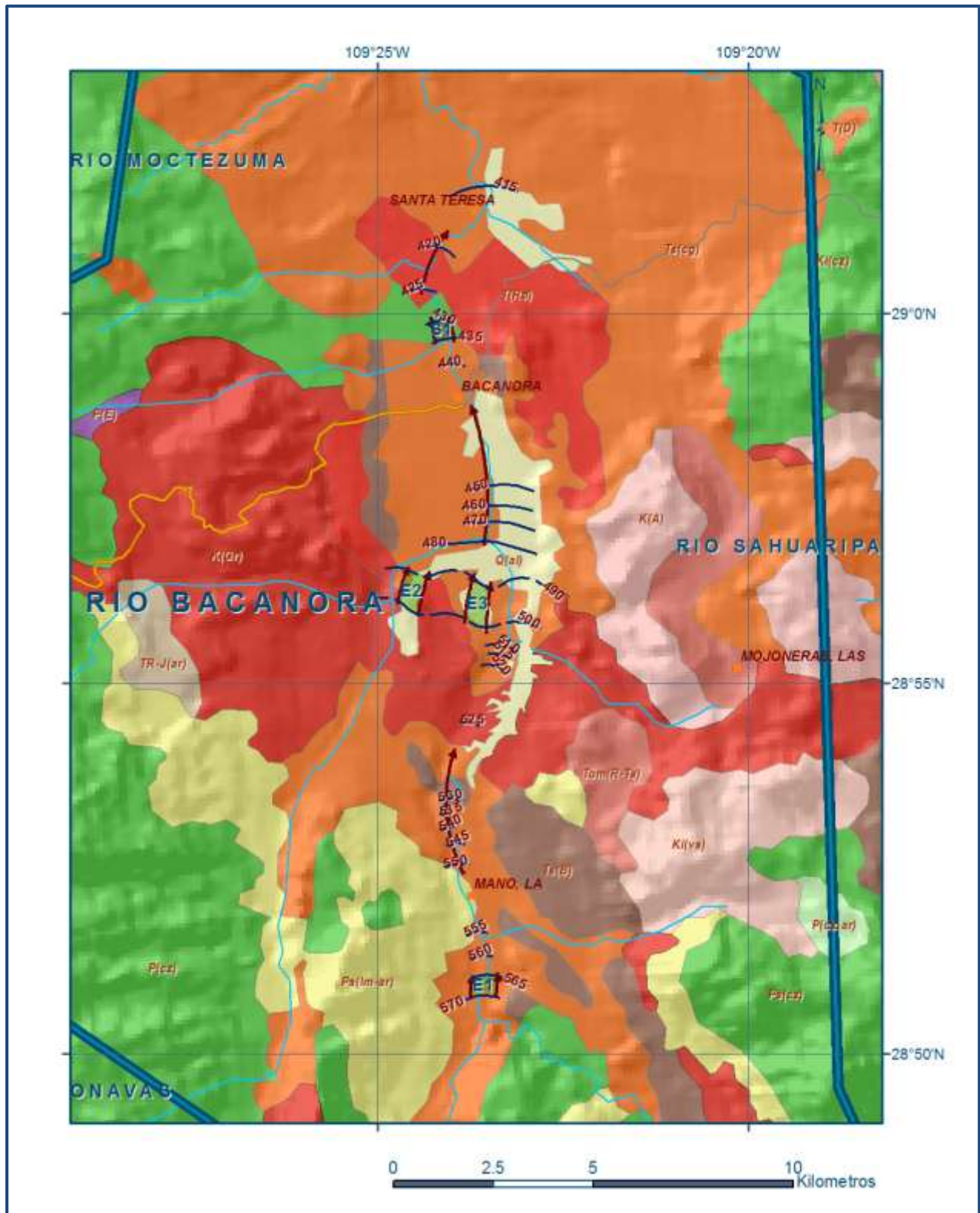


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2011).

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En el estudio de 2011 se realizaron mediciones *in situ* de temperatura, conductividad eléctrica y pH, cuyos valores indican que el agua presenta baja salinidad que no sobrepasan los 1000 ppm de STD establecidos como límite máximo permisible por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. Se considera apta para los diferentes usos.

