

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Costa De Hermosillo
(2619), 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							
2619	COSTA DE HERMOSILLO	250.0	0.0	347.628420	430.4	0.000000	-97.628420

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 2619 COSTA DE HERMOSILLO

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	112	2	27.5	28	52	55.5	
2	111	59	32.6	28	53	46.9	
3	112	3	48.0	29	5	29.9	
4	112	14	11.3	29	24	30.6	
5	112	6	44.2	29	28	59.8	
6	112	1	52.7	29	28	26.8	
7	111	51	24.5	29	43	40.9	
8	111	50	56.4	29	49	2.1	
9	111	49	10.9	29	52	27.9	
10	111	42	7.3	29	53	37.2	
11	111	39	40.1	29	59	45.5	
12	111	29	0.9	30	6	5.7	
13	111	22	55.5	30	6	51.6	
14	111	20	11.2	29	52	34.2	
15	111	23	38.8	29	49	22.8	
16	111	14	39.5	29	45	28.8	
17	111	8	3.7	29	39	22.3	
18	111	5	59.4	29	28	18.8	
19	110	58	18.0	29	11	31.5	
20	110	56	20.1	29	9	30.7	
21	110	56	41.3	28	58	47.5	
22	110	54	55.1	28	54	1.9	
23	110	56	25.3	28	49	13.9	
24	110	49	46.4	28	38	17.3	
25	110	55	28.7	28	31	41.5	
26	110	57	39.5	28	30	29.8	
27	111	3	38.8	28	26	47.6	
28	111	9	23.2	28	26	52.1	
29	111	12	10.4	28	33	37.0	
30	111	14	41.8	28	34	33.5	
31	111	18	56.2	28	28	15.4	
32	111	21	47.4	28	26	47.6	
33	111	27	19.6	28	19	50.0	DEL 33 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	112	2	27.5	28	52	55.5	



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO COSTA DE
HERMOSILLO, ESTADO DE SONORA***

México, D.F., 30 de abril de 2002

CONTENIDO

- 1 GENERALIDADES
 - 1.1 LOCALIZACIÓN
 - 1.2 CLIMA
 - 1.3 HIDROGRAFÍA
 - 1.4 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO
- 2 TOPOGRAFIA
 - 2.1 FISIOGRAFÍA
- 3 GEOLOGIA
 - 3.1 ESTRATIGRAFÍA
- 4 HIDROGEOLOGIA
 - 4.1 GEOFÍSICA
 - 4.2 GEOQUÍMICA
 - 4.3 PIEZOMETRÍA Y EVOLUCIÓN
 - 4.4 PRUEBAS DE BOMBEO.
- 5 CENSO DE APROVECHAMIENTOS
- 6 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS
- 7 DISPONIBILIDAD
 - 7.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL
 - 7.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA
 - 7.3 VOLUMEN ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA
 - 7.4 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

1 GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN.

El acuífero Costa de Hermosillo se ubica en la porción media del Estado de Sonora. Las coordenadas del polígono para enmarcar el área se presentan en la tabla siguiente:

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	112	2	27.6	28	52	55.2	
2	112	1	44.4	28	54	36.0	
3	112	4	40.8	28	56	31.2	
4	112	4	19.2	28	59	52.8	
5	112	12	43.2	29	19	37.2	
6	112	13	26.4	29	24	25.2	
7	112	11	16.8	29	27	7.2	
8	112	7	26.4	29	28	22.8	
9	112	2	2.4	29	27	36.0	
10	111	51	28.8	29	43	33.6	
11	111	51	50.4	29	47	20.4	
12	111	49	30.0	29	51	7.2	
13	111	43	33.6	29	53	2.4	
14	111	39	36.0	29	59	52.8	
15	111	27	57.6	30	4	40.8	
16	111	22	15.6	30	1	22.8	
17	111	19	48.0	29	59	45.6	
18	111	19	37.2	29	56	45.6	
19	111	24	43.2	29	49	19.2	
20	111	24	43.2	29	48	14.4	
21	111	24	0.0	29	47	13.2	
22	111	17	16.8	29	46	33.6	
23	111	12	46.8	29	40	30.0	
24	111	8	9.6	29	36	0.0	
25	111	5	52.8	29	28	37.2	
26	110	57	39.6	29	12	10.8	
27	110	56	49.2	29	6	21.6	
28	110	56	27.6	29	0	28.8	
29	110	52	44.4	28	57	25.2	
30	110	59	20.4	28	54	39.6	
31	111	0	36.0	28	51	32.4	

