

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO NÁCORI CHICO (2655), ESTADO DE
SONORA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes	2
	1.1 Localización	2
	1.2 Situación administrativa del acuífero	5
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3	FISIOGRAFÍA.....	6
	3.1 Provincia Fisiográfica.....	6
	3.2 Clima	6
	3.3 Hidrografía.....	6
	3.4 Geomorfología.....	7
4	GEOLOGÍA.....	8
	4.1 Estratigrafía	8
	4.2 Geología estructural	14
	4.3 Geología del subsuelo.....	14
5	HIDROGEOLOGÍA.....	15
	5.1 Tipo de acuífero.....	15
	5.2 Parámetros hidráulicos	16
	5.3 Piezometría.....	16
	5.4 Comportamiento hidráulico.....	16
	5.4.1 Profundidad al nivel estático	17
	5.4.2 Elevación del nivel estático	18
	5.4.3 Evolución del nivel estático.....	19
	5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua	20
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	20
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
	7.1 Entradas.....	21
	7.1.1 Recarga vertical (Rv)	22
	7.2 Salidas	24
	7.2.1 Evapotranspiración real (ETR)	24
	7.3 Cambio de Almacenamiento $\Delta V(S)$	26
8	DISPONIBILIDAD	27
	8.1 Recarga Total Media Anual (R)	28
	8.2 Descarga Natural Comprometida (DNC)	28
	8.3 Volumen de extracción de Aguas Subterráneas (VEAS)	28
	8.4 Disponibilidad de Aguas Subterráneas (DMA)	28
9	BIBLIOGRAFÍA	30

1 GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

1.1 Localización

El acuífero Nácori Chico definido con la clave 2655 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-oriental del Estado de Sonora, así como en la región centro-occidental del Estado de Chihuahua, entre las coordenadas 27°59'59" y 30°5'42" de latitud y 107°31'12" y 109°24' 55" de longitud. Comprende una superficie de 13,912 km². Limita al norte con los acuíferos Bacadéhuachi y Río Bavispe, del estado de Sonora y La Norteña e Ignacio Zaragoza del estado de Chihuahua; al sur y sureste con los acuíferos Río Sahuaripa, Yécora y San Bernardo, del estado de Sonora, y Carichi-Nonoava del estado de Chihuahua; al oeste con el acuífero Río Moctezuma y al este con acuíferos pertenecientes al Estado de Chihuahua (figura 1).

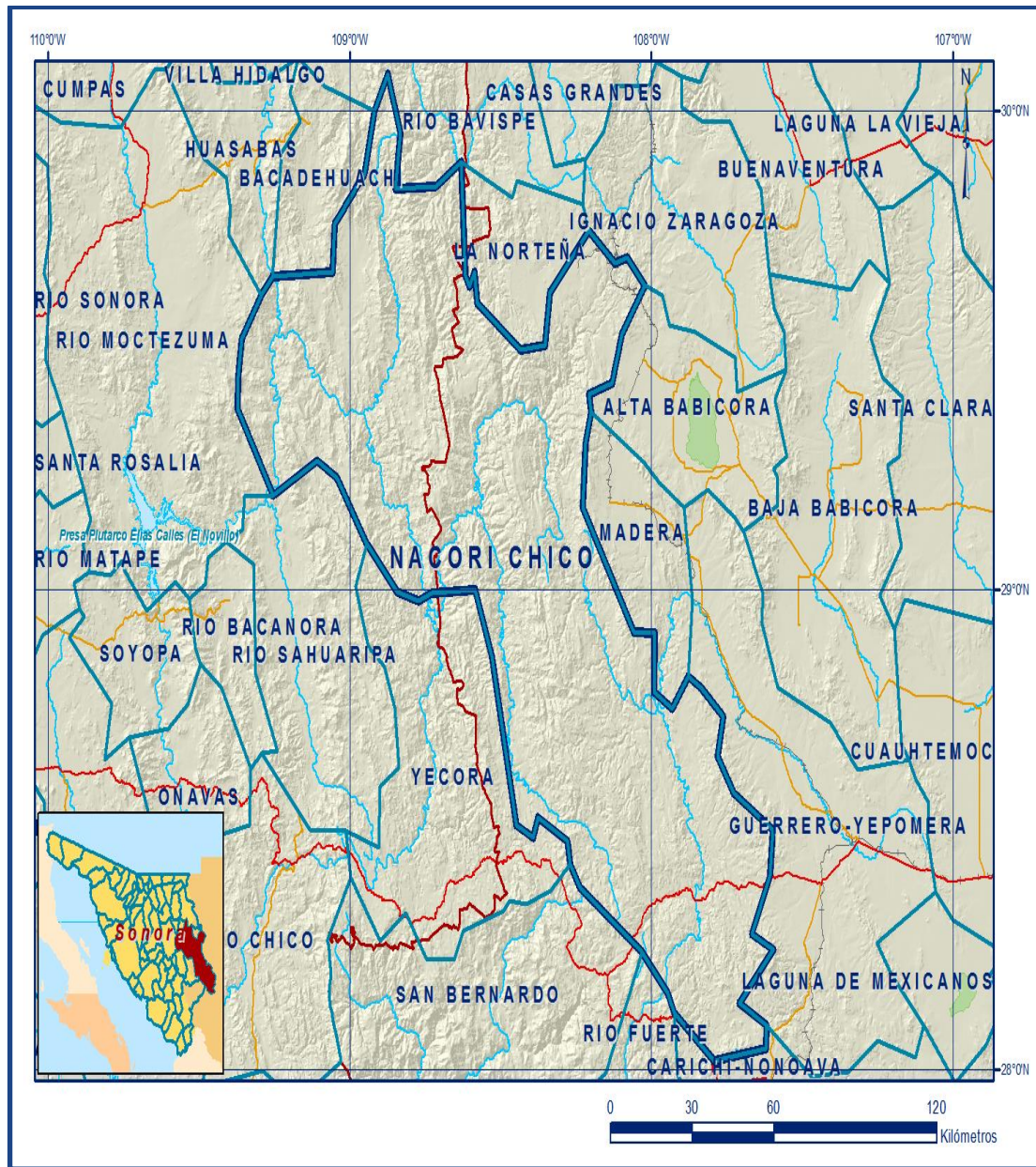


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente cubre parcialmente territorio de los municipios de Bacadéhuachi, Sahuaripa, Nácori Chico, Divisaderos y Tepache, en el estado de Sonora, Madera, Temósachi, Guerrero, Matachi, Ocampo y Bocoyna, en el estado de Chihuahua.

