

*Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos*

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Ónavas (2647), 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							
2647	ÓNAVAS	6.1	2.5	0.387621	1.9	3.212379	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 2647 ÓNAVAS, ESTADO SONORA***

México, D.F. Marzo de 2009

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
1.1. Localización	2
1.2. Situación Administrativa del Acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA	5
3.1. Provincia Fisiográfica	5
3.2. Clima	5
3.3. Hidrografía	7
3.4. Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA	8
4.1. Estratigrafía	8
4.2. Geología Estructural	11
4.3. Geología del Subsuelo	12
5. HIDROGEOLOGÍA	12
5.1. Tipo de Acuífero	12
5.2. Parámetros Hidráulicos	13
5.3. Piezometría	14
5.4. Comportamiento hidráulico	14
5.4.1. Profundidad al Nivel Estático	14
5.4.2. Elevación del Nivel Estático	14
5.4.3. Evolución del Nivel Estático	15
5.5. Hidrogeoquímica y Calidad del Agua	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	18
7.1. Entradas	19
7.1.1. Recarga Vertical (Rv)	20
7.1.2. Recarga Inducida (Ri)	20
7.1.3. Entradas por flujo horizontal	20
7.2. Salidas	22
7.2.1. Evapotranspiración (ETR)	22
7.2.2. Descargas naturales (manantiales, caudal base de ríos)	24
7.2.3. Bombeo (B)	24
7.2.4. Salidas por flujo horizontal (Sh)	24
7.3. Cambio de almacenamiento	25
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1. Recarga total media anual (Rt)	26
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	26
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	26
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	27
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

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 (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, 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 Ónavas, definido con la clave 2647 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción centro-oriental del Estado de Sonora, entre las coordenadas geográficas 28° 20' y 28° 51' de latitud, y 109° 20' y 109° 45' de longitud, cubriendo una superficie de 1405 km². Limita al noroeste con el acuífero de Soyopa, al noreste con el acuífero Río Bacanora, al este con el acuífero Río Tecoripa, al sureste con el acuífero Río Chico y finalmente al sur con el acuífero Cumuripa (figura 1).



Figura 1. Localización del Acuífero

Geopolíticamente cubre parcialmente territorio de los municipios Bacanora, San Javier, Suaqui Grande, Cajeme y Rosario. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 2647 ONAVAS

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	109	19	44.6	28	37	38.6
2	109	19	53.9	28	30	37.6
3	109	27	22.0	28	29	5.8
4	109	26	6.7	28	23	42.9
5	109	36	30.4	28	20	47.4
6	109	39	9.2	28	20	14.5
7	109	44	27.7	28	23	2.1
8	109	43	59.3	28	28	40.5
9	109	39	55.8	28	32	2.3
10	109	43	53.6	28	41	31.9
11	109	36	5.4	28	42	39.3
12	109	32	7.8	28	45	43.7
13	109	29	42.4	28	50	45.2
14	109	25	29.8	28	47	51.0
1	109	19	44.6	28	37	38.6

1.2. Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero de Ónavas pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. Su territorio no se encuentra regido por ningún decreto de veda para aguas subterráneas.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2009), los municipios Suaqui Grande Cajeme se localiza en la zona de disponibilidad 6, Soyopa, Ónavas, San Javier y Bacanora en zona 7, y Rosario pertenece a la zona 8.

Aunque el volumen de extracción es incipiente, el usuario principal del agua es el sector agrícola. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

No existen estudios hidrogeológicos de evaluación realizados en la superficie que cubre el acuífero, ni en la región, ya que se trata de acuíferos intermontanos en los que la extracción del agua subterránea es incipiente y no existe competencia por su uso. Los únicos realizados son con fines de exploración minera. A continuación se hace una breve reseña de estos estudios previos.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ESTADO DE SONORA, realizado por INEGI y Gobierno del Estado de Sonora, 2007,. Contiene información hidrológica general del Estado de Sonora.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI, MÁTAPE, ESTADO DE SONORA, realizado por el Servicio Geológico Mexicano, en convenio con Comisión Nacional del Agua, 2008.. Actualiza el conocimiento hidrogeológico de acuíferos serranos, entre ellos Ónavas, incluyendo actividades de campo para el planteamiento del balance de aguas subterráneas: censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría y pruebas de bombeo.

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. Provincia Fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas propuesta por E. Raisz (1964), el área que comprende el acuífero Ónavas ésta comprendido dentro de la provincia Sierra Madre Occidental. En la subprovincia de sierras y valles. Esta provincia está limitada al oeste con la provincia del Desierto Sonorense, al norte desaparece antes de la frontera con EUA y hacia el Sur con la Meseta Central. Se caracteriza por ser una región de sierras alargadas y angostas, a las que pertenecen las sierras El Aliso y El Encinal, orientadas en dirección noroeste-sureste y separadas por amplios valles intermontanos entre los que destaca el Valle del Río Yaqui.

3.2. Clima

De acuerdo a la clasificación de INEGI (2003), en el acuífero s se pueden diferenciar ocho tipos de climas, los cuales se describen a continuación, en orden de predominancia.

BSo(h')(x'), (**árido, cálido**), temperatura media anual mayor de 22° C, temperatura del mes más frío mayor de 18° C. Lluvias durante todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

BS1hw, (**Semiárido, semicálido**), temperatura media anual mayor de 18° C, temperatura del mes más frío menor de 18° C, temperatura del mes más cálido mayor de 22° C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

BS1(h')(x'), (Semiárido, cálido), temperatura media anual mayor de 22° C, temperatura del mes más frío mayor de 18° C. Lluvias durante todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

(A)C(wo), (Semicálido subhúmedo), temperatura media anual mayor de 18° C, temperatura del mes más frío menor de 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22° C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias en verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

C(wo)x', (Templado, subhúmedo), temperatura media anual entre 12° C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C y temperatura del mes más cálido menor de 22° C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.