32	111	0	46.8	28	48	57.6	
33	110	58	12.0	28	46	48.0	
34	110	50	52.8	28	42	57.6	
35	110	47	9.6	28	40	15.6	
36	110	48	25.2	28	33	14.4	
37	110	56	6.0	28	26	16.8	
38	111	0	10.8	28	25	33.6	
39	111	0	57.6	28	25	12.0	
40	111	2	13.2	28	28	48.0	
41	111	7	8.4	28	32	49.2	
42	111	15	32.4	28	35	16.8	
43	111	18	46.8	28	34	22.8	
44	111	23	31.2	28	22	30.0	
45	111	25	44.4	28	20	2.4	
46	111	27	18.0	28	19	51.6	Del 46 al 1 por la línea de bajamar a lo largo de la costa
1	112	2	27.6	28	52	55.2	

El acuífero se encuentra dentro del municipio de Hermosillo, extendiéndose desde la capital del estado hacia Bahía Kino. Según datos del censo de población y vivienda del INEGI (1995), el municipio de Hermosillo cuenta con una población de 559,154 habitantes, (504,009 en la cabecera municipal del mismo nombre y 10,088 en el resto del municipio), en este municipio se localizan la población de Hermosillo y varias poblaciones, entre los que destacan por la cantidad de habitantes, Bahía Kino y Miguel Alemán.

1.2 CLIMA.

El clima en esta región es extremo, y Köppen lo tipifica como seco semicálido, con lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal de 10.2. La precipitación media anual de 200 mm y una temperatura media anual de 24° C (las temperaturas extremas son -3° C y 46° C); la evapotranspiración potencial media es del orden de 2560 mm.

1.3 HIDROGRAFÍA.

La Costa de Hermosillo forma parte de la región hidrológica No. 9, Sonora Sur, donde el escurrimiento superficial más importantes es el río Sonora y en menor importancia el Bacoachi.

El río Sonora nace al sur de la sierra San José, en las inmediaciones de Cananea. Corre de norte a sur tocando las poblaciones de Arizpe, Baviacora, Ures y Hermosillo, desembocando en el Golfo de California. Las aguas del río son retenidas por las presas Molinito y Abelardo L. Rodríguez, prácticamente el río solo conduce agua en la costa durante precipitaciones extraordinarias o cuando se efectúan desfuegos de la presa Abelardo L. Rodríguez.

El río Bacoachi (que cambia su nombre al de arroyo de Noriega en su parte final) vierte sus aguas a la laguna de Noriega. El área de su cuenca es de 8560 km² aproximadamente, su escurrimiento medio anual es de 20 Mm³, de los cuales una buena parte se infiltra al subsuelo.

1.4 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO.

1.4.1 Decretos de veda.

En diciembre de 1953 se expidió el decreto mediante el cual se creaba el Distrito de Riego No. 051, Costa de Hermosillo, describiendo con detalle los límites del mismo.

La Costa de Hermosillo ha sido numerosas veces motivo de veda para la explotación de aguas subterráneas. La primera de ellas, decretada el 11 de julio de 1951, protegió una superficie muy pequeña de la Costa de Hermosillo, comprendida en los municipios de Villa de Seris y Hermosillo; el 11 de diciembre de 1954 se decretó la primera ampliación del área de veda para la Costa de Hermosillo, que abarcó hasta los límites del Distrito de Riego.

Pasaron casi diez años para que se decretara una segunda ampliación de veda en la Costa de Hermosillo, el 2 de marzo de 1963, debido a los abatimientos de los niveles del agua subterránea, y finalmente, el 2 de junio de 1967 fue decretada la tercera ampliación de la veda en la Costa de Hermosillo.

1.4.2 Organización de usuarios.

El aprovechamiento del acuífero se destina principalmente para los usos agrícola y público urbano, y en menor escala para las actividades pecuarias y de servicios.

Los usuarios están agrupados en la “Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 051 Costa de Hermosillo, A. C.”.

2 TOPOGRAFIA

2.1 FISIOGRAFÍA.

El área que abarca la región conocida como Costa de Hermosillo pertenece a la Provincia Fisiográfica de las Sierras, o Cordilleras Sepultadas, Sub-Suprovincia Desierto de Sonora, de acuerdo con Raiz.

3 GEOLOGIA

3.1 ESTRATIGRAFÍA.

Para la Costa de Hermosillo el primer levantamiento de detalle con propósitos geohidrológicos corresponde a trabajos realizados en 1968.