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

ACUÍFERO 2655 NACORI CHICO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	10 8	52	25.6	30	4	35.8
2	10 8	49	56.0	29	57	10.4
3	10 8	50	56.5	29	50	11.5
4	10 8	42	50.4	29	50	30.2
5	10 8	37	54.2	29	53	32.8
6	10 8	36	58.1	29	39	22.4
7	10 8	36	12.5	29	38	2.8
8	10 8	35	14.2	29	39	46.7
9	10 8	34	39.8	29	35	57.0
10	10 8	26	5.7	29	30	1.5
11	10 8	21	14.2	29	30	41.6
12	10 8	20	11.3	29	37	15.1
13	10 8	12	27.9	29	44	58.0
14	10 8	7	18.6	29	40	57.7
15	10 8	4	47.8	29	41	40.3
16	10 8	1	19.0	29	38	7.6
17	10 8	5	53.4	29	31	57.7
18	10 8	7	50.0	29	25	51.4
19	10 8	12	23.7	29	24	31.6
20	10 8	12	3.0	29	22	18.0
21	10 8	13	9.3	29	18	27.9
22	10 8	13	43.5	29	10	25.1
23	10 8	3	34.0	28	54	51.1
24	10 7	59	24.3	28	54	41.0
25	10 7	59	34.5	28	47	17.4
26	10 7	55	51.0	28	45	11.4
27	10 7	52	45.0	28	49	13.0
28	10 7	50	11.8	28	47	54.2
29	10 7	45	42.3	28	44	12.2
30	10 7	46	51.1	28	39	15.4
31	10 7	43	36.7	28	34	35.0
32	10 7	35	55.1	28	30	3.4
33	10 7	36	28.1	28	24	19.9
34	10 7	40	0.0	28	16	59.1
35	10 7	35	46.3	28	15	4.9
36	10 7	42	35.6	28	8	21.7
37	10 7	37	7.3	28	5	34.6
38	10 7	37	16.2	28	2	38.5
39	10 7	47	35.9	28	1	7.2
40	10 7	55	31.2	28	7	5.6
41	10 7	56	46.2	28	9	27.5
42	10 8	1	52.5	28	14	43.6
43	10 8	14	13.3	28	22	47.6
44	10 8	16	9.5	28	25	43.1
45	10 8	16	42.4	28	28	41.0
46	10 8	22	38.3	28	31	36.2
47	10 8	23	35.8	28	29	2.9
48	10 8	26	50.1	28	30	33.3
49	10 8	31	45.8	28	51	40.9
50	10 8	35	8.4	29	0	1.9
51	10 8	43	40.4	28	59	40.0
52	10 8	46	21.9	28	58	37.0
53	10 8	50	28.3	28	59	45.4
54	10 8	56	37.9	29	5	49.6
55	10 9	2	32.7	29	14	4.0
56	10 9	6	33.4	29	16	7.8
57	10 9	15	18.4	29	11	55.5
58	10 9	22	17.1	29	22	47.3
59	10 9	22	14.3	29	26	42.3
60	10 9	21	31.0	29	31	31.1
61	10 9	17	39.8	29	36	54.5
62	10 9	15	22.0	29	39	16.3
63	10 9	3	23.2	29	39	48.2
64	10 9	2	57.0	29	45	45.4
65	10 8	56	59.8	29	52	14.1
66	10 8	55	5.7	29	59	59.5
1	10 8	52	25.6	30	4	35.8

1.2 Situación administrativa del acuífero

El Acuífero Nácori Chico pertenece al Organismo de Cuenca Noroeste. La mayor parte de su superficie no se encuentra sujeta a las disposiciones del “Decreto que establece veda por tiempo indefinido. Para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona conocida como región de Cuauhtémoc, del Estado de Chihuahua”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de octubre de 1967. De tipo III en el que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

Aunque el volumen de extracción es incipiente, los usos principales son el pecuario y el 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

En el área que comprende el acuífero Nácori Chico se han realizado numerosos estudios de investigación geológica y de exploración minera. Con respecto a estudios hidrogeológicos se han desarrollado algunos a escala regional, de los cuales a continuación se citan los más importantes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ESTADO DE SONORA, PUBLICADO POR EL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA.

Este informe hace referencia a las características hidrológicas generales de los acuíferos que existen en el Estado de Sonora.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO YAQUI, MÁTAPE, ESTADO DE SONORA. SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, EN CONVENIO CON COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2008.

En este estudio se actualiza el conocimiento hidrogeológico de acuíferos serranos del Estado de Sonora, entre ellos Nácori Chico, se lleva a cabo un censo de aprovechamientos, piezometría e hidrometría.

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.

Adicionalmente para la descripción del marco geológico regional y local, se consultaron los informes técnicos de las cartas geológicas elaborados por el extinto Consejo de Recursos Minerales (ahora Servicio Geológico Mexicano).

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

El acuífero se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Cañadas del Norte, que se caracteriza por la presencia de sierras orientadas preferentemente en dirección noroeste-sureste, norte-sur y noreste-suroeste, cuya altitud topográfica supera a los 2000 m, entre las cuales se localizan de manera aislada pequeños valles intermontanos (INEGI, 1993).

La zona está representada por rocas sedimentarias y volcánicas que afloran en sierras de topografía abrupta, mientras que los valles se encuentran cubiertos por conglomerados del Cuaternario y los depósitos de la Formación Báucarit.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen Modificada por E. García (1981), en la zona, debido a su accidentada topografía, se presenta una amplia variedad de tipos de clima, semiáridos, semifríos y templados. La variedad de climas que se registra en la zona tiene características generales que son similares, como es el caso de una temperatura media anual que varía de 12 a 24° C, con temperaturas medias mínimas del orden de -3 a 18° C y medias máximas que varían entre 22 a 30° C.

El análisis climatológico se realizó con base en los datos de 6 estaciones climatológicas con influencia en la zona, ya que todas se encuentran fuera de los límites del acuífero, en las comunidades Tepache, Aribabi, Bacadéhuachi y Arivechi (en Sonora), mientras que en el Estado de Chihuahua se utilizaron datos de las estaciones ubicadas en Madera y Basaseachic. La temperatura media anual en el acuífero de 15.81° C, el valor de precipitación medio anual representativo del acuífero es de 727 mm, se estima que la evaporación potencial es de 1,725 mm/año.

3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra ubicado dentro de la Región Hidrológica 9, Sonora Sur (RH-9), la cual ocupa la mayor superficie en el Estado de Sonora (63%), extendiéndose principalmente en su porción oriental, desde Agua Prieta hasta la comunidad Yavaros, prolongándose al extremo occidente del Estado de Chihuahua.

Tiene un relieve con fuertes contrastes altimétricos, la mayoría de sus corrientes nacen en la Sierra Madre Occidental y la integran las siguientes cuencas: Río Mayo, Río Yaqui, Río Mátape, Río Sonora y Río Bacoachi. Cabe mencionar que el acuífero pertenece a la Cuenca del Río Yaqui.

El Río Yaqui es el aprovechamiento superficial más importante de la Cuenca Río Yaqui, éste nace de la unión de los ríos Bavispe y Aros, cuyo recorrido pasa por la zona oriente del acuífero Nácori Chico. A partir de esta confluencia hasta su desembocadura en el Golfo de California conserva una pendiente media de 0.11% (INEGI, 1993). Debido a la localización del acuífero en la parte serrana, existe un gran número de escurrimientos superficiales: Río Nácori Chico, Río Bonito, El Pedregoso, El Porvenir, El Purgatorio, Río Chico y La Junta, además de innumerables arroyos de tipo intermitente, entre los cuales destacan: Arroyo Agua Caliente, Mochopa y La Cueva.

