

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Valle Del Yaqui (2640),
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							
2640	VALLE DEL YAQUI	564.1	50.0	514.340075	363.9	0.000000	-0.240075

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 2640 VALLE DEL YAQUI

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	110	24	57.4	27	52	21.4	
2	110	21	14.8	27	50	23.6	
3	110	15	2.4	27	49	54.0	
4	110	13	10.2	27	55	59.9	
5	110	10	2.7	27	55	7.0	
6	110	6	26.0	27	57	6.3	
7	110	3	47.6	27	56	4.7	
8	110	3	23.6	27	53	50.0	
9	109	54	20.2	27	49	1.5	
10	109	50	13.8	27	45	23.1	
11	109	39	44.8	27	48	14.5	
12	109	40	5.0	27	43	24.9	
13	109	38	16.0	27	33	57.0	
14	109	42	57.5	27	28	56.0	
15	109	43	24.9	27	23	48.2	
16	109	52	18.7	27	9	21.0	
17	109	59	19.2	27	3	55.4	DEL 17 AL 18 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
18	110	31	11.6	27	50	35.0	
1	110	24	57.4	27	52	21.4	



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO VALLE DEL YAQUI, ESTADO DE SONORA

DICIEMBRE, 2003

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO VALLE DEL YAQUI, ESTADO DE SONORA (2640)

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.....	6
3.1	Provincia fisiográfica.....	6
3.2	Clima.....	6
3.2.1	Temperatura media anual.....	7
3.2.2	Precipitación media anual.....	7
3.2.3	Evaporación potencial media anual.....	7
3.3	Hidrografía.....	7
3.3.1	Región hidrológica.....	8
3.3.2	Subregión.....	8
3.3.3	Cuenca.....	8
3.3.4	Subcuenca.....	8
3.3.5	Infraestructura hidráulica.....	8
3.4	Geomorfología.....	8
4	GEOLOGÍA.....	9
4.1	Estratigrafía.....	9
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.....	14
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	14
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA...	16

7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
7.1	Entradas.....	18
7.1.1	Recarga natural.....	18
7.1.2	Recarga inducida.....	18
7.1.3	Flujo subterráneo horizontal.....	18
7.2	Salidas	19
7.2.1	Evapotranspiración.....	19
7.2.2	Descarga natural.....	20
7.2.3	Bombeo.....	20
7.2.4	Flujo subterráneo horizontal.....	20
7.3	Cambio de almacenamiento.....	20
8	DISPONIBILIDAD.....	21
8.1	Recarga total media anual.....	22
8.2	Descarga natural comprometida.....	22
8.3	Rendimiento permanente.....	22
8.4	Volumen concesionado de aguas subterráneas.....	22
8.5	Disponibilidad de aguas subterráneas.....	22
9	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	23

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO VALLE DEL YAQUI, ESTADO DE SONORA (2640)

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN

1.1.1 Coordenadas

El acuífero Valle del Yaqui quedó designado con la clave 2640 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 27°00' y 27°40' de latitud norte y entre los meridianos 109°40' y 110°25' de longitud oeste, cubriendo un área aproximada de 6595 km² (Figura 1). Limita al norte con la sierra El Bacatete, al sur con el Golfo de California, al oriente con la cuenca del Río Mayo y al poniente con las Colonias Yaquis. Las coordenadas del polígono que enmarcar el área se presentan en la Tabla 1.

Tabla No. 1 Coordenadas que definen el área que cubre el acuífero Valle del Yaqui

Vértice	Longitud Oeste			Latitud Norte			Observaciones
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
1	110	31	12.0	27	50	34.8	
2	110	30	43.2	27	50	16.8	
3	110	30	18.0	27	49	58.8	
4	110	29	34.8	27	49	48.0	
5	110	29	2.4	27	49	51.6	
6	110	23	31.2	27	52	33.6	
7	110	19	48.0	27	48	39.6	
8	110	15	14.4	27	48	10.8	
9	110	13	15.6	27	50	6.0	
10	110	12	43.2	27	53	20.4	
11	110	8	34.8	27	53	6.0	
12	110	7	19.2	27	56	16.8	
13	109	54	28.8	27	49	12.0	
14	109	48	43.2	27	44	31.2	
15	109	43	48.0	27	45	3.6	
16	109	39	3.6	27	49	26.4	
17	109	36	57.6	27	46	40.8	
18	109	37	37.2	27	43	51.6	
19	109	40	15.6	27	40	19.2	

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

20	109	37	44.4	27	33	46.8	
21	109	44	20.4	27	30	50.4	
22	109	43	37.2	27	24	10.8	
23	109	48	54.0	27	14	42.0	
24	109	59	20.4	27	3	54.0	Del 24 al 1 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
1	110	31	12.0	27	50	34.8	

1.1.2 Municipios

De acuerdo con la división política, abarca los municipios comprendidos en forma total o parcial, los de San Ignacio Río Muerto, Guaymas, Cajeme, Quiriego y Bacum, como se muestra en la Figura 2.

1.1.3 Población

El acuífero Valle del Yaqui tenía una población, según las estadísticas de la CONAPO, para el año 2000 de 539 376 habitantes. El municipio con más habitantes es el de Cajeme con 365 867 en donde se encuentra asentada Ciudad Obregón.

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

En la zona se tiene una veda en el distrito de riego del Río Yaqui la cual abarca completamente el municipio de BÁCUM y parcialmente al municipio de CÁJEME. La veda es del tipo 1, o sea, del tipo rígida donde no es posible aumentar las extracciones. El acuífero Valle del Yaqui queda comprendido dentro de la Región Administrativa II Noroeste; así mismo forma parte del Consejo de Cuenca Río Yaqui Matape, 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

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DEL YAQUI, ESTADO DE SONORA, 1980.