C(w1), (Templado, subhúmedo), temperatura media anual entre 12° C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C y temperatura del mes más cálido menor de 22° C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias en verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

(A)C(wo)x', (Semicálido subhúmedo), temperatura media anual mayor de 18° C, temperatura del mes más frío menor de 18° C, temperatura del mes más cálido mayor de 22° C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias en verano, porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2 % del total anual.

C(w1)x', (Templado, subhúmedo), temperatura media anual entre 12° C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C y temperatura del mes más cálido menor de 22° C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual.

El análisis climatológico se realizó con la información de tres estaciones con influencia en el área; cabe mencionar que sólo una de ellas, Ónavas, se ubica dentro de los límites del acuífero; las otras dos, Soyopa y Suaqui Grande, se localizan próximas.

La temperatura media anual en la zona es de 23.8° C, la precipitación media anual es de 615.27 mm/año. El valor de evaporación potencial para la zona de acuerdo con datos obtenidos de las estaciones es de 2660 mm.

3.3. Hidrografía

El acuífero Ónavas tiene a forma irregular con un alargamiento en dirección noreste – suroeste, sus corrientes superficiales son efímeras y estacionales, en periodo de estiaje no existe flujo en los arroyos, mientras que en el Río Yaqui existe un escurrimiento prácticamente continuo debido a la descarga de aguas vertidas por la presa el Novillo. Los principales arroyos afluentes del Río Yaqui dentro del acuífero son El Carrizo, El Capulín, El Carrizal, Los Pilares, Cervantes.

Pertenece a la Región Hidrológica 9, Sonora-Sur (RH-9), cuenca (B), que la integran a su vez las cuencas del Río Mayo, Río Mátape, Río Bacoachi, y Río Yaqui, siendo en éste última en donde se ubica el acuífero (INEGI, 2003).

El área queda comprendida en la vertiente del Pacífico, en la que desemboca el Río Yaqui procedente de Soyopa y, prosigue hacia los municipios de Ónavas, Suaqui Grande, a los que sirve de límite, para posteriormente internarse en Cajeme.

3.4. Geomorfología

La geomorfología del área ésta representada sierras con orientación preferencial noreste-sureste, separadas por valles intermontanos, rellenos por material producto de la erosión de las rocas preexistentes.

En esta región se presentan elevaciones que varían de 200 hasta un poco más de 1400 msnm, entre las que destacan las sierras El Encinal con hasta 1450 msnm, El Carrizal con 1050 msnm y Los Mochomos 1000 msnm. Estos elementos orogénicos están surcados por profundas y estrechas barrancas juveniles que denotan la primera etapa de madurez en el ciclo de erosión fluvial.

En general el drenaje que se presenta es subparalelo y en algunas regiones rectangular, característico de rocas ígneas extrusivas, y radial donde afloran rocas ígneas extrusivas e intrusiva. Se observa en diferentes porciones del acuífero un marcado control estructural del drenaje a través de fallas y fracturas con orientación noroeste-sureste y noreste-suroeste.

4. GEOLOGÍA

Las unidades litológicas que afloran en el acuífero, varían del Paleozoico hasta el Reciente, están representadas por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, las rocas más antiguas afloran en la región norte del acuífero.

Las unidades recientes están compuestas por depósitos conglomeráticos y aluviales alojados en los valles; al noreste y noroeste del acuífero se reporta una serie de pliegues anticlinales y sinclinales en rocas paleozoicas ocasionados por el evento compresivo de la Orogenia Laramide. Estructuralmente el área presenta abundantes fallas normales de orientación noroeste–sureste, las cuales afectan a toda la secuencia estratigráfica, este fallamiento es producto del evento distensivo de Cuencas y Sierras. La distribución de unidades litológicas se observa en la Figura 2.

4.1. Estratigrafía

A continuación se hace una breve descripción de las unidades litológicas, en orden cronológico, de la más antigua a la más reciente.

Secuencia sedimentaria del paleozoico inferior (EmPo Lu-Cz) El Paleozoico Temprano está representado por lutitas, calizas y areniscas con graptolitos y bandas de pedernal con radiolarios. En algunas localidades como en la Sierra La Campanería se presentan en la base de la secuencia, rocas metamórficas constituidas por esquistos, cuarcitas y pizarras, las cuales se consideran dentro de la misma unidad, producto de metamorfismo regional. Los afloramientos más importantes de esta unidad se localizan en El Aliso, El Encinal y La Campanería. Se estima un espesor de hasta 250 m.

Desde el punto de vista geohidrológico, esta unidad presenta un potencial hidrológico medio debido a sus múltiples eventos tectónicos que han sufrido durante el tiempo, que han ocasionado fracturamiento importante, favorecido la disolución de rocas calizas y otros procesos químicos.

Secuencia sedimentaria del Paleozoico Superior (Pdp Cz-Ar). Está representada por rocas sedimentarias marinas principalmente de plataforma, compuestas por calizas masivas, areniscas, limolitas y lutitas, con abundante contenido fosilífero de briozorios, pelecípodos y crinoides, cuyos principales afloramientos se localizan en la Sierra La Campanería.

