

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Cocoraque (2641),
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							
2641	COCORAQUE	198.2	20.0	173.719556	70.0	4.480444	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.

ACUIFERO 2641 COCORAQUE

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	109	52	54.8	26	54	1.6	DEL 1 AL 2 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
2	109	59	19.2	27	3	55.4	
3	109	52	18.7	27	9	21.0	
4	109	43	24.9	27	23	48.2	
5	109	42	57.5	27	28	56.0	
6	109	38	16.0	27	33	57.0	
7	109	40	5.0	27	43	24.9	
8	109	39	44.8	27	48	14.5	
9	109	34	23.2	27	47	18.4	
10	109	27	34.1	27	48	56.1	
11	109	27	24.1	27	44	46.8	
12	109	23	25.8	27	43	44.3	
13	109	18	47.7	27	28	35.0	
14	109	27	3.6	27	27	7.7	
15	109	31	54.2	27	19	2.3	
16	109	35	40.5	27	9	44.3	
17	109	43	38.4	26	57	57.1	
1	109	52	54.8	26	54	1.6	



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO COCORAQUE, ESTADO DE SONORA

DICIEMBRE, 2003

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO COCORAQUE, ESTADO DE SONORA (2641)

CONTENIDO

	Página
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Localización.....	1
1.1.1. Coordenadas.....	1
1.1.2. Municipios.....	2
1.1.3. Población.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	2
2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	2
3 FISIOGRAFÍA.....	5
3.1. Provincia fisiográfica.....	5
3.2. Clima.....	5
3.2.1. Temperatura media anual.....	6
3.2.2. Precipitación media anual.....	6
3.2.3. Evaporación potencial media anual.....	6
3.3. Hidrografía.....	6
3.3.1. Región hidrológica.....	6
3.3.2. Subregión.....	6
3.3.3. Cuenca.....	6
3.3.4. Subcuenca.....	7
3.3.5. Infraestructura hidráulica.....	7
3.4. Geomorfología.....	7
4 GEOLOGÍA.....	8
4.1. Estratigrafía.....	8
4.2. Geología estructural.....	9
4.3. Geología del subsuelo.....	10
5 HIDROGEOLOGÍA.....	10
5.1. Tipo de acuífero.....	10
5.2. Parámetros hidráulicos.....	11
5.3. Piezometría.....	11
5.4. Comportamiento hidráulico.....	11
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	11
5.4.2. Elevación del nivel estático.....	11
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	15
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	15
6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA....	15

7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	15
7.1	Entradas.....	16
7.1.1	Recarga natural.....	16
7.1.2	Recarga inducida.....	16
7.1.3	Flujo subterráneo horizontal.....	16
7.2	Salidas	17
7.2.1	Evapotranspiración.....	17
7.2.2	Descarga natural.....	17
7.2.3	Bombeo.....	17
7.2.4	Flujo subterráneo horizontal.....	18
7.3	Cambio de almacenamiento.....	18
8	DISPONIBILIDAD.....	18
8.1	Recarga total media anual.....	19
8.2	Descarga natural comprometida.....	20
8.3	Rendimiento permanente.....	20
8.4	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	20
8.5	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	20
9	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	21

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO COCORAQUE, ESTADO DE SONORA (2641)

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

1.1.1 Coordenadas

El acuífero Cocoraque quedó designado con la clave 2641 en el documento publicado el 5 de diciembre de 2001 en Diario Oficial de la Federación⁽¹⁾. Se encuentra ubicado en la parte sur del estado de Sonora entre los paralelos 26°54' y 27°48' de latitud norte y entre los meridianos 109°18' y 109°59' de longitud oeste, como se muestra en la Figura 1, cubriendo un área aproximada de 2,577 km². Las coordenadas del polígono para enmarcar el área de estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla No. 1 Coordenadas que definen el área que cubre el acuífero Cocoraque

Vértice	Longitud Oeste			Latitud Norte			Observaciones
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
1	109	52	55.2	26	53	60.0	Del 1 al 2 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
2	109	59	20.4	27	3	54.0	
3	109	48	54.0	27	14	42.0	
4	109	43	37.2	27	24	10.8	
5	109	44	20.4	27	30	50.4	
6	109	37	44.4	27	33	46.8	
7	109	40	15.6	27	40	19.2	
8	109	37	37.2	27	43	51.6	
9	109	27	18.0	27	49	12.0	
10	109	26	16.8	27	44	27.6	
11	109	17	42.0	27	42	3.6	
12	109	16	55.2	27	28	37.2	
13	109	23	38.4	27	26	6.0	
14	109	31	4.8	27	16	8.4	
15	109	32	34.8	27	8	38.4	
16	109	40	26.4	26	58	4.8	
1	109	52	55.2	26	53	60.0	

¹ DOF. 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado

1.1.2 Municipios

De acuerdo con la división política, el acuífero abarca en forma parcial o total a los municipios de Benito Juárez, Etchojoa, Navojoa y Quiriego. En la Figura 2 se muestra la localización de dichos municipios.

1.1.3 Población

En los municipios que abarca el acuífero Cocoraque estaba asentada una población, según las estadísticas de la CONAPO para el año 2000, de 228 360 habitantes. El municipio con más habitantes es el de Navojoa con 144 706.

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

En la zona se tiene una veda en el distrito de riego del Río Mayo la cual abarca parcialmente a los municipios de Etchojoa y Navojoa. La veda es del tipo 1, o sea, del tipo rígida donde no es posible aumentar las extracciones.

El acuífero Cocoraque está comprendido dentro de la Región Administrativa II Noroeste; así mismo forma parte del Consejo de Cuenca Río Mayo, instalado el 30 de agosto de 2000 y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas Subterráneas COTAS (situación al 26 de noviembre de 2002).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS, 1979, ESTUDIO DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS SITIOS ADECUADOS PERFORACIÓN Y DELIMITACIÓN DE ACUÍFEROS TERCARIOS DE LOS VALLES INTERMONTANOS DE YÉCORA, RÍO CHICO, LOS CEDROS Y COCORAQUE, EDO. DE SONORA, REALIZADO POR GEÓLOGOS CONSULTORES ASOCIADOS, S.A. DE C.V.

El objetivo principal de este estudio fue el de conocer las condiciones geohidrológicas de las zonas de Yécora, río Chico, los Cedros, Jíncore y Cocoraque, además del de recomendar áreas favorables para la perforación de pozos de exploración y explotación en áreas nuevas.