En este estudio se efectuaron análisis de agua, 14 pruebas de bombeo, se llevó a cabo un reconocimiento geológico para determinar el marco estructural del acuífero, se recopiló información acerca de los aforos en los distritos de riego, registros de operación de la red mayor, datos climatológicos, datos sobre el uso de agua, etc. También se realizaron configuraciones de I nivel estático, se determinó el coeficiente de almacenamiento y se hizo un balance. Dentro de las recomendaciones menciona que no se debe aumentar el caudal de bombeo, ya que el acuífero se encontraba en equilibrio.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA Y ELECTROMECAÁNICA DE LOS POZOS DEL DISTRITO DE RIEGO DEL RÍO YAQUI, SON., 1986.

El objetivo del estudio fue el de determinar la capacidad instalada de los equipos de bombeo, evaluar las eficiencias hidráulicas y electromecánicas y proponer las

acciones necesarias para mejorar su operación. El estudio cuenta con antecedentes y generalidades además de un estudio regional del acuífero, su modelo conceptual de funcionamiento, características granulométricas, propiedades hidrgeoquímicas, censo de aprovechamientos y régimen de extracciones. También presenta las eficiencias de los pozos y la capacidad de los equipos de bombeo.

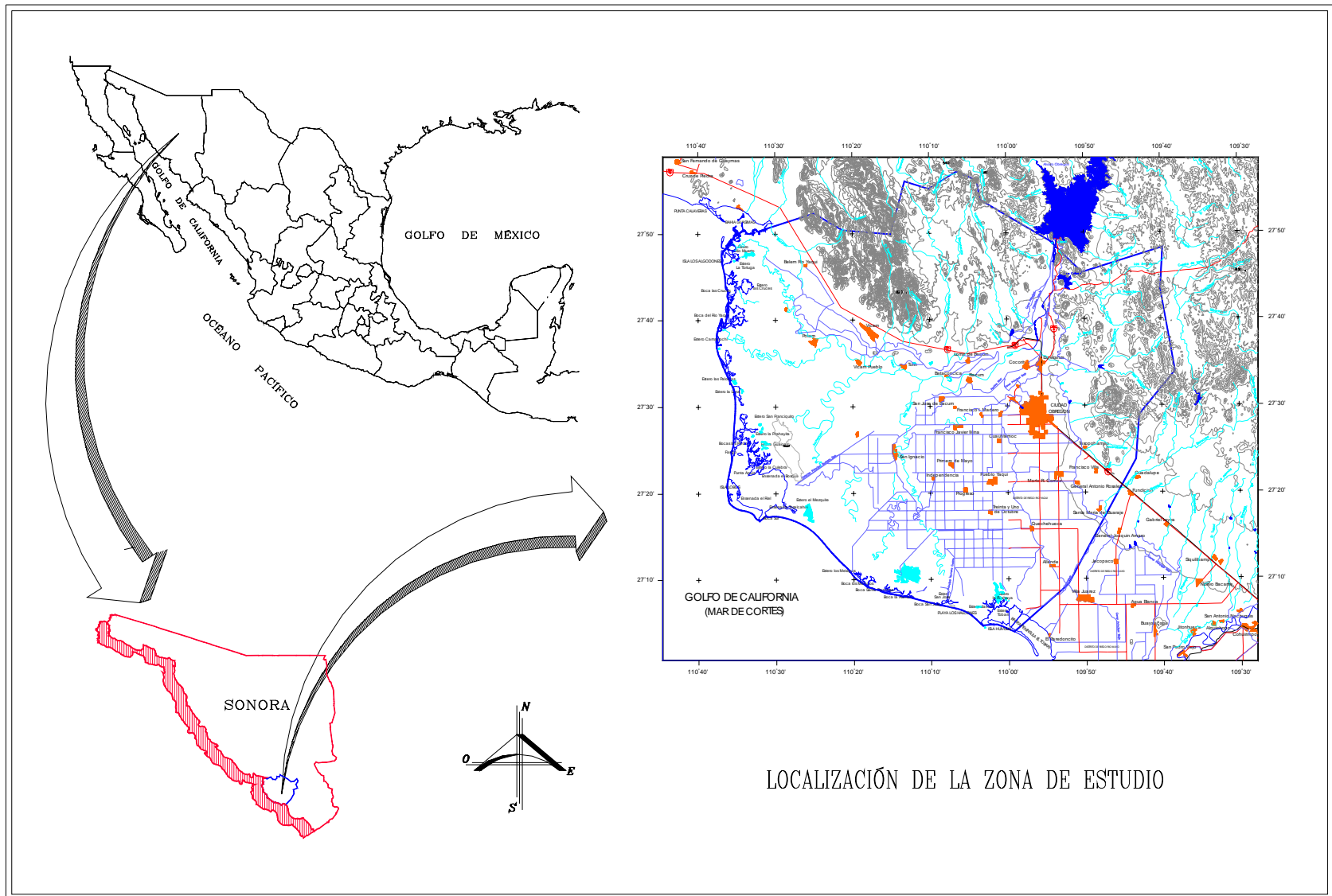


Figura No. 1 Localización del acuífero Valle del Yaqui, Son.