Araux, S.E. y Vega G.R. (1985) Dividen la secuencia en cuatro unidades informales que de la base a la cima son:

Formación Las Tierras, constituida por calizas masivas, limolitas y areniscas de cuarzo con crinoides, briozorios y moluscos de posible edad Mississípico y espesor total 120 m.

Formación Chubisco, constituida por una alternancia de areniscas y lutitas con crinoides y corales de posible edad Pensilvánico Superior – Pérmico Inferior con un espesor total 500 m.

Formación El Venado, constituida por una alternancia de areniscas, lutitas y calizas con crinoides briozorios y fusilínidos del genero *Parafusilina Sp* del Pérmico Inferior, con un espesor total 480 m.

Formación Mina México, constituida por limolitas intercaladas con algunas capas de areniscas y lutitas de posible edad Pérmico Superior- Triásico?, con un espesor total de 230 m.

Desde el punto de vista geohidrológico esta secuencia representa posibilidades medias de contener agua, debido a su fracturamiento y a que las calizas que pueden sufrir procesos de disolución. En superficie constituyen una excelente zona de recarga.

Secuencia sedimentaria (TRs Ar-Lu y TRs Ar-Cgp). Esta unidad representa facies mixtas de ambientes marinos y palustres, constituidas por areniscas y conglomerados con algunos horizontes de calizas arcillosas y arenosas Stewart y Roldán (1991) midieron un espesor de 3150 m para esta secuencia denominada Grupo Barranca. Wilson y Rocha (1946) consideraron a estas, parte de una serie de cuencas orientadas Este-Oeste, de 110 km., de largo y 40 km de ancho que se extienden hasta el vecino estado de Chihuahua y se encuentran sobreyaciendo discordantemente a la unidad del Paleozoico Superior.

Esta secuencia aflora en la porción este y oeste del acuífero, en la región de El Encinal, San Javier, Tonichi y San Antonio de la Huerta.

El Grupo Barranca ésta dividido en tres formaciones, que de la base a la cima son: Formación Arrayanes, Formación Santa Clara y Formación Coyotes. Esta unidad no representa importancia geohidrológica ya que representa una unidad sello, salvo cuando presenta permeabilidad secundaria por fracturamiento. En superficie funciona como zona de recarga.

Complejo Volcánico Inferior (KsA-Ar, KsA-TA) Después de un hiatus durante el Jurásico aflora en prácticamente toda el área, la unidad del Cretácico Superior que está representado por la Formación Tarahumara (Wilson y Rocha, 1949). Los afloramientos más importantes se presentan en la porción occidental en la Sierra Varilleros y Sierra Sayula, y en la región oriental del acuífero. La Formación Tarahumara consiste de andesitas, aglomerados, tobas andesíticas, con algunos horizontes de areniscas, lutitas, calizas y rocas netamente lávicas como traquitas,

traquiandesitas y dacitas que constituyen secuencias volcánicas y volcanosedimentarias que en conjunto conforman el Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental.

Se presenta fuertemente alterado y tectonizado, por lo que en superficie constituye zonas de recarga al acuífero. Localmente puede constituir acuíferos de muy bajo rendimiento.

Batolito Laramide, intrusivos porfídicos secundarios (Kstpa GrGd, KsTe Gd-D). El trabajo de Damon (1983) definió al Batolito Laramide de Sonora, como todos los plutones de Sonora asociados con la transgresión del arco magmático de la costa hacia el interior del Cretácico Tardío al Eoceno Tardío (90 m.a. a 40 m.a.), el batolito incluye todas las intrusiones calcoalcalinas y granitos de micas.

La forma y distribución de sus afloramientos, está controlado por la erosión y por los eventos tectónicos posteriores a su emplazamiento, principalmente la tectónica de extensión del Terciario Medio y Tardío. En el área los principales afloramientos de estas rocas se encuentran en la porción central en una franja orientada norte – sur, así como al este de Tonichi y San Antonio de la Huerta, en la región de Suaqui Grande, La Dura, El Realito y El Encinal.

Localmente constituye acuíferos de bajo rendimiento, en la su capa superficial alterada y fracturada.

Secuencia Volcánica Acida (ToTR-R). Constituida por tobas riolíticas, ignimbritas, riolitas, aglomerados, riodacitas y pequeños domos de composición riolítica, los afloramientos más importantes de esta unidad se localizan en la porción Este del área, en la Sierra El Dátil y pequeños afloramientos al Este del Rancho La Panzaco. Generalmente forman largas mesetas de orientación noroeste-sureste y pseudoestratificación que buza hacia el noreste y suroeste, formando gran parte del evento volcánico oligo-mioceno que dio lugar a la formación de la Sierra Madre Occidental.

Esta unidad constituye zonas de recarga y localmente forma acuíferos de bajo rendimiento

Formación Báucarit (TmCgP-Ar, Tm Cgp-B). El Mioceno Medio está representado por la Formación Báucarit (King, 1939); estas rocas representan una sedimentación continental ligada a la distensión terciaria del Basin and Range y están constituidas por conglomerados polimícticos y areniscas que en algunos afloramientos se presentan intercaladas con basaltos y andesitas basálticas, los afloramientos de estas rocas se localizan principalmente hacia la porción este, rellenando cuencas terciarias y en las márgenes del Río Yaqui.

La unidad es de baja permeabilidad a impermeable en casi toda la extensión de su afloramiento, sin embargo, localmente puede formar acuíferos de bajo rendimiento.