Realizaron trabajos que cubrieron los aspectos geológicos, hidrológicos y geohidrológicos. El área de estudio fue de 7,000 km² aproximadamente pero sólo abarcó la parte norte del acuífero Cocoraque, donde censaron 8 pozos y una noria

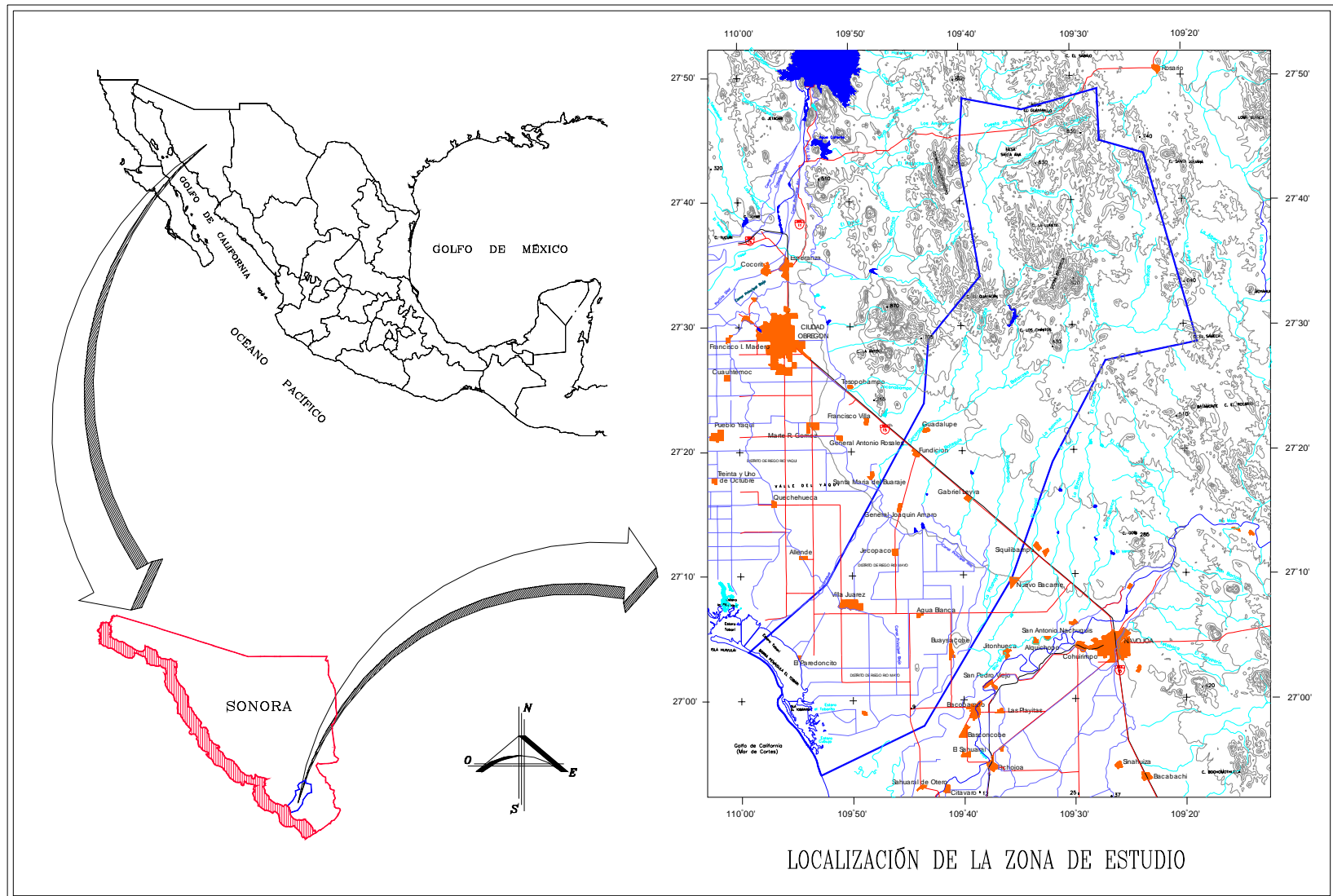


Figura No. 1 Localización del acuífero Cocoraque, Son.