Paleozoico. Los afloramientos principales representativos del Paleozoico se distribuyen en las porciones norte (fuera del área de estudio) y oriental del levantamiento original. En la porción norte presenta un espesor de 500 m, en cuya parte basal consta de una caliza de color gris rosado, en capas silicificadas de mas o menos 80cm, que intemperiza a un color café rojizo oscuro; las partes media y superior son calizas de color gris, con vetillas de calcita dentro de capas masivas muy gruesas, con nódulos irregulares de pedernal negro e intemperizando a color rojizo anaranjado. Están intrusionadas por una diorita.

Las calizas marmolizadas del cerro La Campana, junto a la ciudad de Hermosillo, son de color blanco, en capas hasta de un metro de espesor; contienen wollastonita y epidota. Descansan sobre granitos.

Por su estructura laminar los afloramientos deben considerarse impermeables, funcionando como fronteras al flujo del agua subterránea.

Cretácico. El Cretácico esta representado principalmente por rocas volcánicas, consistentes en derrames de andesitas, tobas y conglomerados, que Dumble designó con el nombre de Formación Lista Blanca. Se encuentran distribuidos por toda el área del levantamiento, formando cerros y lomas de formas suaves. Por similitud litológica con la Formación El Palmar y por su posición estratigráfica, se les asigna una edad correspondiente al Cretácico Inferior.

Aun cuando son derrames masivos fracturados, el sistema no tiene intercomunicación, por lo que deben considerarse impermeables.

Arcilla azul. Esta unidad no aflora en el área de estudio, pero se conoce su existencia por medio de una prospección geofísica y perforaciones que hizo la extinta Dirección de Aguas Subterráneas en 1967 y en 1968, cortando alternancias de arcilla microfósilífera de color gris azulado. Aumenta de espesor hacia la costa y disminuye hacia tierra adentro, en forma de cuña. Por los microfósiles se le asigna una edad Miocénica del Terciario Marino.

Por su plasticidad y contenido de limos se le considera de baja permeabilidad, funcionando como semiconfinante entre los dos acuíferos de la Costa, el superior y el inferior.

Conglomerado Baucarit. Estas rocas sedimentarias de edad terciaria fueron identificadas por Dumble quien las describió como una alternancia de areniscas y conglomerados. Se encuentra diseminada por toda el área levantada, localizándose sus afloramientos en las estribaciones de todas las sierras. En su parte basal consiste de conglomerado de clásticos de rocas volcánicas: andesitas, riolitas y granitos; en su parte media consiste de una alternancia de arenas gruesas y limos color café rosado en capas delgadas y estructura laminar; la parte superior consiste de un conglomerado color café rojizo, compuesto de clásticos redondeados de origen volcánico embebidos en una matriz arenosa.

Por su posición estratigráfica se le asigna una edad correspondiente al Eoceno-Oligoceno.

Tobas riolíticas. Las tobas y derrames riolíticos se hallan diseminadas por toda el área de levantamiento. Descansan discordantemente sobre las andesitas de hornblenda consistiendo de un basalto gris con estructura masiva y cubierto con un conglomerado de clásticos de granito y material volcánico dentro de una matriz arcillo arenosa, a su vez cubierto por una riolita de estructura fluidal de color variable entre café rosado y rosa. Se le asigna tentativamente una edad del Terciario Inferior. Eoceno-Oligoceno.

Presenta buenas características de permeabilidad y debe ser productora de agua por las tubificaciones que presentan las areniscas tobáceas y la granulometría de las brechas basales, hecho comprobado por numerosas perforaciones de la Costa.

Basaltos. Estas rocas volcánicas del Terciario consisten en derrames de basalto intercalados con brechas basales, que al sur del estero de Tastiota forman cerros alargados con espesores mayores de 75 m. Descansan sobre conglomerados, andesitas y granitos, por lo que se les asigna una edad posterior a la formación Baucarit. Debe ser un excelente acuífero a través de sus brechas basales.

Cuaternario. Este período está representado por sedimentos no consolidados compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas, distribuidos en toda la zona, principalmente en la planicie y en los valles intermontanos.

Agrupar a los depósitos al pie de monte, aluvial, fluvial, eólico, transicional, de playa y depósitos de barra, localizándose estos tres últimos en la franja del litoral.

Todos manifiestan características de buena permeabilidad por lo que funcionan como transmisores de agua hacia estratos más profundos, a la vez que son buenos acuíferos bajo el nivel de saturación.

Rocas ígneas intrusivas. Las rocas ígneas intrusivas granitos y dioritas, son de color gris claro, gris verdoso o gris rosado, de textura holocristalina, de grano grueso a fino y sus minerales característicos son la biotita y hornblenda.