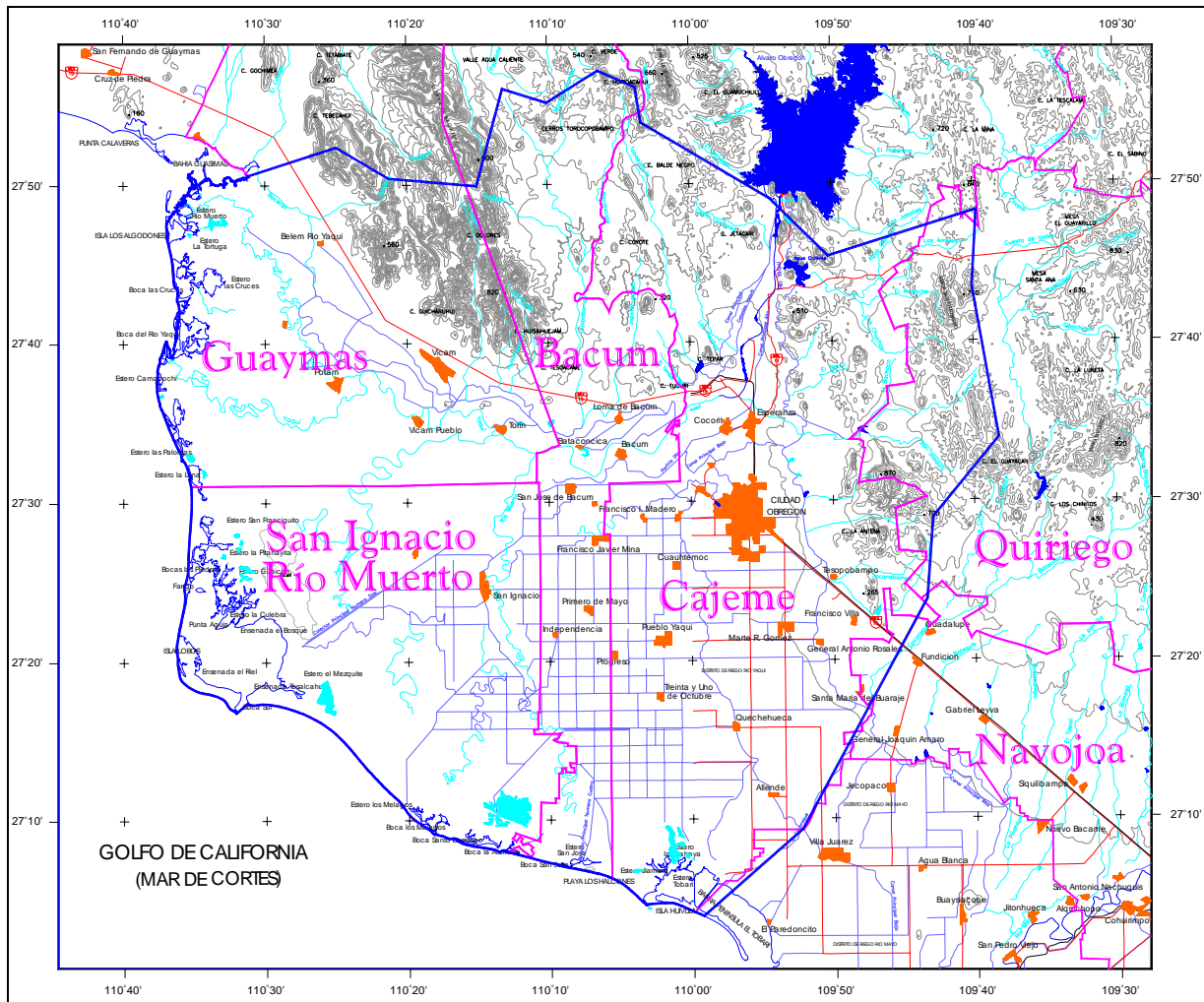


Figura No. 2 Municipios dentro del área del acuífero de Valle del Yaqui, Son.

Dentro de las conclusiones mencionan que debido al prologando bombeo se tienen abatimientos importantes en algunas zonas entre el inicio de la temporada de bombeo y su terminación, lo cual afecta a la eficiencia de los equipos de bombeo al incrementarse la carga dinámica.

PIEZOMETRÍA E HIDROMETRÍA DE POZOS DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL YAQUI, SONORA, 1982.

Este estudio cuenta con datos piezométricos de pozos recabados en 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 194, 1985 y 1989. Datos hidrométricos y de piezometría correspondientes a los meses de noviembre de 1988 - septiembre de 1989, octubre de 1989 - septiembre de 1990, de octubre de 1991 - septiembre de 1992 y de octubre de 1992 - septiembre de 1993.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE PROSPECCIÓN DE LA ZONA ORIENTAL DE LAS CERCANÍAS DE CIUDAD OBREGÓN SONORA.

Este estudio tuvo como finalidad el conocer las condiciones geológico estructurales del subsuelo de la parte oriental de Ciudad Obregón para definir la mejor zona de aprovechamiento de los acuíferos que pudieran ser explotados para uso agrícola. El estudio contiene información sobre la fisiografía e hidrografía, así como de la geomorfología y de la geología en general. Dentro de las actividades de campo se tomaron fotografías aéreas y se realizaron 35 sondeos eléctricos verticales.

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 1997, ESTUDIO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y DISEÑO ÓPTIMO DE LA RED DE OBSERVACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DE LEÓN, JIMÉNEZ-CAMARGO Y VALLE DEL YAQUI, REALIZADO POR INGENIERÍA GEOLÓGICA COMPUTARIZADA, S.A. DE C.V.

Los objetivos principales de éste estudio fueron el diseño óptimo de la red de los pozos de observación, aplicar el modelo tridimensional de simulación y predicción VISUALMODFLOW y determinar la disponibilidad de agua subterránea. Para llevar a cabo los objetivos se hizo un análisis de la información hidrológica, hidrogeológica, geofísica y geológica. Se integró el censo de aprovechamientos obteniendo un caudal de extracción de 419 hm³/año. También se hizo un análisis de la información piezométrica existente. Obtuvieron valores de transmisividad dentro de un rango de 2942.7 m²/día y 7906.7 m²/día y el coeficiente de almacenamiento del orden de 0.00028 a 0.0012. Mencionan que de modo general el acuífero se puede considerar como libre.

Los resultados del balance indican que las entradas al acuífero son del orden 235 hm³/año, mientras que las salidas sonde 423 hm³/año, de las cuales 419 hm³/año son por medio del bombeo, obteniendo así un cambio en el almacenamiento de 187 hm³/año.

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 Valle del Yaqui y para la parte baja del acuífero Cocoraque.

Dentro de las conclusiones mencionan que el Valle del Río Yaqui está compuesto por dos acuíferos; uno de tipo libre denominado acuífero superior y otro por debajo de éste de tipo regional de amplia extensión, espesor y composición variable.

De la interpretación de 142 pruebas de bombeo determinaron un coeficiente de almacenamiento promedio de 0.09. Las transmisividades más altas corresponden a las porciones oeste y sureste, mientras que en la parte central las transmisividades son bajas. El promedio de los valores de las transmisividades fue de 0.0259 m²/s.

