



**EL COLEGIO
DE SONORA**

**PROPUESTA DE ACCIÓN PARA LA GESTIÓN INTEGRADA EN LA
COSTA DE HERMOSILLO, SONORA**

**Tesina para obtener el diploma de
Especialidad en Gestión Integrada de Cuencas Hidrológicas**

Presenta

José Luis Quevedo Estrada

Director

Mtro. José María Martínez Rodríguez

Hermosillo, Sonora

Junio de 2007

ÍNDICE

I	
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	2
Objetivos	4
Metodología	5
II	
EL CONTEXTO	8
La cuenca del río Sonora	8
La Costa de Hermosillo	13
III	
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA	18
IV	
ACCIONES PROPUESTAS	25
V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Decretos de veda y reglamentación	3
Cuadro 2. Población 2000-2030	8
Cuadro 3. Acuíferos y superficies en la cuenca del río Sonora.....	10
Cuadro 4. Usos y fuentes de agua en la cuenca del río Sonora	10
Cuadro 5. Plantas de tratamiento de agua municipales	11
Cuadro 6. Registro histórico del comportamiento de las extracciones/nivel estático del acuífero	17
Cuadro 7. Superficie, producción y valor de las cosechas del Distrito de Riego 051, Costa de Hermosillo. Año agrícola 2004-2005	18
Cuadro 8. Superficie con sistemas de riego presurizados	20
Cuadro 9. Tipos de suelos, infiltración básica y pérdidas estimadas según el servicio de conservación de suelos de Estados Unidos.....	20
Cuadro 10. Distribución de la concesión otorgada en 1994 por tenencia de la tierra	21
Cuadro 11. Padrón de usuarios 2006.....	21
Cuadro 12. Concentración del agua en la pequeña propiedad.....	22
Cuadro 13. Distribución del agua en ejidos.....	22
Cuadro 14. Disponibilidad de agua subterránea	23
Cuadro 15. Volumen anual de agua concesionado.....	24
Cuadro 16. Superficie media sembrada en los últimos 16 años	25
Cuadro 17. Comportamiento de las principales variables de los planes de riego de 1992 a 2005	26

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Acuífero Costa de Hermosillo. Elevación media del nivel estático y extracciones	15
Gráfica 2. Configuración de la profundidad del nivel estático.....	16
Gráfica 3. Extracciones	26

I

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas el agua del acuífero de la Costa de Hermosillo se ha utilizado principalmente para la producción de alimentos agrícolas. Pero, en tiempos recientes, esta situación tiende al cambio, ya que los grupos de usuarios se han incrementado en número y tipo, como son: el público urbano, industrial, pecuario y ecológico.

Como fuente única y finita, todos los demandantes dependen de las aguas subterráneas, sin embargo, para garantizar su disponibilidad en cantidad y calidad, así como su utilización racional y eficiente, se hace necesario reorientar su proceso de gestión para que sea integral, equitativo, eficiente y sustentable.

Con ello se busca enfrentar con certidumbre la disponibilidad reducida resultante de la variabilidad natural del ciclo hidrológico, disminuir el impacto humano como consecuencia de su desarrollo, crecimiento poblacional y aglutinamiento en centros urbanos grandes, y favorecer su uso para el mantenimiento de los ecosistemas naturales existentes.

Debido a que al acuífero de la Costa de Hermosillo se le considera parte integrante de la continuidad hidrogeológica de los acuíferos que forman la cuenca del río Sonora, para reducir el desequilibrio en su explotación, uso o aprovechamiento y avanzar en su preservación en cantidad y calidad, se requiere de la interrelación y coordinación de las acciones que se dan en su área de influencia, los acuíferos circundantes, así como en las partes media y alta de la cuenca.

ANTECEDENTES

Los antecedentes de la región de estudio se remontan a cuando en ella se realizaba una agricultura de temporal con las aguas que escurrían por el cauce del río Sonora. Esto fue así hasta 1947, año en el que la construcción de la presa Abelardo L. Rodríguez contuvo el flujo de estas corrientes, obligando al productor a buscar otras fuentes (CNA 1996).

Al año siguiente, y cinco antes de la creación formal del distrito de riego de la Costa de Hermosillo, se inició la extracción de aguas subterráneas, mismas que permitirían el desarrollo progresivo de la explotación agrícola. El acuífero se encontraba virgen y se tenía la idea de que era una fuente infinita e inagotable para la agricultura y el desarrollo de la región (Distrito de Riego 051- Costa de Hermosillo 2000).

Esta percepción de las aguas subterráneas ocasionó el incremento de alumbramientos de aguas del subsuelo y de las extracciones. Para 1951, con fundamento en estudios realizados por la extinta Secretaría de Recursos Hídricos (SRH), el gobierno federal llegó a la conclusión de que, de continuar los alumbramientos y extracciones de agua del subsuelo con el ritmo con que se venían efectuando hasta esa fecha, se correría el riesgo de sobrepasar la capacidad explotable de los recursos hídricos subterráneos susceptibles de aprovechamiento y, como consecuencia, el agotamiento de las aguas dulces y la invasión de aguas saladas, lo que redundaría en perjuicio de los aprovechamientos existentes, cuya conservación y protección era de interés público.

En los años siguientes, el acuífero se vedó y reglamentó con la emisión de varios decretos y se creó un distrito de riego (véase cuadro 1). Pese a todo ese esfuerzo del gobierno federal, el acuífero continuó sobreexplotándose y abatiéndose un metro anual en promedio durante los últimos 55 años. En la actualidad, el problema de la intrusión salina afecta a cerca de 22 000 hectáreas y la contaminación avanza gradualmente, ocasionada por la descarga de aguas residuales sin tratar a los cauces naturales (Organización Meteorológica Mundial 2004).

Recientemente, su operación, conservación y administración fue transferida a los usuarios, a quienes se entregó un título de concesión y con él un volumen de 409.7 hm³ para ser extraído a través de 498 aprovechamientos.

Cuadro 1
Decretos de veda y reglamentación

Diario Oficial de la Federación	Objeto	Comportamiento acuífero
11 de julio de 1951	Veda por tiempo indefinido para alumbramientos de agua del subsuelo en los municipios de Villa de Seris y Hermosillo.	Riego de 40 000 ha; lámina bruta 0.8 metros; volumen extraído 320 hm ³ ; piezometría estable.
18 de diciembre de 1953	Crea el Distrito de Riego de la Costa de Hermosillo, Sonora y un Comité Directivo.	En 1955: la elevación media del nivel estático desciende de los diez metros sobre el nivel del mar y empieza a registrar niveles negativos. La curva cero se desplaza 15 km al noroeste.
04 de diciembre 1954	Amplía la zona vedada para el alumbramiento de aguas del subsuelo hasta los límites del Distrito de Riego.	
02 de marzo de 1963	Amplía el Distrito Nacional de Riego de la Costa de Hermosillo, Sonora y se establece veda por tiempo indefinido para la nueva zona delimitada (exceso de aprovechamientos al norte por tratarse de zona libre).	Las extracciones aumentan en lugar de disminuir llegando a los 1 150 hm ³ ; el flujo se invierte y el cono de abatimiento presenta líneas equipotenciales de 25 metros por abajo del nivel del mar; la curva cero se encuentra a más de 45 km al interior del continente rumbo noroeste y llega a la altura de Siete Cerros.
14 de marzo de 1963	Reglamento para la explotación de aguas subterráneas en la zona vedada de la Costa de Hermosillo, Sonora (reducción programada de extracciones de 1963 a 1966).	
02 de junio de 1967	Se amplía la zona vedada para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Costa de Hermosillo, Sonora.	
19 de septiembre de 1978	Se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo (meridiano 110° de Greenwich y el litoral con el Golfo de California).	A partir de 1970, los abatimientos continuaron hasta alcanzar los 65 metros por abajo del nivel del mar y el avance de la línea cero se desplaza más de 60 km al noroeste del acuífero, con la inversión del flujo se presenta una fuerte intrusión salina.

Fuente: elaboración propia.

Es decir, a pesar de la intención de controlar y reducir el aumento en el número de aprovechamientos y en las extracciones; crear un distrito de riego con la función central de coordinar, supervisar y controlar el aprovechamiento del acuífero; transferir la operación, conservación y administración del distrito a los usuarios; contar ininterrumpidamente con una representación federal para atender los aspectos del agua; realizar numerosos estudios, paros

de bombeo, que año tras año demostraban fehacientemente el abatimiento del acuífero; constituir y sesionar el Consejo de Cuencas del Alto Noroeste; publicarse la disponibilidad de agua del acuífero; crearse la Comisión Estatal del Agua (CEA); haberse modificado y emitido una nueva Ley de Aguas Nacionales en 2004; presentarse la intrusión salina, y otros tipos de contaminación, que eliminan el potencial productivo de la infraestructura y de la superficie, e impactan sobre la salud humana; la sobreexplotación, el abatimiento y el deterioro siguen su curso, sin control alguno. Y lo más preocupante es que sigue sin reconocerse y, por lo tanto, sin una propuesta planeada de acciones que surja y se concierte por y entre las partes, que sea comprendida y aceptada por la población en general, que permita reducir su magnitud y avanzar en la recuperación y equilibrio del acuífero.

Un asunto destacable en esta historia es que, en tanto el acuífero se explotó esencialmente para la agricultura, la información sobre el avance y la magnitud de su deterioro fue confidencial y estratégicamente manejada por este uso, es decir, al interior del distrito de riego y la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 051–Costa de Hermosillo, A. C (AUDR051). El clima y su comportamiento más errático del que le caracteriza –producto de la sequía que padece la región durante los últimos doce años– han contribuido al severo avance de la deforestación y el sobrepastoreo en la cuenca del río Sonora y se han encargado de descubrir esa realidad lastimosa. Ahora que los usos se diversifican, las decisiones sobre el aprovechamiento, uso, explotación y preservación del acuífero, podrían ser integrales y equitativas, especialmente si se sustentan en el marco normativo y en la participación informada de la sociedad.

OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesina es formular una Propuesta de acción para la gestión integrada en el distrito de riego de la Costa de Hermosillo.

Los objetivos específicos son efectuar un diagnóstico del uso y manejo del acuífero, determinar si la AUDR051 ha cumplido con la obligación y responsabilidad de administrar y

preservar las aguas nacionales del subsuelo otorgadas en concesión, conocer el estado actual de la gestión en la región, y proponer líneas de acción para su mejoramiento.