Ocupan los núcleos de las sierras, y por intrusionar a rocas con edades anteriores a su formación se les asigna tentativamente una edad post-paleozoica a los granitos y post-jurásica a las dioritas.

Desde un punto de vista geohidrológico, por la estructura de estas rocas, incapaces de contener agua, se consideran impermeables, funcionando como el basamento geohidrológico regional y como barreras al flujo del agua subterránea.

Rocas metamórficas. Estas rocas están representadas por aureolas de metamorfismo de contacto compuestas por tactitas y mármol. Se hallan distribuidas a lo largo de los contactos de la caliza con las rocas intrusivas. Sus afloramientos son pequeños y le restan importancia geohidrológica, pero de todas maneras dadas su composición mineral estructural es impermeable y funciona como una sola unidad junto con las intrusivas.

4 HIDROGEOLOGIA

4.1 GEOFÍSICA

Los estudios de geofísica han constituido importantes herramientas de apoyo como método indirecto en el conocimiento del subsuelo. La información obtenida se concentra en los estudios geohidrológicos y geofísicos realizados por instituciones oficiales principalmente, como la Secretaria de Recursos Hidráulicos, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la Comisión Nacional del Agua, a través de trabajos contratados para este fin.

Durante 1967 y 1968, la extinta Dirección de Aguas Subterráneas realizó una prospección geofísica a gran profundidad, por medio de la Compañía GEOFIMEX, S. A., además de una serie de perforaciones a cargo de la Perforadora Latina, S. A., alguna de las cuales alcanzó una profundidad de unos 800 m, que permitieron registrar la presencia de una formación arcillosa, identificada mas tarde con la perforación como arcilla azul.

La investigación geofísica resistiva consistió en la aplicación del método Wenner en su disposición de electrodos, alcanzando una profundidad de unos 1000m y abarcando un área de aproximadamente 110 km² formando un rectángulo que cubre la zona comprendida entre las perforaciones profundas identificadas como PHB-15 y PHO-17 de la DAS. En dicho rectángulo se definieron seis perfiles paralelos, equidistantes un kilómetro ente sí, con un desarrollo de 20 km y una orientación NE-SW.

Fue así como se determinó la existencia de la multicitada arcilla azul, de espesor variable, con máximos hacia el litoral y mínimos hasta perderse hacia tierra adentro, esto es, acuniándose hacia la ciudad de Hermosillo. Se registró a la profundidad variable entre 180 y 230 m, limitando a los acuíferos superiores de los profundos, que descansan sobre granito, mismo que se logró registrar en una pequeña área de la prospección mas alejada del litoral, pues hacia la costa parece buzarse fuertemente, debajo de la profundidad alcanzada por la prospección, o sea unos 1200 m.

Los pozos perforados por la extinta Dirección de Aguas Subterráneas durante 1967 y 1968 fueron 28; su finalidad consistió en conocer bien la litología del subsuelo, especialmente del primer acuífero, por lo que en la mayoría tienen profundidades no mayores de 180m. Los pozos de bombeo PHB-7, PHB-12 y PHB-15 alcanzaron profundidades de 412, 446 y 732 m, respectivamente, en tanto que los de observación PHO-7, PHO-12, PHO-16 y PHO-19 llegaron a 352, 467, 412 y 412 m, respectivamente. El pozo PHO-17, el más cercano a la costa y el más profundo a la vez, estaba en proceso de perforación pero ya había atravesado unos 500 m de espesor de arcillas azules. Entre estos pozos y los perforados por los usuarios para explorar el acuífero superior, se determinó su espesor en unos 200 m.

El levantamiento gravimétrico de 1971 vino a corroborar de una manera gruesa los resultados obtenidos, pero de ninguna manera alcanza el detalle descrito, llegando a la conclusión que:

“El acuífero Costa de Hermosillo fluyen a través de sedimentos permeables del Cenozoico que descansan sobre una base cristalina que incluye: rocas ígneas del Cenozoico, rocas ígneas del Mesozoico, rocas metamórficas y posiblemente rocas precámbricas”.

“Se cree que el agua subterránea además de que fluye por los sedimentos permeables del Cenozoico, está controlada por una unidad de lutita arenosa semipermeable”.

Las prospecciones geofísicas realizadas en otros estudios permitieron conocer en mayor detalle la estructura del subsuelo, no obstante que alguna de ellas estaba enfocada a otros propósitos, como determinar la posición de la interfase salina.