Formación Lista Blanca (TmTR-A). Sobreyace concordantemente a la Formación Báucarit y aflora localmente en la porción suroeste, al norte de La Dura. Esta formación fue definida por Dumble (1900) y está conformada por tobas riolíticas, andesitas, latitas, andesitas basálticas, basaltos y areniscas tobáceas, asignadas al Mioceno Superior de acuerdo a su posición estratigráfica y dataciones radiométricas en rocas volcánicas de composición latítica (Bartolini, *et al.* 1991) donde se reportan edades próximas a los 10 m.a.

Los acuíferos que forman son de limitada capacidad hidráulica. Cuando presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento, constituye zonas de recarga.

Conglomerados recientes Limos, Arenas y Gravas (Qpt Cgp). Durante el pleistoceno se depositaron nuevos paquetes detríticos de conglomerados polimícticos mal consolidados limos y arenas, representados por la unidad de conglomerados recientes que afloran únicamente en la zona de Ónavas. Estos depósitos se formaron en ambientes continentales y son producto de la erosión de las rocas preexistentes, conforman formando lomeríos de pequeñas dimensiones.

Desde el punto de vista geohidrológico, la unidad granular es la más importante debido a que llega a formar estructuras de abanicos aluviales donde desembocan los arroyos. Sin embargo solo existe una pequeña área dentro del acuífero por lo que su importancia es mínima.

Aluvión Cuaternario (Qhoal). Finalmente en el Holoceno se depositaron sobre las rocas preexistentes materiales de tipo aluvial como gravas, arenas y limos, en forma de abanicos aluviales y fluviales a lo largo del Río Yaqui, así como su planicie de inundación y en otros arroyos existentes. Su espesor y distribución depende del sistema meándrico de los arroyos.

Estos depósitos no están consolidados, carecen de cementante y su permeabilidad varía según los porcentajes de arcilla presente, siendo en general de permeabilidad alta y poco espesor en el área.

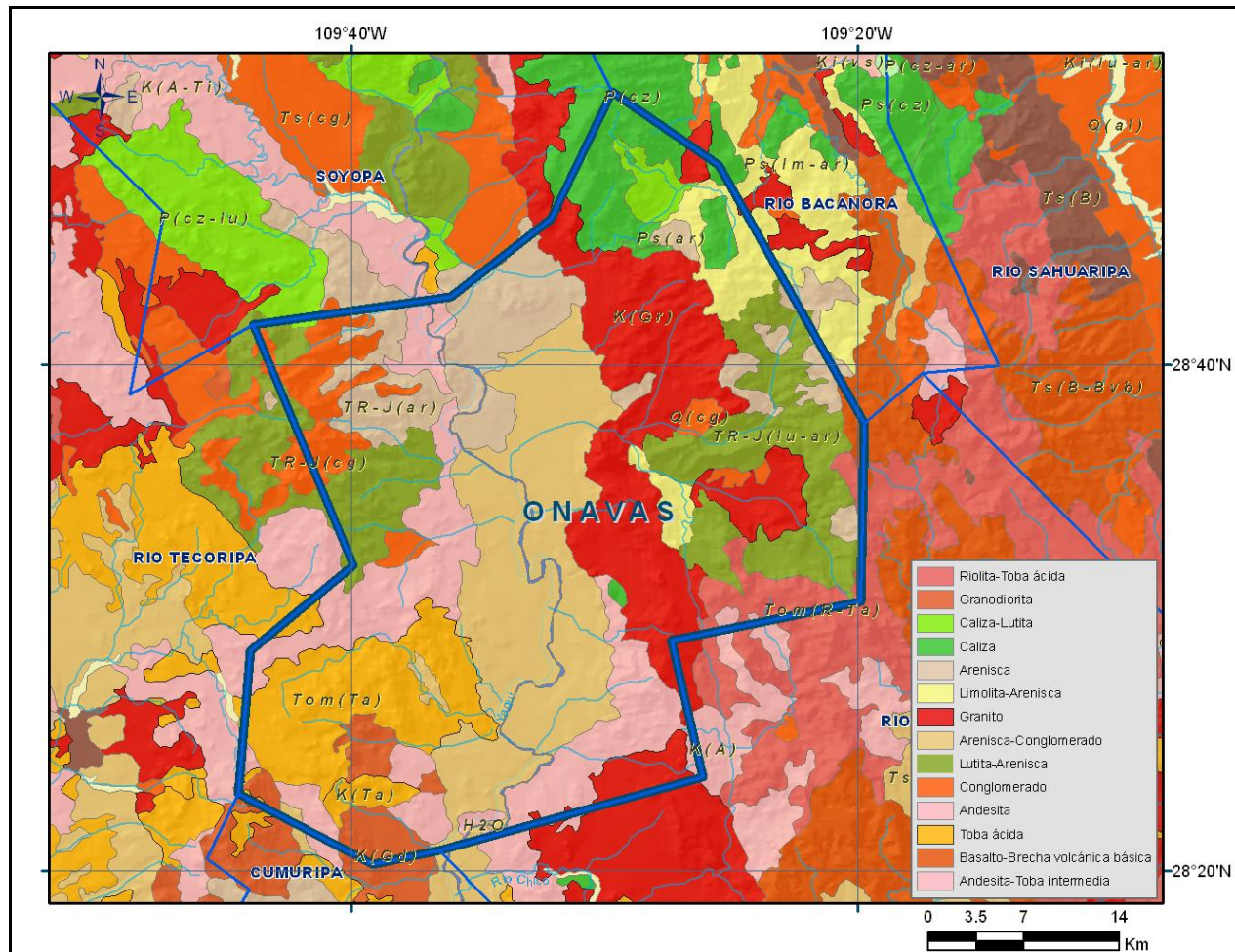


Figura 2. Mapa Geológico

4.2. Geología Estructural

La sucesión de sierras alargadas afectadas por grandes fallas regionales de rumbo preferencial noroeste-sureste y truncados por fallas de orientación noreste-suroeste es la principal característica del área, esto se atribuye al último régimen distensivo del terciario que dislocó las unidades preterciarias borrando gran parte de los eventos tectónicos anteriores.