Para desarrollar esta propuesta se presentan las características generales de la cuenca del río Sonora y del acuífero Costa de Hermosillo. Se describe el estado del recurso en su relación con los usuarios actuales. Para el uso agrícola, centra su atención en la relación existente entre distrito de riego-acuífero-asociación de usuarios, la programación del riego, los excesos en la extracción, el abatimiento del nivel freático, la supervisión y medición, así como los usuarios que concentran los principales volúmenes y número de aprovechamientos. Para el uso público urbano atiende sus demandas en aumento, derivadas del crecimiento poblacional, las aguas residuales y la necesidad apremiante de su tratamiento y reutilización. En cuanto al uso industrial, centra su atención en la importancia de asegurar el agua para esta actividad y en el tratamiento de las aguas residuales que produce, su reuso y reciclado. Con respecto al uso pecuario, se aborda el impacto negativo que la sobrecarga animal tiene en la vegetación, por no respetar la capacidad natural del agostadero. Para el uso ecológico propone algunos procedimientos para contar con volúmenes que se destinen a este propósito.

METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo se consultó información relacionada con el aprovechamiento del acuífero en la agricultura, padrones de usuarios registrados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), documentos legales y normativos, estudios geohidrológicos realizados, proyectos, propuestas y ponencias que se han formulado sobre el tema, y literatura relacionada en general con cuencas, acuíferos y mercados de agua. Toda la información se cita en la bibliografía.

También se realizaron entrevistas con preguntas abiertas a autoridades de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y directivos de la AUDR051.

Para determinar la disponibilidad media anual de agua se recurrió al estudio realizado por la Universidad de Sonora (2002), del que se obtuvo la recarga total media. El volumen anual de agua concesionado se determinó con la obtención y revisión del padrón de usuarios de la Costa de Hermosillo, registrado en el REPDA. Con estos dos valores y utilizando la metodología establecida en la NOM-011-SEMARNAT-2000, se calculó la disponibilidad de agua subterránea para el acuífero de la Costa de Hermosillo.

Se recabaron y analizaron los programas y cierres de los planes de riego del período que va del año agrícola 1992 al año 2005, con éstos se integró la información que comprende superficie programada, superficie real, lámina programada, lámina real, volumen programado a extraer y volumen real extraído. Esta información se complementó con el programa de extracciones establecido para cada año del mismo período. Se determinó el volumen anual excedido en las extracciones al comparar los volúmenes extraídos contra los programados y el volumen medio excedido en el periodo.

Se obtuvieron los usos consuntivos de los cultivos para los ciclos primavera-verano, otoño-invierno y perennes, así como las eficiencias de conducción, aplicación y globales, se determinaron las láminas brutas y se compararon con las aplicadas en cada año agrícola, que muestran un comportamiento en láminas y extracciones reales aplicadas superiores a lo programado e incumplimiento de programas autorizados.

Se correlacionó el volumen extraído con el comportamiento de los niveles estáticos del acuífero, y se revisó la documentación legal normativa como son cada decreto de veda y de reglamentación del acuífero, acta constitutiva, título de concesión y demás documentación normativa de la asociación de usuarios, así como la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Se determinó, con mayor fundamento, la relación entre las variables decretos-extracciones-niveles estáticos del acuífero y su impacto en el uso y manejo de las aguas subterráneas de la Costa de Hermosillo.

Se trabajó con el padrón de usuarios vigente hasta 2006, el cual, entre otros aspectos, relaciona a usuarios con derechos, número de pozo y su volumen. Con este padrón se

fundamentaba por la autoridad del agua la dotación anual autorizada para ser extraída en el ciclo agrícola correspondiente, a partir de los 409 hm³. El trabajo consistió en deducir los volúmenes transmitidos para otros usos (industrial y pecuario), así como los inscritos en el Programa de Adecuación de Derechos de Uso del Agua y Redimensionamiento de Distritos de Riego (PADUA). Ello dio como resultado un nuevo padrón que registra, entre otros datos, el volumen actual que conserva en concesión la AUDR051, su distribución entre los productores con derechos y el número de los aprovechamientos.

II EL CONTEXTO

LA CUENCA DEL RÍO SONORA

La cuenca del río Sonora, en donde se ubica el acuífero de la Costa de Hermosillo, tiene una extensión territorial de 29 595 km² y la integran 15 municipios. Su población al año 2000 fue de más de 900 mil habitantes, de los que casi 92 por ciento corresponde a población urbana y el restante 8 por ciento a rural. Se estima que para el año 2030 su población ascenderá a poco más de 1.3 millones de habitantes, de los que 90 por ciento será urbana y casi 10 rural. Las localidades principales son Hermosillo con 563 542 habitantes, Cananea con 31 478 y la comisaría Miguel Alemán con 23 324 (véase cuadro 2).

Cuadro 2
Población 2000-2030

Región	2000	%	2005	%	2010	%	2020	%	2030	%
Río Sonora	917 443	100	996 411	100	1 070 216	100	1 208 613	100	1 326 718	100
Urbana	841 027	91.7	909 711	91.3	974 201	91.0	1 096 072	90.7	1 200 812	90.5
Rural	76 416	8.3	86 700	8.7	96 015	9.0	112 541	9.3	125 906	9.5

Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI 2000). Proyecciones de CONAPO.

El clima es calido húmedo, con una precipitación media anual de 253.4 mm anuales (1941-2002), la temperatura media anual es de 24.4°C y la evaporación potencial de 2 540 mm anuales. La disponibilidad natural media de agua es de 952 hm³, con un escurrimiento superficial virgen de 335 hm³ y una recarga media de los acuíferos de 617 hm³.

Las corrientes principales son el río Sonora, el río San Miguel, el arroyo Zanjón y el río Bacoachi. El río Sonora nace al sur de la sierra San José, en las inmediaciones de Cananea y corre de norte a sur tocando las poblaciones, entre otras, de Arizpe, Baviácora, Ures y Hermosillo. Hasta la presa Rodolfo Félix Valdez (El Molinito), tiene una longitud de cauce de 394.2 km y un desnivel máximo de 630 m aproximadamente. Conduce agua hacia la costa durante precipitaciones extraordinarias y cuando se presentan desfuegos de la presa Abelardo

L. Rodríguez. El río San Miguel, hasta su confluencia con el arroyo Zanjón, tiene un cauce de 197 km de longitud con un desnivel de 553 metros. El arroyo Zanjón tiene una longitud de 233 km hasta su confluencia con el río San Miguel, a 23 km aguas arriba de la presa Abelardo L. Rodríguez, con un desnivel de 386 metros. Entre ambas presas existe un desnivel de 60 m.

El río Bacoachi, que cambia su nombre al de arroyo Noriega en su parte final, vierte sus aguas a la laguna Noriega. Es otra corriente que tiene un curso definido pero carece de cauce inferior ya que se corta y se pierde en el litoral antes de llegar al mar. Su cuenca es de 8 560 km² aproximadamente y su escurrimiento medio anual de 20 hm³, de los cuales una buena parte se infiltra en el subsuelo.

Estas corrientes superficiales son en general de poco volumen en época de lluvias, con gran drenaje y elevada evaporación.

Las obras de infraestructura hidráulica en esta cuenca son: la presa Abelardo L. Rodríguez, con capacidad de 219.5 hm³ para uso público urbano, y la presa Rodolfo Félix Valdez, con capacidad de 150 hm³, con fines de control, y las administra el gobierno del estado y la CNA.

Otras presas de menor magnitud son: la Teopari, con capacidad de 5 hm³, para riego agrícola y controlada por el Distrito de Desarrollo Rural Núm. 142; El Quemado, con capacidad de 1.7 hm³, para riego y abrevadero; Las Nutrias, con capacidad de 1 hm³, para riego; y la Río Claro, con capacidad de 0.675 hm³, para riego y abrevadero, todas bajo control particular.

Existen diez acuíferos con un área total de 2 265 km². Destacan por superficie los del río Sonora, Costa de Hermosillo, río San Miguel y Mesa del Seri-La Victoria (véase cuadro 3).

Cuadro 3

Acuíferos y superficies en la cuenca del río Sonora

Acuífero	Superficie km ²
Costa de Hermosillo	445
Mesa del Seri – La Victoria	286
Santa Rosalía	80
Río Sonora	538
Río San Miguel	408
Río Zanjón	224
La Poza	95
Río Bacoachi	52
Río Bacanuchi	50
Sahuaral	87
Total	2265

Fuente: CNA.

Durante 2004 se usaron 1 446 hm³, de los que 18 por ciento fueron aguas superficiales y 82 por ciento subterráneas. Los usos fueron doméstico, agrícola, industrial, pecuario y otros (véase cuadro 4).

Cuadro 4

Usos y fuentes de agua en la cuenca del río Sonora

Río Sonora	Aguas superficiales hm ³	Aguas subterráneas hm ³	Total uso hm ³
Doméstico	34	143	177
Agrícola	217	928	1145
Industrial	0	95	95
Pecuario	3	24	27
Otros	2	0	2
Total	256	1 190	1 446

Fuente: CNA.

En 2000, la cobertura de agua potable fue de 95 por ciento para zonas urbanas y 84.3 para áreas rurales; en alcantarillado fue de 89.6 por ciento para el medio urbano y 62.7 para el rural. Se cuenta con tres plantas potabilizadoras con capacidad instalada de 1 600 litros por segundo (lps). De 19 plantas de tratamiento municipales, estaban en operación 16 con una capacidad instalada de 163 lps y operada de 101. Asimismo, había dos plantas de tratamiento industrial con capacidad instalada de 7 lps y en operación de 1.6 lps (véase cuadro 5).

Cuadro 5
Plantas de tratamiento de agua municipales

Municipio	Localidad	Número de plantas	Capacidad instalada (lps)	Capacidad en operación (lps)
Aconchi	Aconchi	1	8	4
	La Estancia	1	2	0
Arizpe	Arizpe	1	5	8
	Sinoquipe	1	2	2
Bacoachi	Bacoachi	1	3	1
Banámichi	Banámichi	1	6	4
	La Mora	1	1	0
Baviácora		1	5	9
Carbó		1	9	9
Hermosillo	Miguel Alemán	1	76	30
	San Fco. de Bátuc	1	1	1
Huépac		1	4	3
Opodepe		1	5	1
Rayón		1	3	5
San Felipe de Jesús		1	3	1
San Miguel de Horcasitas		1	4	1
Ures	Pesqueira	1	1	0
	Ures	1	21	21
	Guadalupe	1	4	2

Fuente: CNA.

Se tienen 199 Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (URDERALES), de las que 177 están organizadas. La superficie media cultivada es de 35 263 hectáreas, con una lámina bruta de 105.88 cm, una eficiencia de 43 por ciento. El volumen de agua utilizado es de 373.4 hm³, del cual 255.3 hm³ es de aguas subterráneas y 118.1 de superficiales.

El 19 de marzo de 1999 se constituyó el Consejo de Cuencas Alto Noroeste que comprende las regiones hidrológico-administrativas de Sonoyta, Concepción y Sonora. A enero de 2006 se había reunido 28 veces. Se tienen constituidos los Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) de los acuíferos Zanjón, río San Miguel y Mesa del Seri-La Victoria, instalados el 5 de abril, 3 de abril y 22 de junio de 2001, respectivamente.