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 Valle de Yaqui se encuentra ubicada en la subprovincia fisiográfica denominada Los Deltas de la Provincia Fisiográfica de las Sierras Sepultadas (Raisz, 1964). El Valle del Yaqui comprende el delta formado por el río del mismo nombre. El génesis de ésta estructura sobre el contexto de las Sierras Sepultadas y su vecindad con la subprovincia de las Sierras Pie de Monte y con la misma Sierra Madre Occidental, le dan una situación especial al Valle del Yaqui, aspectos que tienen una incidencia en el comportamiento de los sistemas de flujo regionales y locales⁽²⁾.

3.2 CLIMA

De acuerdo a la información del Atlas Nacional del medio Físico⁽³⁾, en el área que cubre el acuífero Valle del Yaqui el clima predominante según la clasificación de Köppen y modificado por Enriqueta García es del grupo de climas muy secos, subtipos BW(h')hw muy cálido, cálido, con lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 %. En la porción noreste 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 CNA, 1997, Estudio de simulación hidrodinámica y diseño óptimo de la red de observación de los acuíferos de León, Jiménez-Camargo y Valle del Yaqui, Realizado por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

³ Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

3.2.1 Temperatura media anual

La temperatura media anual es de $20.03^{\circ}\text{C}^{(4)}$, valor promedio de cuatro estaciones climatológicas que se encuentran dentro del área con registro de 25 años. Las zonas más cálidas se encuentran en la parte centro-oriental del valle, con una media de 20.5°C , mientras que las menos cálidas están en la zona suroccidental con una media de 19.4°C .

3.2.2 Precipitación media anual

Dentro de la zona se encuentran 4 estaciones climatológicas con información de 25 años, del promedio de estas estaciones se tiene una precipitación media anual $281.6\text{ mm/año}^{(5)}$. Los valores más altos de precipitación se presentan en la porción oriental del acuífero con lluvias entre 460 y 520 mm/año y los valores más bajos se tienen en la parte central con valores entre 180 y 200 mm/año.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial es de $2,061.51\text{ mm}^{(6)}$, de acuerdo con la información de la estación CIANO.

3.3 HIDROGRAFÍA

El Río Yaqui drena la cuenca del mismo nombre, en una superficie de $69,590\text{ km}^2$ la cual llega a presentar elevaciones del terreno de hasta de 3,000 msnm. Tiene una precipitación promedio que varía de 1,800mm en la parte alta, a 200mm en la parte media y baja. Su gasto medio regulado por el sistema hidráulico del control de presas es de $200,000\text{ m}^3/\text{mes}$.

El Río Yaqui tiene dos principales tributarios, los cuales nacen en la parte alta de la Sierra Madre Occidental, ambos son corrientes perennes; el primero, con el nombre del Río Papigochic y el segundo el Río Sirupa que nace en al Estado de Chihuahua y, aunque cambia el rumbo bruscamente, mantiene una dirección preferencial SE-NW, tomando el nombre de Río Aros al entrar a la jurisdicción de Sonora y uniéndose a la corriente del Río Bavispe, aguas arriba de la Presa Plutarco Elías Calles, para formar el Río Yaqui. El tributario principal, el Río Bavispe, nace en la misma sierra unos 200 km al norte; entra al estado de Sonora con rumbo preferencial SE-NW e intersecta al Río Agua Prieta que nace en el Estado de Arizona, E.U.A., cambiando de rumbo bruscamente a N-S, manteniendo el mismo nombre hasta que a su vez confluye con el Río Aros y toma el nombre de Río Yaqui. A 100 km al norte de esta confluencia y sobre el Río Bavispe se encuentra la Presa La Angostura, que

⁴ Op. Cit. CNA, 1997,... Realizado por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

⁵ Op. Cit. CNA, 1997,... Realizado por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A. de C.V.

⁶ CNA, 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.

almacena 1.270 millones de m³. Ya con el nombre de Río Yaqui, aunque con varios cambios bruscos de rumbo, mantiene una dirección preferencial N-S⁷.

Otros afluentes importantes del sistema son los ríos, Verde, Tutuaca, Mulatos, Bonito, Sahuaripa, Bacanora, Moctezuma (con el cual forma el embalse de la presa El Novillo) y Tecoripa (que se le une en la Presa Álvaro Obregón). El Río Yaqui drena finalmente al Mar de Cortés en el estero de Santo Domingo, después de su paso por el sistema de presas y aprovechamientos mencionados, así como numerosas represas construidas sobre afluentes de menor importancia, principalmente para uso agrícola.

3.3.1 Región hidrológica

El acuífero Valle del Yaqui queda comprendido dentro de la Región Hidrológica No.9 Sonora sur

3.3.2 Subregión

El acuífero Valle del Yaqui queda comprendido dentro de la Suregión Río Yaqui.

3.3.3 Cuenca

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

3.3.4 Subcuencas

En la zona no es posible distinguir una subcuenca

3.3.5 Infraestructura hidráulica

La mayor presa de almacenamiento en la zona es la Álvaro Obregón, que aunque esta fuera de los límites del acuífero es de donde se extrae agua para zonas de riego en el distrito Valle del Yaqui. La alimentación de los canales principales se realiza mediante dos presas derivadas llamadas Jecatacari y Hornos, la primera alimenta al canal principal Colonias Yaquis y deriva un volumen anual de 194.6 Hm³ y la presa Hornos deriva al canal principal con un volumen anual de 1211 Hm³.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del área se encuentra influida por la forma y disposición del delta del Río Yaqui y por formaciones de origen volcánico que predominan dentro de la región del Valle del Yaqui. 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

⁷ Op. Cit. CNA, 2003,.... Realizado por la Universidad de Sonora

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, cuyo desarrollo se presenta en los valles que rodean al Río Yaqui. El relieve acumulativo fluvial es el que se forma en los depósitos del cauce del Río Yaqui, como son las llanuras de inundación, terrazas, etc. 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, dando lugar a la formación del delta del Río Yaqui.