Existe plegamiento de gran radio de curvatura en la secuencia vulcanosedimentaria del Cretácico Superior, producto de la deformación laramídica. De igual a manera se presentan cabalgaduras de las secuencias paleozoicas sobre las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior.

4.3. Geología del Subsuelo

Con base en la geología superficial, la interpretación de secciones geológicas e interpretación de geofísica del SGM, es posible identificar la presencia de un acuífero que se encuentra alojado en un sistema granular no consolidado de origen aluvial, constituido por depósitos de arenas, intercaladas con limos y arcillas, de espesor y distribución variables que dependen del sistema meándrico de los arroyos, que no constituye una fuente sustentable para abastecimiento. Durante el ciclo estacional, los niveles se abaten por parcial e incluso por completo en algunos aprovechamientos, siendo crítico su almacenamiento durante el estiaje.

Debajo de este paquete aluvial, existe una secuencia volcanoclástica (riolitas, tobas, piroclastos), cuyas permeabilidades varían de baja a media, lo cual genera la posibilidad que el acuífero esté conformado por dos medios, granular y fracturado.

Subyaciendo a esta unidad aluvial se encuentra la secuencia del terciario medio se alojan los depósitos que conforman la Formación Báucarit, relleno de fosas, tales como la de Ónavas y Tonichi. Debajo de ellos se localizan las rocas extrusivas de composición andesítica que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y fallamiento (figura 3). Este representa un acuífero más ampliamente distribuido en la región de estudio, sin embargo el menos conocido y en consecuencia el menos explotado. Su capacidad depende localmente de la permeabilidad secundaria de cada unidad. Debido a su amplia distribución en el área, representa la mayor superficie de recarga.

El basamento y fronteras al flujo subterráneo están constituidos por las rocas graníticas. Sin embargo, su capa superficial alterada constituye acuíferos colgados de bajo rendimiento.



Figura 3. Modelo conceptual de funcionamiento acuífero

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de Acuífero

El acuífero es de tipo libre y se encuentra constituido, en su parte superior, por depósitos granulares no consolidados de origen aluvial, constituidos por arenas, intercaladas con limos y

arcillas, así como conglomerados, cuyo espesor varía de 30 a 50 m; en su parte inferior está constituido por rocas volcánicas fracturadas.

La principal fuente de recarga al acuífero es la infiltración fluvial y el agua de lluvia que se infiltra en las zonas topográficamente altas como son las sierras El Encinal, ubicada al noreste, El Cordón Blanco al este, El Aliso ya La Campanería al norte, El Dátil al sureste. En menor proporción, por infiltración vertical del agua de lluvia que se precipita en el valle. El flujo subterráneo tiene una dirección preferencial norte-sur, que coincide con el escurrimiento del Río Yaqui.

Este acuífero aluvial constituye una de las principales fuentes de abastecimiento para uso público-urbano de los poblados de Ónavas y Tonichi y demás poblaciones de la zona; en una menor proporción, se destina el agua subterránea al uso agrícola que es principalmente para pastizal del ganado.

5.2. Parámetros Hidráulicos

Como parte de las actividades de campo se contempló la realización de pruebas de bombeo, sin embargo dada la infraestructura hidráulica y los reducidos gastos en algunos aprovechamientos no fue posible su ejecución. En aquellos aprovechamientos que contaban con las condiciones de construcción, equipo de bombeo y ubicación favorables no fue posible realizarlas debido a que se localizan dentro del cauce del Río Yaqui.

De acuerdo con la bibliografía, los valores de transmisividad para un acuífero aluvial son del orden de **100 a 500 m²/día**, en tanto que para el acuífero en medio fracturado (Formación Báucarit y Complejo Volcánico Inferior) es del orden de **10 a 100 m²/día**.

Los valores promedio de T y K para el acuífero granular son **1.62 x10⁻³ m²/s y 5.78x10⁻⁵ m/s**; en tanto que para el medio fracturado son de **6.36 x10⁻³ m²/s y 8.68 x10⁻⁶ m/s**. Los valores más altos de estos parámetros hidráulicos se registran en los aprovechamientos ubicados en las inmediaciones del Río Yaqui.

Cabe mencionar que para determinar el valor de salidas horizontales fue utilizada una transmisividad de **1.62 x 10⁻³ m²/s**. Este valor es mayor a los utilizados para el cálculo de entradas horizontales ya que la celda de salida está ubicada en la planicie de inundación del Río Yaqui, conformada por sedimentos de granulometría más gruesa.

5.3. Piezometría

De manera paralela al censo de aprovechamientos elaborado en 2008, se llevaron a cabo mediciones de lecturas piezométricas en 45 aprovechamientos, la mayoría de ellos norias, durante el periodo marzo a abril del mismo año.

En la zona del acuífero las lecturas piezométricas muestran dos tipos de comportamiento, para lograr un ordenamiento práctico de la información se distinguió entre los diferentes niveles, tanto norias o pozos con niveles someros como pozos profundos que captan y reflejan el comportamiento del acuífero, distinguiéndose el medio aluvial del fracturado.