En general, en la cuenca del río Sonora los acuíferos están sobreexplotados. Se tienen bajas eficiencias en los usos consuntivos y en los sistemas de agua potable, problemas de intrusión salina que afecta a una gran superficie y en la ciudad de Hermosillo la totalidad del

agua residual es vertida sin tratamiento al cauce del río Sonora y es utilizada para el riego agrícola (CNA 2006).

Prevalece una sequía permanente que ocasiona desequilibrio ecológico, deterioro de la producción agropecuaria, de la salud pública y de los niveles de bienestar, así como migración del campo a la ciudad. Esto, aunado a la escasa o nula vigilancia para que actividades productivas, como la agricultura tradicional se efectúe en terrenos con aptitud productiva y se complemente con prácticas de uso y manejo del suelo, y la ganadería extensiva respete la capacidad natural de restablecimiento del agostadero, agudizan el panorama.

La deforestación de la parte alta de la cuenca, repercute directamente sobre los recursos hídricos. Los efectos se manifiestan con el cambio del caudal de los ríos a lo largo del año, el cual es mayor que antes en el período lluvioso y menor en el período seco. Además, disminuye la recarga de los acuíferos, aumenta la sedimentación en los cuerpos de agua, es mayor el riesgo de inundaciones y aumenta la contaminación de las aguas por sólidos, elementos químicos y por materia orgánica proveniente del suelo erosionado.

La disminución de la vegetación natural, especialmente en la parte alta y media de la cuenca, y el incremento de áreas de cultivo, en zonas poco aptas para ello, así como la realización de una ganadería extensiva, propicia la degradación del suelo.

En la parte alta de la cuenca la erosión hídrica disminuye la capacidad de infiltración de los suelos y por ende mengua la función de recarga de esta zona. En la parte media y baja el proceso de declinación de la fertilidad, además de la compactación y el bajo contenido de materia orgánica, dificultan el crecimiento y desarrollo de cultivos.

La salinización afecta la parte baja de la cuenca. Se identifican principalmente tres entradas francas del agua de mar hacia el continente, éstas se ubican al sur del estero de Kino, Punta Cardonal y el estero Tastiota. Los tipos de vegetación son la primaria, conformada por la agricultura de riego, y la secundaria, constituida por pastizal inducido y matorral xerófilo. El grado de sobrepastoreo es de siete por ciento.

Los centros de población generan presión sobre los recursos naturales rompiendo con la dinámica natural de los mismos, ya sea interrumpiendo el ciclo hidrológico, consumiendo los recursos naturales de la región o expulsando elementos contaminantes sobre aire, agua y tierra. Tal es el caso de la descarga de aguas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua y cauces de ríos y arroyos.

Así, la problemática ambiental que se presenta en la cuenca del río Sonora y en la Costa de Hermosillo, es el resultado de la interacción entre los actores políticos, económicos, sociales y su entorno, y de la forma de apropiación de los recursos naturales para llevar a cabo las actividades humanas.

LA COSTA DE HERMOSILLO

En 1949, la Comisión Deslindadora y Colonizadora originalmente la denominó Distrito de Colonización “Presidente Miguel Alemán”, con el fin de lotificar terrenos nacionales y regularizar las propiedades de particulares existentes dentro del área que comprendía los límites del distrito. El 29 de octubre de 1953, fue formalmente denominado Distrito Nacional de Riego de la Costa de Hermosillo N° 051, delimitado con una superficie de 1 480 000 hectáreas. Está localizado entre los paralelos 28° 22´ y 29° 45´ de latitud norte y entre los meridianos 111° 00´ y 112° 25´ de longitud oeste. Se ubica en la región noroeste del país en el estado de Sonora, limita al este con la ciudad de Hermosillo desde donde se extiende hacia Bahía de Kino y al oeste colinda con el Golfo de California.

El clima, según la clasificación de Thornthwaite, se caracteriza por ser árido sin exceso de agua y cálido con alta concentración de calor en verano. Es de tipo semidesértico extremo, con lluvias deficientes en todas las estaciones del año. La temperatura media anual es de 24.4°C, aunque en verano se llegan a registrar hasta 46 y en invierno hasta -3°C. La precipitación media anual es de 342.1 mm, con una mínima anual de 186.6 y una máxima registrada de 598.0 en la estación climatológica de Hermosillo. La evaporación media anual es de 2 534.8 mm, con una mínima registrada de 2 026 y una máxima de 3 004.7 mm.

Los suelos tienen su origen en las rocas ígneas intrusivas, sedimentarias y metamórficas, así como materiales de acarreo por las corrientes fluviales. La litología del terreno está compuesta por cantos, gravas y arenas angulares, se incluyen también pequeñas formaciones de aluviones constituidas por clásticos no clasificados de diferentes tamaños, que pueden ser cantos o gravillas consolidadas. Asimismo, se encuentran depósitos de aluviones que se originan por las corrientes de las montañas hacia las partes bajas, que por los efectos de la erosión y materiales de acarreo, forman grandes superficies aluviales en el área.

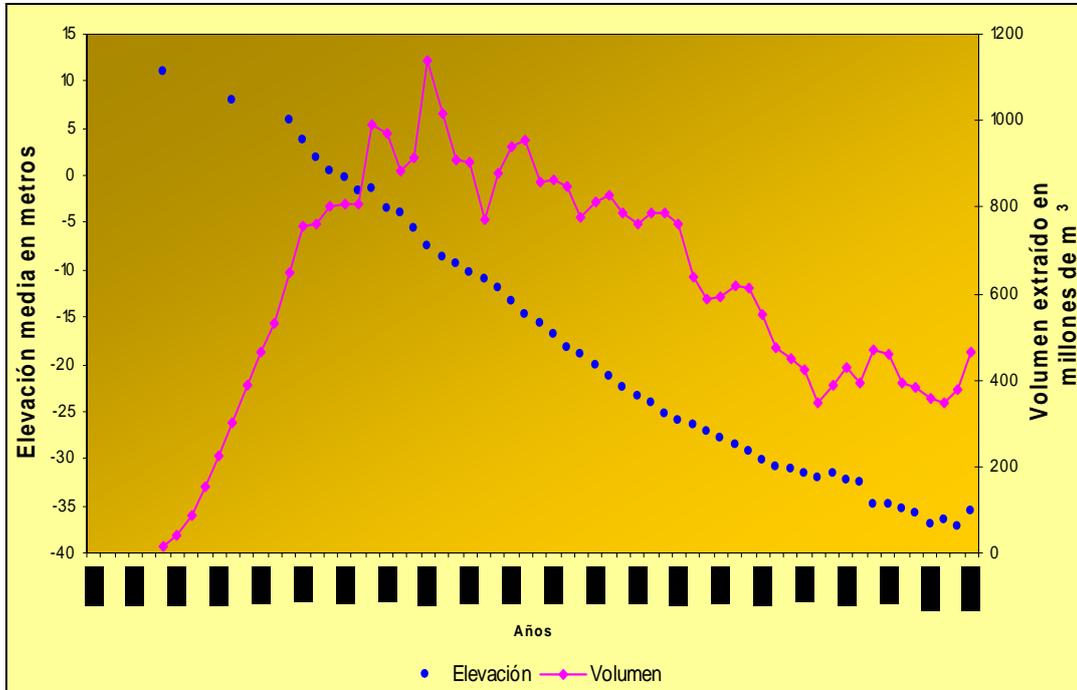
La Costa de Hermosillo ha sido clasificada como planicie costera y corresponde a una geoforma de segundo orden con algunas elevaciones de la Sierra Madre Occidental. Dentro de ella se pueden encontrar planicies de inundación, depresiones lacustres y cerros aislados.

En los últimos años los ecosistemas terrestres y acuáticos han sido profundamente alterados, las descargas de aguas residuales, mineras, industriales y municipales, merman su calidad. El agua se está convirtiendo en un factor limitante para la salud humana, la producción de alimentos, el desarrollo industrial y el mantenimiento de los ecosistemas naturales. La disponibilidad del agua se torna estresante y crítica, la calidad es inapropiada, los servicios son insuficientes, las actividades productivas y los grupos de usuarios compiten cada vez más por el líquido.

Como se observa en la gráfica 1, el volumen extraído de agua en el acuífero de la Costa de Hermosillo ha provocado que la elevación media de su nivel estático disminuya de valores positivos en la década de los años cuarenta, hasta casi -40 metros bajo el nivel del mar en el año 2003. Ello ha sido el resultado del excesivo bombeo al extraer volúmenes mayores a la recarga natural, lo que se manifiesta también en la inversión del gradiente hidráulico, la intrusión salina y la pérdida de aproximadamente 22 mil hectáreas de terrenos.

Desde la década de los años sesenta se estimó que la recarga anual era de 350 hm³ (Ariel Construcciones S. A. 1968). Sin embargo, un estudio reciente señala que la recarga es de sólo 250 hm³, de los que 151 hm³ corresponden a agua dulce y 99 hm³ a agua salada (Universidad de Sonora 2002).

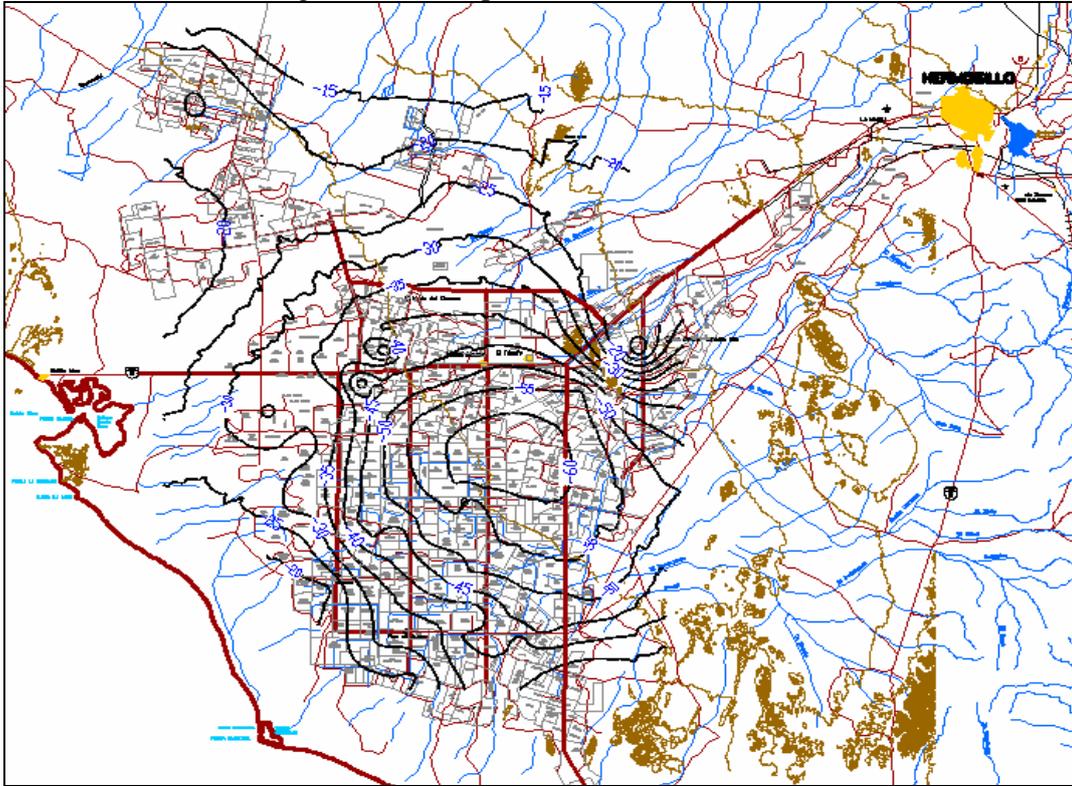
Gráfica 1
 Acuífero Costa de Hermosillo
 Elevación media del nivel estático y extracciones



Fuente: CNA.