Debido a la topografía abrupta de la superficie que comprende el acuífero, no existe infraestructura hidráulica para el almacenamiento del agua superficial. Sólo existe la Presa Adolfo de la Huerta, que tiene una capacidad máxima de 3.0 hm³ y 9.8 km de canales revestidos para el beneficio de 244 hectáreas. Las obras de captación de agua subterránea se restringen a pozos y norias que aprovechan los niveles freáticos someros.

3.4 Geomorfología

La geomorfología del área corresponde al ciclo de juventud avanzada, que se denota por las reducidas distancias de una elevación a otra. Predomina un sistema orográfico típicamente montañoso, de grandes desniveles, drenaje superficial con pendientes altas y valles estrechos en forma de garganta.

Se presentan elevaciones que varían de 400 hasta los 3000 msnm, donde valores máximos se registran en la parte sureste del acuífero, en el Cerro Ojo La Yegüa, perteneciente a la Sierra Gasachic. Al occidente del área se localiza la Sierra Los Ciriales, con altitudes máximas de 2300 msnm. Las elevaciones disminuyen conforme se avanza hacia el sur del acuífero.

El tipo de drenaje predominante en la zona es de tipo dendrítico, aunque existe también drenaje de tipo anular, como es el caso del Río Aros, el cual rodea la Sierra Zetasora, y al sur la Sierra Ciénega San Jorge. Cabe mencionar que el Río Yaqui que es una corriente perenne, en la cual es común observar la formación de numerosos meandros, lo cual evidencia el ciclo de juventud del área.

4 GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

En el área afloran unidades que van desde el Proterozoico Medio hasta el Holoceno, representadas por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (figura 2).

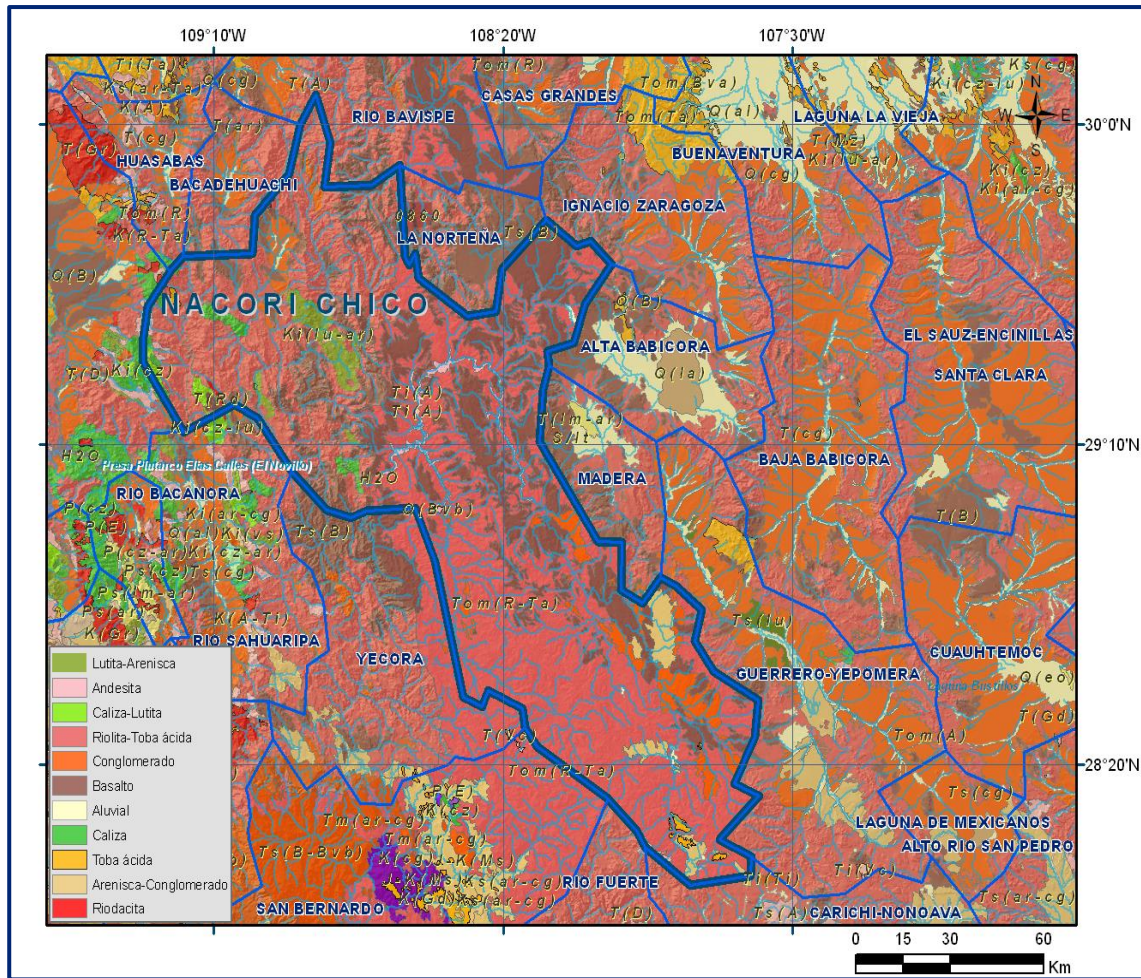


Figura 2. Mapa geológico del acuífero

A continuación, se hace una breve descripción de las unidades litológicas que afloran en la zona. Dada la diversidad de unidades, fueron homologadas y agrupadas de acuerdo a su edad y génesis.

A fin de consultar particularidades sobre las unidades, se recomienda al lector consultar los informes geológico mineros de las cartas Nacozari, Madera, Tecoripa, Casas Grandes, Buenaventura y Chihuahua, a escala 1:250,000, editadas por el extinto Consejo de Recursos Minerales, ahora Servicio Geológico Mexicano.

PRECÁMBRICO

Granito, gneis (pTm(?)Gr-Gn). Son las rocas más antiguas del área, afloran en la región sureste, en el Arroyo Santa María y al este de la comunidad La Nopalera en el municipio de Morís. Se trata de rocas intrusivas y metamórficas, las cuales por su composición y estructura se caracterizan por ser impermeables, por lo cual operan como basamento hidrogeológico.

Areniscas, Dolomías (pTsAr-Do). Se trata de rocas precámbricas que afloran al occidente y sur, específicamente en las sierras Chiltepín y San Ignacio. Son areniscas de cuarzo, calizas, dolomías, areniscas calcáreas y en menor proporción conglomerados y lutitas, que en conjunto pueden presentar un espesor de aproximadamente 200 m. Su permeabilidad es considerada de baja a nula, por la presencia de rocas compactas y lutitas.

Por su litología, compactación y escaso fracturamiento, presenta muy baja permeabilidad; junto con la unidad anterior, se consideran el basamento hidrogeológico del acuífero.

PALEOZOICO

Secuencia Sedimentaria del Paleozoico Inferior (Em PoLu-Cz). Se trata de una secuencia de lutitas y calizas gruesas con intercalaciones de cuarcitas, que a su vez contienen estratos delgados de lutitas.