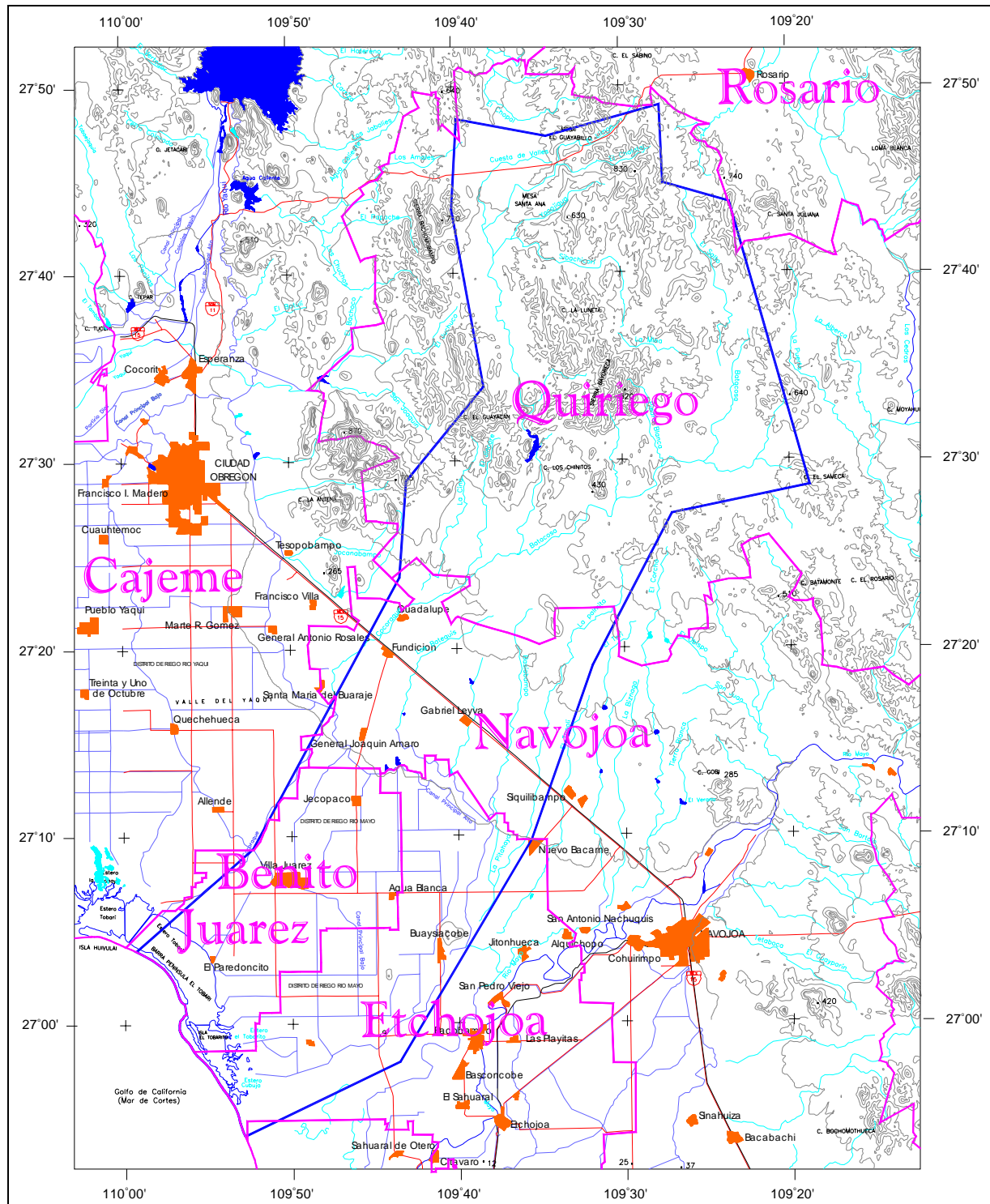


Figura No. 2 Municipios dentro del área del acuífero Cocoraque, Son.

DISTRITO DE RIEGO DEL RÍO YAQUI, 2003, ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO “VALLE DEL YAQUI” MUNICIPIO DE CAJEME, SONORA, REALIZADO POR EL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA.

El objetivo principal de este estudio fue el de determinar el balance de aguas subterráneas de los acuíferos Valle del Yaqui y Cocoraque, definiendo explícitamente las componentes de la ecuación de balance y determinar su potencial y disponibilidad.

El estudio constó en una descripción del entorno fisiográfico, análisis geológico, geomorfológico, climatológico e hidrológico. También se hizo una interpretación de la geología del subsuelo con información geofísica y geológica, además de la realización de estudios geofísicos complementarios. Realizaron una compilación e integración del censo de aprovechamientos, hidrometría y piezometría históricas. Adicionalmente se realizaron pruebas fisicoquímicas a muestras de agua. Se definieron los parámetros hidráulicos a partir de la hidráulica de pozos. También se hizo un modelo conceptual del funcionamiento del acuífero y el cálculo del balance de aguas subterráneas para el acuífero del valle del río Yaqui y para la parte baja del acuífero Cocoraque.

Se encontraron cuatro tipos de familias de aguas, las cuales son, de mayor a menor presencia: sódicas-sulfatadas, sódicas-carbonatadas, magnésicas-cloruradas y cálcicas-cloruradas.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

El acuífero Cocoraque se encuentra ubicado dentro de dos subprovincia fisiográfica, la parte sur se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica llanuras costeras y deltas de Sonora y Sinaloa y la parte norte dentro de la subprovincia pie de sierra⁽²⁾.

3.2 CLIMA

De acuerdo a la información del Atlas Nacional del medio Físico⁽³⁾, en el área que cubre el acuífero Cocoraque se encuentran dos tipos de clima que según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García pertenecen a los grupos secos y muy secos. En la parte sur el clima es BW(h')hw, clima muy seco del subtipo muy cálido y cálido, con lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 %. En la porción norte de la zona se presenta un clima BSo(h')hw seco muy cálido y cálido con lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 %.

² INEGI, 2000, Carta Fisiográfica 1:1,000,000 La Paz

³ Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

3.2.1 Temperatura media anual

La temperatura media anual registrada en la estación Villa Juárez, al cual se encuentra al suroeste de la zona fue de 22.7°C y en la estación K-105, que se encuentra al sureste, fue de 24.5°C⁽⁴⁾.

3.2.2 Precipitación media anual

La precipitación en la zona varía entre 512.7 mm/año y 190.8 mm/año⁽⁵⁾. Para el acuífero se consideró una precipitación media anual de 480 mm/año.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial es de 2,061.51 mm⁽⁶⁾, de acuerdo con la información de la estación CIANO, la cual se encuentra fuera del acuífero pero muy cerca del límite suroeste.

3.3 HIDROGRAFÍA

El arroyo Cocoraque nace cerca del parteaguas de la cuenca del Río Mayo, 12 km al suroeste de Rosario de Tezopaco, con el nombre de Baroyeca. Continúa hacia el poniente y por su margen derecha recibe las aportaciones del arroyo Mújica, cambiando su nombre por el Río Jíncore y modificando su curso hacia el sur. Aguas arriba del Rancho Cocoraque, por la margen izquierda recibe las aguas del arroyo Cabora, el cual es el afluente más importante, tomando ya en este parte el nombre de Cocoraque. Finalmente desemboca en el Golfo de California⁽⁷⁾.

3.3.1 Región hidrológica

El acuífero Cocoraque queda comprendido dentro de la Región Hidrológica No.9 Sonora sur

3.3.2 Subregión

El acuífero Cocoraque queda comprendido dentro de la Subregión Río Yaqui.

3.3.3 Cuenca

El acuífero Cocoraque se encuentra emplazado en el área que comprende a la cuenca del Río Mayo.

⁴ CNA, 2003, Estudio de Actualización Geohidrológica del acuífero "Valle del Yaqui" Municipio de Cajeme, Sonora, Realizado por el Departamento de Geología de Universidad de Sonora.

⁵ CNA, 1997, Estudio de simulación hidrodinámica y diseño óptimo de redes de observación de los acuíferos de León, Jiménez-Camargo y Valle del Yaqui, Realizado por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

⁶ Op. Cit. CNA, 2003,... Realizado por la Universidad de Sonora.

⁷ Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1975, Boletín Hidrológico No. 40, Región Hidrológica No. 9

3.3.4 Subcuencas

El acuífero Cocoraque se encuentra dentro de la Subcuenca del Río Cocoraque.