5.4. Comportamiento hidráulico

Existen dos principales zonas de recarga, una ubicada al noreste proveniente de rocas volcánicas y sedimentarias, y otra en la zona suroeste. Ambas reciben agua que se infiltra en las zonas topográficamente más altas que presentan permeabilidad media a baja. De manera difusa, se produce la infiltración de la lluvia sobre el valle y sobre el cauce del Río Yaqui. La descarga natural del acuífero se produce mediante flujo subterráneo hacia el Acuífero vecino Cumuripa.

5.4.1. Profundidad al Nivel Estático

La profundidad al nivel estático para el acuífero varía de 1 a 36 m, encontrándose los valores más profundos hacia las estribaciones de la sierra granítica, en las inmediaciones de los ranchos Los Difuntos y El Tecolote, y las profundidades someras influenciadas por el Río Yaqui, que son del orden de 1 a 5 m. (Figura 4).

Los valores de profundidad al nivel del agua subterránea se incrementan de la zona aledaña al cauce del Río Yaqui hacia las partes topográficamente más altas. Al noreste del acuífero y en la región central se presentan profundidades someras de 1 a 7 m, dentro de la unidad granítica que forma acuíferos colgados dentro de esta unidad.

5.4.2. Elevación del Nivel Estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para 2008 (Figura 5) presenta elevaciones que varían de 110 hasta 680 msnm. Elevaciones de 330 a 680 msnm se presentan hacia las zonas topográficamente más altas, alejadas de la influencia del río principal, mientras que en el valle del río Yaqui se registran las menores elevación de 110 hasta 220 msnm. De

esta manera es posible identificar que la dirección de flujo subterráneo muestra una trayectoria preferencial norte-sur, con alimentaciones laterales provenientes de las sierras que delimitan el valle.

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. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en estudios previos se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra 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.

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.

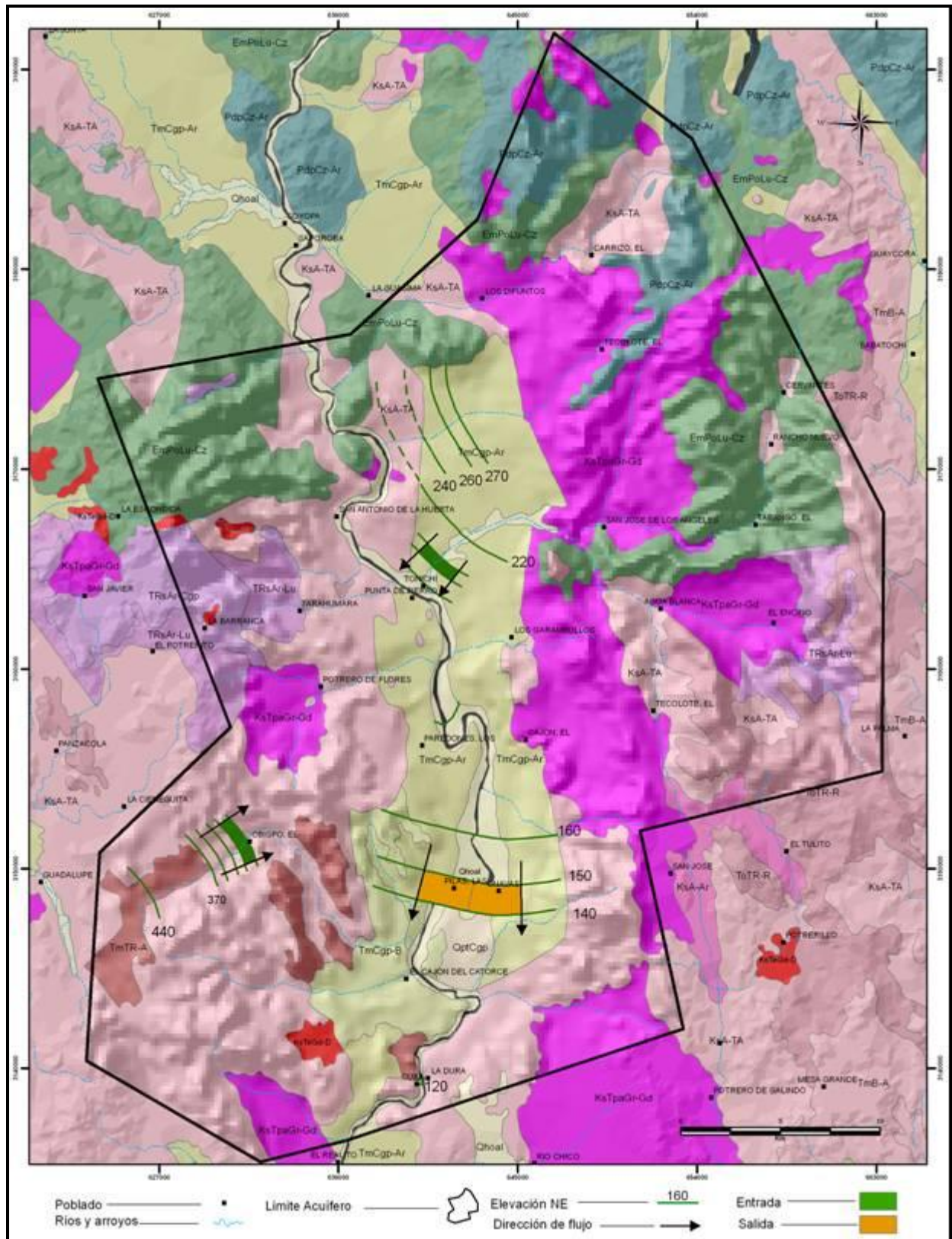


Figura 5. Elevación del nivel estático en m (2008)

5.5. Hidrogeoquímica y Calidad del Agua

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2008, se tomaron muestras de agua en 38 aprovechamientos de aguas subterráneas para su análisis físico-químico correspondiente, 31 norias y 5 pozos y 2 manantiales. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis físicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) no superan las 1000 mg/l, por lo que el agua es de buena calidad, apta para el consumo humano y para todo uso. Sin embargo, hacia las localidades de El Potrero de Flores y Rancho La Nopalera, se han identificado fuentes puntuales de contaminación, posiblemente asociadas a la descarga de aguas residuales.