La unidad se encuentra afectada por cuerpos intrusivos graníticos, aflora principalmente en la Sierra El Encinal, al oriente del acuífero, con un espesor aproximado a 250 m. La permeabilidad de la secuencia es de baja a nula, debido por el contenido de lutitas.

Secuencia Sedimentaria del Paleozoico Superior (Pdp Cz-Ar). Constituida por calizas de plataforma, con alto contenido de fósiles: corales, crinoides y fusulínidos, con intercalaciones de areniscas, lutitas y calcoarenitas. Afloran en la Sierra San Lorenzo, donde se observa subyaciendo discordantemente a rocas volcanosedimentarias del Cretácico Superior.

Por su alto grado de compactación y presencia de fracturamiento relleno por materiales secundarios, presenta una permeabilidad que varía de baja a nula.

TRIÁSICO

Secuencia Sedimentaria del Triásico Superior (TRSAr-Lu). Conjunto de rocas sedimentarias representadas por lutitas, areniscas y conglomerados; generalmente se presentan en estratos gruesos y masivos; algunas veces contienen laminaciones internas y estratificación cruzada.

La secuencia tiene su principal afloramiento en el extremo occidente del acuífero, en la Sierra El Encino. En referencia a su permeabilidad, por el contenido de lutitas y alto grado de compactación de las areniscas, la secuencia tiene una permeabilidad baja.

JURÁSICO

Secuencia Metasedimentaria Jurásica (Js(?)Mar-MLu). Su distribución se limita al sur del área, fuera de los límites del acuífero, se trata de extensos afloramientos ubicados al noreste y suroeste de la comunidad Moris.

Compuesta por areniscas de cuarzo (cuarcitas) y lutitas metamorfoseadas, en la que los niveles de cuarcitas se observan en la base de la secuencia, mientras que las lutitas y niveles conglomeráticos con metamorfismo incipiente; se observan escasos horizontes de rocas volcánicas intermedias. El espesor de la secuencia es del orden de 1000 m. Por su alto grado de compactación y escaso fracturamiento, la secuencia tiene una permeabilidad que varía de baja a nula.

Secuencia Volcanosedimentaria Jurásica (JsVs). Aflora en la porción centro norte del acuífero, así como al poniente de la comunidad Arivechi y noreste de Moris. Se trata de una secuencia compuesta por areniscas, calizas, lutitas, aglomerados y andesitas, con un espesor máximo de 3700 m. La permeabilidad de la secuencia varía de media a baja, en función de las unidades aflorantes y de su grado de fracturamiento.

Conglomerado Glance (JsKiCgp-Ar). Esta unidad forma parte del Grupo Bisbee, el cual engloba cuatro formaciones: Conglomerado Glance, Morita, Caliza Mural y Cintura. El Conglomerado Glance es una secuencia de rocas conglomeráticas que afloran al oriente de la comunidad Arivechi, formando los cerros Zoropuchi, La Bebelama y Las Conchas. Está constituido por conglomerados polimícticos poco rodados con algunos horizontes de areniscas, presenta una coloración que varía de gris morado a café rosado-rojizo con cantos de intrusivos, esquistos precámbricos y en menor proporción, rocas volcánicas jurásicas, cuarcitas y calizas paleozoicas. Por su grado de compactación se le asigna una permeabilidad predominantemente baja, aunque ocasionalmente se puede incrementar por fracturamiento.

CRETÁCICO

Grupo Bisbee (KiCz-Ar, Ki(?)Lu-Ar, Kapa Lu-Ar y Kapa Cz-Lu). Se trata de varias formaciones sedimentarias de origen marino, referidas en el párrafo anterior. La unidad se compone de calizas masivas, así como calizas intercaladas con lutitas y areniscas de grano fino.

Sus afloramientos principales se concentran al oriente de las comunidades Sahuaripa y Arivechi (Sierra La Madera), en los alrededores de las comunidades Los Alisos (Sierra Los Chinos), Natora y Agua Amarilla y en las sierras Las Guijas y Los Azules.

Por su contenido de lutitas y areniscas de grano fino, a la unidad se le asigna una permeabilidad baja.

Complejo Volcánico Inferior (KsTeR-TR, KsA-Ar, KsA-Tq, KsA-TA y TeoA-TA). El Complejo Volcánico Inferior está representado por la Formación Tarahumara, la cual está formada por rocas volcánicas de composición andesítica, dacítica y volcanosedimentarias, con un espesor máximo de 1500 m. Sus afloramientos se encuentran ampliamente distribuidos al poniente y al sur, en los municipios Moris y Ocampo. Se presenta fuertemente alterado y tectonizado, por lo que en superficie constituye zonas de recarga al acuífero. Localmente puede constituir acuíferos de bajo rendimiento.

ROCAS MESOZOICAS-CENOZOICAS

Batolito Laramide e Intrusivos Porfídicos Secundarios (KsTpaGr-Gd, KsTeGd-D, ToPR, ToPA, ToPMz, TopTq, TmPqMz). El Batolito Laramide se refiere a intrusivos cretácicos de composición granítico-granodiorítica, cuya forma y distribución está controlada por la erosión y eventos tectónicos posteriores. Los afloramientos más representativos se ubican en el extremo occidental del acuífero, en las inmediaciones de las comunidades San Nicolás, Santa Rosa y Guadalupe. Aunque sus afloramientos son de reducida dimensión, a profundidad constituye el basamento hidrogeológico del material fracturado con potencial acuífero.

EOCENO

Toba Riolítica e Ignimbrita (TeTR-Ig). Se trata de una ignimbrita traquítica cuya edad varía del Eoceno Medio al Oligoceno Inferior. Aflora al sureste de la comunidad Buenaventura, en la Sierra Catarina. Por su composición y arreglo estructural, a esta unidad se le asigna una permeabilidad que varía de alta a media.

Formación Lomo de Toro (Te TR). Está representada por tobas riolíticas del Eoceno; se consideran material volcánico producto de estructuras tipo caldera. Aflora en la región de Tomochic, sobre el poblado Peña Blanca, en la porción Sur del acuífero. Por su intenso fracturamiento tiene permeabilidad alta.

Conglomerado Navosaygame (Teo Cgp-Ar). Unidad sedimentaria continental constituida por una secuencia alternante de conglomerados polimícticos y areniscas de color rojo oscuro, de grano fino a medio, mientras el conglomerado está formado por clastos predominantemente volcánicos, cuarcitas y rocas calcáreas. Su distribución se restringe a la porción sur del acuífero, en la región de Moris.

La secuencia tiene permeabilidad media, debido a la presencia de fracturamiento moderado abierto, además de estar afectado por un sistema de fallas orientado en varias direcciones, mismo que permite condiciones de permeabilidad secundaria. Al sur del acuífero. Por su composición y bajo grado de consolidación, a la unidad se le asigna una permeabilidad alta.

Secuencia Volcánica Básica (ToA-B). Secuencia de rocas representadas por andesitas basálticas, basaltos, aglomerados basálticos, tobas (riodacitas, dacíticas, riolítica) y areniscas tobáceas. La secuencia se encuentra ampliamente distribuida al norte del acuífero, alcanzando un espesor máximo de 500 m. Dado que su fracturamiento no es uniforme, su permeabilidad varía de media a baja, de tal forma que la secuencia funciona como una zona de recarga al acuífero.