3.3.5 Infraestructura hidráulica

La mayor presa de almacenamiento en la zona es la Presidente Adolfo Ruiz Cortines, que aunque esta fuera de los límites del acuífero es de donde se extrae agua para zonas de riego en el distrito de riego 038 Río Mayo, la cual es conducida por una red de canales.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

Un tipo de relieve que se encuentra en la zona es el endógeno volcánico acumulativo el cual es el resultado de la actividad volcánica del Oligoceno al Plioceno y Pleistoceno; este a su vez se subdivide en el relieve volcánico efusivo donde se agrupan todas las mesetas de lava y derrames que tienden a formar laderas de lava así como ríos de lava, este tipo de relieve tiende a formar zonas muy permeables, en este tipo de relieve se agrupan las grandes mesetas de lava que forman las unidades Tsb y Qb⁽⁸⁾.

Dentro del relieve endógeno modelado se incluyen las formas de relieve que fueron originadas en las laderas volcánicas que forman los lomeríos y sierras. Las laderas montañosas volcánico-erosivas incluyen las sierras bajas y lomeríos que se encuentran en la porción nororiental las cuales están formadas por ignimbritas y tobas.

En el relieve exógeno se incluye a los rasgos que son formados por procesos exógenos destructivos, como el intemperismo, erosión y disolución. También se incluyen los procesos exógenos constructivos como los depósitos fluviales, marinos y eólicos. Dentro de estos relieves podemos encontrar el relieve erosivo fluvial que es el generado por procesos de disección del relieve por la acción de corrientes fluviales. El relieve acumulativo proluvial es el que corresponde a los llamados conos de deyección o a abanicos aluviales, que son muy importantes en la zona y se han clasificado como depósitos de pie de monte. El relieve acumulativo marino que corresponde a los depósitos costeros, como son las barras, medanos costeros, tombolos, cantiles, nichos, playas y bancos. Relieve fluviomarino deltaico, es el relieve causado en general por la acción conjunta del relieve acumulativo fluvial con el relieve acumulativo marino.

⁸ Op. Cit CNA, 1997, Realizado por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

4. GEOLOGÍA

4.1 ESTRATIGRAFÍA⁽⁹⁾

SISTEMA TERCIARIO

Rocas volcánicas del Terciario (Tv). En esta unidad se agrupan las rocas pertenecientes a las secuencias riolíticas contemporáneas al Grupo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental. Estas rocas se encuentran en una pequeña parte al oeste de la zona. Litológicamente están conformadas por tobas riolíticas, riodacíticas, riolita, riodacita, ignimbrita, con algunas intercalaciones de brecha volcánica, toba lítica y obsidiana. Su espesor máximo en el área es del orden de los 250-300 m. Esta unidad cubre discordantemente a las andesitas del Grupo Volcánico Inferior que no afloran en el área de estudio y a las rocas Cretácicas, que tampoco afloran. A su vez, se encuentra cubierta discordantemente por las rocas de la Formación Baucarit.

Formación Baucarit (Tbc). Se agrupan con este nombre los conglomerados y areniscas que Dumble (1900) y King (1939) denominaron formación Baucarit. Se distribuyen en el área solo en la posición norte, y en las estribaciones de la sierra. Está formada por areniscas y conglomerados interestratificados, con matriz arcillosa, en estratos delgados, con echado de 10 a 20 grados. Se encuentran fracturados, presentan coloración rojiza. El espesor no es muy grande y quizás no rebase los 100 m en muchos lugares. De acuerdo con sus relaciones estratigráficas y su significado tectónico se le asocia una edad del Mioceno Tardío al Plioceno Temprano.

Conglomerado del Cuaternario (Qcg). En esta unidad se encuentran agrupados todos los conglomerados del Cuaternario. Es un conglomerado polimictico con predominio de clastos de origen ígneo angulosos a subangulosos, unidos por una matriz areno-arcillosa. En la base de esta unidad disminuye el tamaño de grano conteniendo estratos de arenisca, estos conglomerados están semiconsolidados. Se localizan al noroeste del acuífero. Por sus relaciones estratigráficas y su naturaleza se le ha asignado una edad del Pleistoceno.

Depósito de Pie de Monte (Qpdm). Estos depósitos presentan características geomorfológicas definidas y constituyen el cuerpo principal de todos los conos de deyección provenientes de la sierra. Su distribución es amplia y terminan con un cambio de pendiente característico que indica su transición a los aluviones del valle. Están compuestos por gravas gruesas empacadas en matriz arenosa y en coacciones arcillo-limosa, con cantos redondeados que gradúan de materiales más gruesos a más finos, conforme avanza el abanico de las zonas de origen a las facies más distales, en las que la grava disminuye su tamaño. Su espesor varía en función de su geometría, estimándose un espesor máximo del orden de 100 a 150 m. Esta unidad cubre discordantemente a los conglomerados del Cuaternario, a la formación

⁹ Op. Cit CNA, 1997, Realizado por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

Baucarit y a las rocas volcánicas del Terciario. Por sus relaciones estratigráficas se le asigna una edad del Pleistoceno al Reciente.

Aluvión (Qal). Los depósitos aluviales, son muy importantes en el área, pues forman la mayor superficie de área aflorante de las rocas, además de constituir el acuífero en explotación. Para fines de claridad y con objeto de distinguir la evolución de los depósitos aluviales que forman el delta del Yaqui, se ha subdividido en miembros que pueden apreciarse a partir de fotografías aéreas verticales y que puede corroborarse con la estratigrafía de los pozos los cuales son muy numerosos. De acuerdo con la secuencia de los miembros, el más extenso es el Qal1, que forma la llanura inicial y que presenta en su cima una capa de arcilla, que ha favorecido la formación de suelos fértiles. Por otro lado el Qal2, se ha asignado a los depósitos de origen fluvial del Arroyo Cocoraque que disecta al miembro Qal1.

El aluvión esta constituido por arcillas, limos, arenas y gravas con un grado de redondez que varía de redondeado a subredondeado, entre los que destacan gran cantidad de granos de cuarzo, fragmentos rocas y feldespatos, localmente presenta estratificación cruzada, así como presencia de gradación y algunos lentes. El espesor de esta unidad se va incrementando desde las montañas al norte y oriente, donde es de 60 a 100 m, hacia la línea de costa donde se estima de acuerdo a un análisis morfológico en la cartografía, alcanzando hasta los 400 m. Como es la unidad más reciente y aún tiene cauces fluviales y llanuras activas, se le considera una edad de principios del Cuaternario al Reciente.