La familia del agua predominante es bicarbonatada-cálcica que representa agua de reciente infiltración, con tiempos cortos de residencia.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al censo realizado en el 2008, se registraron un total 45 captaciones del agua subterránea, de las cuales 10 corresponden a pozos y 33 a norias y 2 manantiales. Del total de obras 35 están activos y 10 inactivos.

Del total de aprovechamientos, 5 (11.1 %) se destinan al uso agrícola, 5 más (11.1 %) al abastecimiento de agua potable, 1 más (2.2 %) para uso doméstico, y 24 al uso pecuario (53.4%). Los 10 restantes (22.2 %) que se encuentran fuera de uso.

El volumen de extracción conjunto se estimó en 1.9 hm³ anuales, de los cuales 1.5 hm³ (79 %) para uso agrícola, 0.2 hm³ (10.5%) se destinan al abastecimiento de agua potable a los centros de población, y los 0.2 hm³ restantes (10.5%) para usos pecuario y doméstico-abrevadero.

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 en

una superficie de **257 km²**, que corresponde a la zona donde se localizan la mayor parte de 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 quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

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

De esta manera, la ecuación de balance propuesta es la siguiente

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

Donde:

- R_v:** Recarga vertical
- E_h:** Entradas por flujo horizontal
- R_i:** Recarga inducida
- B:** Bombeo
- S_h:** Salidas por flujo horizontal
- D_n:** Descargas naturales
- ETR:** Evapotranspiración real
- ΔV(S):** Cambio en el volumen almacenado

7.1. Entradas

Representa la sumatoria de entradas de agua al sistema acuífero, ya sean naturales o inducidas. De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R_t) está integrada por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos (R_v), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (R_r).

7.1.1. Recarga Vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que el cambio de almacenamiento (ΔV) fue estimado a partir de la sobreposición de configuraciones del nivel estático, y a que se tiene información para calcular las entradas y salidas por flujo subterráneo con base en la Ley de Darcy, el valor de la recarga vertical fue despejado de la ecuación de balance definida por la siguiente expresión.

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h + D_n + ETR - \Delta V(S) - E_h - R_i \quad \text{-----} \quad (2)$$

7.1.2. Recarga Inducida (Ri)

Representa la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, ya que es esta región no existen centros de población importantes, que estén ocasionando fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje.

No existe información de superficies y tipo de cultivo para estimar los retornos de riego en las áreas agrícolas. Sin embargo, debido a que no existen sistemas de uso eficiente del agua, se considera que un 20% del volumen destinado al uso agrícola es el excedente de riego que retorna al acuífero.

De esta manera, tomando el cuenta que el volumen para uso agrícola es de 1.5 hm^3 anuales, la recarga inducida es del orden de los **0.3 hm^3 anuales**.

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:

$$A = B \cdot a$$

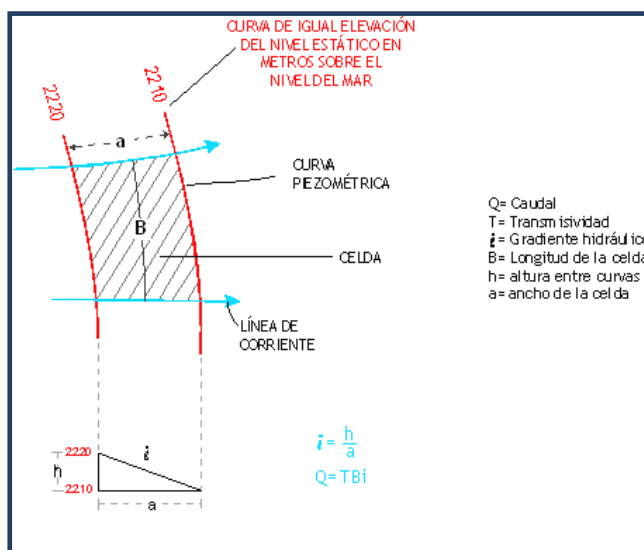
Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

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:

$$T = K b$$

De acuerdo con el plano de elevación del nivel estático, se identificaron celdas de entrada en las porciones centro y suroeste del acuífero (Figura 5) Para la estimación se utilizaron valores promedio de transmisividad: $1.51 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ($130 \text{ m}^2/\text{día}$), para el acuífero aluvial, y $6.36 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ($55 \text{ m}^2/\text{día}$) para el medio fracturado.

Como resultado del análisis de celdas de flujo se obtuvo un valor de **3.3 hm³/año** que representa las entradas horizontales dentro del área de balance definida en el valle (tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de entradas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q	VOLUMEN
			(m)		(m^2/s)	(m^3/s)	($\text{hm}^3/\text{año}$)
E1	2204	578	10	0.0173	0.0015	0.0572	1.8
E2	2442	584	10	0.0171	0.0006	0.0263	0.8
E3	2534	790	10	0.0127	0.0006	0.0202	0.6
Total entradas							3.3

7.2. Salidas

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el sistema acuífero. Para el acuífero Ónavas las descargas están representadas por el bombeo (B), evapotranspiración (ETR), Descarga natural por flujo base (Dn) y salidas horizontales (Sh).