Secuencia Volcánica Bimodal (TomB-TR, TomTR-B, TomTR y TmB). Se refiere a una serie de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición basáltico-andesítica, intercaladas con tobas riolíticas e ignimbritas. Sus afloramientos más extensos se localizan en el límite oriental del acuífero, en las inmediaciones de las poblaciones Las Varas, El Presón del Toro, Nuevo Madero, Colonia Año de Hidalgo y Madera. Por su fracturamiento intenso y abierto, se le asigna una permeabilidad que varía de media a alta media, constituyendo así una importante zona de recarga al acuífero.

Formación Lista Blanca (TmTR). Es una secuencia volcánica compuesta de tobas riolíticas, aglomerados, andesitas, ignimbritas, basaltos y andesitas basálticas, que alcanza un espesor máximo de 100 m. Aflora al norte del poblado Moris, en la comunidad Maycoba y en las inmediaciones del Rancho Colorado. Por su fracturamiento intenso, presenta permeabilidad media a alta, formando así un acuífero en roca fracturada con potencial bajo (10 a 20 lps).

Formación Báucarit (TmCgp-Ar, TmB-A). Definida por King en 1939, como una secuencia de areniscas, arcillas y conglomerados bien estratificados, ligeramente consolidados y en cuya parte inferior existen coladas de basaltos intercalados con aglomerados basálticos.

Dentro de esta unidad se agrupa una secuencia de rocas volcánicas intermedias y básicas que están intercaladas con los conglomerados, también agrupa a un conglomerado polimíctico con clastos de basalto y andesitas basálticas. Sus afloramientos se concentran en la zona suroeste del acuífero, rellenando pequeños valles. Hidrogeológicamente funciona como barrera natural (confinante) entre las rocas sedimentarias (acuífero en explotación) y las rocas fracturadas que posiblemente constituyan un acuífero a profundidad.

Tobas Riolíticas Yepómera (TpiTR). Se trata de tobas riolíticas que afloran en los alrededores del poblado Yepómera, de estructura compacta, con un espesor aproximado de 50 m. Su permeabilidad varía de media a baja, en función de su grado de compactación.

CUATERNARIO

Basaltos (Qpt-B). Se trata de rocas basálticas continentales ligadas a eventos tectónicos distensivos, mismos que dieron inicio en el Paleógeno-Neógeno y que aún están activos (Paz, 1985). La unidad aflora al noroeste del acuífero, fuera de los límites del mismo. Su permeabilidad es alta.

Conglomerados Recientes, Limos, Arenas y Gravas (Qpt Cgp). Se trata de unidades conglomeráticas polimícticas, mal consolidadas, con escasos horizontes de limos y arenas, clastos bien redondeados, formando terrazas y depósitos de talud. Sus afloramientos más importantes se localizan al occidente del acuífero. Sobreyace a la Formación Báucarit y subyace a los depósitos aluviales de ríos, arroyos y planicies de inundación, rellenando los valles del acuífero, tal es el caso de donde se ubica la comunidad Nácori Chico. Es la unidad que actualmente se explota.

Aluvión (Qal). Son sedimentos del Holoceno producidos por el intemperismo de las rocas preexistentes y depositados como abanicos aluviales y fluviales a lo largo de ríos, arroyos y planicies de inundación activas.

Están constituidas por gravas de diferentes litologías, arenas y limos. Su permeabilidad es alta.

4.2 Geología estructural

El comportamiento estructural de la zona es producto de diversos eventos tectónicos como la Orogenia Laramide (Cretácico Tardío - Paleógeno), posteriormente sobrevino un evento distensivo del Paleógeno - Neógeno, responsable de la formación de la provincia "Basin and Range", característica del noroeste de México y del suroeste de Estados Unidos. Este episodio se manifiesta por la aparición de juegos de fallas normales y fracturas de distensión en varias direcciones.

Los procesos estructurales y tectónicos a los que ha sido sometida la zona han dado como resultado fallamiento de tipo normal, con rumbo preferencial noroeste-sureste, truncado por fallas de orientación noreste-suroeste y ocasionalmente por fallas con rumbo prácticamente este-oeste. En la zona se manifiestan evidencias de la Orogenia Laramide: intrusión de los batolitos de edad Cretácico-Paleógeno, plegamiento de gran radio de curvatura en las secuencias del Cretácico Superior y cabalgaduras de las secuencias Precámbricas sedimentarias sobre la secuencia volcanosedimentaria de la Formación Tarahumara.

Las evidencias de la Orogenia Mesocretácica, están presentes en el plegamiento cerrado y paralelo de las secuencias marinas del Cretácico Inferior, así como el cabalgamiento de unidades sedimentarias del Paleozoico Superior, sobre rocas del Grupo Bisbee (Jurásico-Cretácico), además de discordancias que presentan el contacto de rocas del Cretácico Inferior y Superior.

4.3 Geología del subsuelo

Dentro de los límites del acuífero son escasos los depósitos sedimentarios de espesor considerable, el de mayor importancia se localiza en el Valle de Nácori Chico, donde se ubica la gran mayoría de los aprovechamientos censados en 2008 y del cual se extrae la mayor cantidad de agua en el acuífero. En este valle se observan materiales constituidos por depósitos no consolidados y semiconsolidados de granulometría variada (gravas, arenas, limos y arcillas) con un espesor estimado entre 30 y 60 metros, que constituyen un acuífero somero.

Las rocas conglomeráticas de la Formación Báucarit están afectadas por fallamiento escalonado y presentan permeabilidad prácticamente nula. Debido a que se localizan bajo los sedimentos recientes, provocan condiciones de confinamiento entre el material granular y el medio fracturado constituido por las unidades volcánicas de gran espesor. El esquema de funcionamiento acuífero se puede observar en la figura 3.

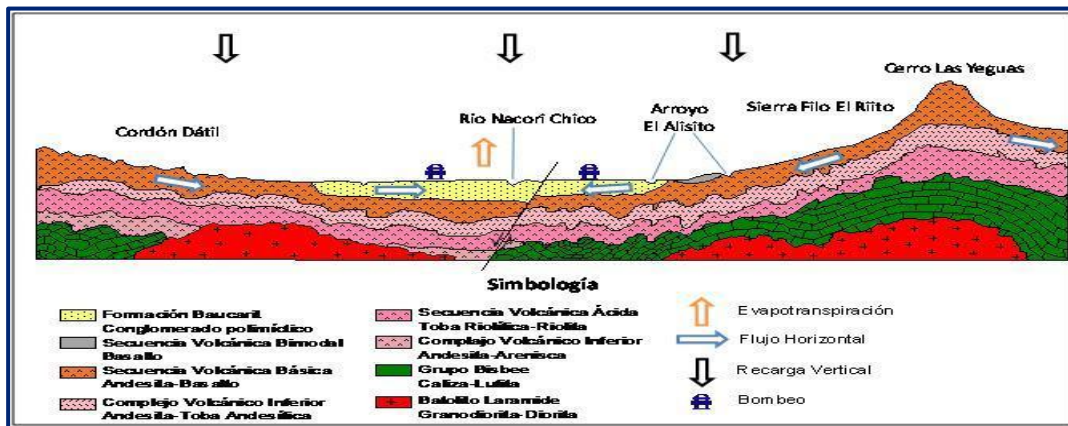


Figura 3. Modelo conceptual de funcionamiento del acuífero

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Se trata de un sistema acuífero granular, de **tipo libre**, donde el agua tiene movimiento a través de materiales granular y fracturado. El medio granular está constituido por depósitos no consolidados y semiconsolidados de granulometría variada (gravas, arenas, limos y arcillas) que afloran en los alrededores del poblado Nácori Chico, cuyo espesor varía 30 y 60 m. Subyaciendo a estos materiales se encuentran los depósitos conglomeráticos consolidados (Formación Báucarit), de espesor considerable (250 m) y amplia distribución en la zona. Esta unidad constituye una capa confinante entre el acuífero granular actualmente en explotación y la unidad volcánica fracturada.