Depósitos Costeros (Qdc). Se denominan así todas las estructuras sedimentarias que se han formado en la línea de costa, entre las que destacan las barras, los bancos y tómbolos.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Se aprecian dos arreglos de fracturas, el más importante coincide con la dirección del rumbo de las rocas del terciario volcánico y de la formación Baucarit, es decir en dirección casi N-S que manifiestan el evento distensivo del Terciario Medio a Superior, que inició la apertura del Golfo de California.

El otro arreglo principal, se asocia con lineamientos que al parecer son expresión de fracturas profundas de la corteza, y coincide con la dirección de Río Yaqui cuando fluye sobre las porciones elevadas, antes de su salida a la llanura deltaica, en donde cambia de dirección hacia el oeste.

Las mesetas basálticas y volcanes escudo que indican fracturamiento profundo de la corteza, se encuentran en la Sierra del Bacatete con orientación SE-NW, que de acuerdo con la literatura (Moran et al, 1984), se asocia a los eventos distensivos de la apertura del Golfo de California.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

En la zona se han llevado a cabo diferentes estudios para conocer la geología del subsuelo, se cuenta con cortes litológicos de pozos, sondeos eléctricos verticales y estudios gravimétricos entre otros. En el estudio de 2003⁽¹⁰⁾, mencionan que del análisis de diferentes métodos determinaron que la distribución del comportamiento de la resistividad a diferentes profundidades muestra una distribución heterogénea para los materiales que albergan al sistema acuífero, para diferentes profundidades se encontraron amplias zonas con valores inferiores a 5 ohm-m, típico de materiales arcillosos o bien, saturados con agua de mala calidad. Además deducen que el subsuelo está conformado por una gran fosa tectónica (fosa Obregón) orientada norte-sur, el arroyo Cocoraque representa una fosa tectónica que pierde continuidad hacia el suroeste, los espesores de los materiales de relleno superan los 1000 metros, pero el espesor del acuífero es del orden de los 200 a 300 metros.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

Existe un sistema compuesto por dos acuíferos; uno de tipo libre (freático) en la zona próxima a la superficie, denominado acuífero superior y por debajo de este existe un acuífero regional, de amplia extensión y de espesor y composición variable; por lo tanto, su tipo varía de libre, semiconfinado a confinado⁽¹¹⁾. Ambos acuíferos, constituyen un sistema hidráulicamente independiente.

Dado que el nivel freático del acuífero superior es muy somero, lo hace altamente vulnerable en zonas específicas, puesto que en este tipo de acuíferos se pueden presentar fenómenos de ascensión capilar del agua a la zona de aireación por una evaporación activa proveniente del suelo, de aquí su salinización. Sin embargo, el acuífero no se extiende en todo el valle, se presenta sólo por áreas de diversos tamaños, dado que fue originado en forma de relleno sedimentario de zonas topográficamente bajas, por lo que presenta múltiples acuñamientos, de aquí la variedad de sus sedimentos tanto en espesor como en textura y la amplia variación en permeabilidad vertical y horizontal.

Este acuífero yace sobre estratos arcillosos a limo-arcillosos no consolidados de baja permeabilidad, de espesor variable con múltiples acuñamientos a través de los cuales el tránsito de la recarga vertical fluye lentamente mientras se infiltra, ya sea desde el acuífero superior, directamente de las superficies de riego, de los canales, o de los drenes no revestidos.

El acuífero regional se encuentra en todo el valle debajo del estrato descrito, pero también puede encontrarse como libre, de aquí que en general se le ha considerado como semiconfinado, puesto que en algunas localidades los estratos actúan como su

¹⁰ Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

¹¹ Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

techo. Los espesores del acuífero son muy variables, el espesor máximo observado en los perfiles de pozos es de 250 m, sin embargo en ellos no se muestra que el basamento se encuentre al final del pozo. No obstante, con los estudios geofísicos realizados, así como con la descripción de perfiles de múltiples pozos, se definió su geometría permitiendo reconocer su textura y un espesor promedio de 300 m.

La textura y estructura de los materiales que constituyen el acuífero regional varían también lateralmente, lo cual se refleja en los valores de transmisividad. La variedad de valores de parámetros hidráulicos lo ubican como libre, semiconfinado y confinado, dependiendo del sitio donde se haya realizado la prueba de bombeo.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

En el estudio de 2003⁽¹²⁾ se obtuvieron los parámetros hidráulicos del acuífero a partir de la ejecución de 17 pruebas de bombeo, de las cuales 9 están dentro del acuífero Cocoraque. Los valores de transmisividad variaron entre $7.51 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ y $1.32 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, siendo el promedio de $1.1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

También se calculó el coeficiente de almacenamiento el cual varió entre 5.22×10^{-1} y 5.83×10^{-11} , siendo el promedio de 1.34×10^{-2} .

5.3 PIEZOMETRÍA

La zona del acuífero Cocoraque cuenta con datos de niveles estáticos de los años 1996 a 2002⁽¹³⁾.

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Las profundidades a los niveles estáticos para el año 1993⁽¹⁴⁾, que se muestran en la Figura 3, variaban entre 20 y 6 m. Las menores profundidades se localizaban en las inmediaciones del poblado Jecopaco, mientras que las mayores se localizaban al oeste del acuífero en las inmediaciones del poblado Fundición.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de las curvas del nivel estático para el año 2002 que se representa en la Figura 4⁽¹⁵⁾, muestran que el flujo subterráneo, en términos generales, presenta una dirección preferencial en sentido sensiblemente noreste-suroeste. Las mayores altitudes de los niveles estáticos del acuífero se observan en la parte norte del área

¹² Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

¹³ Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

¹⁴ Op. Cit CNA, 1997, Realizado por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

¹⁵ Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

donde hay registros del orden de 30 msnm; y las menores elevaciones cerca de la costa con valores del orden de 5 msnm.