Hoy día la situación general del acuífero es grave debido a que todos los niveles estáticos están por debajo del nivel del mar. El valor máximo de elevación es de menos 10 msnm y el mínimo de menos de 64 msnm. La dirección del flujo es radial, convergiendo hacia un cono de abatimiento en la porción central del valle originado por las elevadas extracciones de agua subterránea. Este cono comprende la mayor parte del acuífero. El abatimiento anual promedio es de un metro en el período de 1945 a 2005. El abatimiento ocasiona asentamientos locales y regionales de las formaciones geológicas, que provocan incrustaciones de origen mineral o bacteriano y rotura de ademes, lo cual se traduce en pérdidas de eficiencia en los aprovechamientos.

Gráfica 2
Configuración de la profundidad del nivel estático



Fuente: CNA.

A pesar de esta situación, sigue utilizándose tecnología de riego inadecuada, con bajas eficiencias (gravedad y rodado), hay monocultivo y siembra de grandes superficies de granos demandantes de elevados volúmenes de agua, así como bajas eficiencias electromecánicas por falta de mantenimiento de los equipos de bombeo y pozos, que a su vez eleva el costo del agua extraída del acuífero.

Lo más crítico de la realidad imperante en el acuífero Costa de Hermosillo, es que los usuarios agrícolas en general y su organización viven y conocen la problemática del agua y sus efectos, pero no reconocen ser los causantes de ella. Por lo tanto, no se cuenta con un programa de acciones de mediano plazo para aminorar la situación, el plan anual de riegos no se respeta ni cumple, y siguen extrayéndose los volúmenes de agua que sus capacidades instaladas les permiten, según sus requerimientos productivos.

Cuadro 6

Registro histórico del comportamiento de las extracciones/nivel estático del acuífero

Año	Extracción (hm ³)	Elevación media del nivel estático (metros)	Año	Extracción (hm ³)	Elevación media del nivel estático (metros)
1945	17.5	10.91	1976	810.0	-20.06
1946	41.0		1977	825.7	-21.39
1947	87.8		1978	783.9	-22.51
1948	152.1		1979	758.5	-23.28
1949	227.0		1980	784.9	-24.2
1950	301.9	8.05	1981	785.5	-25.2
1951	386.9		1982	760.0	-25.96
1952	463.9		1983	638.7	-26.49
1953	531.8		1984	588.3	-27.15
1954	646.1	5.83	1985	594.1	-27.82
1955	757.7	3.8	1986	616.0	-28.5
1956	759.0	1.95	1987	610.4	-29.28
1957	801.0	0.54	1988	552.3	-30.09
1958	807.0	-0.25	1989	473.1	-30.78
1959	804.6	-1.64	1990	448.7	-31.14
1960	988.6	-1.3	1991	422.3	-31.64
1961	969.9	-3.46	1992	346.7	-32.08
1962	882.1	-3.88	1993	388.5	-31.49
1963	915.8	-5.53	1994	431.2	-32.34
1964	1 136.8	-7.48	1995	395.3	-32.5
1965	1 015.0	-8.68	1996	471.2	-34.8
1966	910.0	-9.38	1997	459.8	-34.87
1967	902.8	-10.27	1998	393.7	-35.41
1968	771.0	-11.01	1999	380.8	-35.71
1969	876.5	-12.01	2000	356.0	-36.94
1970	939.7	-13.35	2001	347.0	-36.57
1971	955.9	-14.62	2002	376.4	-37.24
1972	855.7	-15.73	2003	465.4	-35.57
1973	861.0	-16.79	2004	442.0	
1974	845.5	-18.22	2005	410.0	
1975	774.3	-18.96			

Fuente: CNA.

III

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

Antes de su transferencia en 1994, el distrito tenía una superficie total de 66 296 hectáreas sembradas. En el año agrícola 2004-2005, la superficie regada y sembrada fue de 55 981 ha y la cosechada de 55 545. El volumen de agua utilizado mediante bombeo fue de 473.035 hm³, con una lámina media de 84 centímetros. El valor de la cosecha fue de 2 735.33 millones de pesos, con un costo de 5 782.5 pesos por m³ utilizado. El número de usuarios es de 1 671, de los que 212 son ejidatarios y 1 459 pequeños propietarios. El valor cosechado por usuario es de 1 636 942 pesos (véase cuadro 7).

Cuadro 7

Superficie, producción y valor de las cosechas del Distrito de Riego 051, Costa de Hermosillo
Año agrícola 2004-2005

Cultivo	Superficie (ha)		Rend. (ton/ha)	Producción (ton)	P.M.R.* (\$/ton)	Valor de la Cosecha (miles \$)	Costo de producción (\$/ha)	Costo total (miles \$)	Beneficios (miles \$)
	Sembrada	Cosechada							
Total general	55 981	55 545	12.66	703 104	4 119	2 896 432.14	5 339.44	296 579.44	2 599 852.70
Otoño-Invierno	25 916	25 916	6.15	159 366	3 128	498 522.68	10 168.61	263 529.76	234 992.92
Avena forrajera	24	24	8.00	192	7 000	1 344.00		0.00	1 344.00
Calabaza	215	215	14.00	3 010	3 300	9 933.00		0.00	9 933.00
Cártamo	666	666	2.50	1 665	5 335	8 882.78	7 460.00	4 968.36	3 914.42
Cebolla	15	15	22.00	330	2 300	759.00		0.00	759.00
Chile verde	21	21	28.00	588	4 300	2 528.40		0.00	2 528.40
Garbanzo	4 488	4 488	2.50	11 220	5 000	56 100.00	8 650.00	38 821.20	17 278.80
Maíz forrajero	38	38	10.00	380	4 500	1 710.00		0.00	1 710.00
Melón	26	26	30.00	780	1 200	936.00		0.00	936.00
Otras hortalizas	25	25	25.00	625	2 251	1 406.88	30 528.00	763.20	643.68
Otros forrajes	33	33	15.00	495	650	321.75		0.00	321.75
Papa	244	244	30.00	7 320	6 500	47 580.00		0.00	47 580.00
Rye grass	142	142	10.00	1 420	850	1 207.00		0.00	1 207.00
Sandía	47	47	35.00	1 645	1 100	1 809.50		0.00	1 809.50
Sorgo forrajero	25	25	12.00	300	3 500	1 050.00		0.00	1 050.00
Trigo grano	19 907	19 907	6.50	129 396	2 805	362 954.38	11 000.00	218 977.00	143 977.38
Primavera-Verano	10 004	10 004	21.26	212 734	2 177	463 095.29	3 303.65	33 049.68	430 045.61
Brócoli	50	50	22.00	1 100	4 500	4 950.00		0.00	4 950.00
Calabaza	2 635	2 635	26.19	69 011	1 526	105 310.25		0.00	105 310.25
Coliflor	30	30	27.00	810	6 400	5 184.00		0.00	5 184.00
Chile verde	570	570	30.00	17 100	4 200	71 820.00		0.00	71 820.00
Frijol	1 693	1 693	2.00	3 386	9 435	31 946.91	7 440.00	12 595.92	19 350.99
Maíz grano	719	719	5.50	3 955	1 200	4 745.40		0.00	4 745.40
Melón	1 177	1 177	27.00	31 779	2 100	66 735.90		0.00	66 735.90

Cultivo	Superficie (ha)		Rend. (ton/ha)	Producción (ton)	P.M.R.* (\$/ton)	Valor de la Cosecha (miles \$)	Costo de producción (\$/ha)	Costo total (miles \$)	Beneficios (miles \$)
	Sembrada	Cosechada							
Otras hortalizas	670	670	25.00	16 750	2 251	37 704.25	30 528.00	20 453.76	17 250.49
Papa	100	100	26.00	2 600	1 233	3 205.80		0.00	3 205.80
Pepino	238	238	15.00	3 570	1 133	4 044.81		0.00	4 044.81
Sandía	1 860	1 860	32.00	59 520	2 000	119 040.00		0.00	119 040.00
Sorgo grano	142	142	7.00	994	1 505	1 495.97		0.00	1 495.97
Tomate de cáscara	120	120	18.00	2 160	3 200	6 912.00		0.00	6 912.00
Perennes	20 061	19 625	16.87	331 005	5 845	1 934 814.17	0.00	0.00	1 934 814.17
Alfalfa achicalada	1 144	1 144	13.00	14 872	1 200	17 846.40		0.00	17 846.40
Bermuda	100	100	14.00	1 400	850	1 190.00		0.00	1 190.00
Buffel	210	210	9.00	1 890	800	1 512.00		0.00	1 512.00
Durazno	243	243	8.00	1 944	6 000	11 664.00		0.00	11 664.00
Jojoba	120	120	0.90	108	18 000	1 944.00		0.00	1 944.00
Manzano	13	13	5.00	65	2 500	162.50		0.00	162.50
Naranja	4 621	4 621	29.00	134 009	1 200	160 810.80		0.00	160 810.80
Nogal (Nuez)	2 405	2 405	1.80	4 329	24 931	107 926.30		0.00	107 926.30
Persimonia	9	9	0.85	8	3 500	26.78		0.00	26.78
Vid (Industrial)	2 500	2 500	26.00	65 000	1 100	71 500.00		0.00	71 500.00
Vid (Mesa)	8 696	8 260	13.00	107 380	14 530	1 560 231.40		0.00	1 560 231.40

* Precio medio rural.

Fuente: AUDR-051.

El distrito es operado por la AUDR051 desde 1994, una vez que fue transferido a los usuarios para su administración, operación, conservación y mantenimiento, así como para explotar, usar, aprovechar y preservar las aguas nacionales del subsuelo. La operación consiste en vigilar el cumplimiento de la normatividad establecida por la CNA, así como la promoción en el establecimiento de condiciones que favorezcan la captación de recursos de inversión y a su vez la capitalización del campo.