Bajo los depósitos sedimentarios se encuentra una gran variedad de rocas volcánicas, desde andesitas, riolitas, tobas, etc., que localmente presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento, cuyo espesor total puede alcanzar 2500 m.

La principal recarga al acuífero ocurre por la infiltración de la lluvia en las zonas topográficamente altas. Tal es el caso de las Sierras El Filo, El Riito, El Cordón, Dátil, entre otras.

Estas sierras están constituidas por rocas volcánicas fracturadas, riolitas, tobas riolíticas, basaltos y andesitas, que posiblemente constituyen un acuífero potencial a mayor profundidad, en cuyo caso su basamento regional está formado por una serie de intrusivos, en su mayoría Laramídicos.

5.2 Parámetros hidráulicos

Durante la campaña de censo de aprovechamientos desarrollada en el estudio de 2008 se observó que los aprovechamientos que cuentan con equipos eléctricos y condiciones adecuadas para desarrollar pruebas de bombeo, están fuera de operación o en su defecto no cuentan con orificio para el monitoreo de los niveles del agua. Estas razones impidieron la ejecución de pruebas de bombeo.

Mediante recorridos de campo y observaciones geológicas se estimaron valores promedio de parámetros hidráulicos representativos del acuífero. Con base en las características de los depósitos granulares y el espesor promedio del acuífero, se consideró un valor de transmisividad promedio de **$1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , (110 $\text{m}^2/\text{día}$ y conductividad hidráulica **de $5.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$**).

Para estimar las entradas y salidas horizontales se utilizó un valor de **$2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** (215 $\text{m}^2/\text{día}$) ya que las celdas de flujo están limitadas y controladas por la presencia de escurrimientos superficiales donde predominan materiales aluviales (gravas y arenas) no consolidados.

Los valores son consistentes e hidrogeológicamente correlacionables con los obtenidos en el Acuífero Bacadéhuachi (SGM, 2008)

5.3 Piezometría

Con el propósito de conocer las condiciones piezométricas del acuífero, de manera paralela al censo de aprovechamientos desarrollado en 2008, se llevó a cabo una campaña de mediciones piezométricas en la cual se obtuvieron los niveles estáticos de 23 aprovechamientos, de los cuales 21 corresponden a norias y 2 a pozos.

En la Tabla 2 se muestran los datos tomados durante el censo de aprovechamientos: tal es el caso de la clave de identificación, tipo, coordenadas UTM, ubicación, uso, profundidad y elevación del nivel estático, entre otros.

5.4 Comportamiento hidráulico

El área acuífera en explotación se encuentra restringida a la pequeña zona de valle en donde se localiza el poblado Nácori Chico.

El agua que se infiltra en las porciones altas de la cuenca, constituidas por rocas volcánicas fracturadas viaja a través de una serie de fracturas y en dirección paralela a los principales escurrimientos superficiales.

En la zona las condiciones de recarga natural no se han visto excedidas por el volumen extraído, lo anterior indica que el acuífero se encuentra en condiciones iniciales, es decir, no se han generado conos de abatimiento que inviertan las direcciones de flujo subterráneo. Por lo anterior el acuífero conserva su descarga natural a través de flujo subterráneo, la cual ocurre en el extremo noreste del área.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en los aprovechamientos varía de 1 a 12 m, predominando los valores menores a los 5 m. Los valores más someros se registran en las porciones norte y sur del valle, en tanto que los valores más altos se presentan hacia el centro, en los alrededores de la comunidad El Sauz (figura 4).

La mayoría de los aprovechamientos están contruidos sobre las márgenes del Río Nácori Chico y sus tributarios principales, por lo cual sus niveles se encuentran influenciados por el agua del subálveo. Al occidente de la comunidad Nácori Chico los niveles varían de 1 a 3 m, los cuales se incrementan hasta 5 m rumbo al camino que va al poblado El Sauz.

En la comunidad Mesa Tres Ríos los niveles varían de 1 a 4 m, incrementándose conforme se asciende topográficamente.