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 distribuyen principalmente en la porción septentrional del área, aunque en la porción oriental, se presentan afloramientos aislados de menor magnitud formando cerros de laderas escarpadas. 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

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

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

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 nororiental, 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.

Secuencia Volcánica de la Sierra del Bacatete (Tsb). Dentro de esta unidad se agrupan secuencias basálticas alcalinas de la Sierra del Bacatete, que se asocian al episodio de volcanismo basáltico alcalino, que se ha relacionado junto con las fallas a través de las que se emplazó, con la apertura del Golfo de California. Esta unidad se distribuya en la porción noroccidental del área donde aparecen la porción sureste de la Sierra del Bacatete. Su espesor máximo de acuerdo con la cartografía se estima en 600 m. Cubre discordantemente a la formación Baucarit y a las rocas volcánicas del Terciario.

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 extienden por grandes áreas al pie de las serranías y por debajo de Ciudad Obregón, se interpretan como una fase inicial de los depósitos aluviales que forman el inicio de los depósitos del Río Yaqui, junto con los acarreo de los conos de deyección antiguos. 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 al norte y noreste del área. 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 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 en el Valle del Yaqui. Para fines de claridad y con objeto de distinguir la evolución de los depósitos aluviales que forman el delta de 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. A partir del tercer miembro Qal3, se evidencia la migración del cauce del Río Yaqui de oriente a norte, formada la llanura por una serie de causes entrelazados abandonados, muchos de los cuales forman lagos en forma de media luna, este grupo de depósitos forman el delta, el cual actualmente presenta en su frente, depósitos costeros. Los miembros Qal4 y Qal5, forman las dos últimas fases de depósito, siendo la Qal5, la etapa vigente de depósito a través de la cual fluye actualmente el Río Yaqui.

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 Lagunares (Qdl). Se han cartografiado estos depósitos por las numerosas lagunas costeras y depósitos de este tipo que existen actualmente en el frente deltaico. La litología de estos depósitos esta constituida por una alteración de lutitas y limos.

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 distentivos 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 del Valle del Yaqui 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 confinado¹¹. 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 acuíñamientos, de aquí la variedad de sus sedimentos tanto en espesor como en textura y la amplia variación en permeabilidad vertical y horizontal.

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

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

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 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. Las zonas con transmisividades más altas se encuentran hacia la porción Oeste del Valle, entre las bahías de Lobos y El Tobari. Gran parte de estas zonas están caracterizadas por la predominancia de arenas gruesas y gravas, sin embargo, se localizan fuera de los límites del Distrito de Riego No. 41. Dentro del área del Distrito de Riego, también se detectaron materiales de permeabilidad media a alta en las cercanías del cause del Río Yaqui, es decir en la parte noroeste del valle. Las permeabilidades bajas se presentan en la mayor parte del Distrito de Riego No. 41, estos son resultados de una litología compuesta por materiales arcillosos o limosos con espesores de hasta 75 metros, lo que corresponde con la geomorfología dinámica del área.

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. Los valores de transmisividad variaron entre $8.53 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ y $3.21 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, siendo el promedio de $1.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Las transmisividades más altas corresponden a las porciones oeste y sureste del área. En estas zonas los espesores de material con alta permeabilidad son los más grandes, inclusive en zonas es donde el acuífero se considera de tipo libre, a menos, con la densidad litológica observada, parece no existir alguna capa de material confinante. En la parte central del área de estudio las transmisividades son bajas, ya que estás áreas existen capas confinantes muy potentes, lo cual reduce la velocidad tanto de abatimiento como la de recuperación del acuífero. La mayor transmisividad se localiza en la parte este-sureste de la ciudad de Obregón.

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

También se calculó el coeficiente de almacenamiento el cual varió entre 5.22×10^{-1} y 5.83×10^{-11} , siendo el promedio de 7.89×10^{-2} .

5.3 PIEZOMETRÍA

La zona del acuífero Valle del Yaqui cuenta con datos de niveles estáticos desde el año 1968⁽¹³⁾. La información más reciente sobre la elevación del nivel estático corresponde al año 2002.

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 2 y 36 m. Las menores profundidades se localizaban en las inmediaciones del poblado primero de mayo, mientras que las mayores se localizaban sureste del acuífero en las inmediaciones del poblado General Antonio Rosales.

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 este y norte del área de explotación donde hay registros del orden de 30 msnm; y las menores elevaciones cerca de la costa con valores del orden de 5 msnm. Las curvas de elevación se encuentran sensiblemente paralelas a la costa. El análisis de las configuraciones indica que la zona de recarga ocurre en la parte noreste y descarga hacia el mar en la parte suroeste.

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 una amplia zona de abatimiento en la parte central donde se llegan a presentar evoluciones de hasta 3 m como lo es en el poblado de Cuauhtemoc y de Pueblo Yaqui. Pero también hay algunas zonas de recuperación en el norte y este del acuífero.

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En el sistema acuífero Valle del Yaqui existen cuatro tipos de familias de agua, las cuales son de menor a mayor presencia: Sódicas-Sulfatadas (Na-SO_4); Sódicas-

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

Bicarbonatadas (Na-HCO_3); Magnésicas-Cloruradas (Mg-Cl) y Cálccicas-Cloruradas (Ca-Cl)⁽¹⁶⁾.