La cuota de riego para el año 1995-1996 fue de 3 pesos por millar de metros cúbicos, que es el monto utilizado por la AUDR051 y las oficinas del Distrito de Riego. El presupuesto en 1995 ascendió a 468 672 pesos. La cuota para el ciclo 2005-2006 fue de 6.38 pesos por millar de metros cúbicos; de ésta a la Asociación de Usuarios le correspondieron 4.44 pesos y al Distrito de Riego 1.94 pesos. Si se considera que el volumen extraído el año agrícola 2004-2005 fue de 410 hm³, con esta cuota se tiene un ingreso de 2 617 153 pesos.

La infraestructura existente para el aprovechamiento de aguas subterráneas es de 1 388 pozos. De éstos, 498 están integrados a la AUDR051 y los 890 restantes son de usuarios particulares. La eficiencia electromecánica media es de 39.2 por ciento.

Los métodos de riego tradicionales dominan la producción en el área, 73 por ciento de la superficie se regó por gravedad (melgas 29 por ciento, surcos 22, curvas a nivel 15 y cama melonera siete por ciento) y el restante 27 por ciento con riego presurizado.

La eficiencia global en el uso y manejo del agua es de 56 por ciento, la eficiencia de conducción de 91 y la eficiencia de aplicación de 62 por ciento. En riego presurizado la eficiencia es de 90 por ciento. La conducción desde el pozo a la parcela se realiza mediante canales revestidos y sin revestir que, conforme al tipo de suelo predominante en la Costa, clasificado como “medio”, dan una infiltración básica de 1.0 cm/h y una pérdida estimada de 2.8 lps/m-km.

Cuadro 8
Superficie con sistemas de riego presurizados

Año	Hectáreas			
	Aspersión	Goteo	Micro aspersión	Total
Explotada en 2005	400.0	12 816.0	2 573.0	15 789.0
Programada a instalar en 2006		70.0	752.1	822.1
Total	400.0	12 886.0	3 325.1	16 611.1

Fuente: CNA.

Cuadro 9

Tipos de suelos, infiltración básica y pérdidas estimadas según el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos

Tipo de suelo	Infiltración básica (cm/h)	Pérdida estimada lps/m-km	
Muy pesado	< de 0.2	0.5	
Pesado	0.5	1.4	
Medio	1.0	2.8	predominante en el DR 051
Ligero	5.0	14.0	
Muy ligero	> de 10.0	28.0	

Se tienen pérdidas de 2.8 litros por segundo por metro de perímetro mojado por km de longitud. Si la longitud media de canales y regaderas es de 3.5 km y un perímetro mojado de 1.67 metros, las pérdidas son de: $2.8 \times 3.5 \times 1.67 = 16.37$ lps. Con un gasto promedio de 100 lps, la eficiencia de conducción sería del orden de 83.63.

Llama la atención el comportamiento que han tenido los tres grupos de usuarios agrícolas, como son el ejidal, los colonos y los pequeños propietarios para manejar sus derechos de agua en los últimos años. En el padrón de usuarios que formó parte del título de concesión con folio de registro 1SON400001/09AMDG93, de fecha 18 de mayo de 1994, el sector ejidal contaba con 34 pozos y un volumen de 27.417 hm³, es decir 6.69 por ciento; el sector colono tenía 112 pozos y un volumen de 108.608 hm³, que representaba 26.50 por ciento, y el de la pequeña propiedad reunía 352 aprovechamientos y un volumen de 273.68 hm³ (66.79 por ciento).

No obstante, para 2006 la situación había cambiado. Por un lado, el volumen total concesionado disminuyó de 409.705 hm³ a 324.962, es decir, se redujo en 84.743, y el número de aprovechamientos pasó de 498 a 461, o sea, se redujeron 37 aprovechamientos. El sector ejidal tenía 14 pozos y un volumen de 13.505 hm³, la diferencia es de 20 pozos menos y una dotación menor en 50 por ciento, y el sector colono contaba con 50 aprovechamientos, o sea 62 pozos menos y un volumen que disminuyó en más de 50 por ciento. Por otro lado, el sector de la pequeña propiedad aumentó de 352 a 397 pozos, disminuyendo su volumen en sólo 3 hm³, mostrando una tendencia a la concentración de derechos de agua.

Cuadro 10
Distribución de la concesión otorgada en 1994 por tenencia de la tierra

Sector	Número de pozos	hm ³	%
Ejidal	34	27.417	6.69
Colono	112	108.608	26.50
Pequeña propiedad	352	273.680	66.80
Total	498	409.705	100.00

Fuente: Título de concesión.

Cuadro 11
Padrón de usuarios 2006

Sector	Número de pozos	hm ³	%
Ejidal	14	13.505	4.16
Colono	50	41.400	12.73
Pequeña propiedad	397	270.057	83.11
Total	461	324.962	100.00

En el cuadro 12 se observa que en la pequeña propiedad se tienen doce grupos empresariales que detentan 210 aprovechamientos, que representan 45 por ciento, y un volumen de 157.001 hm³, es decir 48 por ciento del volumen total.

Cuadro 12
Concentración del agua en la pequeña propiedad (hm³)

No.	Usuarios con derechos registrados en el padrón	Número de pozos	Volumen
1	Hurtado-Aguayo-Félix-Parker-Licono-Acosta-Porchas-Muñoscano-Aguirre (Viñedos Prima y Viñedos Alta)	36	28.755
2	Ortiz-Ciscomani-Bravo-Gómez-Molina-Freaner	27	20.008
3	Moreno-Camou-Lauterio-Badilla-Hernández-Gelain- Astiazarán	15	13.317
4	Gómez del Campo-Laborín-Villegas-Tonella-Giottonini-Badilla-Carranza-Álvarez Tonella-Platt-Luken	19	13.301
5	Castelo de la Rosa-López Arias-Parada-Saliner	19	13.037
6	Baranzini-Preciado-Molina-Coronado-Molina Bravo	18	14.861
7	Mazón-Rubio-López-Lizárraga-Santamaría	18	12.270
8	Tapia-Martens-Búrquez-Contreras-Arellano-Cisneros-Valenzuela-Valenzuela Quiroga	17	11.968
9	Cecco Danese; Cecco Peralta; Danese Cabrera	12	7.980
10	García Avilés; García Martínez; García Quiroz	12	8.739
11	Larrínaga-Buelna-Laborín-Gastélum-Cubillas-Dávila Cubillas-Camou Cubillas	9	7.445
12	Tirado-Balderrama-Woolfok-Lawrenz-Ludwing-García-Cuevas Garza-Montaño Iruretagoyena	8	5.320
Total		210	157.001

Fuente: Padrón de Usuarios (2006).

Por su parte, en el sector ejidal en sólo dos de ellos (El Triunfo y La Peaña) se concentra 72 por ciento del volumen total de agua asignado (véase cuadro 13).

Cuadro 13
Distribución del agua en ejidos

Nombre del ejido	Número de pozos	Volumen
El Triunfo	4	7.200
La Peaña	2	2.656
Los Pocitos	2	1.432
Yaquis Desterrados	2	1.330
San Carlos Guayparín	1	0.665
Vicente Guerrero	1	0.192
La Habana	2	0.030
Total	14	13.505

Fuente: Padrón de Usuarios (2006).

En cuanto a disponibilidad de agua, en la Costa de Hermosillo el volumen concesionado es de 392.5 hm³ con 891 títulos registrados, distribuidos en 1 373 pozos de los diferentes grupos usuarios (agrícola 697; público urbano 194; industrial 15; pecuario 409; doméstico 45 y servicios 13). Como se observa, la condición de usuario único que favorecía a la AUDR051 ha cambiado. En los últimos años pasó de un uso preponderantemente agrícola a seis diferentes usos, aumentando también la presión y demanda del vital líquido. La creciente escasez ha ocasionado la transmisión de volúmenes de la agricultura a otros usuarios.

Cuadro 14
Disponibilidad de agua subterránea hm³
NOM-011-CNA-2000

Disponibilidad media anual	Recarga total media anual	Descarga natural comprometida	Volumen anual de agua concesionado e inscrito en REPDA
-142.404	= 250.045	- 0.0	- 392.449

La recarga media anual se forma por: 151.600 hm³ de agua dulce y 98.445 de agua salada

La AUDR051 tuvo un volumen de agua originalmente concesionado de 409.7 hm³ que se distribuyó conforme a un padrón de usuarios con 498 aprovechamientos. A partir del ciclo agrícola 2003-2004 este volumen se redujo a 350.0 hm³ para el mismo número de usuarios.

Actualmente, como resultado de las transferencias de derechos a otros usos, como el industrial con 1.18 hm³ y el pecuario con 0.96 hm³, así como a la inscripción de derechos al PADUA por 23.36 hm³, el volumen se reduce a 324.9. Asimismo, el número de pozos ha disminuido de 498 a 461 (37 aprovechamientos menos).

El volumen concesionado para usuarios independientes no agremiados a la Asociación de Usuarios es de 42.5 hm³, distribuidos en 890 títulos, de los que 236 son para uso agrícola, 409 para uso pecuario, 173 para uso público urbano, 45 para doméstico, 14 para industrial y 13 para servicios.

Cuadro 15
Volumen anual de agua concesionado

Uso	Título global		Otros títulos	
	Número de pozos	Volumen hm ³	Número de pozos	Volumen hm ³
Agrícola	461	324 962	236	22 747
Público urbano	21	23 360	173	7 844
Industrial	1	1 179	14	7 631
Pecuario		967	409	4 115
Servicios			13	65
Doméstico			45	44
Total	483	350 468	890	42 446
Gran total			1 373	392 914

Fuente: CNA.

El agua del acuífero Costa de Hermosillo se utiliza por los diferentes grupos usuarios como si fuera inagotable. Revisando el comportamiento que al respecto han presentado los dos principales grupos usuarios, agrícola y público urbano, se observa lo siguiente:

El uso agrícola, para el que la AUDR051 y productores individuales agremiados con derecho son los responsables del uso, aprovechamiento o explotación de las aguas concesionadas, incumplen sus planes y programas de riego y se exceden en los volúmenes extraídos de manera permanente (desde su constitución a la fecha).

El uso público urbano, que es administrado y operado por el Organismo Operador, sigue descargando sin tratamiento las aguas residuales de Hermosillo al cauce natural del río Sonora, y tiene como prioridad incorporar nuevas fuentes de abastecimiento al sistema mediante la erogación de grandes inversiones.

Para revertir esta condición es necesario emprender acciones orientadas a vigilar que los usuarios respeten los volúmenes concesionados, controlar las extracciones, el mejor manejo del recurso, la tecnificación, la cancelación legal de aprovechamientos y lograr el uso racional y eficiente del agua disponible, el tratamiento de las aguas residuales y su reuso. Esto implica a su vez, la necesidad de generar información confiable y divulgarla, la participación consciente e informada de la sociedad, fortalecer el marco legal normativo y que la autoridad del agua ejerza sus facultades como tal.