4.2 GEOQUÍMICA.

El gran abatimiento inducido de los niveles piezométricos ha traído como consecuencia, en el acuífero Costa de Hermosillo, el avance paulatino de la interfase salina del mar hacia tierra adentro, contaminando al acuífero de agua dulce y deteriorando su calidad. Por consecuencia, el fenómeno ha ocasionado la cancelación de muchos pozos cercanos al litoral, a la vez que deteriora los suelos bajando su productividad agrícola y finalmente propiciando su abandono.

Para 1975 la configuración no muestra un gran contenido de sólidos disueltos totales, ya que en general las concentraciones son de 300 a 400 ppm, con incrementos hacia el litoral donde alcanzan las 600 ppm, y en forma más notoria hacia El Sahuaral, donde la concentración de sólidos alcanza valores de hasta 2500 ppm, con un promedio aproximado de unas 800 ppm, lo cual es ya una limitación seria para la irrigación agrícola.

Para 1985 se notan claramente tres zonas de intrusión salina en el Distrito. La primera se localiza en la parte noroccidental, a la altura de la calle Carrizal, donde aparece la curva con concentración de 1000ppm; la segunda se ubica al oeste del Distrito, proveniente de Bahía Kino y donde los contenidos alcanzan valores de 3000 y 4000 ppm, y la porción suroccidental del Distrito, área contenida entre el litoral y la curva con valor de 1000 ppm, donde hay halos con valores máximos de 10000 ppm.

En la zona de El Sahuaral, los valores máximos son de 4000 ppm, con un promedio entre 2000 y 25000 ppm.

Para 1995 se manifiesta una ligera mejoría, consistente en la disminución de las concentraciones máximas, como respuesta a una serie de factores combinados como la cancelación de pozos con altos contenidos de sales, la atenuación de los abatimientos piezométricos por restricciones al bombeo y por las aportaciones extraordinarias de las avenidas del río Sonora durante el invierno 1994-1995. No obstante estas mejorías, se amplían las áreas afectadas por la salinidad del mar.

En este mismo año de 1995, el Instituto de Geofísica de la UNAM llevó a cabo el estudio denominado “Caracterización Geoquímica de los sistemas de flujo del Valle de Hermosillo, Sonora”. Como parte de las actividades de campo se recolectaron 70 muestras de agua y se hicieron mediciones de parámetros (conductividad eléctrica, temperatura. Etc.), las cuales fueron analizadas en el laboratorio del Instituto Tecnológico de Sonora. Basándose en los resultados de estos análisis se elaboró entre otras cosas el diagrama de Piper.

Basándose en el diagrama de Piper las aguas se dividen en cinco familias de agua:

- (1) Agua de tipo bicarbonatada-sódico: 23 muestras ó 32.9%,
- (2) Agua del tipo clorurada-sódico: 7 muestras ó 10% del total,
- (3) Agua de tipo clorurada-cálcica: 12 muestras ó 17.1% del total,
- (4) Agua de tipo bicarbonatada-cálcica: 27 muestras ó 38.6% del total, y
- (5) Agua de tipo sulfatada-clorurada: 1 muestra ó 1 % del total de las muestras.

Se puede proponer una división de la zona de estudio en las siguientes áreas:

- 1) El área de orientación noreste-suroeste con sus puntos extremos de Hermosillo en el noreste y la línea costera en el suroeste. Esta área comprende partes del antiguo río Sonora, río abajo de la presa Abelardo L. Rodríguez. Las aguas de los pozos mas cercanas de esta última son exclusivamente de tipo bicarbonatada-cálcica lo cual sugiere que aguas del mismo tipo que se muestrearon en pozos mas cercanos de la costa provienen de la misma fuente. La parte sureste de la zona discutida se desvía de lo que era el cauce del río Sonora. Este fenómeno podría ser la consecuencia del cono de abatimiento relacionado con la explotación del acuífero y el consecuente cambio en el gradiente hidráulico.
- 2) Una franja costera de entre 20 km en el sureste (zona de El Sahuaral) y hasta 40 km en su porción noroeste (Bahía Kino). En esta área prevalecen las aguas del tipo clorurada cálcica y clorurada sódica, este último sobre todo en El Sahuaral. Se propone que las aguas de esta franja costera se encuentran influenciadas por la intrusión salina. Este resultado esta apoyado por los resultados de otros parámetros medidos en campo (p.ej. conductividad eléctrica).
- 3) Un área hacia el noreste del límite de la franja costera (línea con orientación sureste-noroeste) y paralela a esta última. Esta área se caracteriza por aguas de tipo bicarbonatada sódica. Dicha zona corresponde a la zona de transición entre el sistema de dos acuíferos separados por un máximo arcilloso cerca de la costa y el sistema de un solo acuífero de tipo libre hacia el noreste. Se propone que este tipo de agua bicarbonatada sódica representa el resultado de un proceso de mezcla entre las aguas de las dos partes del acuífero (acuífero superior e inferior). Se observa sin embargo la presencia de agua de tipo bicarbonatada sódica en puntos aislados en la franja costera. Esto significa que el límite entre esta última y la zona de transición no es una línea recta, sino se presenta mas bien en forma de lenguas. Se observa agua de la zona de transición en dos lenguas que se extienden hacia la costa que coinciden aproximadamente con los límites de la zona del antiguo río Sonora. Se proponen dos orígenes de las aguas bicarbonatadas-sódicas cerca de la costa: 1) se trata de agua de la zona de transición que fue llevada hacia el suroeste, junto con el agua de la cuenca del río Sonora ó 2), se trata de una manifestación de la infiltración del acuífero inferior hacia el acuífero superior a través del manto arcilloso.