Esto es consistente con los resultados obtenidos en las muestras de agua que se tomaron en los acuíferos vecinos Río Sahuaripa, Soyopa y Ónavas, como parte de las actividades realizadas por el SGM en el 2008, en los que las familias del agua predominante son bicarbonatada-cálcica y bicarbonatada sódica, que representan agua de reciente, infiltración, con tiempos muy cortos de residencia, que han circulado a través de rocas calizas y volcánicas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

No fue posible obtener información del uso y régimen de extracción de los escasos aprovechamientos para poder estimar el volumen de extracción. Por esta razón, se optó por considerar la información de los aprovechamientos registrados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) en 2011. De acuerdo con ella existen 51 aprovechamientos ubicados principalmente a lo largo del cauce del Río Bacanora, de los cuales 6 son pozos y 45 norias, De total de obras 4 son para uso agrícola, 28 para uso doméstico y pecuario, 11 para uso público-urbano y 8 para usos múltiples. El volumen de extracción es de **2.1 hm³ anuales**, de los cuales, 1.9 hm³ (90.5%) se destinan al uso agrícola. 0.1 hm³ (4.8%) para uso doméstico y pecuario y 0.1 hm³ (4.7 %) para uso público-urbano.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2011, en un área de balance de **30 km²**, que corresponde a la zona del valle donde se encuentran dispersos los escasos aprovechamientos del agua subterránea. 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. 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 están representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento en el acuífero:

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R_t) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (R_v) y entrada por flujo horizontal (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; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en la redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, sólo se tomarán en cuenta las infiltraciones de los excedentes del riego agrícola como recarga por retornos de riego (R_r).

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

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 las salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

R_v : Recarga vertical

E_h : Entradas por flujo subterráneo horizontal

R_r : Retornos de riego

B : Bombeo

Sh : Salidas por flujo subterráneo horizontal

D_m : Descarga de manantiales

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

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

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

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

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 tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

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 2011 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

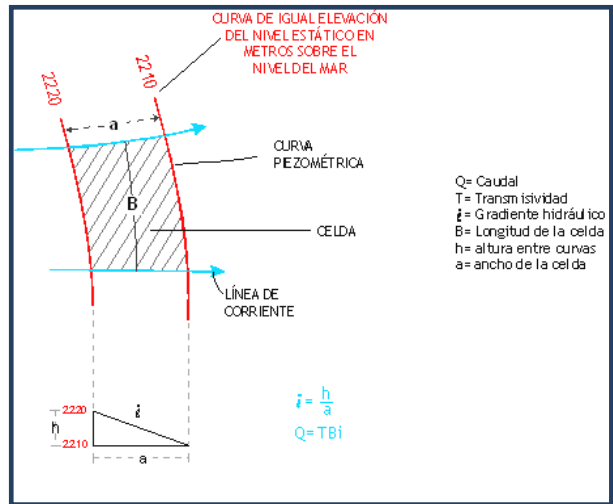
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

T = Transmisividad (m²/s)



Los valores promedio de transmisividad utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron por correlación hidrogeológica con los valores obtenidos en acuíferos vecinos y por las características litológicas, permeabilidad y espesor saturado observados directamente en campo.

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2, se muestran los valores obtenidos, el valor de las entradas subterráneas es de **8.0 hm³ anuales**.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2011)

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	530	518	5	0.0097	0.0270	0.1381	4.4
E2	200	920	10	0.0109	0.0270	0.0587	1.9
E3	220	1073	10	0.0093	0.0270	0.0554	1.7
Total entradas							8.0

7.1.3. Retorno 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 propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta

contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Debido a la falta de información de superficies y láminas de riego por cultivo, se consideró que un 20% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga inducida, considerando la profundidad somera al nivel del agua subterránea. De acuerdo, con esto si consideramos los 1.9 hm³ para uso agrícola, el retorno de riego **Ri = 0.4 hm³/año anuales**.

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por las salidas horizontales (Sh), bombeo (B), descarga por evapotranspiración (ETR).

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de Censo e hidrometría el volumen de extracción por bombeo es de **2.1 hm³/año**.