IV

ACCIONES PROPUESTAS

En el uso agrícola, si se analiza el comportamiento de las variables principales como superficie programada contra superficie realizada, lámina programada contra lámina aplicada, volúmenes programados versus volúmenes extraídos, de los planes de riego en los últimos 14 años, se observa lo siguiente: la superficie media programada para riego fue de 50 314 hectáreas y la real regada fue de 57 979, es decir, 15 por ciento más. Asimismo, el volumen medio programado a extraer fue de 381 hm³ y el extraído fue de 403 hm³, considerando la recarga del acuífero en 350 hm³, se tiene un volumen medio anual excedido de 53 hm³.

Cuadro 16
Superficie media sembrada en los últimos 16 años (ciclos 90-91 al 05-06)

Cultivo	Rendimiento ton/ha	Uso consuntivo cm*	Lámina de riego cm	Hectáreas	Lámina real	Diferencia	hm ³
Otoño-Invierno							
Trigo	5.8	50	70	18 338	0.89	0.19	35
Garbanzo	2	38	40	8 745	0.68	0.28	24
Cártamo	1.8	38	50	1 901	0.68	0.18	3
Hortalizas	20	47	80	770	0.84	0.04	0
Cebada	4.5	51	70	731	0.91	0.21	2
Forrajes	12	57	90	400	1.02	0.12	0
Subtotal				30 886			65.44
Primavera-Verano							
Maíz	5	58	70	3 022	1.04	0.34	10
Hortalizas	24	47	85	2 822	0.84	-0.01	- 0
Frijol	1.8	48	60	1 345	0.86	0.26	3
Algodón	3.8	71	90	994	1.27	0.37	4
Sorgo	4.5	58	60	653	1.04	0.44	3
Forrajes	10	45	70	366	0.80	0.10	0
Subtotal				9 203			20
Perennes							
Vid de mesa	10	90	110	6 467	1.61	0.51	33
Vid industrial	25	90	120	3 756	1.61	0.41	15
Cítricos	22	118	130	4 515	2.11	0.81	36
Nogal	1.5	127	140	2 255	2.27	0.87	20
Alfalfa	15	134	150	526	2.39	0.89	5
Varios	5.5		80	370	0.00	-0.80	-3
				17 890			106
				57 979			191

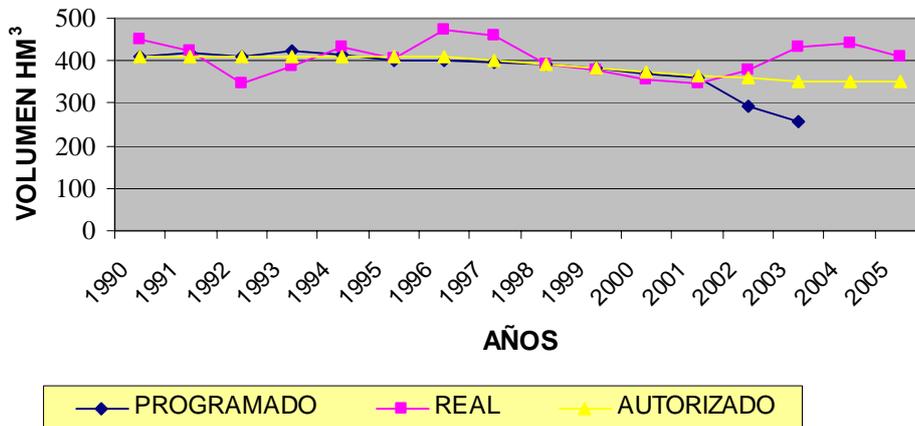
* Estimaciones afinadas del uso consuntivo CROPWAT FAO.

Cuadro 17
Comportamiento de las principales variables de los planes de riego de 1992 a 2005

Año	Superficie (ha)		Lámina (cm)		Vol. Ext. (hm ³)		Programa extracción	Vol. excedente (s/350 hm ³)
	Programado	Real	Programado	Real	Programado	Real		
1990						449	409.7	99
1991						422	409.7	72
1992	53 457	62 206	77	56	409	346	409.7	-4
1993	49 336	57 805	85	67	418	389	409.7	39
1994	51 921	61 405	79	70	410	431	409.7	81
1995	48 714	70 585	87	58	422	407	409.7	57
1996	50 405	76 129	83	62	416	472	409.7	122
1997	53 528	71 370	75	64	399	460	401.2	110
1998	54 048	58 063	74	68	399	394	392.6	44
1999	52 146	55 964	76	68	398	381	384.1	31
2000	53 028	50 319	74	71	391	356	375.6	6
2001	50 028	51 168	76	68	382	347	367.1	-3
2002	47 380	49 171	78	77	371	376	358.5	26
2003	46 163	41 331	79	104	362	431	350.0	81
2004	52 558	56 069	56	79	293	442	350.0	92
2005	41 681	50 125	62	82	257	410	350.0	60
Volumen medio excedido en el periodo								53

Fuente: CNA.

Gráfico 3
Extracciones (hm³)



Es decir, no se cumple con los programas, se exceden superficies, láminas y volúmenes extraídos de agua, a pesar de que existe un volumen finito, procedimientos técnicos para determinar usos consuntivos de cada cultivo y para cada ciclo (método de Blaney-Criddle, método de Thorntwaite o aplicar apropiadamente el de coeficientes unitarios de riego), así

como un acuerdo entre SAGARPA y CNA que se resume en el permiso único de siembra, documento central establecido como requisito para recibir los diferentes subsidios (PROCAMPO, Comercialización, Alianza para el Campo, tarifa preferencial en energía eléctrica).

En resumen, el marco legal normativo no se aplica y no se cumple con las atribuciones y responsabilidades que competen tanto a la autoridad, como a la organización de usuarios. El desorden en los alumbramientos y de manera especial en la sobreexplotación del acuífero siguen su curso, pese a la claridad de los propósitos perseguidos en los decretos, la precisión de las atribuciones y obligaciones que se establecen en la documentación normativa y legal, tanto para la autoridad del agua, como para los usuarios a través de su asociación civil.

Por ello, la reorientación de los subsidios en las áreas de riego por bombeo, es una acción que debe ser revisada, a efecto de que no se aliente la sobreexplotación del acuífero ni afecte el ambiente. De igual forma, es necesario analizar si la falta de cumplimiento del marco legal normativo para no excederse en las extracciones, está en los ingresos adicionales que genera a la organización de usuarios, la cuota que se cobra por millar de metros cúbicos.

Por ejemplo, si los 53 hm³ que en promedio se extraen anualmente de más representan un ingreso libre de compromisos y fuera de programa (presupuesto CNA y presupuesto AUDR051) de 338 314 pesos (53 hm³ x \$6.383) y si el volumen excedido como se registra en algunos estudios y propuestas asciende a 220 hm³, los números señalan un monto total de \$1 404 326 pesos que ingresan netos a la organización o por lo menos a quienes la dirigen, libre de compromisos y revisiones.

Otro aspecto más que debe ser cuidadosamente atendido y vigilado, es el relacionado con la determinación y aplicación de las láminas de riego programadas. Por ejemplo, durante los años agrícolas 2004 y 2005, aquéllas fueron de 56 y 62 centímetros respectivamente; no obstante, se sembraron y regaron 56 089 y 50 125 hectáreas con láminas reales aplicadas de 79 y 82 centímetros. Esto ocasionó que de 293 y 257 hm³ de agua subterránea programados a ser extraídos, se bombearon en realidad 442 y 410 hm³, es decir, se excedió sobre el programado en 149 y 153 hm³.

Durante los últimos 16 años, la superficie media sembrada es de 57 979 ha, de la que hasta 2005 se riegan con métodos de gravedad 42 100 ha, que significan 72.6 por ciento y con sistemas presurizados 15 879, que representan 27.4 por ciento. De esta superficie, la correspondiente a granos asciende a 57.5 por ciento (trigo, garbanzo, cártamo, maíz y frijol), el restante 42.5 por ciento se distribuye en hortalizas (6.3), perennes (29.9), fibras (1.7) y forrajes (4.6).

Para que la apropiación del agua por la agricultura no se pierda, ésta debe encaminar sus esfuerzos hacia una mayor productividad y rentabilidad por unidad de superficie y por m³ utilizado, lo que implica apoyarla con acciones como: la instalación de sistemas modernos de riego (presurizados); el entubamiento para la conducción del pozo a la parcela; la realización de prácticas de mejoramiento parcelario entre las que destacan la nivelación y el trazo de riego; la utilización de usos consuntivos técnicamente sustentados por cultivo, ciclo y sistema de riego a utilizar; en la elaboración de los planes de riego; la rehabilitación y mejoramiento de las eficiencias electromecánicas y de operación de los equipos; la vigilancia y el control de las extracciones instalando y manteniendo en condiciones de operación el medidor totalizador volumétrico en cada aprovechamiento; y la diferenciación en la canalización de subsidios premiando a los usuarios responsables y cumplidos.

Algunas acciones orientadas a disminuir la demanda y mejorar la eficiencia en el uso del agua, son:

Uso agrícola

- Apoyar con los programas de Alianza para el Campo, bajo el esquema de peso a peso, la instalación gradual y programada de sistemas de riego presurizado en las 5 109 ha faltantes de las 20 988 que en promedio se tienen con perennes y hortalizas. Esto permitiría regar con frecuencia, aplicando láminas pequeñas y manteniendo los cultivos a bajas tensiones de humedad del suelo –disminución del esfuerzo osmótico por la oportunidad en la aplicación del agua y la reducción en los intervalos de riego– la aplicación dosificada de fertilizantes y pesticidas, y un aumento de la eficiencia de 56 a 95 por ciento en gravedad (Shaxson 2005).

- Apoyar con sistemas de riego presurizado la superficie de grano que gradualmente se vaya reconvirtiendo a cultivos de mayor rentabilidad económica y más eficiente en el aprovechamiento del agua.
- Que la superficie de grano se apoye con infraestructura (entubamiento y revestimiento de regaderas) de conducción del pozo a la parcela, así como con un programa de nivelación y trazo de riego. Es conveniente que los volúmenes de agua recuperados con el mejoramiento de las eficiencias de conducción y aplicación, se utilicen para uso ecológico en la recuperación del acuífero. La cantidad podría ser 50 por ciento de aquéllos, ya que significa el porcentaje de la inversión canalizada por el gobierno federal para tal efecto.
- Poner en operación otras fuentes no convencionales de agua que den lugar a pequeños proyectos estratégicamente localizados en la Costa de Hermosillo, que en su conjunto pueden ser significativos para la economía, la seguridad alimentaria y el nivel de vida de la población rural.
- Utilizar tecnología de desalinización para producir agua potable. Pues se emplea para abastecer centros urbanos, para proyectos turísticos y agrícolas (aplicación de agua desalinizada con sistemas presurizados y bajo condiciones de invernadero), en regiones áridas próximas al mar. Además de la producción de vegetales con tecnología de punta, se cuenta con especies vegetales capaces de resistir una alta salinidad como ciertas plantas silvestres llamadas “halófitas” que tienen un alto grado de adaptación a un medio salino. Actualmente se estudia la posibilidad de utilizarlas para la creación de biomasa, que puede servir de alimento para animales (The Seawater Foundation 2006).