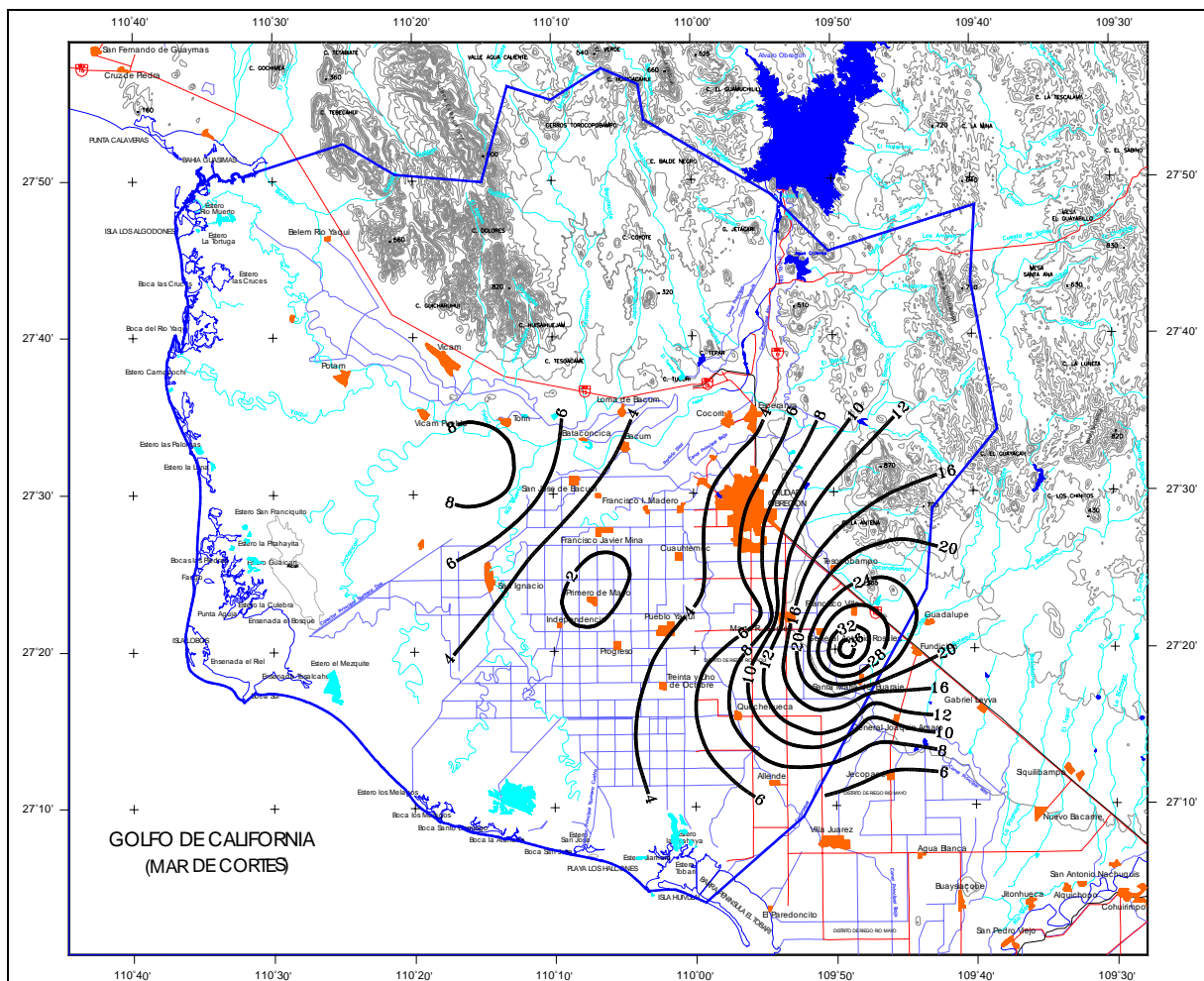


Figura No. 3 Profundidad al nivel estático en el año 1993

La conductividad eléctrica en la zona se distribuye de la siguiente forma: los pozos con CE entre los 2000 y 5000 omhos/cm (agua salobre) se localizan distribuidos de Ciudad Obregón hacia la parte costera. En cuanto los pozos con valores mayores a 5000 omhos/cm (agua de mar) solo se localizaron en 7 pozos cercanos a la línea de costa. El agua dulce se ubica sobre el cauce del Río Yaqui.

Con respecto al pH los valores varían entre 4.5 y 8.7, pero la mayor parte de la zona cuenta con valores superiores a 7, la mayor parte del agua es alcalina. El valor mínimo de calcio fue de 0.15 mg/l y la mayor fue de 32 mg/l. El magnesio varió entre 0.23 y 13 mg/l y al igual que el calcio el valor máximo se presentó en la zona acuícola. Por lo que respecta la sodio, éste varió entre 0.9 y 34 mg/l, presentándose los máximos en la zona acuícola. El cloruro varió entre 0.06 y 9.87 mg/l, pero se

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

presentó un valor de 45.5 mg/l, la distribución espacial de los cloruros muestra una tendencia en aumento de la concentración hacia la línea de costa; esta influencia es aún mayor por la influencia de las granjas acuícolas. El sulfato oscila entre 0.04 mg/l y 2.03 mg/l.