Al mismo tiempo, los análisis químicos de las muestras de agua permitieron estudiar la intrusión salina. Como se menciona líneas arriba, se delimitó una franja costera de entre 20 y 40km de ancho, caracterizada por la presencia de aguas de tipo clorurada. Sin embargo, en dos tramos de esta franja se cuenta con la presencia de aguas de tipo bicarbonatada, la cual es característica para zonas mas alejadas de la costa.

La configuración de la conductividad medida en campo se puede relacionar con el contenido en sólidos totales disueltos, y proporciona de esta manera información sobre la calidad del agua. Se puede observar que los valores mas altos de la conductividad se concentran en tres sitios: 1) en el Sahuaral, 2) en una zona que se ubica en medio del tramo de costa del área mencionada y 3) en una zona al norte de Bahía Kino. Estas tres zonas están separadas por zonas con reducidos valores de conductividad eléctrica. Al comparar la configuración de la conductividad con la distribución de las familias de agua, se observa que: 1) las aguas de tipo cloruradas presentan altas conductividades y por lo tanto altos contenidos en sólidos totales disueltos y 2) zonas cercanas a la costa que representan bajos valores de la conductividad cuentan con la presencia de aguas de tipo bicarbonatada, características para el área del cauce del antiguo río Sonora y la franja al noreste de la franja costera. Estas observaciones sugieren que el frente de la intrusión salina se presenta en forma de lenguas que se extienden tierra adentro y que coinciden con los tres sitios con altos valores de la conductividad descritos anteriormente.

4.3 PIEZOMETRÍA Y EVOLUCIÓN.

Con la información piezométrica más antigua contenida en el estudio de 1967, se puede ver la configuración de las curvas de igual elevación de los niveles estáticos que pudiera considerarse como representativa de las condiciones piezométricas originales, antes del bombeo. El área cubierta por la configuración comprende desde Siete Cerros hasta el litoral, y las curvas presentan un gradiente suave y uniforme desde la curva 26 msnm hasta la 1msnm.

La configuración integrada con los datos de los años 1949-1950-1951 ya muestra a lo largo de la calle 28 Sur unos conos de abatimiento que manifiestan los primeros indicios de una sobreexplotación local de los acuíferos. Para 1955 los conos de abatimiento local en la calle 18 Sur se han ampliado, y los valores de las curvas muestran 5 m por abajo del nivel del mar.

En la configuración de 1958 se aprecia que el área ocupada por los niveles estáticos por abajo del nivel del mar se ha duplicado con respecto a 1954, y las máximas depresiones ya se localizan 13 m bajo el nivel del mar. Entre 1959 y 1963 la tendencia de los conos de abatimiento de la calle 28 Sur es la de ampliarse en dirección oriente, hacia las calles 12 Sur y 14 Sur.

Para 1964, finalizando el ciclo agrícola correspondiente a la máxima extracción de agua subterránea en toda la historia del Distrito de Riego, con $1,137 \text{ Mm}^3$, se aprecian abatimientos máximos de -20 msnm , entre las calles 20 Sur y 28 Sur. La elevación media en el área configurada fue de -7.48 msnm .

Entre los años 1965 y 1967 se impusieron reducciones progresivas al bombeo, de $1,137$ a 872 Mm^3 , mediante una primera reglamentación a las extracciones. No obstante el éxito que representaba esta medida, al final resultó frustrante por el hecho de cuantificar en ese año de 1967 el potencial del acuífero en unos $350 \text{ Mm}^3/\text{año}$, cifra todavía muy lejana a la reducción lograda.