Uso público urbano

Por lo que se refiere al uso público urbano, el organismo operador responsable de la prestación del servicio de agua potable y saneamiento, debe

- Atender de manera prioritaria las pérdidas de agua que por fugas se presentan en la red de conducción-distribución, así como tratar en su totalidad las aguas negras que genera y estimular el reuso de las aguas saneadas por otros grupos usuarios (servicios, industrial, agrícola), debido al papel clave que representan en el escenario futuro para asegurar el abastecimiento de la ciudad de Hermosillo. Si en la condición actual, la eficiencia técnica de 78 por ciento (m^3 facturados/ m^3 producidos) se mejora en siete por ciento se estarían recuperando 5.0 hm^3 y en lugar de producir 71.3 hm^3 el nuevo volumen requerido sería de 66.3 .
- Tratar las aguas residuales, emprendiendo un programa agresivo para que en el menor tiempo posible se pase de 7.5 por ciento a su totalidad. Esto permitiría recuperar 60 por ciento de los volúmenes producidos, que serían los que no representan un uso consuntivo y ya no incluyen pérdidas, para reutilizarlos en servicios (áreas verdes), industrial (enfriamiento de calderas), agricultura (producción de forrajes) y la recarga del acuífero.

Independientemente del nivel de inversión requerida, estas acciones son factibles desde las diferentes perspectivas (social, ambiental y económica) y de inmediata recuperación una vez puestas en marcha. Además, se disminuye la presión y demanda del recurso agua en primer uso, multiplica la creación de valor con el reuso y da mayor seguridad al desarrollo económico de la región.

Estas dos variables, debidamente atendidas, garantizarían satisfacer los escenarios futuros de mayores demandas por crecimiento poblacional de la ciudad (a 2025 la población sería de 1 118 580 habitantes y la demanda de agua tratada sería de 107.8 hm^3). En este sentido, es aconsejable modificar la ley de desarrollo urbano, con el fin de orientar el crecimiento de la ciudad conforme se mueve el recurso agua. Pero especialmente para que señale que todo nuevo fraccionamiento debe contar con una red de aguas negras que descargue a una planta de tratamiento y otra red para captación de aguas de lluvias que descargue a su reservorio correspondiente. Igualmente, este uso debe prestar mayor atención al uso innovador

de las fuentes de agua, como la desalinización y la captación de lluvia, para incrementar la disponibilidad actual.

Uso industrial

En cuanto al uso industrial, el volumen utilizado en este sector es de 8.8 hm³, distribuido en 16 títulos de concesión. Las aguas residuales que generan sus procesos de transformación, al igual que las del uso público urbano, deben ser tratadas en su totalidad, así como reusar y reciclar *in situ* las aguas tratadas en los procesos que la normatividad permita. La autoridad debe prever y garantizar el suministro de agua a la planta industrial e impulsar la instalación de industrias generadoras de empleos, transformadoras de materias primas regionales y que sean amigas del ambiente.

Uso pecuario

En lo que corresponde al uso pecuario, éste tiene concesionado un volumen de 5.1 hm³, con 409 títulos, que se utiliza principalmente para cerdos y ganado bovino. Las aguas residuales que generan las granjas porcícolas, al igual que las del uso público urbano e industrial, deben ser tratadas en su totalidad y reutilizarlas en la producción de forrajes. En el caso de la ganadería bovina, la carga animal debe corresponder al índice de agostadero, de tal forma que el ganado impacte lo menos posible a la vegetación existente, a la compactación y desintegración de los suelos, reduzca su erosión, disminuya la formación de cárcavas y favorezca la infiltración de agua de lluvia. Este uso es altamente dependiente del agua y los volúmenes que consume son elevados cuando se consideran los requerimientos del líquido para producir un kilogramo de forraje o grano (13 a 15 mil litros para producir un kg de carne o 2 mil litros para producir un kg de trigo).

Uso ecológico

Por lo que toca al uso ecológico, éste es necesario para la conservación de los ecosistemas de la Costa de Hermosillo y debe ser considerado en forma primordial. Los mecanismos que se proponen para contar con volúmenes para este fin, requieren negociaciones y acuerdos. Las inversiones en obras apoyadas con los programas de Alianza para el Campo generan entre sus beneficios inmediatos recuperaciones de volúmenes por mejora en las eficiencias de

conducción y aplicación, 50 por ciento de éstos corresponde al gobierno federal y conforme a las reglas de operación, puede acordarse previamente con los usuarios su utilización para fines ecológicos. Se propone que en lo sucesivo se aplique una cuota de 15 por ciento al volumen cuyo derecho y uso se transmita de la agricultura a cualquiera de los otros usos, así como a los volúmenes que se presenten para ser relocalizados entre usuarios agrícolas. Otra acción importante es favorecer la recarga natural en sitios que reúnen condiciones naturales privilegiadas para ello, donde la evapotranspiración es menor y existe mayor precipitación efectiva, como en áreas de la parte media y alta de la cuenca.

Conforme a la NOM-011-CNA-2000 y considerando la recarga media anual determinada por el estudio de la Universidad de Sonora (2002) de 250.045 hm³, y el volumen anual de agua concesionado e inscrito en el REPDA de 392.449 hm³, resulta una disponibilidad media anual deficitaria de 142.404 hm³. Si a este volumen se le agregan los 53 hm³ que en promedio se extraen de más, la cifra se eleva a 195.404 hm³.

Si en 2005 la curva piezométrica alcanzó 65 metros bajo el nivel del mar en el centro del acuífero, de continuar el desorden en las extracciones, el abatimiento continuará avanzando un metro anual en promedio. Para revertir dicha condición se presentan las siguientes líneas de acción:

- Acondicionar los pozos para medir los niveles.
- La instalación de medidores y su mantenimiento para que operen correctamente.
- Formalizar la utilización de métodos indirectos para determinar los volúmenes de agua extraídos del acuífero, en tanto se cumple con la instalación de medidores (áreas, ciclo, cultivo; interpretación de imágenes de satélite; consumo de energía eléctrica).
- Realizar paros de bombeo y piezometría previamente a cada ciclo agrícola.
- Aplicar usos consuntivos y eficiencias diferenciados para Primavera-Verano, Otoño-Invierno y Perennes, considerando además el método de riego (presurizado o gravedad), así como utilizar apropiadamente los coeficientes unitarios en la elaboración de los planes de riego.

- Elaborar un plan de riegos para cada aprovechamiento y que el esquema de producción se fundamente en la concientización y participación de los productores en la protección del acuífero.
- Cumplir estrictamente con los planes y programas de riego (equilibrio entre volúmenes extraídos y recarga media anual), para el aprovechamiento sostenido.
- Vigilancia a la operación para que los volúmenes extraídos no excedan a los autorizados.
- Normar y eliminar pozos virtuales en batería que concentran extracciones y acentúan abatimientos.
- Distribuir volúmenes concesionados de manera proporcional a superficies y capacidades de almacenamiento del subsuelo.
- Constituir el Consejo Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) en el acuífero Costa de Hermosillo, con el fin de fortalecer la programación, promover la reducción de la demanda, alentar la eficiencia, e impulsar la vigilancia, supervisión y monitoreo.
- Establecer un convenio con la Comisión Federal de Electricidad y SAGARPA para que el usuario que cumpla con la norma (cuenta con medidor en operación, siembre la superficie que corresponde, extraiga los volúmenes autorizados e informe sobre los volúmenes extraídos), reciba los apoyos y subsidios correspondientes a tarifa de energía eléctrica, apoyos para la rehabilitación de su equipo electromecánico, entre otros.
- La instalación de líneas de conducción del pozo a la parcela.
- La nivelación y trazo de riego en gravedad.

Por lo que se refiere al banco de agua, según el estudio de factibilidad realizado en el distrito por la empresa Profesionistas, Consultores y Constructores, la compra y venta de derechos de agua en el ciclo agrícola 1994-95 fue de 26.7 por ciento a la muestra aplicada, y en años agrícolas anteriores sólo 13.3 por ciento vendió derechos y 10 por ciento los compró. El sector ejidal vendió la mayoría de los derechos. Esta forma de intercambio ha existido y se conserva, y su operación la ha asumido la AUDR051. Se propone que la autoridad del agua establezca mecanismos para su regulación.

Por otra parte, para lograr la participación consciente y corresponsable de la sociedad en general en la mejora y desarrollo de sus capacidades, es necesario:

- Difundir permanentemente, en el ámbito local-regional, el conocimiento sobre la ocurrencia del agua en el ciclo hidrológico, la oferta y demanda de agua, los inventarios de agua, suelo, usos y usuarios, e información pertinente vinculada con el agua y su gestión. Para ello es necesario el apoyo de otras instancias del orden federal, de los gobiernos estatal y municipal, así como de usuarios del agua, de organizaciones de la sociedad y de particulares.
- Lograr que cada individuo y localidad se transforme en un vigilante del agua.
- Integrar un Sistema Regional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua, en concordancia con la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental.
- En el COTAS, en el consejo consultivo del organismo operador y de la Comisión Estatal del Agua y en cualquier instancia constituida para atender aspectos relacionados con el agua, incluir la voz y el voto de un representante ciudadano para informarse, aportar o dar seguimiento a los acuerdos tomados en esos órganos.

V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para emprender cualquier acción en el ámbito del acuífero Costa de Hermosillo es necesario tener presente que forma parte de la cuenca del río Sonora en cuyo espacio territorial se presenta el ciclo hidrológico gracias al cual capta y concentra la oferta del agua proveniente de las precipitaciones. De igual forma, la gestión del agua debe ser integral en términos de grupos humanos participantes, de aguas superficiales y aguas subterráneas, del lugar de la cuenca en que se realice (parte alta, media o baja), de la población participante (rural y urbana), de los sectores responsables de su control y de su aprovechamiento. La planeación regional debe evaluar, de manera integrada, las condiciones biofísicas y socioeconómicas –análisis del ámbito físico espacial en el que confluyen lo social y lo natural, y en el que ambos se condicionan mutuamente– para que las propuestas de desarrollo garanticen elevar y mantener a largo plazo la calidad de vida de la población.