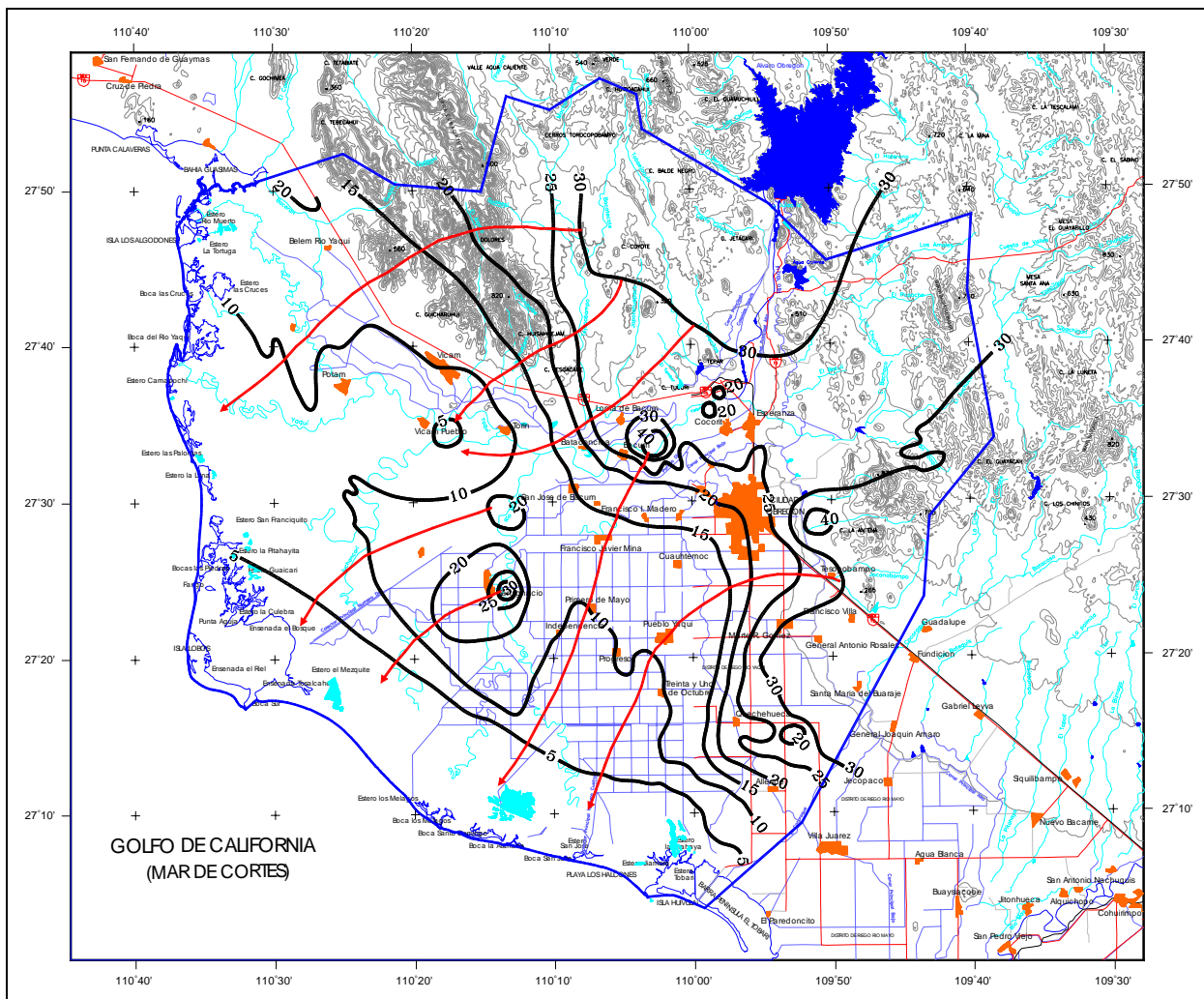


Figura No. 4 Elevación del nivel estático en el año 2002

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo al inventario de aprovechamientos subterráneos realizado durante el estudio del año 2003 en le acuífero Valle del Yaqui 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.

La extracción la obtuvieron por medio del análisis de 32 ciclos agrícolas, desde el ciclo 1969-1970 hasta el ciclo 2000-2001. El volumen de extracción para los últimos cuatro periodos se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Volumen de extracción

Periodo	Volumen de extracción Hm ³
1997-1998	393.75
1998-1999	356.00
1999-2000	227.27
2000-2001	352.11

Por otro lado CNA reporta una extracción para el uso agrícola de 354.3 hm³/año, para el público urbano de 7.8 hm³/año y para el industrial de 1.8 hm³/año.