7.2.1. Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

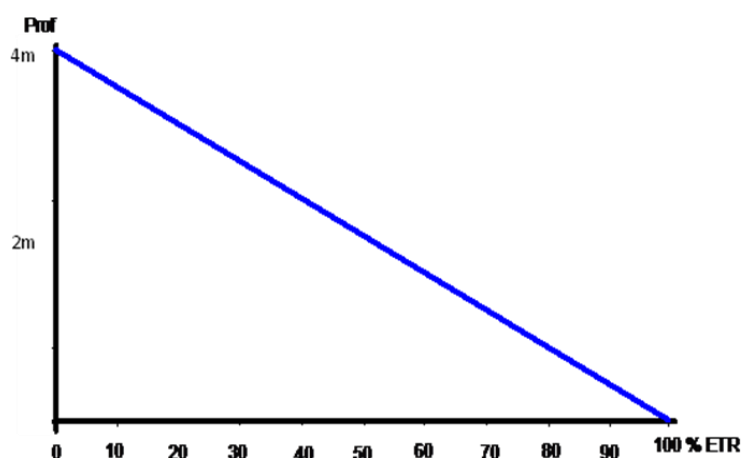
Existe una pequeña zona dentro del área de balance donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 5 m de profundidad, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de las plantas. Se aplicó la fórmula de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración real es

de 599.4 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 23.8 y precipitación de 615.3 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) =	23.8		
P(mm) =	615.3	P ² =	378594.09
L =	1569.0636	L ² =	2461960.6
ETR (mm)	599.4		

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 4 m, bajo el siguiente proceso: En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 4 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 4 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 4 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 2 m el 50%, etc.



Considerando esto se elaboró la tabla 3, en la que se puede observar que el valor de la evapotranspiración asciende a **2.5 hm³ anuales**

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	3.7	0.625	0.599	1.4
2 a 3	2.5	3.5	0.375	0.599	0.8
3 a 4	3.5	4.1	0.125	0.599	0.3
Total					2.5

7.2.2. Descargas naturales de manantiales, caudal base de ríos (Dn)

En la zona del acuífero no existen manantiales perennes, lagos, por lo que este valor se desprecia para el cálculo de balance de aguas subterráneas.

7.2.3. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el volumen total anual de extracción de agua subterránea asciende a **1.9 hm³/año**.

7.2.4. Salidas por flujo horizontal (Sh)

El volumen de las salidas subterráneas se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, tomando en cuenta la elevación del nivel estático mostrada en la figura 6 y a través de la Ley de Darcy. En la Tabla 4, se muestra el cálculo de salidas subterráneas; **1.7 hm³/año**, hacia el acuífero Cumuripa. La celda utilizada se observa en la Figura 5.

Tabla 4. Estimación de salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q	VOLUMEN
			(m)		(m ² /s)	(m ³ /s)	(hm ³ /año)
S1	5052	1515	10	0.0066	0.0016	0.0540	1.7
Total salidas							1.7

Cabe mencionar que para determinar el valor de salidas horizontales se utilizó una transmisividad de $1.62 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Este valor es mayor a los utilizados para el cálculo de entradas horizontales ya que la celda de salida está ubicada en la planicie de inundación del Río Yaqui, conformada por sedimentos de granulometría más gruesa.

7.3. Cambio de almacenamiento

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes de estudios previos se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por otra parte, la configuración de elevación del nivel estático no muestra aún la presencia de conos de abatimiento o deformaciones de la dirección natural del flujo subterráneo, que sean ocasionados por la concentración del bombeo o de aprovechamientos.

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.

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

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración por lluvia (R_v), por lo que despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

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

Sustituyendo valores:

$$R_v = 1.9 + 1.7 + 2.5 - 0 - 3.3 - 0.3$$

$$R_v = 2.5 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R_t = 2.5 + 3.3 + 0.3$$

$$R_t = 6.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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 establece 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:

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

Donde:

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

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 al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **6.1 hm³/año**, de los cuales 5.8 corresponden a la recarga natural y los 0.3 hm³ restantes corresponden a la recarga inducida por los excedentes agrícolas.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes.

Para el acuífero Ónavas se consideró que el valor de la descarga natural comprometida al 30 % del valor de la evapotranspiración, que debe comprometerse para preservar el ecosistema, resultando **0.8 hm³/año**, más **1.7 hm³/año** de salidas horizontales al acuífero Cumiripa. Resultando un valor de **2.5 hm³/año**

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 (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al 31 de marzo de 2009, es de **375,621 m³/año**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (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 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 REPDA.

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

$$\text{DAS} = 6.1 - 2.5 - 0.375621$$

$$\text{DAS} = 3.224379 \text{ hm}^3/\text{año}$$

La cifra indica que existe un volumen adicional de **3'224,379 m³/año** anuales para otorgar nuevas concesiones.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que el valor sea mayor, sin embargo, no es posible en este momento incluir en el 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. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo en pozos cercanos a los piedemonte, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comisión Nacional del Agua, 1994. Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, México, Distrito Federal.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Estudio Geohidrológico del Estado de Sonora.

Servicio Geológico Mexicano, 2007. Estudio Geohidrológico del Acuífero Río Sahuaripa. Convenio de Colaboración con Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca del Noroeste.

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