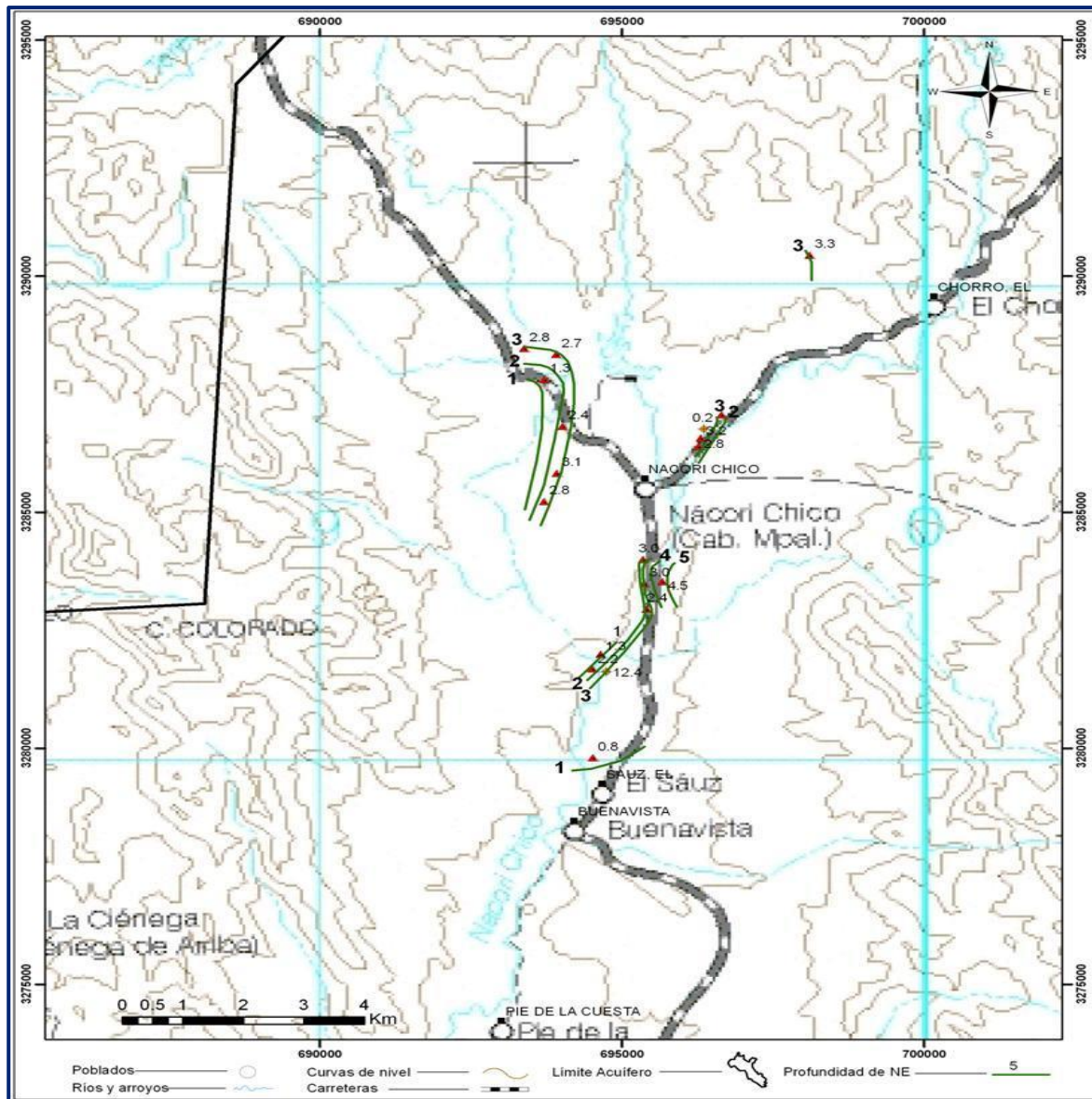


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2008)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de la elevación del nivel estático para el año 2008 mostrada en la figura 5, se observa que los valores varían de 775 a 850 msnm, mostrando los valores más altos hacia la región norte, los cuales descienden gradualmente hacia el extremo sur, mostrando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterránea de norte a sur, paralelo a la dirección de escurrimiento superficial y evidenciando claramente el reflejo de la topografía.

Los valores máximos (825 y 850 msnm) se registran al noroeste de Nácori Chico, descendiendo a 820 msnm en los alrededores de dicha comunidad, hasta los 790 y 775 msnm en el extremo sur, hacia el poblado El Sauz.

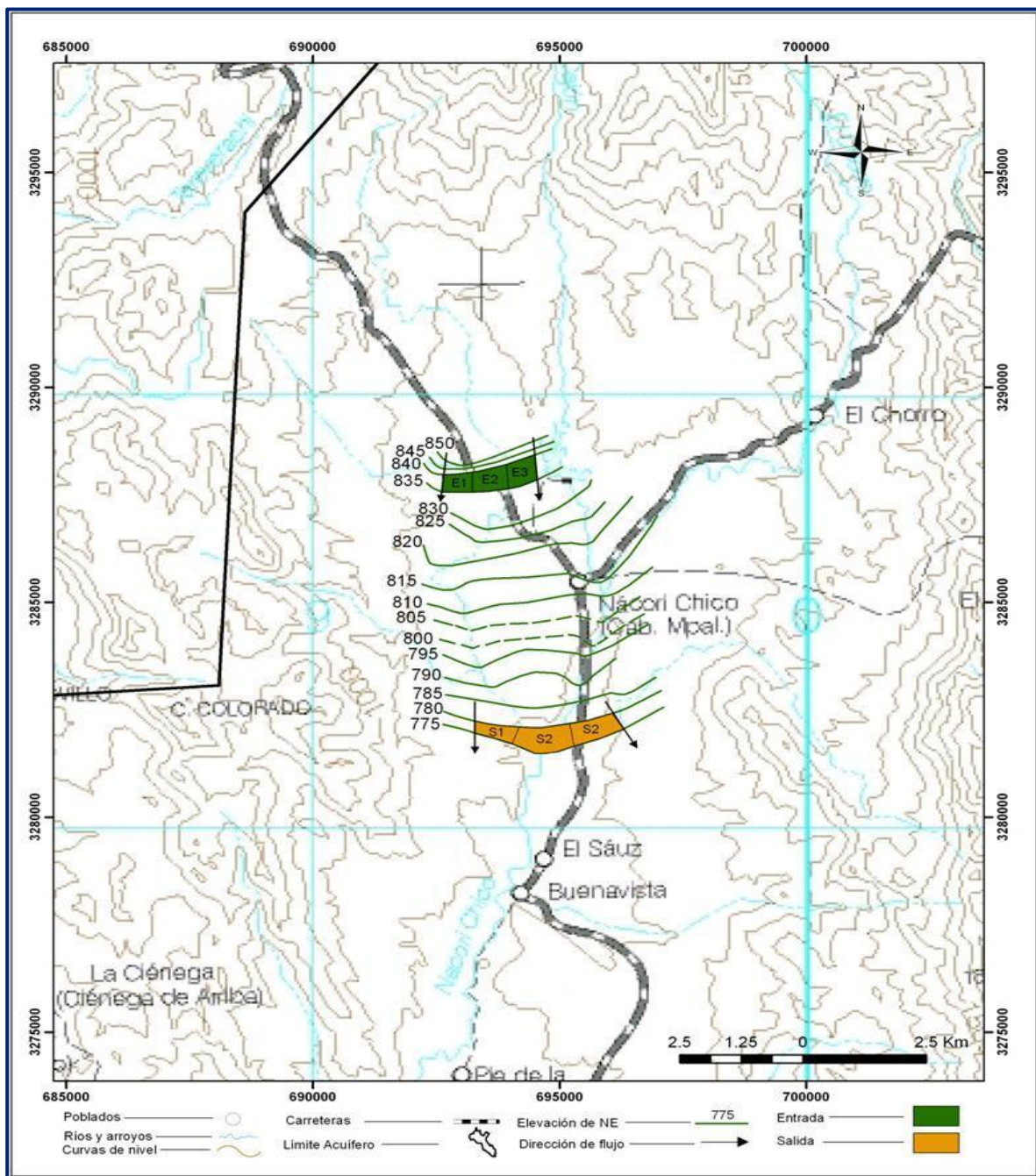


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

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.

El volumen de extracción se ha estimado en 2.13248 hm³ anuales, valor que es muy inferior a la recarga más conservadora que pudiera estimarse.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua

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

Con respecto a la concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD), los valores varían de 70 a 450 ppm, registrando los valores mínimos en el Ejido Mesa Tres Ríos y los máximos en la comunidad El Sauz, por lo que el agua que el agua subterránea es de buena calidad para el consumo humano y para uso agrícola. La mayoría de los valores de pH están cercanos a la neutralidad.

Debido a que se registran bajas concentraciones de Sólidos Totales Disueltos y de Conductividad Eléctrica, así como valores de pH cercanos a la neutralidad y altos porcentajes de oxígeno disuelto en el agua, se infiere que la mayor parte del agua subterránea extraída del acuífero está asociada es de reciente infiltración; sin embargo, no se descarta la presencia de iones mayores y/o metales pesados en concentraciones elevadas, en su caso esto sería en zonas puntuales donde la geología y sus procesos mineralógicos cambien la calidad del agua, la cual estaría asociada a un tiempo mayor de residencia y tránsito en el acuífero.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo realizado en noviembre de 2008, se registró la existencia de 33 obras de captación de agua subterránea, de las cuales 30 son norias y 3 son pozos. Del total de obras 23 están activos y los 10 restantes inactivos, 9 corresponden a norias y 1 pozo.