Lo anterior se reflejó en un desánimo de los agricultores y se dejaron pasar las cosas, más o menos conservando el mismo ritmo de explotación logrado en el último año de reducción. No fue sino hasta 1977 que se implantó otro programa de reducción del bombeo, abarcando diez años con una etapa de revisión de tres años para los ciclos 1982 a 1985; concluyo en 1990 lográndose

reducir paulatinamente de nueva cuenta las extracciones anuales de 825 a 448 Mm³, aunque la meta es desde luego llegar a equilibrar estos volúmenes con la recarga estimada a los acuíferos.

Las medidas anteriores se reflejaron en el comportamiento del acuífero en la siguiente forma. Para 1989 y 1990 los dos conos de abatimiento claramente marcados se ubicaban, el primero en la parte central del Distrito, con una depresión máxima de 54 m bajo el nivel del mar, y el segundo, en la parte noreste del Distrito, con una depresión máxima de -20 msnm.

Para 1993 el primero de los conos de abatimiento recién señalados se recorrió hacia el oriente, alcanzando los -58 msnm, el segundo de los conos de depresión, en la región noroeste, aunque no aumentó su magnitud de manera importante, extendió su diámetro.

En 1996, la configuración manifiesta distorsiones importantes, en primer lugar es de citarse la recuperación piezométrica del primer cono de abatimiento, originado por la disminución de las extracciones y posiblemente en mayor medida por las aportaciones de agua superficial debidas a los desfogues de las presas Molinito y Abelardo L. Rodríguez en el invierno de 1994-1995, pues el cauce del río Sonora pasa por el centro del área de abatimientos que se infiltraron en su totalidad. Por otro lado el segundo de los conos de abatimiento manifestó una máxima depresión de -44 msnm.

Año:	Extracción (Mm ³):	Elevación media N. E. (m):	Año:	Extracción (Mm ³):	Elevación media N. E. (m):
1945	17.50	10.91	1972	855.70	-15.73
1946	41.00		1973	861.00	-16.79
1947	87.80		1974	845.50	-18.22
1948	152.10		1975	774.30	-18.96
1949	227.00		1976	810.00	-20.06
1950	301.90	8.05	1977	825.70	-21.39
1951	386.90		1978	783.90	-22.51
1952	463.90		1979	758.50	-23.28
1953	531.80		1980	784.90	-24.20
1954	646.10	5.83	1981	785.50	-25.20
1955	757.70	3.80	1982	760.00	-25.96
1956	759.00	1.95	1983	638.70	-26.49
1957	801.00	0.54	1984	588.30	-27.15

Año:	Extracción (Mm ³):	Elevación media N. E. (m):	Año:	Extracción (Mm ³):	Elevación media N. E. (m):
1958	807.00	-0.25	1985	594.10	-27.82
1959	804.60	-1.64	1986	616.00	-28.50
1960	988.60	-1.30	1987	610.40	-29.28
1961	969.90	-3.46	1988	552.30	-30.09
1962	882.10	-3.88	1989	473.10	-30.78
1963	915.80	-5.53	1990	448.70	-31.14
1964	1136.80	-7.48	1991	422.30	-31.64

1965	1015.00	-8.68	1992	346.70	-32.08
1966	910.00	-9.38	1993	388.50	-31.49
1967	902.80	-10.27	1994	431.20	-32.34
1968	771.00	-11.01	1995	395.30	-32.50
1969	876.50	-12.01	1996	471.20	-34.80
1970	939.70	-13.35	1997	459.80	-34.87
1971	955.90	-14.62	1998	393.70	-35.41

La configuración de evolución de los niveles 1993-1995 confirma en forma más objetiva los señalamientos anteriores, mediante la recuperación de los niveles piezométricos en la forma descrita.

4.4 Pruebas de bombeo.

En el estudio geohidrológico realizado en 1968, se llevaron a cabo una serie de pruebas de bombeo en una muestra de aprovechamientos de la Costa de Hermosillo.

Con la información obtenida se realizó una configuración de la transmisividad y del coeficiente de almacenamiento del acuífero superior.

De las pruebas de bombeo realizadas puede inferirse que la transmisividad media era del orden de $4.5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ y que el coeficiente de almacenamiento medio era aproximadamente 1.1×10^{-3} .

Las pruebas de bombeo realizadas en la región mostraron que en ese tiempo el acuífero explotado tenía coeficientes de almacenamiento fueron de entre 10^{-1} y 10^{-3} , característicos de los acuíferos semiconfinados, por lo cual debe admitirse que los 100 primeros metros de rellenos, medidos a partir de la superficie, constituidos por clásticos más finos, actúan como acuífero libre semiconfinante de relativamente baja permeabilidad, con un esquema de flujo predominantemente vertical.