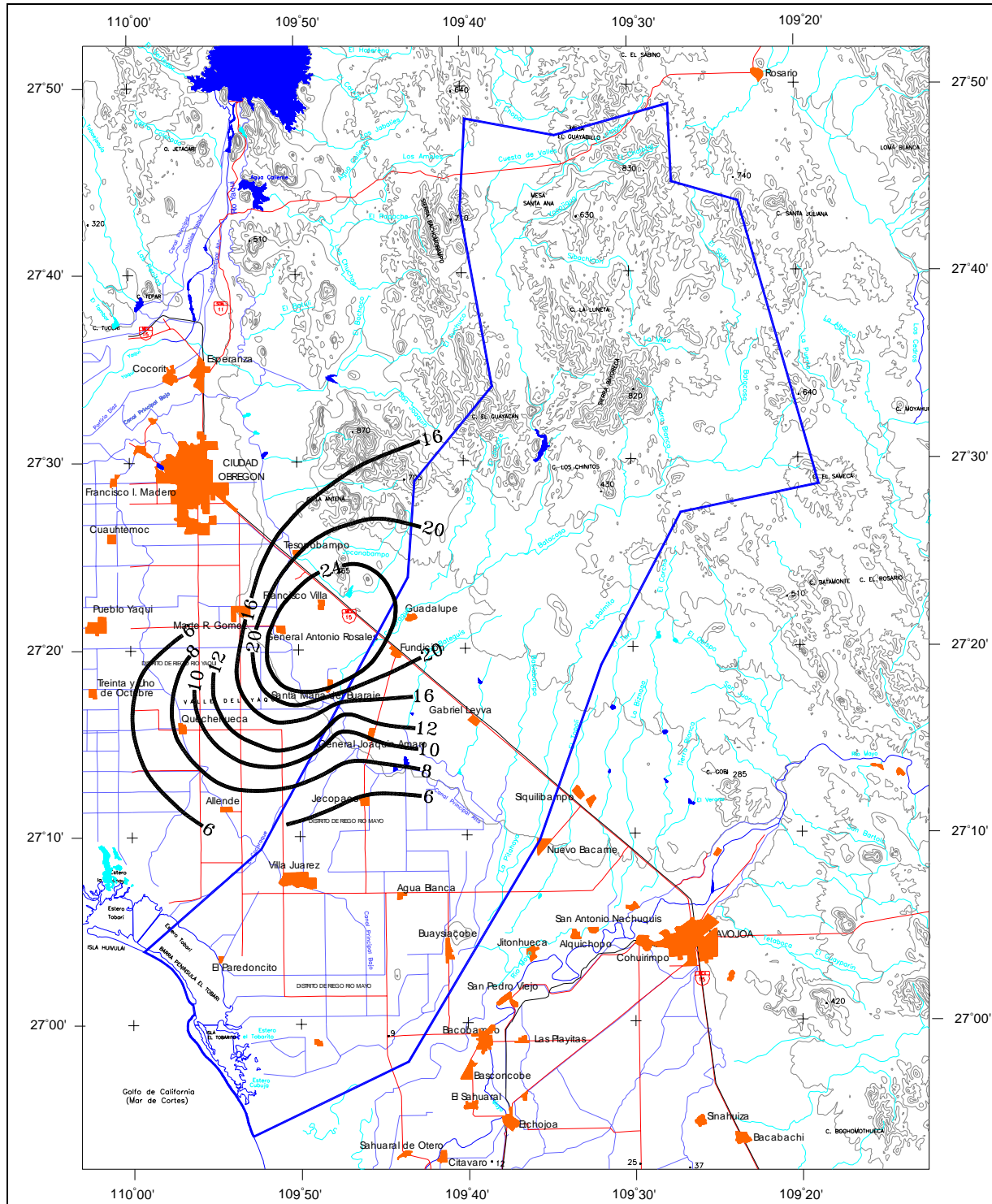


Figura No. 3 Profundidad al nivel estático en el año 1993

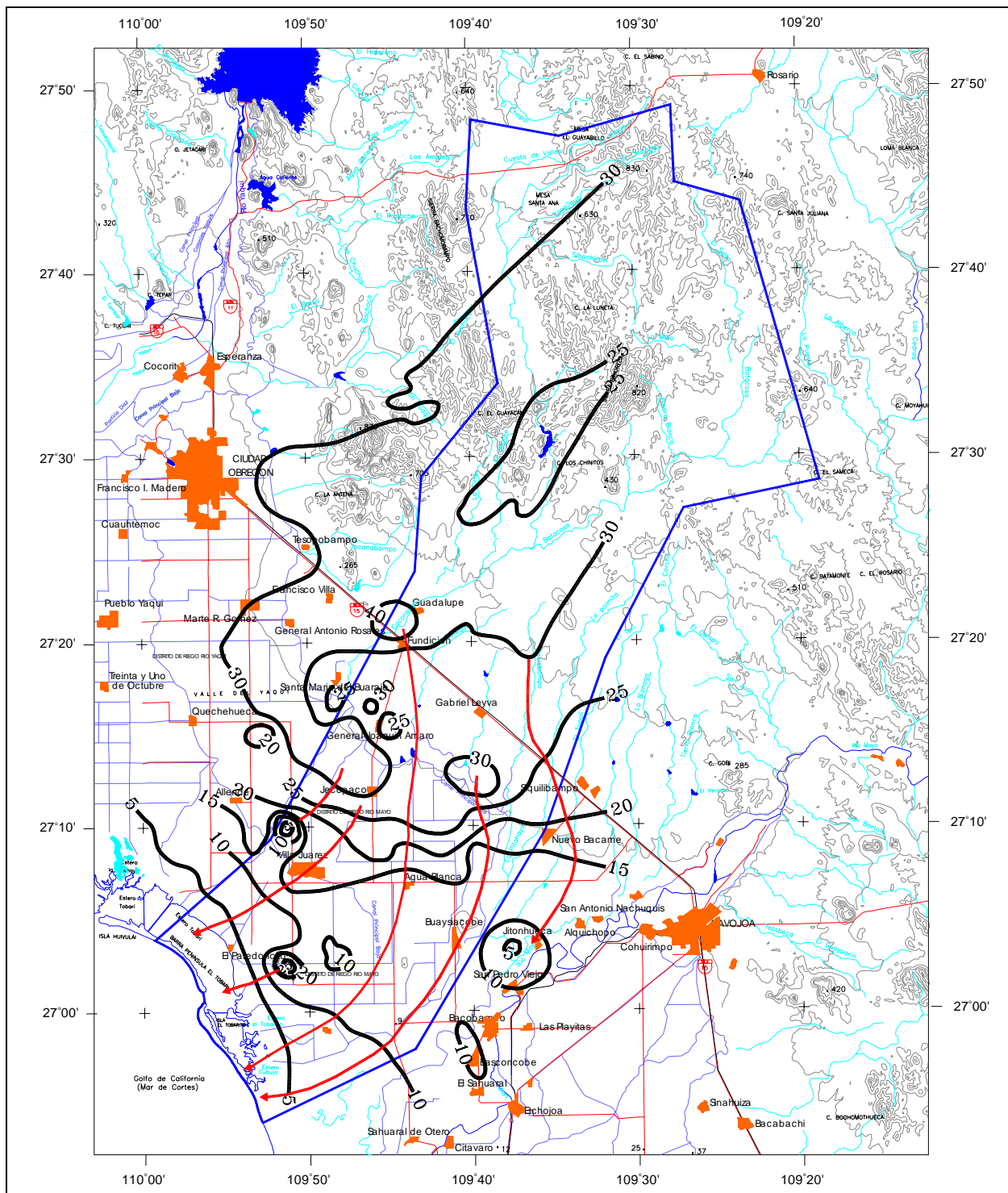


Figura No. 4 Elevación del nivel estático en el año 2002

14

5.4.3 Evolución del nivel estático

En la Figura 5 se muestra la evolución del nivel estático para el periodo 2001-2002, donde se puede observar que en todo el acuífero se presentaron abatimientos de hasta 3 metros en dicho periodo, a excepción de una pequeña zona al noroeste del poblado Gabriel Leyva. Los abatimientos durante este periodo fueron muy altos debido a la sequía que se presentó en la zona.

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En el acuífero Cocoraque existen cuatro tipos de familias de agua, las cuales son de menor a mayor presencia: Sódicas-Sulfatadas (Na-SO_4); Sódicas-Bicarbonatadas (Na-HCO_3); Magnésicas-Cloruradas (Mg-Cl) y Cálccicas-Cloruradas (Ca-Cl)⁽¹⁶⁾. Los valores de conductividad eléctrica en la zona están cercanos a los 2000 omhos/cm (agua salobre) a excepción de un punto localizado al sureste del acuífero que presentó una conductividad eléctrica mayor a 5000 omhos/cm (agua de mar). El agua dulce se puede ubicar al norte del cauce del arroyo Cocoraque. Con respecto al pH el valor predominante en la zona es de 7.5 (aguas alcalinas). El valor predominante de calcio en la zona fue de 5 mg/l, mientras que el de magnesio fue de 2.5 mg/l. Por lo que respecta la sodio, éste varío entre 5 y 10 mg/l, y el cloruro varío entre 2 y 8 mg/l, la distribución espacial de los cloruros muestra una tendencia en aumento de la concentración hacia la línea de costa. El sulfato osciló entre 0.04 mg/l y 2.03 mg/l, y la concentración más importante se localizó en la margen derecha del Río Cocoraque.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al inventario de aprovechamientos subterráneos realizado durante el estudio del año 2003⁽¹⁷⁾ tanto en el acuífero Valle del Yaqui como en el Cocoraque existen 402 pozos de los cuales 33 se encontraban inactivos y 191 norias. En este estudio también mencionan que las profundidades de los pozos varían entre 10 y 250 metros y los diámetros de descarga entre 1 y 14 pulgadas. Las norias contaban con profundidades entre 1.5 y 3 metros, de las 191 norias 8 se encontraron inactivas. En dicho estudio no desglosan el número de aprovechamientos por acuífero, pero mencionan que el volumen de extracción para el acuífero Cocoraque es de 72 $\text{hm}^3/\text{año}$. Información de CNA menciona que la extracción es de 70 $\text{hm}^3/\text{año}$ de los cuales 51.6 $\text{hm}^3/\text{año}$ son utilizados en la agricultura, 8 $\text{hm}^3/\text{año}$ en el público urbano y 10.4 $\text{hm}^3/\text{año}$ se destinan a otros usos.

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 anualmente por el almacenamiento no renovable del subsuelo.

¹⁶ Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

¹⁷ Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

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

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots (1)$$