En la actualidad, los productores sufren más que nunca los extremos climáticos, a pesar de los avances en la predicción del tiempo, del uso de satélites meteorológicos y de la existencia de avanzados modelos informáticos de simulación del clima. Aunque estos fenómenos extremos sean más frecuentes como resultado del cambio climático, la vulnerabilidad también ha aumentado por otras razones: la densidad de población se ha incrementado; el uso de tierras marginales para cultivos inapropiados cada vez es más frecuente; crece la erosión potencial del suelo y da lugar a inundaciones súbitas; la deforestación de tierras con fuertes pendientes ha eliminado la cobertura vegetal que las protegía; y las presiones económicas sobre los agricultores para aumentar la productividad mediante una agricultura intensiva han conducido a prácticas agrícolas inestables e insostenibles. Será imposible maximizar la producción agrícola con recursos hídricos limitados, si no se corrigen de manera integral los factores que acentúan los efectos de los desastres naturales en toda la cuenca.

Para avanzar en la gestión integrada se debe mejorar la capacidad institucional, el marco legal y la distribución de los recursos; generar información completa, confiable y ponerla a disposición de la sociedad; que la sociedad se informe e intervenga organizadamente en las decisiones que le competen y afectan, que gestione la inclusión de sus demandas y propuestas en los planes y programas de gobierno. Y que los gobiernos de los distintos niveles se coordinen entre sí y realicen una planeación ordenada, sistemática y participativa que incorpore las propuestas y demandas de la sociedad.

Además, debe promoverse que las entidades gubernamentales y las empresas cuiden los impactos y mitiguen los efectos indeseables de las actividades productivas y el desarrollo urbano, y tengan presentes las múltiples relaciones e interrelaciones que se producen entre los recursos naturales, la biodiversidad y los ecosistemas. Y que la sociedad vigile y fiscalice el cumplimiento de los programas de gobierno, exija rendición de cuentas públicas, y los resultados presentados sean su fundamento para otorgar o retirar su confianza al ente de gobierno que corresponda.

Para aumentar oferta y beneficios del agua, los diferentes grupos de usuarios deben considerar que la manera más barata y eficiente de aumentar la oferta de agua dulce es privilegiar la gestión de la demanda, más que incrementar la oferta. Para ello es necesario reducir las pérdidas por conducción y distribución (uso eficiente), aumentar el tratamiento total de las aguas residuales generadas y promover su reuso y reciclado, y avanzar en la creación de la cultura del agua que aliente su cuidado y reduzca su despilfarro.

Ante la situación de crisis que experimenta la disponibilidad de agua en la Costa de Hermosillo, las preguntas son ¿cómo recrear y tonificar el ciclo del agua, para lograr que cada gota que se mueve dentro de él pueda ser usada, aprovechada o explotada de manera sustentable? ¿qué hacer para compensar la variabilidad natural del ciclo hidrológico para que el recurso esté disponible de forma continua?. La respuesta parece estar en impulsar la participación consciente e informada de la sociedad rural y urbana de la cuenca para que, por un lado, gestione ante las distintas instancias de gobierno que sus propuestas sean consideradas en los planes y programas de gobierno, y por otro, para intervenir -conforme a

sus capacidades y recursos- en la ejecución de acciones de manera directa, así como en la supervisión y vigilancia de aquellas que realicen las instancias de gobierno y las que sean encomendadas a terceros (empresas) para ser realizadas.

Es tiempo de eliminar complacencias entre grupos de usuarios que controlan el acuífero y la autoridad en turno, es el momento de informar y auspiciar la participación de la sociedad en el tema y las decisiones del agua, y es la oportunidad para medir y evaluar la actuación de las partes y proceder según sus competencias, responsabilidades y resultados para premiar o penalizar. Es necesario reconocer que para que el uso, explotación o aprovechamiento del agua subterránea sea sostenible, el ritmo de las extracciones no debe superar el tiempo que requiere para realimentarse, eliminar el consumo abusivo, codicioso e ineficiente y vivir dentro de los límites ecológicos de la región.

Gobierno y sociedad deben promover e impulsar, ante y desde el poder legislativo del estado, un punto de acuerdo que eleve a prioridad estatal, por utilidad e interés público la gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del río Sonora. Este acuerdo debe ser compatible con el marco jurídico federal y estatal vigente y con el Programa Nacional Hidráulico, para garantizar la descentralización de funciones y recursos, su planeación y ejecución. Debe contener como acciones iniciales la realización de un diagnóstico y los estudios correspondientes para precisar con la población del área la situación actual, la formulación y ejecución de un programa integral de corto, mediano y largo plazo para el uso, explotación o aprovechamiento racional y eficiente del agua y recursos asociados en la cuenca del río Sonora. Es una acción impostergable que debe ser realizada a la brevedad, independientemente de la gestión de otros proyectos de transferencia de agua como el Plan Hidráulico del Noroeste, la construcción de una planta desaladora, el acueducto El Novillo-Hermosillo o nuevas presas en Las Chivas (San Miguel de Horcasitas) o Sinoquipe.

BIBLIOGRAFÍA

Agua de Hermosillo y Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 051-Costa de Hermosillo, A. C. 2005. *Convenio constitutivo de una unidad de gestión que procure la solución de la problemática del agua*. Hermosillo.

Ariel Construcciones S. A. 1968. *Estudio geohidrológico completo de los acuíferos de la Costa de Hermosillo, Sonora, México*.

Barlow, Maude. 2001. *El Oro Azul. La crisis mundial del agua y la reificación de los recursos hídricos del planeta*. 1ª Edición. Canadá: The Council of Canadians.

Basterrechea, Manuel, Axel Dourojeanni, Luis E. García, Juan Novara y Rómulo Rodríguez. 1996. *Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas para eventual financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.

Comisión Nacional del Agua. 2006. *Diagnóstico de la problemática del Consejo de Cuencas Alto Noroeste*. México: CNA.

_____. 2004. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. México: CNA.

_____ y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2003. *Convenio de Coordinación celebrado entre la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego N° 051, Costa de Hermosillo, A. C. y el Comité Técnico Estatal del Programa de Adecuación de Derechos de Uso de Agua y Redimensionamiento de Distritos de Riego*. Hermosillo.

_____. 2002. *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Costa de Hermosillo, estado de Sonora*. Hermosillo.

_____. 2002. *Valor, costo y precio del agua en la región lagunera*. México: CNA.

_____. 2001. *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*. México: CNA.

_____. 1996. *Estudio de factibilidad en el Distrito de Riego N° 051, Costa de Hermosillo*. Hermosillo.

_____. 1993. *Título de Concesión para Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales del Subsuelo en el Distrito de Riego Número 051 Costa de Hermosillo, Sonora*.

De Stefano, Lucía. 2005. *Los mercados de aguas y la conservación del medio ambiente*. Madrid: WWF/Adena.

Diario Oficial de la Federación. 2006. Ley Federal de Derechos. México, 27 de diciembre.

_____. 1978. Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos del Estado de Sonora, para el mejor control de las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo, en dicha zona. México, 19 de septiembre.

_____. 1967. Decreto por medio del cual se amplía la zona de veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Costa de Hermosillo, Son. México, 2 de junio.

_____. 1963. Reglamento para la explotación de aguas subterráneas en la zona vedada de la Costa de Hermosillo, Son. México, 14 de marzo.

_____. 1963. Decreto por el que se amplía el Distrito Nacional de Riego de la Costa de Hermosillo, Estado de Sonora. México, 2 de marzo.

_____. 1954. Decreto que amplía la zona vedada para el alumbramiento de aguas del subsuelo de la Costa de Hermosillo, Son., comprendida en los municipios Villa de Seris y Hermosillo, hasta los límites del Distrito de Riego del mismo nombre. México, 11 de diciembre.

_____. 1953, Decreto que crea el Distrito de Riego de la Costa de Hermosillo, Son. México, 18 de diciembre.

_____. 1951. Decreto que establece por tiempo indefinido, en la Región de la Costa de Hermosillo, Son., comprendida en los municipios de Villa de Seris y Hermosillo, veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo. México, 11 de julio.

Distrito de Riego 051-Costa de Hermosillo. 2000. *Plan de acción para la rehabilitación y modernización de los distritos de riego*. Hermosillo.

_____. 1995. *Proyecto de Reglamento del Distrito de Riego Número 051-Costa de Hermosillo, Sonora*. Hermosillo:

Dourojeanni, Axel y Andrei Jouravlev. 2000. *La regulación de los mercados de agua*. Comisión Económica para América Latina (CEPAL).

Faustino, Jorge. 1998. *Estrategias modernas para la gestión ambiental de manejo de cuencas*. San José, Costa Rica: CATIE.

Garrido, Alberto. 2000. Ventajas y limitaciones del uso del mercado en la asignación de los recursos hídricos. *Memoria de la 6ª Conferencia Internacional del Seminario Permanente Ciencia y Tecnología del Agua. Economía del agua. Hacia una mejor gestión de los recursos hídricos*. Madrid.

Hadjigeorgalis, Ereney. 2004. Comerciando con incertidumbre: los mercados de agua en la agricultura chilena. *Cuadernos de Economía* 41 (122): 3-34.

Kiersch, Benjamín. 2000. Impactos del uso de la tierra sobre los recursos hídricos: una revisión bibliográfica. Documento de Debate 1, *Taller Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*, 18 septiembre – 27 octubre. Roma, FAO.

Liniger, H. y R. Weingartner. 1998. Montañas y recursos hídricos. *Unasylva, Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, *Es Necesario Mover Montañas* 49 (195).

Moreno, José Luis. 2006. *Por abajo del agua. Sobreexplotación y agotamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945-2005*. Hermosillo: El Colegio de Sonora.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2000. Importancia del agua en la producción de alimentos. Ponencia presentada en El agua como recurso para la producción de alimentos, 26ª Conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Mérida.

_____. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de Tierras y Aguas de la FAO* no. 8.

Organización Meteorológica Mundial. 2004. *Manejo integrado y sostenible de la calidad del agua en la Costa de Hermosillo y la Cuenca del río Sonora*.

Ortiz, Gustavo. 2004. *Bancos de agua*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Palacios Sánchez, Luis Alberto. 1999. *Determinación de volúmenes de agua subterránea extraídos para uso agrícola en las zonas Costa de Hermosillo, Son. y Janos, Chih., aplicando técnicas de percepción remota*, Universidad Autónoma Chapingo - Comisión Nacional del Agua.

Pruetz, Rick. 2003. Instrumentos económicos para la política ambiental: permisos de desarrollo transferibles. *4 Seminario sobre instrumentos económicos para cuencas ambientales*. Serie: Estudios INE, México.

Ramos, Sergio. 2004. *Mercados de agua*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Riesgo, Laura y José Gómez. 2003. *Mercados del agua, análisis de las opciones elegidas para su aplicación en España*. Departamento de Economía Agraria, Universidad de Valladolid.

Shaxson, Francis y Richard Barber. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. *Boletín de Suelos de la FAO* no. 79.

The Seawater Foundation. 2003. The greening of Eritrea.

Universidad de Sonora. 2002. *Estudio de cuantificación de la recarga del acuífero Costa de Hermosillo, municipio de Hermosillo, Sonora*. Hermosillo.

Vilches, A. y D. Gil. 2003. *Construyamos un futuro sostenible*. Cambridge: Cambridge University Press.