5 CENSO DE APROVECHAMIENTOS

En el Registro Público de Derechos de Agua, REPDA, se tienen inscritos con Título de Concesión un total de 838 aprovechamientos con un volumen global de 422.537 millones de m^3 , 2 aprovechamientos en trámite de Registro con un volumen de 0.017 m^3 y 392 obras en proceso de regularización con un volumen de 7.94 millones de m^3 , según se ilustra en la Tabla anexa.

De los 838 pozos titulados, 509 pozos se incluyen en el Título Único otorgado a la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 051, A.C. con un volumen global de 409.7 millones de m^3 anuales; 11 pozos agrícolas con título independiente con un volumen de 6.0 millones de m^3 , 11 obras con 0.0175 millones de m^3 , 6 pozos industriales que comprenden un volumen de 0.304 millones de m^3 , 118 de usos múltiples con 3.78 millones de m^3 , 96 pozos pecuarios amparando un volumen de 1.04 millones de m^3 , 76 pozos para uso público urbano y un volumen de 1.58 millones de m^3 y 11 captaciones de servicios con un volumen de 0.89 millones de m^3 .

6 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

En el estudio realizado en 1970 se determinó una recarga de 350 Mm^3 , y se concluyó que un 22% o sea 77 millones de m^3 provenían de tierra adentro por el mismo acuífero superior, y 273 millones de m^3 que representan el 78% restante, procedía del acuífero inferior a través de la arcilla azul. Además este estudio estima que unos 62 millones de m^3 anuales (8%) retornan al acuífero como recarga vertical debido a los volúmenes aplicados al riego.

Para este mismo año, se hizo una extracción de 771 Mm^3 , mientras que para 1995 se redujo este volumen hasta 400 Mm^3 , esto se logró debido a varios aspectos como reducción concensada entre los usuarios, inhabilitación de algunos pozos para ser operados debido a la intrusión, problemas económicos, entre otros, etc.

En el año 2001 se realizó el estudio de Cuantificación de la Recarga del acuífero Costa de Hermosillo. Con base en los trabajos de geofísica y calidad del agua considerada en este estudio se determinó que la entrada de agua al acuífero por flujo horizontal se tiene en cuatro frentes, a saber:

1. Por la zona conocida como siete cerros (río Sonora y arroyo La Poza)
2. Lado este del acuífero
3. Río Bacoachi
4. Costa (agua de mar)

Los valores calculados para la ecuación de balance son:

- Flujo horizontal	=	79.1 Mm^3
- Agua de mar	=	98.4 Mm^3
- Cambio de almacenamiento	=	-227.19 Mm^3
- Recarga vertical (es la interrogante de la ecuación)		
- Bombeo	=	527.35 Mm^3

Para la determinación del volumen de bombeo se realizó un estudio a través de imágenes de satélite.

Derivado de la solución de la ecuación de balance se obtiene que la recarga vertical es de 72.5 Mm^3

En conclusión el volumen total anual de recarga es igual a 250.0 Mm^3 de los cuales 151.6 Mm^3 son de agua dulce y 98.4 Mm^3 son agua salada proveniente del mar.

7 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad del agua subterránea, se aplica el procedimiento indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas establece la expresión siguiente:

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

7.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero *Costa de Hermosillo*, Estado de Sonora es de 250.0 Millones de metros cúbicos por año ($\text{Mm}^3/\text{año}$).

7.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

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 de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el acuífero Costa de Hermosillo, Estado de Sonora, no existe una descarga natural comprometida.

7.3 VOLUMEN ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA CONCESIONADO E INSCRITO EN EL REPDA

En el acuífero *Costa de Hermosillo*, Estado de Sonora,, el volumen anual concesionado, 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, al 30 de abril de 2002 es de 430,960,746 metros cúbicos por año $\text{m}^3/\text{año}$.

7.4 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas conforme a la metodología indicada en la norma referida, 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:

$$-180,960,746 = 250,000,000 - 0 - 430,960,746$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones en la unidad hidrogeológica denominada acuífero *Costa de Hermosillo*, en el Estado de Sonora.

BIBLIOGRAFÍA:

- Estudio de Cuantificación de la recarga del acuífero “Costa de Hermosillo”, Municipio de Hermosillo, Sonora. UNISON. 2001
- Estudio para la estimación del volumen de agua subterránea extraídos para uso agrícola en la zona de Hermosillo: Costa de Hermosillo, Sonora y Janos, Chihuahua, aplicando técnicas de percepción remota. Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo. 1999.