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 una unidad hidrogeológica, queda representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en la unidad hidrogeológica} \dots (2)$$

7.1 ENTRADAS

Las entradas al acuífero Cocoraque están integradas básicamente por las recargas naturales y las recargas inducidas.

7.1.1 Recarga natural

Está conformada por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta por las zonas de pie de monte desde las partes altas del valle donde una parte de la lluvia se llega a infiltrar. En el acuífero estudiado la recarga natural por lluvia en el área de valle con una extensión de aproximadamente 2,145 km² resultó del orden de 103 hm³/año.

7.1.2 Recarga Inducida

La recarga inducida esta constituida principalmente por la infiltración vertical de una parte de los excesos de agua aplicado en el riego y por fugas en los canales. Para el acuífero que nos ocupa se estimó en 86.5 hm³/año.

7.1.3 Flujo subterráneo horizontal

La recarga del acuífero por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre básicamente en la parte norte del área, como se aprecia en la Figura 4, de curvas de igual elevación del nivel estático del año 2002. Con base en esta configuración se seleccionaron 2 canales de flujo, a los cuales se les aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero., según la siguiente fórmula.

$$Q = T * A * i$$

T: Transmisividad (m²/s) en el canal de flujo

A: Ancho (m) del canal de flujo

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

En la Tabla 3 se pueden observar los valores utilizados para el cálculo del flujo subterráneo horizontal que fue de 8.7 hm³/año.

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre por evapotranspiración, flujo horizontal subterráneo, bombeos y un caudal base de 100 hm³/año.

7.2.1 Evapotranspiración

Ocurre en una superficie expuesta a de unos 690 km², localizada en la parte sur de la zona de estudio, donde la profundidad del nivel de las aguas subterráneas alcanzan valores menores a 10 m (Figura 3).

El volumen de agua que se descarga del acuífero por evapotranspiración se puede obtener aplicando el criterio señalado en el Manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos⁽¹⁸⁾, al respecto se utiliza una gráfica que muestra la relación que existe entre la profundidad de la superficie freática y la magnitud de la evaporación del agua subterránea, medida como un porcentaje de la que se genera en un evaporímetro. Para el caso que nos ocupa se obtuvo un valor de 4.3 hm³/año, al considerar una evaporación potencial media de 2220 mm/año, en la superficie antes indicada.

Tabla No. 3 Entradas de agua subterránea por flujo horizontal al acuífero de Cocoraque

CELDA	ANCHO (B) (m)	LARGO (L) (m)	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO (i)	TRANSMISIVIDAD (T) (m ² /seg)	CAUDAL (Q) (m ³ /seg)	VOLUMEN (hm ³ /año)
1	19,000	16,000	5	0.0003	0.018	0.107	3.4
2	11,000	5,900	5	0.0008	0.018	0.169	5.3
Total							8.7

7.2.2 Descarga natural

En el caso del acuífero en estudio, la descarga naturales solamente esta representada por el flujo subterráneo horizontal que sale hacia el mar de Cortes.