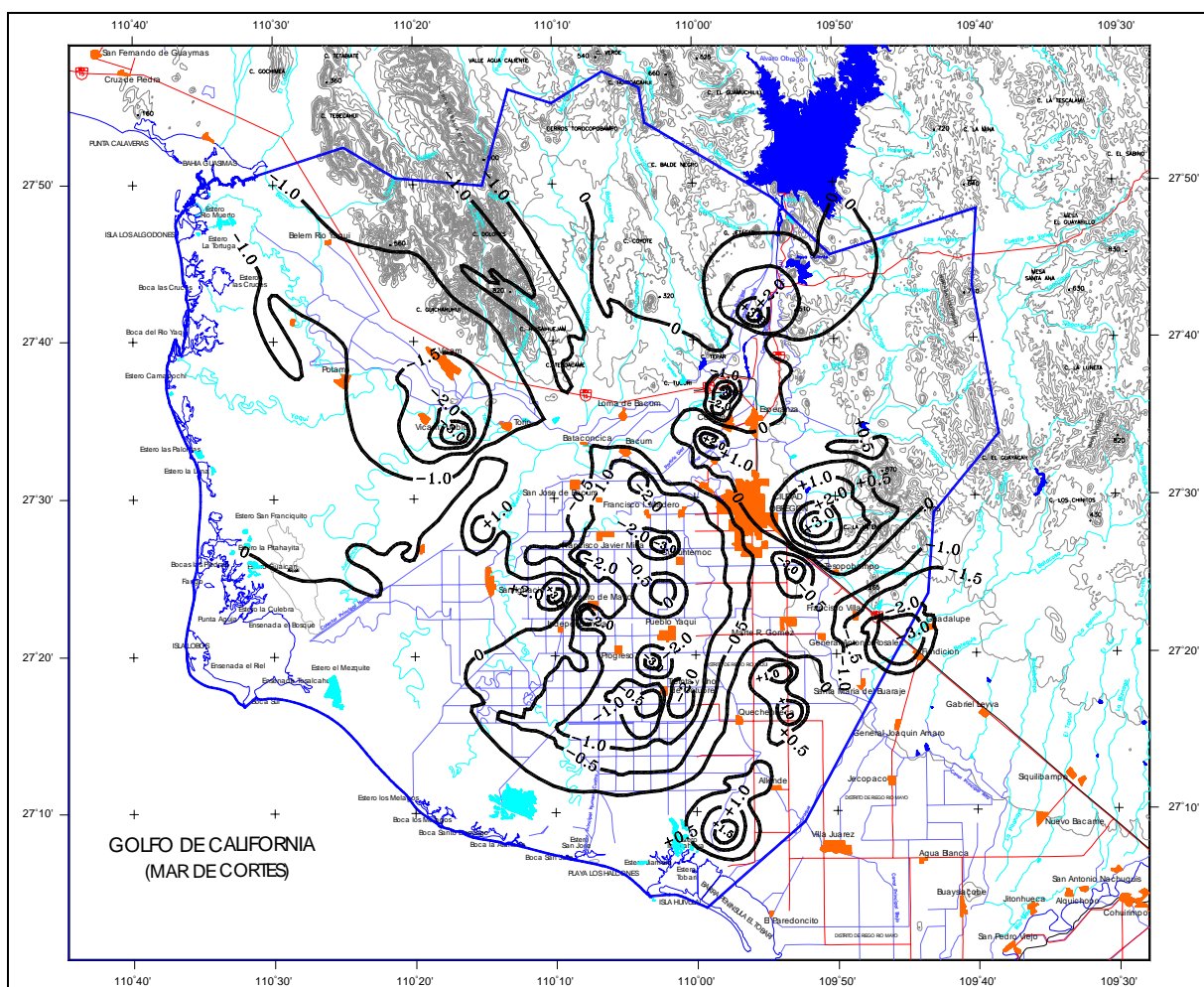


Figura No. 5 Evolución del nivel estático para el periodo 2001-2002

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.

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 Valle del Yaqui 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 5,735 km² resultó del orden de 105.1 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 estimo en 346.5 hm³/año.

7.1.3 Flujo Subterráneo horizontal

La recarga del acuífero por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre principalmente 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 8 canales de flujo, en cada uno de estos canales se aplica la ley de

Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de los 8 canales.

$$Q = T * A * i$$

T: Transmisividad (m^2/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 obtenidos en cada celda y el total que resultó ser de 112.5 hm³/año.

Tabla No. 3 Entradas de agua subterránea por flujo horizontal al acuífero valle del Yaqui

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	8,414	6,774	5	0.001	0.021	0.128	4.0
2	21,810	2,101	5	0.002	0.021	1.067	33.7
3	8,492	1,847	5	0.003	0.021	0.473	14.9
4	10,120	4,661	5	0.001	0.021	0.223	7.0
5	11,375	4,849	5	0.001	0.021	0.241	7.6
6	11,632	1,471	5	0.003	0.021	0.813	25.6
7	5,256	3,759	5	0.001	0.021	0.144	4.5
8	8,777	1,890	5	0.003	0.021	0.477	15.1
Total							112.5

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por evapotranspiración, flujo horizontal subterráneo, bombes y un caudal base de 168 hm³/año.

7.2.1 Evapotranspiración

Ocurre en una superficie expuesta a la evapotranspiración de agua subterránea de unos 2220 km², donde la profundidad del nivel de las aguas subterráneas alcanza valores promedio 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⁽¹⁷⁾, al respecto se utiliza una gráfica que muestra la relación

¹⁷ 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

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 24.4 hm³/año, al considerar una evaporación potencial media de 2061 mm/año, en la superficie antes indicada.

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 es del orden de 363.9 hm³/año. Este volumen se emplea en diversos usos, entre los más importantes se encuentran el agrícola y el público urbano.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

La descarga por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre en la parte suroeste del acuífero (Figura 4); aplicando la formula expuesta anteriormente ($Q = T * A * i$), en 4 canales de flujo de salida en esa área se calcula una descarga de 50 hm³/año, cuyo detalle se muestra en la Tabla 4

Tabla No. 4 Cálculo de descarga por flujo horizontal de aguas subterráneas en el acuífero valle del Yaqui

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)
9	8432	9012	5	0.001	0.026	0.124	3.9
10	23196	3517	5	0.001	0.026	0.871	27.5
11	18180	12769	5	0.0004	0.026	0.188	5.9
12	11954	3918	5	0.001	0.026	0.403	12.7
Total							50.0

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 564.1 hm³/anuales, y una descarga total de 606.3 hm³/año por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero valle del Yaqui es de -42.2 hm³/año. En la Tabla 5 se resume el balance de aguas subterráneas.

Tabla No. 5 Balance de aguas subterráneas en el acuífero valle del Yaqui

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ACUÍFERO VALLE DEL YAQUI, SON.			
Área total del acuífero		km ²	6,595
RECARGA			
Área de valle		km ²	5,735
Coeficiente	I_1		0.07
Precipitación		mm/año	282
Recarga natural por lluvia		hm ³ /año	105.1
Entradas horizontales	E_h	hm ³ /año	112.5
Total de recarga natural		hm ³ /año	217.6
Público Urbano	I_2		0.09
Retorno del uso Público Urbano		hm ³ /año	0.7
Agrícola más otros agua subterránea	I_3		0.11
Retorno de riego, agua subterránea		hm ³ /año	37.8
Agrícola más otros agua superficial	I_4		0.21
Retorno de riego, agua superficial	1490	hm ³ /año	308.0
Retorno total			346.5
RECARGA TOTAL	R_t	hm ³ /año	564.1
DESCARGA			
Salidas horizontales	S_h	hm ³ /año	50.0
Caudal base	Q_{base}	hm ³ /año	168.0
Evapotranspiración		hm ³ /año	24.4
Extracción total bruta		hm ³ /año	363.9
Agrícola		hm ³ /año	354.3
Público urbano		hm ³ /año	7.8
Industrial		hm ³ /año	1.8
Otros		hm ³ /año	0.0
DESCARGA TOTAL		hm ³ /año	606.3
Minado	D_A	hm ³ /año	-42.2
Coeficiente de almacenamiento	S		-0.007
Volumen drenado (m/año)	V_d	hm ³ /año	5,735
Abatimiento m/año		m	1.00

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:

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

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, calculada asciende a 564.1 hm³/año.

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Es la suma de los volúmenes de 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 50 hm³/año

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Para el acuífero valle del Yaqui la descarga natural comprometida es del orden de 50 hm³/año, luego entonces el rendimiento permanente es igual a 514.1 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 428.451909 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 85.648091 hm³/año.

$$85.648091 = 564.1 - 50 - 428.451909$$

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Atlas Nacional del Medio Físico, 1981, SPP

Carta fisiográfica esc. 1: 100 000 CGSNEGI, publicada en el anuario estadístico Zacatecas, edición 2001

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

Comisión Nacional Del Agua, 1997, Estudio de Simulación Hidrodinámica y Diseño Óptimo de la Red 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, 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.

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.