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 del elevación del nivel estático en 2011 (figura 5). El valor estimado del volumen es de **2.7 hm³ anuales**, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2011)

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	300	480	5	0.0104	0.0270	0.0844	2.7
Total entradas							2.7

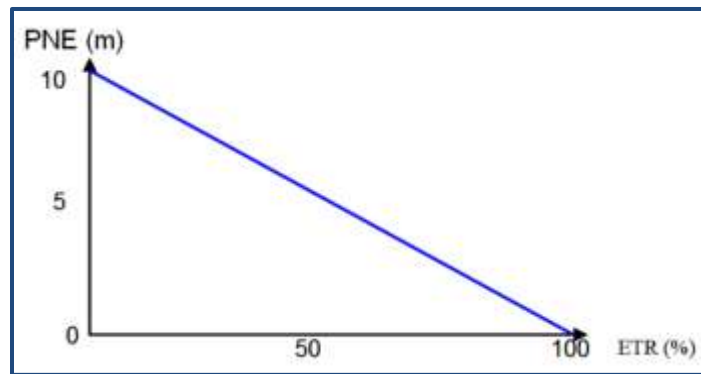
7.2.3. Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación, considerando los valores medios anuales de temperatura = 22.2 °C y precipitación = 566.0 mm. La lámina de ETR que se obtiene es de 549 mm.

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

T (°C) =	22.2		
P(mm) =	566	P ² =	320356
L =	1402.0524	L ² =	1965750.93
ETR (mm)	549.0		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso: en zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Considerando que en una superficie de 28.0 km² la profundidad media al nivel estático es de 7.5 m, de acuerdo con la relación lineal mostrada, le corresponde un 25% de la lámina de ETR obtenida.
 $ETR = (28.0 \text{ km}^2) (0.549 \text{ m}) (0.25) = 3.8 \text{ hm}^3$

Por lo tanto **ETR = 3.8 hm³/año**

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

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar su configuración. Además, 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 del bombeo. Además, el volumen de extracción es muy inferior a la recarga más conservadora que pueda calcularse. Por estas razones, se puede afirmar que no existen variaciones significativas en la posición de los niveles del agua subterránea y que el cambio de almacenamiento es nulo.

Por lo tanto, $\Delta V(S) = 0$

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se evalúa la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 2.1 + 2.7 + 3.8 - 0.0 - 8.0 - 0.4$$
$$R_v = 0.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R_t = R_v + E_h + R_r$$
$$R_t = 0.2 + 8.0 + 0.4$$
$$R_t = 8.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

$$DAS = R_t - DNCOM - VCAS$$

Donde:

- DAS:** Disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero
Rt: 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 (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **8.6 hm³/año**, de los cuales 8.2 hm³ son recarga y 0.4 hm³ recarga inducida.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos 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 Bacanora no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto **DNCOM = 0**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2011** es de **2'094, 813 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de agua subterránea (DAS)

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 aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPGA.

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS}$$

$$\mathbf{DAS = 8.6 - 0.0 - 2.088830}$$

$$\mathbf{DAS = 6.511170 \text{ hm}^3 / \text{año}}$$

El resultado indica que existe un volumen anual disponible de **6'511,170 m³** para otorgar nuevas concesiones.

9. BIBLIOGRAFIA

Comisión Estatal del Agua del Estado de Sonora, 2004. Prospección Geológica para definir sitios y posible gasto de pozos en la Cuenca Alta y Media del Río Yaqui, realizado por la Universidad de Sonora.

Comisión Nacional del Agua-Servicio Geológico Mexicano, 2008. Actualización hidrogeológica de los acuíferos de la Cuenca Alta el Río Yaqui, Mátape, Estado de Sonora, realizado por el Servicio Geológico Mexicano

Comisión Nacional del Agua, 2005. Atlas de aguas subterráneas y red de monitoreo piezométrico del Estado de Sonora, realizado por la Universidad de Sonora.

Comisión Nacional del Agua, 2011. Estudio geohidrológico para determinar la disponibilidad de los acuíferos Río Bacanora, en el Estado de Sonora, La Norteña y Madera, en el Estado de Chihuahua, realizado por la Universidad de Sonora.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 1993. Estudio Geohidrológico del Estado de Sonora.

Servicio Geológico Mexicano, 2004. Carta Geológico-Minera Bacanora H12-D55, Sonora. Escala 1:50,000.