7.2.3 Bombeo

La extracción de agua subterránea en el área de estudio ha variado con el tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, dicha extracción efectuada por bombeo

¹⁸ Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, editado por la Comisión Nacional del Agua a través de la Subdirección General de Administración del Agua, México 1994

es del orden de 70 hm³/año. Este volumen se emplea en diversos usos, entre los más importantes se encuentran el agrícola.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

La descarga por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre en la parte sur, hacia el mar (Figura 4); aplicando la formula expuesta anteriormente ($Q = T * A * i$), en 3 canales de flujo de salida en esa área se calcula una descarga de 46.7 hm³/año, cuyo detalle se muestra en la Tabla 4

Tabla No. 4 Cálculo de descarga por flujo horizontal de aguas subterráneas del acuífero Cocoraque

CELDA	ANCHO (B) (m)	LARGO (L) (m)	h1- h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO (i)	TRANSMISIVIDAD (T) (m ² /seg)	CAUDAL (Q) (m ³ /seg)	VOLUMEN (hm ³ /año)
2	9,000	2,500	5	0.002	0.025	0.452	14.2
3	6,000	1,000	5	0.005	0.025	0.753	23.7
4	8,800	4,000	5	0.0013	0.025	0.276	8.7
Total							46.7

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 198.2 hm³/año, y una descarga total de 221 hm³/año por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero Cocoraque es de -22.8 hm³/año.

En la Tabla 5 se resume el balance de aguas subterráneas en el acuífero Cocoraque

8 Disponibilidad de agua subterránea

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas se aplica el procedimiento estipulado en la Norma, que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales.

La disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Disponibilidad media} \\ \text{anual de agua} \\ \text{subterránea en una} \\ \text{unidad hidrogeológica} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Recarga} \\ \text{total} \\ \text{Media} \\ \text{anual} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Descarga} \\ \text{natural} \\ \text{comprometida} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Volumen anual de} \\ \text{agua subterránea} \\ \text{concesionado e} \\ \text{inscrito en el} \\ \text{REPDA} \end{array} \quad \dots(6)$$

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, calculada asciende a 198.2 hm³/año.

Tabla No. 5 Balance de aguas subterráneas en el acuífero Cocoraque

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ACUÍFERO COCORAQUE, SON.			
Área total del acuífero		km ²	2,577
RECARGA			
Área de valle		km ²	2,145
Coefficiente	I ₁		0.10
Precipitación		mm/año	480
Recarga natural por lluvia		hm ³ /año	103.0
Entradas horizontales	Eh	hm ³ /año	8.7
Total de recarga natural		hm ³ /año	111.7
Público Urbano	I ₂		0.08
Retorno del uso Público Urbano		hm ³ /año	0.6
Agrícola más otros agua subterránea	I ₃		0.12
Retorno de riego, agua subterránea		hm ³ /año	7.3
Agrícola más otros agua superficial	I ₄		0.10
Retorno de riego, agua superficial	803	hm ³ /año	78.6
Retorno total			86.5
RECARGA TOTAL	Rt	hm ³ /año	198.2
DESCARGA			
Salidas horizontales	Sh	hm ³ /año	46.7
Caudal base	Q _{base}	hm ³ /año	100.0
Evapotranspiración		hm ³ /año	4.3
Extracción total bruta		hm ³ /año	70.0
Agrícola		hm ³ /año	51.6
Público urbano		hm ³ /año	8.0
Industrial		hm ³ /año	0.0
Otros		hm ³ /año	10.4
DESCARGA TOTAL		hm ³ /año	221.0
Minado	DA	hm ³ /año	-22.8
Coefficiente de almacenamiento	S		-0.011
Volumen drenado (m/año)	Vd	hm ³ /año	2,145
Abatimiento m/año		m	1.00

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Es la suma de los volúmenes concesionados del agua superficial para diversos usos más una parte del agua que sale por flujo horizontal subterráneo para satisfacer necesidades comprometidas, de tal manera que para este acuífero se estima en 20 hm³/año

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Para el acuífero Cocoraque la descarga natural comprometida es del orden de 20 hm³/año, luego entonces el rendimiento permanente es igual a 178.2 hm³/año.

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), al 31 de mayo de 2003 es de 103.154029 hm³/año

8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la Norma que establece la metodología para calcular la disponibilidad de aguas nacionales (NOM-011-CNA-2000) se obtiene de restar a la recarga total los volúmenes de la descarga natural comprometida y el volumen concesionado e inscrito en el REPDA, de esta forma la disponibilidad es de 75.045971 hm³/año.

$$75.045971 = 198.2 - 20.0 - 103.154029$$

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

Castany G. 1975. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.

CNA, 1997, Estudio de simulación hidrodinámica y diseño óptimo de redes de observación de los acuíferos de León, Jiménez-Camargo y valle del Yaqui, Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

Custodio F, Llamas M. 1983. Hidrología Subterránea Tomo I y II. Ediciones Omega, S.A. Barcelona - España.

Distrito de Riego del Río Yaqui, 2003, Estudio de Actualización Geohidrológica del Acuífero "Valle del Yaqui" Municipio de Cajeme, Sonora, Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

DOF. 5 de diciembre de 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

INEGI, 2000, Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 LA Paz

Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos, editado por la comisión Nacional del Agua, a través de la Subdirección General de Administración del Agua, México 1994.

NOM-011-CNA-2000. Norma Oficial Mexicana. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial 17 de abril de 2002. México.

Secretaría de Fomento Agropecuario 2000. Estudio de evaluación de la disponibilidad de agua subterránea en las zonas Saín Alto y Saín Alto en el Estado de Zacatecas. Contrato SEFOA 005/00. Realizado por Consultores en agua subterránea S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1979, Estudio de las Condiciones Geohidrológicas Sitios Adecuados Perforación y Delimitación de Acuíferos Terciarios de los Valles Intermontanos de Yécora, Río Chico, Los Cedros y Cocoraque, Edo. de Sonora, Geólogos Consultores Asociados, S.A. de C.V.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1975, Boletín Hidrológico No. 40, Región Hidrológica No. 9