En conjunto, el volumen de extracción asciende a 2.13248 hm³ anuales, de los cuales el 57.5% se destina al uso público-urbano, el 25% se destina al uso pecuario, el 7.5% al uso agrícola, 5% más para uso doméstico y los 5% restantes para usos múltiples.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido.

El balance de aguas subterráneas se definió en una superficie de **96 km²**, que corresponde a la zona donde se localiza la mayor parte de los aprovechamientos del agua subterránea, es decir, el valle de la comunidad Nácori Chico.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es:

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

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.

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

7.1 Entradas

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 del Río Moctezuma y arroyos tributarios, que en conjunto se consideran como recarga vertical (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 y del agua residual de las descargas urbanas y de la infiltración de las pérdidas de las redes de distribución de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero.

Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, y el riego agrícola es incipiente, la recarga inducida es despreciable.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo y a que existe 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:

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

Donde:

Rv:	Recarga vertical
Eh:	Entradas por flujo horizontal
B:	Bombeo
Sh:	Salidas por flujo horizontal
ETR:	Evapotranspiración real
$\Delta V(S)$:	Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

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:

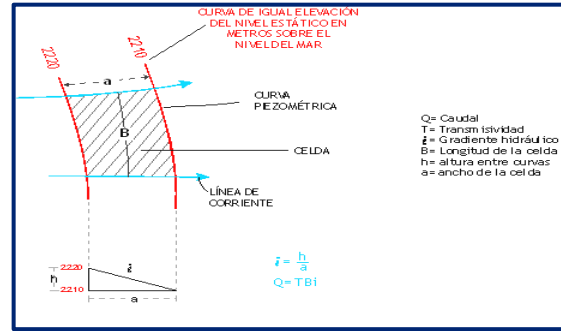
$$Q = T \cdot B \cdot i$$

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:

$$T = K b$$

El valor de la transmisividad utilizado de $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ($215 \text{ m}^2/\text{día}$) se estimó considerando la presencia de un medio granular de espesor reducido, poco consolidado y asociado a la zona de influencia del Río Nácori Chico.

Como resultado del análisis de las celdas de flujo se obtuvo un valor de **1.5 hm³/año** que representa las entradas horizontales a la zona de influencia del balance de aguas subterráneas realizado en la zona de 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	600	439	5	0.0114	0.0025	0.0171	0.5
E2	723	515	5	0.0097	0.0025	0.0175	0.6
E3	616	574	5	0.0087	0.0025	0.0134	0.4
Total entradas							1.5

7.2 Salidas

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

7.2.1 Evapotranspiración real (ETR)

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

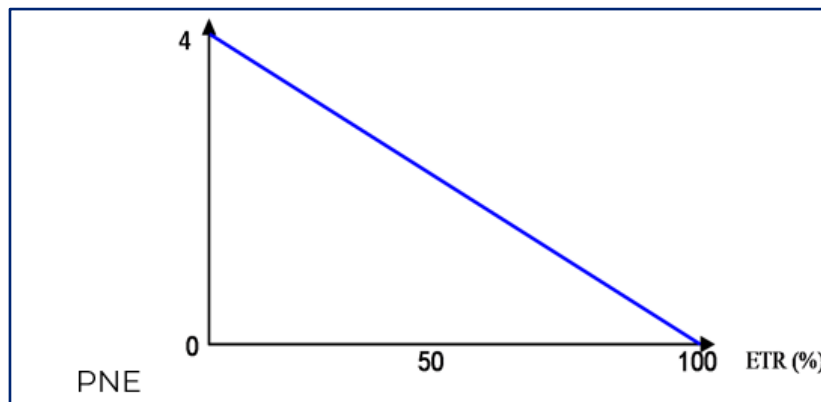
El cálculo de la evapotranspiración corresponde a la pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 4 m, bajo el siguiente proceso:

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.

Existe una zona del área de balance de 27 km² de superficie donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 4 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de la vegetación típica de la zona. Se aplicó la fórmula de Turc para calcular que la lámina de Evapotranspiración, dando como resultado 581 mm anuales, tomando en consideración valores medios anuales de temperatura en 15.81° C y precipitación de 727 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) =	15.81		
P(mm) =	727	P ² =	528529
L =	892.8402971	L ² =	797163.796
ETR (mm)	581.5		



Con estas consideraciones se elaboró la tabla 3, en la que se puede observar que el valor de la evapotranspiración asciende a **8.3 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 1	0.5	6.12	0.87	0.581	3.1
1 a 2	1.5	10.24	0.62	0.581	3.7
2 a 3	20.5	5.12	0.37	0.581	1.1
3 a 4	3.5	4.23	0.12	0.581	0.3
Total					8.3

7.2.2 Bombeo (B)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos realizado en el estudio del 2008, se calculó un volumen total de extracción de **0.4 hm³** al año.

7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma forma como se calcularon las entradas a partir de la configuración de elevación del nivel estático para 2008, mostrada en la tabla 4, tomando en cuenta las mismas consideraciones litológicas para determinar el valor promedio de transmisividad.

Como resultado del cálculo de salidas horizontales se obtuvo un valor de **2.8 hm³/año**. Este valor es superior al de entradas horizontales, debido a que esta zona recibe aportaciones de los subálveos de los arroyos y del Río Nácori Chico.

Tabla 4. Cálculo salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1	Gradiente i	T	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
			(m)		(m ² /s)		
S1	850	343	5	0.0146	0.0025	0.0310	1.0
S2	1185	472	5	0.0106	0.0025	0.0314	1.0
S3	987	480	5	0.0104	0.0025	0.0257	0.8
Total salidas							2.8

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica histórica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo.

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

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

Solución a la ecuación de balance

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

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

$$R_v = 2.8 + 0.4 + 8.3 - 0.0 - 1.5$$

$$R_v = 10.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a:

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 10.0 + 1.5$$

$$R = 11.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga Total Media Anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **11.4 hm³/año.**

8.2 Descarga Natural Comprometida (DNC)

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 caso del acuífero Nácori Chico se considera que no existen descargas naturales comprometidas.

Las salidas horizontales del acuífero no fueron consideradas como descarga comprometida ya que fueron calculadas únicamente en la zona de valle, lejos del límite con los acuíferos Río Sahuaripa y Río Moctezuma.

Por lo tanto **DNC= 0.0. hm³/año.**

8.3 Volumen de extracción de Aguas Subterráneas (VEAS)

El volumen anual de la 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 **30 de diciembre de 2022, es de 2,371,430 m³/año.**

8.4 Disponibilidad de Aguas Subterráneas (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015,

Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, 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, que de acuerdo con la expresión (3) resulta:

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 11.4 - 0.0 - 2.371430 \\ \text{DMA} &= 9.028570 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **9,028,570 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA