



WORLD WILDLIFE FUND-MÉXICO

PROGRAMA GOLFO DE CALIFORNIA

PLAN DE ACCIÓN PARA EL USO EFICIENTE DE AGUA DULCE EN EL GOLFO  
DE CALIFORNIA

San Carlos, Sonora. Septiembre 2005



Este trabajo se deriva de una consultoría efectuada por Edgar Arias Patrón para WWF (PGC-05-QR76-C41).

Este documento debe citarse como:

Arias Patrón, E. 2005. Plan de acción para el uso eficiente de agua dulce en el Golfo de California. Reporte técnico final para WWF. 64 p.

## CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
I. ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y SOCIO-ECONÓMICOS.....	3
1.1. LOCALIZACIÓN.....	3
1.2. RECURSOS HIDRÁULICOS.....	3
Clima y precipitación .....	3
Hidrología.....	4
Infraestructura hidráulica.....	5
1.3. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS DE LA REGIÓN .....	7
Demografía .....	7
Economía.....	8
1.4. ACTIVIDADES ECONÓMICAS .....	10
Agrícolas.....	10
Pecuarias .....	12
Pesqueras.....	12
Acuicultura .....	13
Industriales.....	13
Electricidad.....	14
Turismo .....	14
Infraestructura portuaria.....	14
1.5. USOS DEL AGUA.....	15
1.6. GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES .....	16
1.7. CALIDAD DEL AGUA.....	17
1.8. ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE .....	19
1.9. PRÁCTICAS INEFICIENTES.....	19
II. RESULTADOS .....	20
2.1. DELTA DEL RÍO COLORADO Y ALTO GOLFO.....	20
Descripción del Problema .....	20
Reducción del Flujo de Agua dulce.....	20
Pérdida de Biodiversidad y Modificación del Hábitat.....	20
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	23



2.2. LA BAHÍA DE LA PAZ .....	24
Localización .....	24
Impacto en la Calidad del Agua en Sedimentos y Biota.....	24
2.3. CUENCA DEL RÍO SAN PEDRO Y SONORA .....	26
Río San Pedro.....	26
Río Sonora .....	26
Descripción del Problema .....	26
Pérdida de Biodiversidad .....	27
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	28
2.4. CUENCA DEL RÍO YAQUI-MÁTAPE .....	29
Descripción del Problema .....	29
Pérdida de Biodiversidad .....	30
2.4.1. LA BAHÍA DE GUAYMAS .....	31
Localización .....	31
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	31
2.4.2. BAHÍA DE LOBOS .....	32
Localización .....	32
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	32
2.4.3. SISTEMA ESTUARINO STO. DOMINGO LA ATANASIA.....	32
Localización .....	32
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	33
2.5. CUENCA DEL RÍO MAYO .....	33
Impacto de la Calidad de Agua .....	33
2.5.1. BAHÍA DE YAVAROS .....	34
Localización .....	34
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	34
2.6. CUENCA DEL RÍO CULIACÁN .....	35
2.6.1. SISTEMA LAGUNARIO ALTATA-ENSENADA DEL PABELLÓN.....	35
La Bahía de Altata.....	35
La Ensenada del Pabellón .....	35
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	35
2.6.2. LAGUNA NAVACHISTE .....	37
Localización .....	37
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	37
2.7. CUENCA DEL RÍO QUELITE .....	37
2.7.1. BAHÍA DE MAZATLÁN.....	37
Localización .....	37
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	38
2.7.2. ESTERO DE URÍAS .....	38
Localización .....	38
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	39
2.8. CUENCA DEL RÍO PRESIDIO Y RÍO BALUARTE.....	39
Río Presidio.....	39
Río Baluarte .....	30
2.8.1. SISTEMA LAGUNARIO HUIZACHE-CAIMANERO .....	39
Localización .....	39



Modificación del Hábitat .....	40
2.9. CUENCA DEL RÍO SAN PEDRO MEZQUITAL .....	40
2.9.1. ESTERO DE CAMICHÍN .....	40
Localización .....	40
Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota.....	40
<b>III. ANÁLISIS DE CADENA CAUSAL .....</b>	<b>41</b>
CAUSAS INMEDIATAS .....	42
Contaminación Química .....	43
Contaminación Microbiológica .....	44
Eutroficación .....	45
Sólidos Suspendidos.....	46
CAUSAS RAÍZ .....	46
Causas Raíces Comunes.....	46
ECONÓMICAS.....	47
LEYES Y GOBIERNO.....	47
CONOCIMIENTO.....	48
Causas Raíces para las Prácticas Agrícolas.....	49
ECONÓMICAS.....	49
CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA .....	50
Causas raíces de la descarga de efluentes urbanos e industriales.....	50
ECONÓMICO .....	50
LEYES Y GOBIERNO.....	50
Consejos de Cuenca .....	51
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>52</b>
CONCLUSIONES .....	52
RECOMENDACIONES.....	53
<b>V. REFERENCIAS.....</b>	<b>55</b>



## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este reporte fue establecer las bases para la instrumentación de una estrategia que lleve al convencimiento y participación de los diferentes sectores implicados en el mantenimiento de la calidad de los recursos de agua dulce en el Golfo de California. Se diagnosticó la situación actual de los contaminantes en los ecosistemas lénticos, lóticos y costeros de la región, en perspectiva a las especies acuáticas y terrestres asociadas a esos cuerpos. Se recabaron datos de los principales ríos, esteros, bahías y lagunas del Golfo de California con base en su importancia biológica y socio-económica y se cuantificó la generación de fuentes contaminantes por las actividades humanas de la región, tomando en cuenta su concentración en aguas superficiales y subterráneas, así como en los sedimentos y biota.

Como resultado se encontró que diversos ecosistemas acuáticos estudiados presentan importantes grados de contaminación que van desde la presencia de plaguicidas prohibidos y permitidos, hasta, en algunos casos, residuos de diesel, aceites y heces fecales. De acuerdo a los estudios realizados por diferentes investigadores, la contaminación no sólo se presenta en la superficie del agua, sino también en los segmentos y en el fondo de los sistemas estuarino-lagunares, a tal grado que en algunas bahías y esteros, productos pesqueros como el camarón y almejas registraron pequeñas cantidades de agroquímicos.

Los resultados obtenidos de la investigación muestran que aquellas regiones colindantes a las zonas de riego agrícola, como lo son la Bahía de Yavaros, la laguna de Navachiste y la bahía de Mazatlán presentan serios problemas de contaminación por PCBs y HCB, mientras que el río Colorado, Yaqui, Culiacán, los sistemas lagunarios de Altata-Ensenada del Pabellón, y el estero de Sto. Domingo La Atanasia presentan concentraciones moderadas de DDT y sus metabolitos. Con respecto a la concentración de metales pesados en agua y sedimento, se determinó que los ríos San Pedro y Río Sonora presentan concentraciones que van de moderada a altamente contaminada. El uso de fungicidas metálicos se ha traducido en el incremento importante de los niveles de metales traza en bivalvos y sedimentos de importantes zonas de actividad pesquera. El análisis indica una fuerte presencia de contaminación de metales pesados, principalmente de Pb, Zn y Cu en la bahía de Mazatlán, el sistema lagunario de Altata-Ensenada del Pabellón y la laguna de Navachiste. Se concluye que el sector pecuario presenta el mayor riesgo potencial de contaminación por nitrógeno al ser el principal generador de compuestos nitrogenados. Sin embargo, la Bahía de Mazatlán tiene la mayor frecuencia de mareas rojas, indicativas de eutroficación. La presencia de estos contaminantes han excedido con mucho a los niveles naturales, impactando a la flora y fauna regionales, como es el caso del río San Pedro. Sin embargo, la disminución de los flujos de agua dulce ha modificado el hábitat y reducido el número de especies nativas en el delta del río Colorado y Alto Golfo. El sistema lagunario Huizache-Caimanero también ha presentado cambios importantes del sistema hidrológico. No obstante, el impacto de la irrigación sobre la calidad del agua no se ha tomado mucho en cuenta, en comparación con las aguas residuales generadas por los centros urbanos, quizá por tratarse de una contaminación menos visible.

Finalmente, a pesar que la ineficiencia del uso de agua por los diferentes sectores, especialmente el agrícola, es causa importante de la contaminación de los recursos hídricos de la región, la baja valoración del recurso juega un papel importante en la sobreexplotación de este, ya que prevalece la exención en el pago de derechos de aprovechamiento lo que conlleva a la escasez del tan valioso recurso para todos los usos.



## INTRODUCCIÓN

México enfrenta actualmente dificultades para garantizar un óptimo nivel de saneamiento ambiental, debido a la contaminación de ríos y lagunas, producida por descargas de aguas residuales domésticas, agrícolas y urbanas (CNA, 2004).

Las zonas agrícolas bajo riego más importantes del país, se encuentran en la zona norte y noroeste, entre las cuales podemos citar, las establecidas en el río Yaqui, Sonora; en El Fuerte, Sinaloa; y río Colorado, en Sonora y Baja California. La principal fuente de agua se constituye por las principales vertientes del Océano Pacífico y acuíferos de la región que forman importantes zonas de manglares, lagunas y esteros que a su vez proveen hábitat a organismos marinos, terrestres y una gran variedad de aves migratorias. De igual manera los municipios más importantes de la región se abastecen de estos ríos, ya sea para su uso urbano o agropecuario.

El Golfo de California es una de las más importantes zonas de pesca de México, no obstante las pesquerías desempeñan un importante rol en el uso de los recursos hídricos de la región y la contaminación generada por la misma. Dada la multiplicidad de usos que se ejercen en las cuencas altas y media de la región, así como la multiplicidad de giros que en ella descargan y las cargas contaminantes que recibe, se considera la región con prioridad de atención. Aunque la calidad del agua de los principales ríos es adecuada para los usos que se le dan, la contaminación que captan en sus cuencas bajas afecta seriamente al medio ambiente y los usos acuícola y pesqueros de la costa.

Estudios realizados por Galindo-Reyes et al. (1999), determinaron que en la Ensenada del Pabellón y Bahía de Santa María, Sinaloa a menudo se encontraron residuos de pesticidas tales como aldrín, endosulfán y paratión metílico, e incluso se detectaron pesticidas prohibidos por el Gobierno Mexicano, los cuales han causado alteraciones bioquímicas y fisiológicas en crustáceos expuestos a tales plaguicidas. Estos plaguicidas podrían ser la causa de crecimiento lento, diversas patologías y mortalidad en camarones, afectando seriamente la economía de este sector (Galindo-Reyes et al. 2002)

Las situaciones mencionadas han tenido serias repercusiones, tanto en la economía de la región dedicada a los diferentes sectores, pero sobre todo por su impacto en el medio ambiente. Por esta razón desde 1970 se iniciaron estudios para evaluar el impacto de las aguas residuales, agrícolas e industriales, para garantizar la salud y preservación de estos ecosistemas. Desde entonces se han monitoreado los niveles de contaminación por plaguicidas organoclorados y organofosforados, metales pesados, carga orgánica y patógenos del agua, sedimentos y productos marinos de importancia económica, tales como el camarón (*P. stylirostris* y *P. vannamei*) y el ostión de mangle (*Crassostrea corteziensis*). Fauna acuática de importancia biológica, como mamíferos (*Phocoena sinus*, *Eschrichtus robustus*), peces (*Cypranodon macularius*) y tortugas marinas (*Lepidochelys olivacea*, *Caretta caretta*), también han sido indicadores de la salud de estos ecosistemas (Bojorquez-Rayos, 1994; Galindo-Reyes, 1987; Galindo-Reyes et al., 2003; García-López, 1989; Gardner et al., 2003; Guardado-Puentes y Núñez-Esquer, 1975; Gutiérrez-Galindo et al., 1988a; 1988b; 1989; Hosch, 1996; Izaguirre-Fierro et al., 1992; Méndez et al., 2002; Páez-Osuna et al., 1991; 1993; 1994; 1995; 1999a; 2002; Villa et al., 1993).



La conservación de los recursos naturales, el manejo de los desechos tóxicos, así como el control de las aguas contaminadas y las emisiones atmosféricas, son los problemas que afectan la ecología y debe de ser subsanada para tener una economía sustentable (Schatan, 1996).

## I. ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y SOCIO-ECONÓMICOS

### 1.1. Localización

Localizado en el Noroeste de México, el Golfo de California está situado entre la península de Baja California al Oeste y los estados de Sinaloa, Sonora y Nayarit al este. Al sur, una línea imaginaria entre Cabo Corrientes, Jalisco, y Cabo San Lucas, Baja California, lo delimita del Océano Pacífico (Fig. 1). Juntas, la parte marina y la terrestre comprenden una superficie de más de 540,000 km<sup>2</sup> (WWF, 2004). El litoral tiene una Longitud aproximada 1 550 km y anchura de 100 a 200 km. Cuenta con 23 cuerpos importantes de agua marina que constituyen esteros, lagunas costeras y bahías con una superficie de más de 21,000 km<sup>2</sup> (INEGI, 1999).

### 1.2. Recursos Hidráulicos

#### *Clima y precipitación*

El clima presenta un comportamiento heterogéneo dentro de cada entidad federativa de la región. De manera general, Baja California, Baja California Sur y Sonora presentan climas de tipo secos, semisecos, secos cálidos y secos muy cálidos con bajas precipitaciones pluviales que oscilan entre los 200 y 600 mm, descendiendo hasta 100 mm en algunas partes como el desierto de Altar y la costa oriental de Baja California, mientras que Nayarit y Sinaloa tienen climas tropicales lluviosos y templados lluviosos (éste último se presenta en la Sierra Madre Occidental, norte de Sonora y noroeste de Baja California en las zonas serranas) con precipitaciones que varían de 600 a 1000 mm de lluvia al año.

**Cuadro 1. Precipitación media mensual histórica por estado  
(1941-2002)**

Estado	Annual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	(mm)												
Baja California	201	37	32	37	16	4	1	1	5	6	9	21	32
Baja California Sur	174	13	4	2	1	1	1	18	42	54	17	7	14
Nayarit	1 061	18	9	5	4	8	137	280	274	218	75	16	17
Sinaloa	776	28	13	12	8	10	57	186	193	156	58	23	32
Sonora	423	23	15	10	4	3	20	116	109	57	25	14	27

Fuente: Unidad de Servicio Meteorológico Nacional. SGT. CNA (2004).

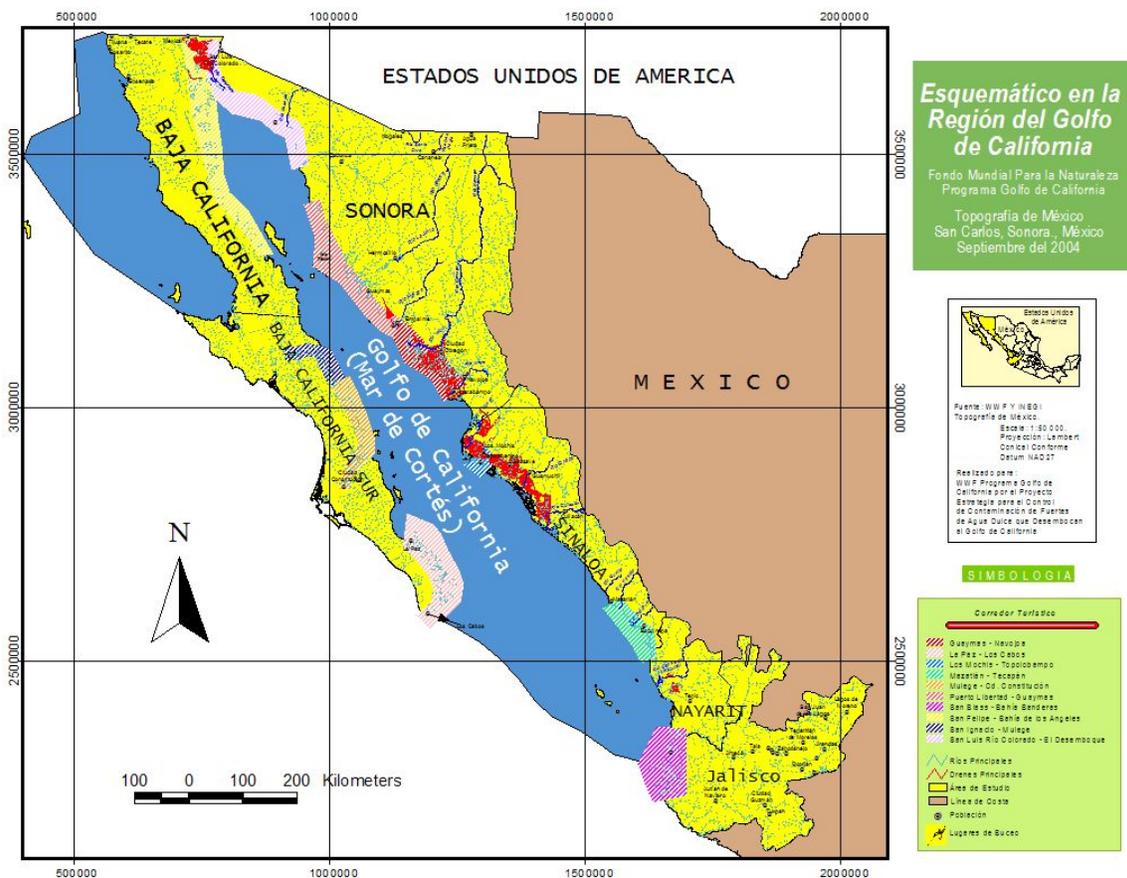


Fig. 1 Mapa General

### Hidrología

Las unidades hidrológicas más amplias del Golfo de California, se dividen en dos provincias: “sierra” y “planicie costera”. La mayor cantidad de agua procede de las captaciones en la primera, escurriendo fundamentalmente hacia los tercios medio y sur de la región en la segunda. La estructura montañosa de la región conduce a modelar un curso accidentado de los ríos, los que al descender de la Sierra Madre Occidental después de recorrer amplias zonas altas, se vierten rápidamente hacia las planicies costeras, que por lo general son reducidas. De ahí que buena parte del curso de estas corrientes sean aprovechadas en la agricultura, que puede desarrollarse en altos valles y zonas planas cercanas al litoral. Las corrientes que no se aprovechan en este rubro se ocupan para generación de energía eléctrica mediante la construcción de cortinas en sitios montañosos.

La red hidrológica drena hacia el Golfo de California a través de 10 cuencas principales y cuenta con 6.8% de la disponibilidad total de agua a escala nacional. Se cuenta en la región con un total de 172 acuíferos con capacidad promedio de recarga de 1 851hm<sup>3</sup> por año. De éstos, 22 acuíferos se encuentran sobreexplotados localizados en los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora.

Cuadro 2. Principales ríos que desembocan al Golfo de California

Nombre	Gasto Medio Anual en la Desembocadura (m <sup>3</sup> /s)	Periodo de Observación	Área de la Cuenca (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)
Colorado	7.2	1960 a 1968	5 180 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>
Yaqui	81.4	1958 a 2000	72 540	410
Mayo	ND	ND	14 195	402
El Fuerte	46.0	1960 a 1989	33 590	540
Sinaloa	35.3	1974 a 1999	12 260	400
Culiacán	66.2	1938 a 1999	15 731	875
San Lorenzo	52.7	1943 a 1999	8 919	315
Piactla	52.5	1952 a 1999	11 473	220
Acaponeta	43.2	1945 a 1999	5 092	233
San Pedro	88.5	1944 a 1999	26 480	255

Notas: <sup>a</sup> Comprende únicamente la porción de la cuenca que corresponde a México.

Fuente: CNA (2004).

#### *Infraestructura hidráulica*

La región cuenta con 10 grandes presas con una capacidad de almacenaje individual superior a los 2 mil millones de m<sup>3</sup> y una superficie total de 48 mil km<sup>2</sup>. La mayor parte de estas presas fueron creadas para abastecer de agua a las tierras agrícolas de la región y para la generación de energía eléctrica.

Cuadro 3. Grandes Presas del Noroeste

Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad Total Almacenaje (hm <sup>3</sup> )	Año de Terminación	Región Administrativa	Entidad Federativa	Uso
Adolfo Ruiz Cortines	Mocuzari	1,825	1955	II	Sonora	G, I
Lázaro Cárdenas	La Angostura	1,267	1942	II	Sonora	I
Luís Donaldo Colosio	Huites	4,568	1995	III	Sinaloa	G, I
Plutarco Elías Calles	El Novillo	3,576	1964	II	Sonora	G, I
Álvaro Obregón	El Oviachic	4,200	1952	II	Sonora	G, I
Miguel Hidalgo	El Mahone	3,983	1956	III	Sinaloa	G, I
Adolfo López Mateos	El Humaya	3,917	1964	III	Sinaloa	G, I



José López Portillo	El Comedero	3,400	1982	III	Sinaloa	G, I
Gustavo Díaz Ordaz	Bacurato	2,823	1982	III	Sinaloa	G, I
Aguamilpa	Aguamilpa	6,950	1993	VIII	Nayarit	G, I
Morelos	Morelos	ND	ND	I	Baja California	I

Notas: G: Generación de Energía Eléctrica, I: Irrigación  
Fuente: CNA (2004)

Las ciudades medias y grandes presentan aceptables coberturas en la prestación del servicio de agua potable; sin embargo, el rápido crecimiento de las mismas ocasiona que siempre exista un rezago en el suministro de ella. Por otro lado, en casi todos los estados de la región, la falta de servicios de agua potable y alcantarillado coincide con la localización de viviendas en áreas marginadas de las zonas urbanas y casi en todas las zonas rurales de la región.

**Cuadro 4. Disponibilidad de drenaje y agua entubada por estado**

Estado	Viviendas	Drenaje			Agua entubada		
		Dispone	No dispone	No especificado	Dispone	No dispone	No especificado
Baja California	559 402	458 047	97 480	3 875	499 982	36 323	7 105
Baja California Sur	104 341	84 069	19 626	646	90 867	6 604	1 115
Nayarit	219 181	175 848	42 098	1 235	185 802	19 175	1 833
Sinaloa	572 816	425 560	144 213	3 043	486 494	38 483	5 663
Sonora	527 427	417 595	107 075	2 757	483 057	18 800	4 270

Fuente: INEGI (2003)

Aunque se cuenta con infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en la región ésta es inadecuada ya que solo se trata aproximadamente 27.6% de las aguas residuales municipales que se generan en la región (CNA, 2004).

**Cuadro 5. Inventario regional de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales**

Estado	No. de Plantas en Operación	Capacidad Instalada (m <sup>3</sup> /s)	Gasto de Operación (m <sup>3</sup> /s)
Baja California	15	4.44	3.90
Baja California Sur	15	1.08	0.76
Nayarit	49	1.66	1.09
Sinaloa	47	3.00	2.38
Sonora	61	3.32	2.36
<b>Total</b>	<b>187</b>	<b>13.5</b>	<b>10.49</b>

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Construcción, Unidad de Agua Potable y Saneamiento, Gerencia de Potabilización y Tratamiento. 2004.

### 1.3. Aspectos Socio-económicos de la Región

#### *Demografía*

La distribución espacial de la población en los 5 estados de la región (Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa y Sonora) es muy desigual y con densidades de población relativamente bajas en comparación con el resto de la república. La densidad de población promedio en la región es de aproximadamente 28.8 hab/km<sup>2</sup>, variando de 48 hab/km<sup>2</sup> en el estado de Sinaloa a 7 hab/km<sup>2</sup> en el estado de Baja California Sur.

**Cuadro 6. Información geográfica y socio-económica por estado**

Estado	Extensión territorial continental (miles de km <sup>2</sup> )	Población 2003 (millones)	Densidad de población 2003 (hab/km <sup>2</sup> )	PIB 2003 (%)	Municipios (número)
Baja California	71.5	2.83	40	3.5	5
Baja California Sur	73.9	0.49	7	0.6	5
Nayarit	27.9	0.98	35	0.6	20
Sinaloa	57.3	2.74	48	1.9	18
Sonora	179.5	2.43	14	2.7	72
<b>Total Regional</b>	<b>410.1</b>	<b>9.47</b>	<b>28.8</b>	<b>100.0</b>	<b>120</b>

Fuente: Subdirección General de Programación, CNA, en base a datos de INEGI (2003)

La región se caracteriza por tener una superficie promedio de sus municipios por arriba del contexto nacional (3 423 km<sup>2</sup>, frente a 819 km<sup>2</sup>). Los municipios de Baja California Sur son los de mayor extensión promedio con 14 695 km<sup>2</sup> y los de Nayarit los menores con 1 349 km<sup>2</sup>, aunque Ensenada sobresale por su superficie municipal con una extensión de 51 952 km<sup>2</sup>.

El ritmo de crecimiento de la región entre 1980 y 1990 fue de una tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) de 2.3%, para subir a 2.4% en el segundo. En términos generales la región mostró un mayor dinamismo demográfico en los ochenta y noventa respecto al país en su conjunto. La población de la región era de 5.5 millones de habitantes en 1980; para 1990 se incrementó a 6.9 millones; y finalmente para 2000 su población sumó 8.8 millones. Entre 1980 y 1990 los estados de Baja California y Baja California Sur fueron los únicos estados con una TCPA superior al promedio nacional, esto debido principalmente a la emigración ocurrida hacia las entidades de la península de Baja California (COLMEX, 2003).

Cuadro 7. Población total y tasas de crecimiento, 1980-2000

Estado	Población			Tasa de crecimiento	
	1980	1990	2000	1980-1990	1990-2000
Baja California	1 177 886	1 660 855	2 487 367	3.58	4.15
Baja California Sur	215 139	317 764	424 041	4.07	2.95
Nayarit	726 120	824 643	920 185	1.31	1.11
Sinaloa	1 849 879	2 204 054	2 536 844	1.81	1.43
Sonora	1 513 731	1 823 606	2 216 969	1.92	1.99
<b>Total Regional</b>	<b>5 482 755</b>	<b>6 830 922</b>	<b>8 585 406</b>	<b>2.34</b>	<b>2.38</b>
<b>Total Nacional</b>	<b>66 846 833</b>	<b>81 249 645</b>	<b>97 483 412</b>	<b>2.02</b>	<b>1.85</b>

Fuente: INEGI (2003)

El comportamiento demográfico de la región en los últimos años refleja claros movimientos migratorios con una propensión de mayor concentración poblacional hacia los puntos fronterizos y los municipios costeros de la región. De esta manera, los municipios que han mostrado mayor atracción de población son Playas de Rosarito, Mexicali, Los Cabos, Loreto, San Luís Río Colorado, Puerto Peñasco, Hermosillo, Culiacán, Elota, y Xalisco, todos ellos núcleos urbanos importantes de la región según tamaño poblacional y estructura económica (INEGI, 2003a,b,c,d,e).

Cuadro 8. Población total y tasas de crecimiento por municipio, 1980-2000

Municipio	Población			Tasa de crecimiento	
	1980	1990	2000	1980-1990	1990-2000
Tijuana	461 257	747 381	1 210 820	5.06	4.98
Mexicali	510 664	601 938	764 602	1.70	2.44
Los Cabos	ND	43 920	105 469	ND	9.23
Loreto	ND	ND	11 812	ND	4.01
San Luis R.C.	92 790	110 530	145 006	1.81	2.77
Puerto Peñasco	26 755	26 625	31 157	-0.05	1.60
Hermosillo	340 779	448 966	609 829	2.86	3.13
Culiacán	560 011	601 123	745 537	0.73	2.19
Elota	24 766	30 319	49 471	2.09	5.06
Xalisco	19 705	26 722	37 664	3.17	3.52

Fuente: INEGI (2003)

### *Economía*

Los 5 estados que conforman el Golfo de California han experimentado diferentes patrones de desarrollo y actividades sectoriales con respecto a sus perfiles económicos desde 1980. Los datos muestran una reducción importante del Producto Interno Bruto (PIB) en los estados de la región en el período de 1995 y 2002. Esto se debe principalmente a 2 períodos importantes de decrecimiento económico a nivel nacional. El primero empezó a finales de 1994 cuando estallo una crisis económica producto de especulaciones financieras, una sobrevaluación de la moneda, el déficit creciente en cuenta corriente y el redimensionamiento de la actividad bancaria en el otorgamiento de créditos a la producción y consumo (Ros, 1995). El segundo período se caracteriza por una recesión

de la economía mexicana, resultado de la lenta recuperación económica de Estados Unidos, el cual captó tanto la manufactura como el crecimiento exportador. Durante el 2003 la economía solo creció moderadamente, a pesar de los altos ingresos petroleros y la recuperación económica de los Estados Unidos. Sin embargo, el comportamiento reciente de la economía mexicana indica una clara fase de recuperación, pasando de un crecimiento del PIB de 5.4% en el primer cuarto del 2004 a una expansión del 5.6% en el período previo (Domínguez, 2004).

La región se caracteriza por su participación e importancia económica a nivel nacional. Tiene una economía orientada a la exportación de productos agrícolas y manufactureros, una fuerza laboral bien educada, y altos niveles de consumo social. Para el 2002, el PIB nacional sumó 5 mil billones de pesos, de los cuales 510 mil millones se generaron en las cinco entidades que conforman la región, con una participación de 8.9% del PIB total nacional. Las actividades con mayor dinamismo en la región durante la década de los noventa fueron minería, electricidad, industria y servicios. No obstante en la década de los ochenta la economía de la región se caracterizaba por tener actividades predominantemente agropecuarias y mineras. El desplazamiento de las actividades primarias típicas de la región (agricultura, ganadería y pesca) se debe a que el desarrollo económico reciente se ha caracterizado por una reestructuración y modernización que exige un conjunto de transformaciones tecnológicas en la planta productiva para mejorar sus condiciones y posición competitiva. Por esta razón se tiene a Baja California y Sonora como los estados más competitivos de la región como lo muestra el Cuadro 9. Como corolario los estados de Baja California Sur, Sinaloa y Nayarit han mostrado una disminución en su participación económica en el PIB Nacional, esto obedece principalmente a que siguen manteniendo una base productiva con sus actividades tradicionales. Sin embargo todos los estados reflejan una clara tendencia hacia el sector servicios especialmente en los principales centros urbanos de la región.

**Cuadro 9. Estructura porcentual de la participación en el Producto Interno Bruto por gran división de actividad en el Total Nacional, 1993-2002**  
(Miles de pesos a precios de 1993)

Estado	Total	GD1	GD2	GD3	GD4	GD5	GD6	GD7	GD8	GD9
<b>Total Nacional</b>	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100.0
<b>1993</b>										
Baja California	2.79	1.63	0.48	2.60	2.71	5.31	3.08	2.72	3.09	2.73
Baja California Sur	0.53	0.76	1.26	0.09	0.52	0.90	0.52	0.57	0.86	0.52
Nayarit	0.66	2.13	0.15	0.34	0.75	0.25	0.57	0.54	0.66	0.64
Sinaloa	2.33	7.95	0.55	0.82	2.09	2.75	2.24	2.44	2.28	2.26
Sonora	2.61	5.79	3.46	2.25	2.10	4.75	2.50	2.40	2.54	2.35
<b>1995</b>										
Baja California	3.18	1.84	0.64	2.81	2.51	5.87	4.46	3.13	3.20	2.67
Baja California Sur	0.54	0.78	1.44	0.08	0.47	0.99	0.52	0.57	0.84	0.50
Nayarit	0.56	1.73	0.10	0.27	0.61	0.24	0.44	0.51	0.61	0.62
Sinaloa	2.07	6.88	0.54	0.80	2.33	2.71	1.87	2.29	2.22	2.16
Sonora	2.89	6.31	9.17	2.72	2.07	5.63	2.87	2.56	2.52	2.36
<b>2002</b>										
Baja California	3.31	1.29	0.19	3.54	2.34	5.84	4.43	3.07	3.56	2.67



Baja California Sur	0.58	0.77	1.10	0.14	0.92	1.07	0.51	0.50	1.13	0.54
Nayarit	0.57	2.00	0.05	0.25	0.69	0.25	0.46	0.53	0.63	0.67
Sinaloa	1.91	6.67	0.41	0.79	1.42	2.47	1.82	2.05	2.12	2.06
Sonora	2.54	5.23	1.80	2.30	2.16	4.60	2.57	2.36	2.34	2.47

Fuente: INEGI (1997; 2003)

Notas: GD1 = Agropecuaria; GD2 = Minería; GD3 = Industria; GD4 = Construcción; GD5 = Electricidad; GD6 = Comercio; GD7 = Transporte; GD8 = Finanzas; GD9 = Servicios.

Con respecto a la distribución del ingreso en las zonas urbanas, el Cuadro 10 muestra fuertes diferencias entre los estados. De acuerdo a datos de INEGI (2003g) la mejor distribución del ingreso se muestra en el estado de Baja California, con los salarios más altos de la región y los más bajos en el estado de Nayarit.

**Cuadro 10. Salario mínimo mensual por entidad federativa (Población ocupada)**

Estado	Total	No recibe ingresos	Más de 1 y hasta 2	Más de 2 y menos de 3	De 3 hasta 5	Más de 5 y hasta 10
Baja California	906 369	11 316	163 411	214 061	227 133	132 807
Baja California Sur	169 014	4 807	45 219	37 557	34 778	19 798
Nayarit	318 837	35 958	101 632	57 123	43 107	22 897
Sinaloa	880 295	39 394	324 457	166 930	141 799	69 206
Sonora	810 424	18 282	258 952	198 903	125 948	77 403

Fuente: INEGI (2003)

#### 1.4. Actividades Económicas

##### *Agrícolas.*

A pesar de las condiciones climáticas de la región, y las sequías presentadas en los últimos años (Cuadro 11), la agricultura de la región representa la zona de cultivos de exportación más importante de México, cuyo destino principal es el mercado estadounidense. El sector agrícola de la región esta orientado principalmente a la producción de trigo, frijol, sorgo, jitomate y algodón. Se distinguen claramente dos ciclos de cultivo para la región (otoño invierno y primavera verano). En el ciclo otoño-invierno el principal cultivo es el trigo y frijol y en el ciclo primavera-verano el algodón y sorgo.

Cuadro 11. Grado de afectación de la sequía en los estados del país, en los 4 grandes períodos del siglo XX

Estado	Período			
	1948 a 1954	1960 a 1964	1970 a 1978	1993 a 1996
Baja California	R	S	R	S
Baja California Sur	R	S	R	S
Nayarit	N	R	N	R
Sinaloa	R	S	R	S
Sonora	S	S	R	S

Fuente: CENAPRED, 2001 en CNA (2004).

Notas: S = severa; R = regular; N = no efecto.

La región concentra 16 distritos de riego con una superficie de siembra de más de 1.5 millones de hectáreas, que representan 43% de la superficie bajo riego del país.

Los distritos de riego más importantes por su superficie total de siembra y producción son el DDR 014 (río Colorado), 041 (río Yaqui), 038 (río Mayo), 051 (Costa de Hermosillo), 010 (Culiacán-Humaya-San Lorenzo), 063 (Guasave) y 075 (río Fuerte) concentrando el 91% del total de la región.

Cuadro 12. Distritos de Riego de la Región

Distrito	Superficie Total (ha)	Número de usuarios		
		Ejidatarios	Pequeño Propietario	Total
Río Colorado, B.C. y Son.	206,526	8,856	6,326	15,182
Santo Domingo, B.C.S.	38,101	647	686	1,333
Altar Pitiquito, Son.	57,587	1,958	1,153	3,111
Costa de Hermosillo, Son.	66,296	231	1,726	1,957
Guaymas, Son.	16,667	1,936	243	2,179
Colonias Yaquis, Son.*	22,794	-	-	-
Río Mayo, Son.	97,046	7,747	3,816	11,563
Río Yaqui, Son.	232,944	15,880	6,176	22,056
Culiacán-Humaya, Sin.	280,694	19,249	8,250	27,499
Guasave, Sin.	100,125	12,620	1,828	14,448
Mocorito, Sin.	40,742	4,498	1,269	5,767
Río Fuerte, Sin.	227,518	17,649	3,729	21,378
Valle del Carrizo, Sin.	51,681	5,331	742	6,073
Elota-Piactla, Sin.	22,815	1,628	283	1,911
Zona de Riego Fuerte-Mayo Son y Sin.	20,783	3,917	43	3,960
Edo. De Nayarit, Nay.	43,232	6,620	423	7,043
<b>Total</b>	<b>1,525,551</b>	<b>108,767</b>	<b>36,693</b>	<b>145,460</b>

Nota: \* Distrito Integrado con población perteneciente a comunidades indígenas.

FUENTE: CNA, Subdirección General de Operación, Gerencia de Distritos y Unidades de Riego.

## Pecuarías

La producción pecuaria en la región se ha distinguido por su alto nivel de eficiencia, productividad y calidad. En ella se incluye la cría de ganado bovino, porcino y avicultura, así como apicultura y cría de ganado caprino y ovino en menor escala. La práctica ganadera se concentra en la producción de engorda de ganado en corrales y praderas inducidas. De ésta Sonora, Baja California y Sinaloa representan el 13% de la producción total nacional. El porcino se realiza totalmente en granjas. Respecto a las granjas porcícolas que hay en la región Sonora concentra el mayor porcentaje en la región (86.9%) con una producción anual de 174,712 toneladas al año (INEGI, 2002).

## Pesqueras

Sinaloa y Sonora en conjunto aportan el 64.2% del PIB pesquero regional y 42.9% de total nacional, del cual sobresale la pesca del camarón con una participación de 65.9% a nivel nacional y 91% a nivel regional (CONAPESCA, 2002). La pesca del atún y la sardina le siguen en orden de importancia con una participación regional del 68.4% y 67.9% respectivamente en términos de volumen de captura por especie pesquera. La dinámica pesquera en la región, por especie, tuvo un comportamiento heterogéneo de 1997-2002, de la cual destaca la pesquería del camarón con un aumento en más de 14 360 toneladas (CONAPESCA, 2002). Con respecto al atún y la sardina, se registraron disminuciones importantes en su volumen de captura en el período 1997-2002, como las muestran las figuras 2 y 3.

La industria pesquera esta orientada básicamente al enlatado de sardina, producción de harina de pescado y congelado de camarón. De las materias primas pesqueras en la región el 44.1% se destina a la producción de aceite y harina, el 28.9% a congelado, el 26.2% al enlatado y el 0.8% a otros procesos (SEMARNAP, 1998). Esta actividad da empleo a más de 50,000 personas y ha generado la construcción de alrededor de 250 plantas procesadoras. Además tiene el 60% de la infraestructura instalada para el procesamiento y comercialización de productos pesqueros del país (WWF, 2004).

Figura 2. Volumen de captura de atún en peso vivo, 1997 a 2002 (miles de toneladas)

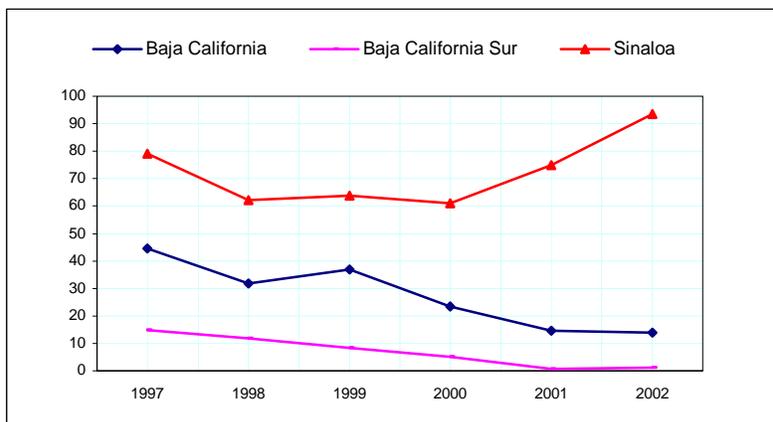
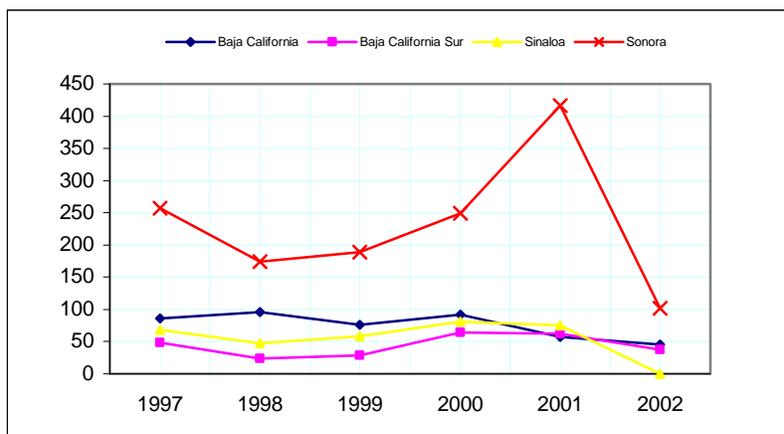


Figura 3. Volumen de captura de sardina en peso vivo, 1997 a 2002  
(miles de toneladas)



### Acuacultura

Esta actividad se ha concentrado principalmente en la camaronicultura, ostricultura y cultivo de mojarra. Asimismo, se práctica la piscicultura en aguas de los embalses de las principales presas de la región (ej. Plutarco Elías Calles, Álvaro Obregón y Adolfo Ruiz Cortines). La región concentra el 93% del cultivo de camarón y alrededor del 95% de las granjas camaronícolas del país (WWF, 2004). La producción de camarón de cultivo en la región se concentra fundamentalmente en Sinaloa que aporta el 54.6% del camarón cultivado en la región, Sonora con el 34.7% y Nayarit con el 10.4%.

La mojarra es el segundo producto de acuacultura más importante en la región, aporta el 3.2% del valor total de la acuacultura, su producción se concentra en un 61.7% en Sinaloa, el 19.7% en Sonora y el 18.6% en el estado de Nayarit. El ostión es el tercer producto en importancia en la región, aporta el 1.24% del valor total de la acuacultura, su producción se concentra en un 47% en Baja California, el 20.7% en Nayarit y el 18.2% en Sonora.

### Industriales

Las actividades industriales principales de la región se concentran en la industria azucarera, y de agroproductos y alimentos, la industria minerometalúrgica y la industria manufacturera, de esta última se localiza en la región el 42% de las plantas y el 30% del empleo generado en la industria maquiladora nacional. La industria alimenticia es la de mayor actividad seguida por la industria manufacturera. La primera esta concentrada en Hermosillo y Culiacán en ese orden de importancia. Le sigue en número la industria de la manufacturera eléctrica, electrónica, automotriz, y de textil, siendo las principales ciudades Tijuana, Mexicali, San Luis Río Colorado, Nogales y Hermosillo (INEGI, 2003). La industria química y de fertilizantes se concentra principalmente en Cajeme (Valenzuela-Cueto, 2001). Con respecto a la industria minerometalúrgica, Sonora es el principal productor de oro y cobre a nivel nacional, representando el 31.6% y 82.6% del total nacional (INEGI, 2003).

## Electricidad

Para la generación de energía eléctrica de la región, ésta cuenta con 6 plantas termoeléctricas con una capacidad total de 2,807 Mw ubicadas en la zona litoral: Puerto Libertad y Guaymas en Sonora; Mazatlán y Topolobampo en Sinaloa; Rosarito en Baja California y San Carlos en Baja California Sur. Cuenta también con una planta geotérmica de 620 Mw localizada en Cierro Prieto, Baja California y 5 plantas hidroeléctricas con una capacidad total de 1,709 Mw situadas en la zona de transición entre las llanuras y las cadenas montañosas.

**Cuadro 13. Centrales de Generación de Electricidad**

Central	Tipo	Capacidad (Mw)	Área a la que Pertenece	Combustible o Energético Primario
P. Elías Calles (El Novillo)	Hidroeléctrica	135	Noroeste	E. Hidráulica
Raúl J. Marsal (Comedero)	Hidroeléctrica	100	Noroeste	E. Hidráulica
Bacurato	Hidroeléctrica	92	Noroeste	E. Hidráulica
Aguamilpa Solidaridad	Hidroeléctrica	960	Noroeste	E. Hidráulica
L. Donaldo Colosio (Huites)	Hidroeléctrica	422	Noroeste	E. Hidráulica
Puerto Libertad	Termoeléctrica	632	Noroeste	Combustóleo
C. Rodríguez R. (Guaymas II)	Termoeléctrica	484	Noroeste	Combustóleo
J. Aceves Pozos (Mazatlán II)	Termoeléctrica	616	Noroeste	Combustóleo
Pdte. Juárez (Rosarito)	Termoeléctrica	620	Baja California	Combustóleo
J. de Dios Bátiz (Topolobampo)	Termoeléctrica	390	Noroeste	Combustóleo
A. Olachea A. (San Carlos)	Termoeléctrica	65	Baja California Sur	Combustóleo y Diesel
Cerro Prieto	Geotérmica	620	Baja California	Vapor Endógeno

Fuente: Secretaría de Energía ([www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx))

## Turismo

La región cuenta con centros turísticos importantes, debido a su infraestructura, por el número de visitantes que reciben anualmente y la derrama económica que generan. Esta recibe alrededor de 1.7 millones de turistas al año (8% de total nacional) de los cuales más de la mitad son turistas extranjeros.

## Infraestructura portuaria

Para la movilización de agroproductos, minerales, productos pesqueros, comercio y turismo, la región cuenta con 18 puertos de altura y cabotaje de los cuales sobresalen por su importancia los puertos de Ensenada, Guaymas, Topolobampo y Mazatlán (Congreso de la Unión, 2001).

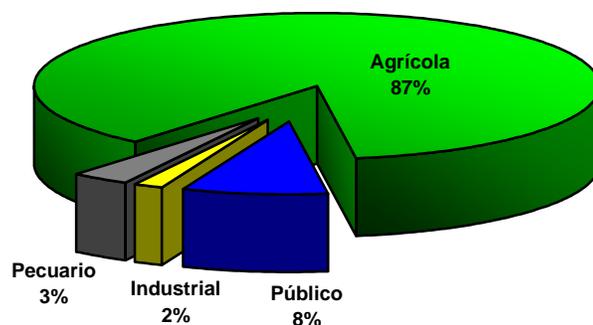
## 1.5. Usos del Agua

El principal uso del agua en el litoral del Golfo de California corresponde al agrícola, sector al que se destina el 87% del total de las extracciones. El volumen de extracción de agua superficial para este uso es de 13 788 hm<sup>3</sup> y 4 583 hm<sup>3</sup> de agua subterránea que permite una superficie de riego de más de 1.5 millones de hectáreas (CNA, 2004). Sobresalen zonas importantes de riego ubicadas en el río Colorado, río Yaqui, Valle de Culiacán, Guasave, río Mayo y río Fuerte que representan el 31% de la superficie bajo riego del país (CNA, 2004). De los 16 distritos de riego en conjunto se reporta una eficiencia media de conducción del 40%. El resto se infiltra, se reutiliza o se descarga al mar.

Por lo que se refiere al sector pecuario, se le destinan 710 hm<sup>3</sup> para el abastecimiento de ganado mayor y menor (CNA, 2004).

En lo que corresponde a los usos urbanos, los volúmenes de abastecimiento son de 1 770 hm<sup>3</sup>, con lo que se cubre el 87% del servicio a poblaciones. Las principales demandas para este uso se encuentran en las ciudades de Los Cabos con un volumen de extracción diario de 134 000 m<sup>3</sup>, La Paz (161 000), Tijuana (280 000), Mexicali (260 000) Hermosillo (229 000), ciudades que concentran el 32% del total de la población de la región. Cabe destacar que aunque Tijuana no se ubica propiamente en el litoral del Golfo, utiliza grandes volúmenes de agua procedentes del río Colorado, a través del acueducto Río Colorado-Tijuana, del cual la ciudad de Tijuana se abastece de 4 000 l/s y contribuye con el 85% aproximadamente del volumen total suministrado a esta ciudad (COSAE, 2003). No obstante el volumen de agua consumido por estas ciudades; en conjunto el uso doméstico y industrial representan solo el 10% del total de agua para uso consuntivo de la región (Fig. 4).

Figura 4. Usos Consuntivos del Agua en el GC



La extracción y uso de agua para el uso minero destaca en Sonora, habiendo duplicado su demanda en diez años, siendo ésta en 1989 de 56,650 hm<sup>3</sup>, lo que refleja el desarrollo de estas actividades en el estado. La concentración de las demandas se ubica en la porción Noroccidental de la entidad, representada por las compañías Minera de Cananea y Mexicana de Cobre. El consumo complementario para usos de este tipo se distribuye en las regiones serranas del estado. El mayor volumen lo consume la extracción y/o beneficio de minerales (INEGI 2003; CNA 2003b).



El uso del agua para industria se concentra en las principales ciudades de la región como Mexicali, Hermosillo, Cd. Obregón, Guaymas, Culiacán y Mazatlán. El mayor consumo lo representan la industria de alimentos y la de procesamiento.

El uso para generación de energía eléctrica incluye el agua dulce de las presas tales como P. Elías Calles (El Novillo), Raúl J. Marsal (Comedero) y Solidaridad (Aguamilpa), así como las aguas marinas en Guaymas y Puerto Libertad. El volumen turbinado de las 6 plantas termoeléctricas de la región es 0.5 hm<sup>3</sup> con una generación de energía eléctrica 2 807 Mw (CNA, 1999).

El uso del agua dulce en acuicultura es de 65 hm<sup>3</sup>. La acuicultura de la región se dedica principalmente al cultivo comercial de camarón con una producción de 42 668 toneladas, de ostión (990 t), y peces de agua dulce tales como la tilapia (7 570 t) (INEGI, 2003). Por lo que se refiere al zócalo continental, en la región se desarrollan actividades pesqueras de altura, así como captura de especies comerciales en cuerpos de agua protegidos.

## 1.6. Generación de Aguas Residuales

### *Urbanas*

Las aguas residuales urbanas se generan básicamente en 7 municipios que aglomeran el 61% de la población total de la región, con más de 300,000 habitantes cada uno y que son: Mexicali, Hermosillo, Cajeme, Ahome, Culiacán, Mazatlán y Tepic. Otros 8 municipios con poblaciones menores de 300,000 habitantes pero mayores de 100,000 concentran el 30.69% de la población y aportan un gasto de aguas residuales de 1,693.43 l/s en conjunto. El gasto total de aguas residuales generadas en la región es de 92 083 hm<sup>3</sup>.

La localización de los asentamientos humanos e industriales concentra el vertimiento de aguas residuales en los siguientes cuerpos receptores: los ríos Colorado, Sonora, Yaqui, Mayo, bahía de Guaymas, El Fuerte, Culiacán, Sinaloa, bahía de Mazatlán, Acajoneta y San Pedro Mezquital.

### *Pecuarías*

La fuente más importante de aguas residuales la constituyen las granjas porcícolas y los rastros, estimando una generación de 1,200 l/s y 108 l/s respectivamente. Hermosillo, Navojoa y Cajeme, representan el 84% del total de las existencias de cerdos en la región, descargando sus aguas residuales en las cuencas bajas de los ríos Yaqui, Mayo y Sonora.

### *Agricultura*

El sector agrícola genera 43% de las aguas residuales que regresan a los ríos y acuíferos subterráneos con residuos agroquímicos como plaguicidas, pesticidas y fertilizantes. El sector agrícola en su mayoría utilizan el sistema de drenes para descargar la escorrentía agrícola que finalmente desemboca en el Golfo de California.

Por ejemplo el DDR 014 Mexicali/San Luis Río Colorado, drena aguas residuales hacia la cabecera del Golfo de California, en la cuenca del Río Colorado. El DDR 148 Cajeme cuenta con dieciocho



canales colectores que captan las aguas de retorno agrícola y drenan 15,474 l/s en la costa de los municipios de Guaymas, Bacum, Cajeme y Etchojoa.

El DDR 149 Navojoa tiene ocho drenes colectores que descargan 11,342.8 l/s en la zona costera de los municipios de Huatabampo y Etchojoa. Los colectores funcionan además como desfogue de las aguas residuales domésticas e industriales de los municipios que atraviesan, siendo las principales ciudades que vierten en ellos: Navojoa, Etchojoa y Huatabampo.

### *Pesca*

El problema de contaminación de agua más grave lo representan las plantas procesadoras de sardina, localizadas en las bahías de Yavaros, Guaymas y Mazatlán. En periodos de operación continua (en tres turnos de ochos horas cada uno), se estima que las plantas en conjunto vierten a la bahía los siguientes volúmenes de agua residual: en Guaymas 1,495 m<sup>3</sup>/día; Yavaros 1,044 m<sup>3</sup>/día y Mazatlán 1,200 m<sup>3</sup>/día, con una calidad de agua residual variable en las diferentes secciones del proceso (Hosch et al., 1997; Servín-Aguilar, 1996; Soto-Jiménez y Páez-Osuna, 2001)

### *Industria*

El giro de mayor importancia en la región después del agropecuario es el industrial. Las ciudades que tienen mayor número de descargas de agua residual industrial son: Mexicali y Hermosillo. Estas representan el 87% del total de las descargas industriales de la región y comprenden a la industria textil, vitivinícola, alimenticia, electrónica y otros (CNA 2003d; 2004).

## 1.7. Calidad del Agua

La mayor parte de la contaminación se origina en los usos urbano, industrial y agrícola, sin menospreciar el impacto de la contaminación natural del agua, que afecta principalmente a las aguas subterráneas próximas a las costas por intrusión salina. Existen dos tipos de contaminación, la puntual y la difusa o dispersa. La primera puede ser controlada mediante acciones específicas; la segunda se produce en general a lo largo de extensas superficies hacia los acuíferos o por las márgenes de los ríos y laderas de los embalses. Al no haber un punto de concentración es muy difícil su identificación y control (CNA, 2004)

Se estima que existen en el país del orden de 35 mil descargas de aguas residuales que se vierten a cuerpos receptores de propiedad nacional (CNA, 2003d). El control de las descargas se realiza con la regularización mediante la expedición específica de calidad que deben reunir, descritas en la NOM-001-ECOL-96 (DOF, 1997). Las descargas que incumplen la norma provocan la contaminación.

La sobreexplotación de acuíferos en las zonas litorales propicia –como ya se menciona la contaminación por intrusión salina, ésta se presenta principalmente acuíferos costeros en los estados de Baja California Sur, Baja California y Sonora, afectando en mayor medida a los acuíferos denominados: La Paz y el Valle de Santo Domingo, en Baja California Sur; San Quintín en Baja California; Guaymas y Costa de Hermosillo, Sonora. Para la atención de estos problemas, se han establecido vedas de extracción de aguas subterráneas.



El diagnóstico de la CNA señala que las cuencas hidrológicas que mostraron los mayores índices de contaminación fueron Culiacán y El Fuerte; estos reciben el 59 por ciento del total de descargas contaminantes de la región Pacífico Norte (CNA, 2003c).

El estero Sto. Domingo La Atanasia, que es un sistema con uso pesquero y abastecedor de un sistema de acuicultura, presenta concentraciones de oxígeno disuelto inferiores a las requeridas y excedentes de metales pesados, plaguicidas, coliformes y sustancias activas al azul de metileno (ITSON 1987).

El río Sonora ha sido monitoreado en toda su cuenca y en el embalse de la presa Abelardo L. Rodríguez. Este río ha sido durante años receptor de descarga de beneficio de minerales, de asentamiento humanos y actividades agrícolas y pecuarias; se utiliza para riego, abrevadero y recarga de acuíferos en las cuencas altas, mientras que en el embalse se le da uso de abastecimiento a poblaciones.

En la parte alta de la cuenca del Río Sonora existen excedentes de metales pesados para el uso asignado como son: cobre, plomo, zinc, fierro y manganeso (Yocupicio y Gómez 1987). El vaso de la presa no muestra estos efectos pero sí valores fuera de los límites recomendables de pH, sólidos disueltos, nutrientes y grasas y aceites, por efecto de las descargas de granjas porcícolas, rastros y otras industrias asentadas en sus márgenes.

La Bahía de Guaymas es el punto costero que presenta la peor calidad del agua, ya que los residuos de las plantas industrializadoras de pescado se suman los de las embarcaciones pesqueras y de flota de carga que operan en el puerto, los de las industrias de otros giros y los del alcantarillado de la ciudad (Hosch et al., 1997).

El río Colorado presenta afectación salina con calidad inadecuada para su uso en agricultura. Además de la salinidad natural de los suelos, el selenio ha tomado importancia en los últimos años debido a la bioacumulación de este metal en diversas especies de aves y peces de la región. Por otro lado las aguas residuales de la ciudad de San Luis Río Colorado, Sonora, son descargadas al cauce del río Colorado, donde se infiltran en el subsuelo, desde 1993, y representan una carga anual de 6 hm<sup>3</sup> de agua, lo que significa una seria contaminación al acuífero del distrito (Paredes-Arellano, 1997).

En Sinaloa se han estudiado las bahías de Ceuta (Elota), Ohuira (Ahome), Santa María (Angostura), Ensenada del Pabellón (Angostura), Laguna Huizache-Caimanero (Rosario), los esteros de Teacapán (Escuinapa) y Urías (Mazatlán), así como los puertos de Topolobampo y Mazatlán.

Estudios realizados por Galindo Reyes et al. (2002) señalan que en todos los ecosistemas de la costa Sinaloense se encontraron residuos de plaguicidas, tanto en el agua como en los sedimentos y, en algunos casos, también en los propios camarones y almejas, además de que lo más probable es que los daños estén también sobre peces, otros moluscos y aves. Las sustancias tóxicas detectadas en el agua y productos marinos son: clordano, lindano, DDT y sus metabolitos (DDE y DDD), aldrín, malatión, paratión, heptacloro, endosulfán, expóxido de heptacloro, hexaclorobenceno y dimentoato.

## 1.8. Abastecimiento de Agua Potable

Durante los últimos años, el suministro de agua potable en los principales municipios del litoral del Golfo de California ha sido afectado por la falta de lluvias en la región, lo que ha ocasionado que al no recibir escurrimientos superficiales, la sobreexplotación del agua subterránea sea un problema generalizado, principalmente en las zonas áridas y semiáridas de la región, que junto a la salinidad natural de los suelos ocasione intrusión salina en 15 acuíferos de la región (CNA, 2004).

Lo anterior provoca insuficiencia en las aguas subterráneas para el abastecimiento, lo que a su vez conduce a la sobreexplotación de acuíferos, ocasionando salinización gradual y obligando a la transferencia entre cuencas. La contaminación, por otra parte, ha reducido el potencial de uso de varios acuíferos, ríos y cuerpos de agua. Por ejemplo en la Costa de Hermosillo anualmente se extrae un promedio de 400 hm<sup>3</sup>, cantidad que equivale a 2.5 veces el volumen de la Presa Abelardo L. Rodríguez, hecho que nos manifiesta contundentemente su probada capacidad para auxiliar al suministro de agua para la ciudad, pues según datos publicados, se han observado abatimientos promedio de 25 centímetros en la última década, algo digno de admiración por la magnitud de las extracciones que se mencionan, aunque debemos estar conscientes del poderoso ingreso de agua subterránea marina al acuífero dulce (Monreal et al., 2001).

## 1.9. Prácticas Ineficientes

Las prácticas actuales han conducido a eficiencias muy bajas en el uso del agua que se extrae de cauces y acuíferos para consumo al año. La ineficiencia en su uso, se asocia directamente a la baja valoración del recurso, el mayor derroche se genera en el uso agrícola, donde prevalece la exención en el pago de derechos de aprovechamiento.

La eficiencia de riego parcelario es únicamente del 40% (SEMARNAP/CNA 1997). De manera similar, la eficiencia en el uso doméstico en México es de alrededor del 60%. Con muchos incentivos para hacer cambios substanciales en sus procesos o en la utilización de bienes ahorradores de agua, el uso del agua en la industria es también poco eficiente.

## II. RESULTADOS

Se recopiló información de 19 sistemas de agua dentro de la cuenca del Golfo de California (Fig. 1).

### 2.1. Delta del Río Colorado y Alto Golfo

El delta del río Colorado tiene una extensión territorial de 5,923 km<sup>2</sup>; esta se localiza entre 31° 30'-32° 00' N y 115°10'-114° 30 W y su corriente principal es el río Colorado (Fig. 1). Tiene como subcuencas los ríos y canales Colorado, Las Abejas, El Álamo, Cerro Prieto, Nuevo, Hardy, Pescadores y Bajo Río Colorado. En el delta, el río Colorado se divide en dos brazos principales y varios secundarios que forman las islas, Montague y Pelicano y una gran planicie de inundación. Las altas tasas de evaporación (0.9 m<sup>3</sup>/año), el casi nulo aporte de agua dulce por el Río Colorado, y la baja precipitación (media anual=68 mm) han establecido condiciones antiestuarinas, con rangos de mareas de hasta 8 m, por lo que el intermareal ocupa hasta 7,000 km<sup>2</sup>.

#### Descripción del Problema

El delta sufre los efectos provocados por las grandes presas de almacenamiento de la cuenca del río Colorado, las cuales cesaron los escurrimientos hacia la planicie de inundación, cambiando paulatinamente las condiciones del área, afectando a los ecosistemas pues el agua salobre propiciaba el desarrollo de fauna representativa y única (p. ej. *Cynoscion macdonaldi*, *Phocoena sinus*). Además gran parte del delta ha sido convertido en tierras de cultivo por riego y los diques y canales utilizados han modificado significativamente al delta.

#### *Reducción del Flujo de Agua dulce*

Antes de que se terminara la Presa Hoover en 1935, el flujo anual del Colorado era >600 m<sup>3</sup>/seg (Schreiber, 1969), y contribuía con más del 50% del total de agua dulce que ingresaba al Golfo de California (Byrne y Emery 1960). Actualmente el represamiento del río Colorado ha ocasionado que el flujo de agua dulce al Alto Golfo se haya reducido a 1% del flujo original (Aragón-Noriega y Calderón-Aguilera, 2000).

#### *Pérdida de Biodiversidad y Modificación del Hábitat*

El delta alberga 170 especies de aves residentes y migratorias y es zona de reproducción, desove y crianza para especies marinas de importancia comercial, como el camarón (*Penaeus* spp.) y otras especies emblemáticas como la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), la vaquita marina (*Phocoena sinus*), el palmoteador de Yuma (*Rallus longorostris yumanensis*), y el pez cachorrito del desierto (*Cypranodon macularius*) (Glenn et al., 1996).

La pérdida de flujos de agua dulce hacia el delta durante el último siglo ha reducido los humedales en 5% de su extensión original, y las especies no nativas han puesto en peligro la salud de gran parte de lo que queda (Glenn et al., 1996). Los bosques nativos de álamos (*Populus fremonti*) y sauces (*Salix* spp.) han cedido ante la arena, y la marisma es dominada por el pino salado (*Tamarix* spp.), la cachanilla (*Pluchea sericea*) y el chamizo (*Allenrolfia occidentales*).



Varios estudios han demostrado el efecto ecológico y económico de la invasión del pino salado a la cuenca baja y delta del río Colorado (Cleverly et al., 1997; Taylor y McDaniel, 1998; Wiesenborn, 1996). El pino salado se caracteriza por secar manantiales, humedales y hábitat ripario al agotar el manto freático. Además de modificar el hábitat, el pino salado implica altos costos de control y mantenimiento. Taylor y McDaniel (1998) determinaron costos de entre 750 a 1,300 USD, para la eliminación del pino salado en Estados Unidos, a base de quema, herbicidas y control mecánico.

Debido a la reducción de álamos y sauces por la disminución de flujos de agua dulce al delta, poblaciones de castores, nutrias y otras especies han ido desapareciendo. Actualmente, las poblaciones de castor (*Castor canadensis*) en el delta del río Colorado solo se encuentran en 20 sitios a lo largo del río Colorado, siendo altamente variables y dependiendo de las aportaciones esporádicas de agua dulce del río Colorado (Mellink y Luevano, 1998). Las poblaciones de castor están claramente asociadas con los flujos de agua y los bosques de álamo y sauce. Mellink y Luevano (1998) reportaron haber encontrado poblaciones de castores en lugares donde las fuentes de agua eran limitadas a pequeñas lagunas o corrientes someras. Sin embargo, no se encontraron castores en los alrededores del río Hardy al norte del campo Mosqueda, donde el agua es abundante y donde los castores fueron abundantes (Leopold, 1953). Mellink y Luévano (1998) asocian la ausencia de castores en el río Hardy a la ausencia de álamo y sauce.

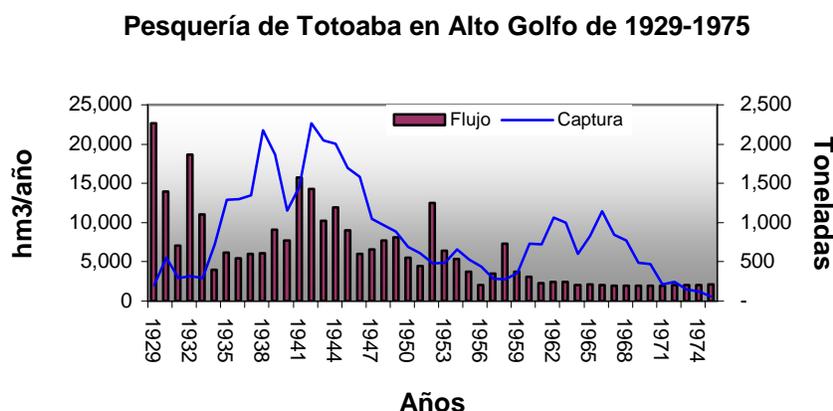
También existen registros de nutrias (*Lontra canadensis sonora*) en el río Colorado (Leopold, 1959) y localidades cercanas a la frontera Estados Unidos-México (río Gila, Arizona – Nuevo México; Hall 1981). Actualmente se considera extinta en el delta debido al reducido flujo de agua dulce y a la sobreexplotación y desviación del cauce original (Gallo-Reynoso, 1997).

La importancia del delta para las aves migratorias radica en que es un elemento clave en las rutas migratorias y es el único humedal mexicano importante en la Ruta del Pacífico (Payne et al., 1992). La composición de especies de árboles es crítica en la selección del hábitat para aves, particularmente en hábitats desérticos riparios (Rice et al., 1984). En el río Colorado, las aves prefieren los bosques de galera de sauce y álamo, sobre el mezquite. El delta brinda anidación, alimento, y refugio para garzas, agachonas, avocetas, cormoranes, patos, pelicanos, gaviotas, y golondrinas marinas. Muchas de estas especies han dejado de anidar en los humedales del delta como resultado de la disminución de los bosques de sauce y álamo, (p. ej el gorrión *Ammodramus sandwichensis rostratus*) se cría exclusivamente en los humedales del delta y pantanos del noroeste de Sonora (Van Rossem, 1947).

El intermareal y los hábitats costeros del Golfo de California también sostienen especies en peligro de extinción e importantes industrias pesqueras. La disminución paulatina del flujo del Río Colorado y la elevada evaporación lo cambiaron de estero positivo a anti-estuario. La modificación del hábitat de crianza y reproducción de las especies en la zona del Alto Golfo se debe principalmente a la disminución del aporte y calidad de agua dulce del Río Colorado. Información histórica señala que los flujos primaverales del Río Colorado incrementaban significativamente la reproducción y crianza de la biota marina (en especial la totoaba y el camarón) (Arvizu y Chávez, 1972; Aragón-Noriega y Calderón-Aguilera, 2000; Flanagan y Hendrickson, 1976; Glenn et al., 1996).

La disminución de la pesquería de la totoaba a finales de los años 70s se pudo deber a el esfuerzo pesquero excesivo y/o la alteración de su área de desove y crianza por el represamiento del agua del río Colorado (Fig 4).

Figura 5. Relación entre el flujo del río Colorado a través de la frontera México-E.U. y la pesca comercial de totoaba en el Alto Golfo (1929-1975) (Datos de Flanagan y Hendrickson (1976) y CNA (1999)).



A pesar de las condiciones hipersalinas que se registran en San Felipe y Golfo de Santa Clara, se han encontrado postlarvas de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), de camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) y de camarón blanco (*L. vannamei*). Calderón-Aguilera et al. (2002) consideran que las variaciones en la abundancia de postlarvas responden a eventos de corta duración (p. ej. fuertes vientos) y no a cambios en la salinidad y en la temperatura, aunque se observan mayores abundancias en los años lluviosos. La abundancia relativa de las postlarvas de camarón varía considerablemente cuando el flujo de agua de dulce incrementa. La abundancia se incrementa hasta en 200% cuando hay flujo de agua dulce por el alto Golfo (Aragón-Noriega y Calderón-Aguilera, 2000) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Relación entre el escurrimiento de agua del río Colorado a través de la frontera México-E.U. (promedio mensual de enero a junio) y la abundancia relativa de postlarvas (No./m<sup>3</sup>) de *Litopenaeus stylirostris* (promedio de junio a julio) de 1993 a 1997.

Año	Escurrecimiento promedio del río Colorado (X 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Abundancia relativa promedio de postlarva (Pl/m <sup>3</sup> )	Error Estandard
1993	312.01	43.6 a	13.6
1994	67.28	11.63 b	1.35
1995	76.25	11.20 b	2.25
1996	71.42	16.01 b	3.37
1997	115.65	33.32 c	8.06

Notas: a: la abundancia relativa de postlarva muy alta; b: la abundancia fue baja; c: abundancia alta. Fuente: Aragón-Noriega & Calderón-Aguilar, 2000

A pesar de la salinidad y la aparente falta de nutrientes, el alto Golfo sigue siendo altamente productivo, debido a que recibe nutrientes de acuíferos costeros de Sonora (invierno) y nutrientes de aguas someras que llegan a la superficie por mezcla de marea (Hernández-Ayón et al., 1993). Además, muchos nutrientes provienen del escurrimiento agrícola (p. ej. nitratos), aunque no hay estudios sobre sus efectos en el ambiente marino.

#### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

La problemática regional de la calidad de agua en la región se debe primordialmente al impacto de la agricultura de riego de los Valles de Mexicali y San Luis Río Colorado. El Valle de Mexicali tiene 17 drenes agrícolas, 3 de ellos primarios y 14 secundarios, los cuales fluyen directamente al sistema de ríos Hardy y Colorado con una salinidad promedio de 3 000 ppm. Estos drenes acarrear un volumen anual de agua de  $6.33 \times 10^7 \text{m}^3$  (CNA, 1997), con un total de 70,000 toneladas de fertilizantes y 400,000 litros de insecticidas por año (Dirección General de Ecología del Estado de B.C., 1995).

El impacto de los contaminantes sobre la vida silvestre, en particular, la distribución de selenio, metales traza y concentraciones de pesticidas organoclorados en los sedimentos y la biota de los distintos humedales del delta han sido monitoreados desde los 70s (Guardado-Puentes y Núñez-Esquer, 1975; Mora, 1991; Mora y Anderson, 1995). Las concentraciones de los contaminantes en el Alto Golfo de California y Valle de Mexicali no tienen un patrón definido de distribución; sin embargo las más altas concentraciones se encuentran en la zona agrícola sur (Guardado-Puentes y Núñez-Esquer, 1975). Esto se ha atribuido a la posición de las zonas muestreadas y los patrones de vientos dominantes (NW-SW) (Álvarez-Borrego, 1971; Álvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974).

En 1975 se registraron altos índices de DDT y sus metabolitos en almejas y sedimentos en el Valle de Mexicali y Alto Golfo de California (García-Hernández et al., 2001; Guardado-Puentes y Núñez-Esquer, 1975; Gutierrez-Galindo et al., 1988a, 1988b, 1989). Durante los muestreos, se considero importante haber encontrado un promedio de 145.05 ppm de DDT, considerablemente mayor que en bancos de *Chione californiensis* 30 km al norte de San Felipe, por ser esos bancos más distantes a la zona de aporte de pesticidas. posiblemente, un giro ciclónico de las corrientes en el alto Golfo hubiera hecho que los contaminantes vertidos en el delta del río Colorado llegaran primero a la costa de Baja California y después a Sonora (Álvarez-Borrego, 1971). Los vientos dominantes fluyen del Valle de Mexicali hacia el alto Golfo.

El estudio más reciente de calidad del agua para el delta (1996-2000, ver García-Hernández et al. 2001) detectó que el 86% de las muestras contenían DDE en una gama de 0.1 a 34 ppm. Los efectos de la toxicidad se pueden apreciar entre 0.15 y 0.3 ppm. 30% de las muestras estaban por encima de 0.15 ppm y ninguna excedió 1 ppm. Se encontró DDT en 26% de las muestras, en concentraciones que fluctuaron entre 0.01 y 0.3 ppm. La mayores concentraciones de DDT fueron detectadas en peces mosquiteros (*Gambusia affinis*) en El Mayor y el Doctor. Aparentemente, el DDT se había usado recientemente y con frecuencia (aunque fue prohibido desde 1980). En el Valle de Mexicali se aplicaron 230,000 kg de DDT en 1971 (García-Hernández, 2001). A pesar de la detección de DDT, DDE y DDD en las especies, no se encontraron efectos sobre su desarrollo embrionario (Mora 1991; Mora, 1997; Mora y Anderson, 1995). No obstante, Blus (1996) reporto deformidades en el desarrollo embrionario, baja productividad de huevos, y adelgazamiento de la



cáscara de huevo del halcón peregrino (*Falco peregrinus*), enlistado en México como especie amenazada (Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz, 1997).

En relación a metales pesados se ha detectado niveles de Cd y Se en diversas especies que habitan el Alto Golfo. Los valores de Cd (12.28-19.22  $\mu\text{g/g}$ ) detectados en el mejillón *Modiolus capax* durante agosto de 1985 fueron superiores a los límites establecidos por FAO-UNESCO en moluscos bivalvos destinados para el consumo humano. (Gutiérrez-Galindo et al., 1988a y b). El Se se encuentra en forma natural por exposición de la roca sedimentaria al desagüe del río Colorado y también es un micronutriente esencial, pero en ciertas concentraciones puede afectar el desarrollo embrionario, o causar esterilidad y muerte. Garcia-Hernández et al. (2001) midieron Se en 41 muestras de agua y sedimento de diferentes puntos del delta, así como muestras de peces, invertebrados, insectos y anfibios de 12 localidades del delta para determinar si las concentraciones representaban un riesgo para la vida silvestre y las comunidades humanas. Los valores en sedimento fluctuaron entre 0.6-2.81 ppm. Algunas de las concentraciones más altas se encontraron en peces y sedimento de El Mayor (e.g. *Gambusia affinis* y *Poecilia latipinna*). En Bocana, ubicada en un sitio alto del Golfo, se encontró Se en muestras de camarón de agua dulce (*Palaemonetes paluosus*). Por último, se encontraron niveles altos de selenio en la Ciénega de Santa Clara, el Campo Mosqueda y Campo Flores. Ninguno de los peces comestibles (e.g. *Micropterus salmoides*, *Cyprinus carpio*, *Ictalurus punctatus*, *Mugil cephalus*, *Lepomis macrochirus* and *Tilapia zilli*) excedió 6.5  $\mu\text{g/g}$ , recomendados por el Departamento de Salud de los Estados Unidos para consumo humano (Scorupa et al., 1996).

## 2.2. La Bahía de La Paz

### *Localización*

La bahía de La Paz (4500 km<sup>2</sup>) tiene un eje norte-sur de 90 km y una anchura promedio de 60 km. La temperatura superficial varía entre 20° C durante el invierno y 29° C en el verano. La isla Espíritu Santo forma el límite norte y la Ensenada de La Paz el límite sur (Fig. 1).

### *Impacto en la Calidad del Agua en Sedimentos y Biota*

Las principales fuentes de contaminación de la costa de Baja California Sur son las descargas municipales de Santa Rosalía, Mulegé y La Paz. El resto de BCS se considera libre de contaminantes por descargas industriales (Gutiérrez-Galindo et al., 1994).

Aunque los problemas por eutroficación son poco frecuentes, se ha reportado contaminación por metales traza y pesticidas en la Bahía de La Paz. Los resultados para As, Cd, Cu, Pb, Se, Sb y Zn en sedimento no revelan contaminación antropogénica importante, pero se encontraron concentraciones elevadas de Pb (50-89 ppm) en sedimentos superficiales en la costa urbana de la bahía (Shumilin et al., 2001)

En Baja California Sur se ha demostrado la utilidad de los mejillones (*Modiolus capax* y *Mytilus californiensis*) como biomonitores de contaminación por metales traza. *M. capax* se distribuye ampliamente a lo largo de la costa oeste y es consumido por la población local. Gutiérrez-Galindo et al. (1994) muestrearon 14 sitios a lo largo de Baja California Sur para determinar la contaminación

por As y Se en esta región. Los resultados indicaron contaminación moderada en Mulegé y Bahía de La Paz (Cuadro 15).

Cuadro 15. Tamaños, pesos húmedos y concentraciones de As y Se en *Modioulis capax* de Baja California Sur.

Sitio	Tamaño (mm)	Peso húmedo (g)	As (µg/g)	Se (µg/g)
Punta Estrella	85.1	12.7	10.2	3.57
Puertecitos	81.1	16.0	6.62	1.77
San Luis Gonzaga	91.8	20.2	12.9	4.02
Bahía Angeles G	94.8	15.0	22.7	2.41
Bahía Angeles C	90.1	13.9	13.4	2.59
Bahía Angeles R	90.6	22.0	53.4	2.34
San Rafael	-	-	-	-
San Francisquito	94.6	16.7	7.28	3.64
Santa Rosalía P	93.9	19.3	13.0	2.03
Santa Rosalía M	82.6	11.0	16.6	2.88
Estero San Lucas	93.9	24.4	6.58	1.56
Mulegé	87.9	12.4	44.7	4.16
Loreto	-	-	-	-
Bahía La Paz	93.7	17.1	23.0	2.89

Fuente: Gutiérrez-Galindo et al. (1994)

Aunque la producción agrícola en la península no es destacada, se ha documentado la contaminación por PCBs, DDT, Chlor<sup>e</sup>, HCB, Aldrin, Dieldrin, Endosulfan, Endrin y Lindano en tortugas marinas (*Chelonia mydas agassizzi*, *Caretta caretta*, *Lepidochelys olivacea*, *Eretmochelys imbricata* y *Dermochelys coriacea*) (Gardner et al., 2003). Diecisiete de 21 pesticidas organoclorados analizados fueron detectados, siendo Heptacloro epoxi (Chlor<sup>e</sup>) y Hexaclorobenceno (HCB) los más frecuentes (14 (40%) y 11 (31%) de las 35 muestras analizadas de tejido respectivamente). Así mismo, se encontraron PCBs en prácticamente todas las tortugas analizadas. También se ha comprobado un incremento de enfermedades relacionadas por la contaminación en tortugas marinas (e.g. fibropapillomatosis) (Ehrt, 1991; Herbst, 1994 y Herbst y Klein, 1995).

La acumulación de metales pesados en mamíferos marinos cerca de la bahía también se ha documentado. Existen niveles moderadamente altos de Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Cd, Zn y Hg (Ruelas-Inzunza et al., 2000; Méndez et al., 2002). Méndez et al. (2002) encontraron niveles anómalos de Cu en hígado y riñón (228 y 65 µg/g, respectivamente) de ballena gris (*Eschrichtius robustus*). Ruelas-Inzunza et al. (2000) reportaron bioacumulación de Hg moderadamente alta en hígado de delfines tornillo (*Stenella longirostris*). En todos estos trabajos no hubo indicios de contaminación metálica evidente.

### 2.3. Cuenca del Río San Pedro y Sonora

#### *Río San Pedro*

El río San Pedro, nace a unos cuantos kilómetros al norte de Cananea y fluye hacia el norte de México internándose en los Estados Unidos, uniéndose con el río Gila en Winkelman, Arizona (Fig. 1). El río Gila a su vez es afluente del río Colorado en Yuma (Arizona), para regresar a México y desembocar en el golfo. La cuenca tiene 11,620 km<sup>2</sup>, de los cuales 1,790 km<sup>2</sup> se encuentran en México. La longitud total del cauce desde su nacimiento hasta la estación hidrométrica “Palominas” (Arizona) es 65.6 km.

#### *Río Sonora*

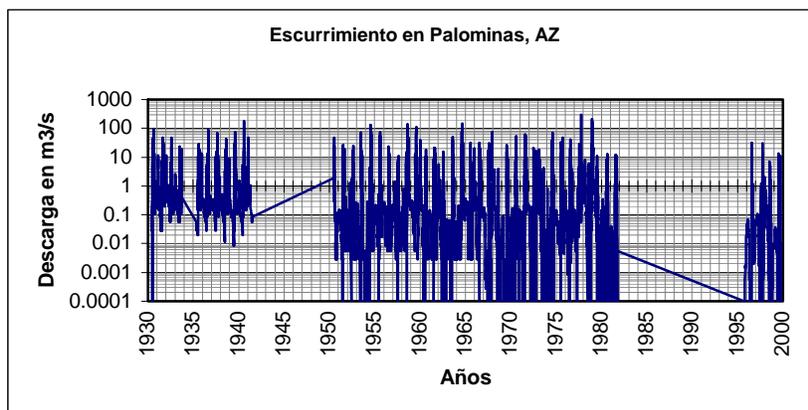
El río Sonora nace en la Sierra Madre Occidental, al Sur de Cananea (Fig. 1). Su cuenca tiene un volumen medio anual precipitado de 9,779.8 millones de m<sup>3</sup> y un coeficiente de 2.8%, que genera un escurrimiento de 273.83 millones de m<sup>3</sup>. Su acuífero cubre 11,640 km<sup>2</sup>, representando el 17.5% de la superficie total cubierta. Aguas abajo de la presa Abelardo L. Rodríguez, el río Sonora discurre por zonas planas hasta su desembocadura en el estero Tastiota. En este último tramo el curso del río esta totalmente seco desde hace aproximadamente 37 años, a excepción de los escurrimientos presentados durante la transición 1983-1984 (Yocupicio-Anaya y Gómez-Alvarez, 1987).

#### Descripción del Problema

La cuenca del río San Pedro se considera el último santuario de migración de aves en la zona noroeste de México y suroeste de los Estados Unidos para las migraciones entre Sudamérica y Canadá. Por eso, el río tiene interés continental. Los bosques ribereños y pastizales semiáridos son ecosistemas de importancia para las aves amenazadas. Los bosques ribereños están en peligro de extinción por la desaparición de flujo base de los escurrimientos superficiales.

El flujo base del río depende exclusivamente del aporte de agua subterránea, por lo que está íntimamente relacionado con el nivel freático. La cuenca en México es drenada por un sistema de corrientes interconectadas, con una salida común (estación de aforo “Palominas”) a 15 Km de la línea fronteriza. El flujo base ha decrecido con el tiempo (Fig. 5). Conforme el bombeo incrementa, la pérdida de almacenamiento de agua subterránea y la pérdida de captura del río también aumenta.

Figura 6. Gasto histórico del río San Pedro, medido en la estación “Palominas” (AZ). Datos de Aguinaga (2002).



Uno de los principales factores que han contribuido a la pérdida de peces y biodiversidad en el río San Pedro es el bombeo de agua subterránea para usos agrícolas e industriales, además de la generación de aguas residuales procedentes de las comunidades de Cananea (México) y Sierra Vista y Fuerte Huachuca (Estados Unidos) (Lacher, 1994). El mayor consumidor de agua en la porción Mexicana de la cuenca es la minera de Cananea. Antes de 1986 existían en el acuífero de Cananea 12 pozos que abastecían a las fundiciones con un bombeo anual estimado de 4.7 hm<sup>3</sup>/año. En 1986 se perforaron 50 pozos adicionales para uso minero en la zona conocida como “Patos”, en la frontera sur de la cuenca (De Aguinaga, 2002). La extracción de agua subterránea es impactada fuertemente por los pozos mineros y agropecuarios (Fig. 6).

Figura 7. Extracción de agua subterránea total desglosada (Datos De Aguinaga, 2002).



### *Pérdida de Biodiversidad*

Actualmente solo existen cuatro de las 10 especies de peces nativos del río San Pedro (*Agosia chrysogaster*, *Gila intermedia*, *Catostomus insignis*, *Catostomus clarkii*); lo más probable es que las otras seis estén ya extintas (*Rhinichthys osculus*, *Tiaroga cobitis*, *Cyprinodon macularius*, *Xrauchen texanus*, *Meda fulgida* y *Ptychocheilus lucius*) por la introducción de peces exóticos y cambios en el hábitat (Varela-Romero, 1992). En México, el charalito del Gila (*Gila intermedia*) históricamente ocupó partes significativas de las cuencas de los ríos Santa Cruz y San Pedro. Actualmente su distribución se reduce a las ciénegas de los Fresnos y la Cienegita, contiguas al arroyo de Los Fresnos, ubicadas a 2 km de la frontera Sonora-Arizona (Varela-Romero, 1992). No existen registros del charalito de Gila en la porción Mexicana del Río Santa Cruz (Weedman y Young, 1996).

Históricamente en Sonora, el perrito de la pradera de cola negra (*Cynomys ludovicianus arizonensis*) se distribuía en el valle de las Ánimas, en las inmediaciones de la sierra de San Luis en el extremo noroeste de Sonora, hacia la cuenca del río San Pedro. Esta especie se consideraba desaparecida desde 1938, pero recientemente fue encontrada por Cirett Galán, quién localizó cuatro colonias activas y dos inactivas de la región fronteriza del río San Pedro (Cruz-Molina, 1999). Estudios recientes han documentado que desde un punto de vista ecológico, el perrito de la pradera cumple

una función importante en los sistemas hidrológicos, pues sus madrigueras ayudan en la recarga de los acuíferos en la zona (Ceballos y Pacheco, 2003).

### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

Diversos estudios han documentado el impacto de la industria minera en el río San Pedro y río Sonora (Fernández-Rubio, 1979; Lacher, 1994; Romero-Acosta, 1996; Yocupicio-Anaya y Gómez-Álvarez, 1987). Esos estudios concluyeron que ambos ríos presentan serios problemas de contaminación de agua y sedimentos debido a las descargas de aguas ácidas con altos niveles de metales pesados principalmente en las estaciones de muestro próximas al depósito Concentradora Vieja (propiedad de la Compañía Mexicana de Cananea). Adicionalmente, el río San Pedro presenta contaminación por las descargas orgánicas y contaminación biológica procedente de actividades domésticas de la Ciudad de Cananea, vertidas directamente en el río (Cuadro 16).

Según Romero-Acosta (1996), en el agua superficial se registraron valores altos de conductividad eléctrica, sulfatos y metales pesados (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, y Zn) y valores bajos de pH y oxígeno disuelto en las estaciones de muestreo mas cercanas a la explotación minera, los cuales excedieron las normas oficiales de calidad de agua establecidas en México. En el sedimento se registraron concentraciones altas de cobre, hierro, plomo y zinc, los cuales son superiores a los reportados para otros ríos que presentan contaminación por las actividades mineras, como el río Bacanuchi (afluente del río Sonora).

**Cuadro 16. Concentración de metales pesados (todos en ppm, excepto el Fe, expresado en porcentaje) en el sedimento del río San Pedro, Sonora y Banuchi. n.d.=No detectable. Datos de Romero-Acosta (1996) y Yocupicio-Anaya y Gómez-Álvarez (1987)**

Río	Parámetro								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
San Pedro	1-10	20-46	0-16	20-3053	1.13-18.8	196-719	10-38	3.5-918	37-1148
Sonora*	nd	nd	nd	0-18000	0.9-45	100-12500	Nd	0-180	20-520
Bacanuchi*	nd	nd	nd	20-660	1.8-9.6	150-14000	Nd	20-190	45-250

La persistencia ambiental de los metales traza representa dificultades especiales, pues no pueden degradarse (Yocupicio-Anaya y Gómez-Alvarez, 1987). Yocupicio-Anaya y Gómez-Alvarez (1987) encontraron mayor incidencia de metales pesados y sulfatos en muestras de agua y sedimento en los ríos Sonora y Bacanuchi durante septiembre-mayo, relacionada con vertimientos y filtraciones de aguas ácidas ferrocupríferas.

Una preocupación creciente de usuarios en la Cuenca del río Sonora es el probable impacto de contaminación del acuífero debido a actividades industriales (CNA, 1998), pues las presas de los jales están sobre el acuífero. Si bien se realizan obras de compactación para reducir los impactos negativos, es un hecho que existe transporte a través de esta capa (Romero-Acosta, 1996). Si bien se puede aclarar que es a velocidades muy bajas, se mantiene el riesgo de contaminación considerando que después de las presas de los jales se encuentran asentamientos humanos y se usa agua subterránea para bebederos del ganado.

Se han realizado varios estudios de agua subterránea en el Río San Pedro, encontrándose concentraciones altas de cobre y hierro, indicadores del origen de la contaminación (Fernández-Rubio, 1979; Fimbres-Gutiérrez y Romo-Cadena, 1996; Lacher, 1994; Romero-Acosta, 1996; Yocupicio-Anaya y Gómez-Álvarez, 1987). Los análisis mostrados en la Tabla 4 corresponden a la Cuenca del Río Sonora, pero demuestran que la contaminación en el Río Sonora por metales pesados se debe a la infiltración de las aguas de las presas de jales en el acuífero.

Cuadro 17. Análisis de muestras de agua tomadas del Ejido Emiliano Zapata y alrededores de Cananea, Sonora.

Estación	Concentración (mg/l)					
	As	Pb	Cu	Zn	Fe	Cd
1.- Pozo Rancho "El Jaralito"	0.0026	< 0.08	17.14	2.21	1.78	0.080
2.- Salto "El Jaralito"	0.0028	< 0.08	0.26	0.07	0.06	< 0.02
3.- Arroyo "La Viejita"	0.0041	< 0.08	168.67	13.41	467.00	1.100
4.- Nacimiento Arroyo "La Viejita"	0.0063	< 0.08	206.76	8.82	409.00	1.200
5.- Arroyo "El Barrilito"	0.0091	< 0.08	1.02	3.18	26.30	0.060
6.- Laguna abajo Presa de Jales	0.0007	< 0.08	31.56	29.90	350.00	0.330
	Criterios Ecológicos de Calidad del Agua					
Uso Pecuario	0.2000	0.10	0.50	50.00	---	0.020
Riego Agrícola	0.1000	5.00	0.20	2.00	5.00	0.010
Agua Potable	0.0500	0.05	1.00	5.00	0.30	0.010

Fuente: Comisión Nacional del Agua (1998).

El vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez no muestra contaminación significativa de metales pesados, pero sí valores fuera de los límites recomendables de pH, sólidos disueltos, nutrientes, grasas y aceites, por las descargas de corrales porcícolas, y rastros asentados en sus márgenes (CNA, 1998)

#### 2.4. Cuenca del Río Yaqui-Mátape

El río Yaqui nace en la Sierra Madre Occidental y recorre 410 km desde su nacimiento en Chihuahua (río Papigochic) hasta su desembocadura cerca de Guaymas (Sonora) (Fig. 1). Su área es 72,540 km<sup>2</sup> y tiene un gasto medio anual en la desembocadura de 81.4 m<sup>3</sup>/s. La precipitación total anual varía entre 200-700 mm, con temperaturas que oscilan entre 16-26° C. Sus principales afluentes son los ríos Bavispe, Moctezuma, Chico y Tecoripa.

##### Descripción del Problema

Su problemática se relaciona directamente con la contaminación procedente del sector agrícola, pues sus aguas riegan 232,000 hectáreas del Valle del Yaqui. El problema del sector agrícola en la contaminación de agua se presenta por la incidencia del uso indiscriminado y poco reglamentado de plaguicidas (López-Ríos y Lechuga-Anaya, 2001; Valenzuela-Gómez, 2000)

El Cuadro 18 muestra el total de plaguicida (ingrediente activo + sustancias inertes) aplicado en el Valle del Yaqui, y los casos de intoxicación por plaguicidas entre 1995-1999.

Cuadro 18. Volumen (kg de i.a.) de agroquímicos aplicados y número de casos (c) y tasa por 100,000 habitantes por plaguicidas en el Distrito de Desarrollo Rural 148 de Cajeme (1995-1999).

Total de Plaguicidas Utilizados de 1995-1999												
<i>Grupo Toxicológico</i>	1995	1996	1997	1998	1999	Total						
Herbicidas	592,161	409,021	534,816	358,740	166,377	2,061,115						
Carbamatos	230,488	289,935	340,479	388,424	407,476	1,656,802						
Organofosforados	301,732	499,388	289,520	290,069	276,012	1,656,721						
Fungicida	103,265	94,627	86,658	173,611	15,943	610,014						
Organoclorados	3,406	4,838	4,294	6,022	7,990	26,550						
Piretroides	968	741	1,520	1,136	1,657	6,022						
Total	1,232,020	1,298,550	1,257,197	1,218,002	1,011,455	6,017,224						
Intoxicación por Plaguicidas de 1995-1999												
<i>Municipio</i>	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	T	C
Cajeme	9	2.57	7	1.96	25	6.88	23	6.22	26	7.1	90	100

Fuente: Valenzuela-Gómez (2000)

No obstante la cantidad de agroquímicos aplicados y su efecto sobre la calidad del agua, las áreas aledañas al margen del río se utilizan para actividades pecuarias que también se descargan al mismo río (Valenzuela-Cueto, 2001). La contaminación por nutrientes en el río Yaqui, ha sido motivo de preocupación en los últimos años, ya que los contaminantes nitrogenados pueden tener efectos nocivos, tanto para los ecosistemas terrestres como acuáticos (Cámara-Durán, 1993). El mayor riesgo de contaminación por nitrógeno viene por actividades pecuarias, que contribuyen con el 97.67% del total de carga de nitrógeno en la cuenca (Tabla 6), mientras que el resto es aportado por la agricultura, los asentamientos humanos y la industria. Además se ha detectado contaminación por nitrato y nitrito en el agua subterránea con valores por arriba de los permisibles establecidos por la norma para agua potable (Castillo-Acosta, 2002).

Cuadro 19. Generación de Nitrógeno en el Valle del Yaqui

Actividad	Nitrógeno aportado (ton/año)	% Aportado
Sector pecuario	142,845.57	97.67
Sector agrícola	2,174.32	1.49
Sector urbano	762	0.52
Sector industrial	468.33	0.32
Total	146,250.52	100.00

Fuente: Castillo-Acosta (2002)

#### *Pérdida de Biodiversidad*

El desarrollo socio-económico en la cuenca está causando una considerable reducción de hábitats naturales, debido a la extracción de agua y/o a su modificación por la construcción de represamientos y/o canales de riego. Esta es una de las causas de mayor impacto en las poblaciones de peces nativos, seguida por la contaminación de las aguas debido a pesticidas,



abonos y plaguicidas de uso agrícola, además de los desechos de minería, aunado a la introducción de especies exóticas de peces con fines deportivos o alimenticios que afectan a las especies nativas (Villareal, 1998). La fauna de peces dulceacuícolas nativos de Sonora está representada por 30 especies confinadas a la cuenca del río Yaqui (Juárez-Romero et al. en prep.). Las especies del río Yaqui que se consideran amenazadas o en peligro de extinción son el charalito yaqui (*Gila purpurea*), la sardinita Yaqui (*Notropis formosus*), el bagre Yaqui (*Ictalurus pricei*), la trucha Yaqui (*Oncorhynchus* spp.), y el charalito de Sonora (*Poeciliopsis latidens*) (Minckley y Robertson, 1986). Campoy-Favela et al. (1989) sugieren reducciones importantes en la distribución y abundancia de tres especies en peligro de extinción nativas al río (*Notropis formosus*, *Chichlasoma beanii* y *Ictalurus pricei*), además de las especies ya consideradas de reducida abundancia y amenazadas como *G. robusta* y *C. ornatum*.

Históricamente, la trucha Yaqui (*Oncorhynchus* spp.) se distribuía desde el extremo norte de la cuenca del río Yaqui (río Tamochi) hasta la cuenca del río Mayo (Hendrickson et al., 1981). Ahora solo existen registros de esta especie en el río Bavispe y Gavilan (Arroyo Arco, Estribu, Nutria, Yunque, Guacamayas, Los Chales y Yenquins) (Hendrickson et al., 2003).

Por otra parte, los afluentes de la cuenca del río Yaqui proveen hábitat importante para poblaciones de castor (*Castor canadensis*) y nutria (*Lutra longicaudis annectens*). Aunque la población local de nutrias es relativamente abundante en áreas remotas no impactadas por actividades mineras, agrícolas o urbanas, dichas poblaciones siguen declinándose por la contaminación del río, apertura de nuevas tierras de riego, o bien por el represamiento de los afluentes para proveer de agua potable a los crecientes asentamientos humanos (Gallo-Reynoso, 1996, 1997 y Gallo-Reynoso et al., 2002).

#### 2.4.1. La Bahía de Guaymas

##### *Localización*

La Bahía de Guaymas (27° 55' N y 110° 52' W) colinda con los municipios de la Colorada y suauqui Grande y el Golfo de California, los municipios de Bacum, Cajeme, y Hermosillo (Secretaría de Marina, 1991). Es una bahía semiprotejida (22.4 km<sup>2</sup>) y profundidad entre 0.5-11 m, con una entrada de 2 km de ancho que la comunica con el mar abierto (Fig. 1).

##### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

Actualmente, la bahía y sus proximidades sufren contaminación de gran magnitud por aguas residuales de origen urbano e industrial que acarrean una gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, grasas, aceites, y metales pesados.

Uno de los primeros estudios sobre la contaminación de metales traza en la bahía de Guaymas (Hosch, 1996) investigó la carga de Cd total, Cu, Zn y Pb en la almeja china (*Chione gnidia*). Se encontró que las concentraciones de Cd y Pb en agua de la bahía estaban por encima de los niveles subletales. Las más altas contaminaciones de Pb en tejido seco y húmedo fueron 0.39 y 0.3 ppm, respectivamente. Las más altas concentraciones de Cd en tejido húmedo estuvieron entre 0.375-



0.343 ppm. En algunas localidades el Cd estuvo muy cerca del límite permisible (0.5 ppm) (Hosch et al., 1997).

Páez-Osuna et al. (1999) muestreo algunos metales pesados usando percebes (*Balanus* sp.) como bioindicadores de contaminación y encontraron niveles altos de Fe (1,338 µg/g), Zn (3,618 µg/g) y Pb (15.9 µg/g) en tejidos blandos. Estos valores se consideraron bajos en comparación con muestras obtenidas del Puerto de Mazatlán, como es el caso del Zn (10083 µg/g). Hosch (1996) reporto niveles altos de Cu y Zn en sedimentos del muelle fiscal. Muestras de Cd, Pb y Hg de ostiones de Baco-chibampo presentaron valores similares de Cu (25.18-0.09 µg/g) (Wilson-Cruz, 2000).

Guaymas presenta una circulación restringida, controlada principalmente por la topografía, viento, y la marea. Por eso existe poca dispersión de los contaminantes vertidos en este cuerpo de agua (Hosch, 1996; Wilson-Cruz, 2000). No existen estudios encaminados a caracterizar la productividad primaria en relación a los contaminantes, la salud pública, sus repercusiones socioeconómicas.

#### 2.4.2. Bahía de Lobos

##### *Localización*

Bahía de Lobos (Fig. 1) es una laguna costera (27° 18'-27° 29' N y 110° 36'-110° 26' W). Es una de las lagunas costeras más grandes de Sonora (13,900 ha), solo superada por la bahía de Agiabampo.

##### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

Bojórquez-Rayos (1994) realizó un estudio bacteriológico en ostión (*Crassostrea gigas*) y en agua de cultivo para conocer la calidad sanitaria porque la bahía es impactada por descargas de Cd. Obregón. Los resultados de coliformes fecales indicaron que el agua utilizada para la crianza del ostión no presentó problemas de calidad sanitaria. No obstante, se encontró *Salmonella* y *Shigella*, que representan un peligro para la salud pública. Las muestras de ostión sobrepasaron en más de 30% las normas de coliformes fecales establecidas por la Secretaría de Salud (Bojórquez-Rayos, 1994). La contaminación del ostión se debe, probablemente, a la resuspensión de sedimentos contaminados, las corrientes de la bahía, y presencia de aves silvestres.

#### 2.4.3. Sistema Estuarino Sto. Domingo La Atanasia

##### *Localización*

El sistema estuarino Sto. Domingo-La Atanasia (27° 08'-27° 10' N y 110° 16'-110° 13' W, 200 ha) está formado por una bahía y un sistema de canales sinuosos interconectados entre sí (Fig. 1). Se comunica al mar abierto por medio de dos bocas de ≈150 m de ancho.

Impacto de la calidad de agua en sedimentos y biota



### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

En muestreos de plaguicidas efectuados en aguas del estero la Atanasia, entre 1986-1987, se encontró aldrín, DDT, dieldrín, endrín y lindano arriba de los límites establecidos por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA). En sedimentos las concentraciones de plaguicidas fueron 400-14,000 veces superiores a las de agua (ITSON-DIFOIN, 1987). Sainz (1989) detectó la presencia de isómeros de lindano (0.0324-0.060 mg/l) en tejidos de moluscos bivalvos.

Los metales pesados también se presentan en agua y sedimentos del estero “La Atanasia” (Pérez 1991). Se encontraron metales pesados en agua y sedimento (Cd, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn) entre octubre y diciembre de 1989. No se presentaron variaciones significativas temporales en la concentración de metales en sedimento. Valenzuela (1991) detectó niveles altos de Cu (9-29 mg/l) en tejidos de camarón (*P. vannamei*) mayores a los máximos permisibles para consumo humano. García-López (1989) detectó coliformes fecales y enteropatógenos (*Shigella*, *Salmonella*, *Arizona* y *Pseudomonas*) de origen fecal. La descarga de aguas de drenaje sobre el sistema impacta negativamente.

### **2.5. Cuenca del Río Mayo**

El río Mayo, nace en la sierra Tarahumara, donde recibe el nombre de Morís. Su longitud es 402 km y drena una cuenca de 14.195 km<sup>2</sup> con 1.065 millones de m<sup>3</sup>/año en promedio. Antes de pasar a la llanura costera, sus aguas son recogidas en la presa Mocúzari, a ≈90 Km de Ciudad Obregón. El río Mayo desemboca cerca de Huatabampo (Fig. 1).

#### *Impacto de la Calidad de Agua*

El Comisión Nacional del Agua (2003b), Gerencia Regional Noroeste, señala que uno de los principales problemas de la cuenca del río Mayo es la contaminación proveniente de las zonas de riego, descargas urbanas, industriales, pecuarias y aguas de retorno agrícola. Aunque la calidad del agua es buena, los problemas de contaminación se manifiestan en el distrito de riego 038, donde las descargas agrícolas, pecuarias, industriales y urbanas son intensas. La mezcla tiene como cuerpo receptor final la bahía de Yavaros, con impactos negativos.

En la región del río Mayo destaca la contaminación pecuaria y agrícola (Cuadro 20) pues descargan una importante cantidad de aguas residuales al río y los drenes. Servín-Aguilar (1996) estimó una carga contaminante en suelo y agua de 658,409.50 ton/día. La actividad pecuaria degrada los suelos por ganadería extensiva, que acelera el asolvamiento de las presas de almacenamiento.

Cuadro 20. Relación de cuerpos receptores de descargas de aguas residuales y su origen, a lo largo del río Mayo.

Tipo y Nombre del Cuerpo Receptor	Tipo y numero de descargas			Total
	Pecuario	Industrial	Urbano	
Dren Yavaros	1			1
Dren Moroncarit	1			1
Dren Animas	16	12	2	30
Dren Jupateco	1			1
Dren Las Mayas	2			2
Río Mayo	4		3	7
Bahía de Yavaros		3		3
Arroyos	1			1

Fuente: Servín-Aguilar (1996)

El sector agrícola representa el mayor usuario en la cuenca; emplea 1,220 hm<sup>3</sup> de agua al año (CNA, 2004). Destaca la contaminación por nutrientes y plaguicidas procedentes de la actividad agrícola, ya que en un estudio realizado por Servín-Aguilar (1996) se determinó que en ese año se aplicaron 15,088.2 ton de fertilizantes y 100.59 ton de insecticidas en el distrito de riego 038 del río Mayo.

### 2.5.1. Bahía de Yavaros

#### *Localización*

Bahía de Yavaros comprende a las lagunas de Yavaros, Etchoropo, Moroncarit, el Estero Moroncarit, y el actual estero del Río Mayo. La laguna de Yavaros es somera (promedio=2.0 m, máximo= 10 m) y tiene un sistema de canales de marea bien definidos desde la boca hasta su porción central. Se comunica con el Golfo de California mediante una boca amplia, limitada por dos barreras litorales (Fig. 1).

#### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

La Bahía presenta fuertes problemas de contaminación por metales pesados, plaguicidas y contaminación de cargas de nitrógeno debido a las descargas agrícolas, pecuarias, industriales, y urbanas (Cuadro 21).

Cuadro 21. Volúmenes de descarga de aguas residuales en la Bahía de Yavaros.

Uso	Sin tratamiento (hm <sup>3</sup> )	Con tratamiento (hm <sup>3</sup> )	Total
Pecuario	26	7	33
Industrial	15	1	16
Urbano	5	-	5
Total	46	8	54

Fuente: Servín-Aguilar (1996)

La contaminación extrema de algunos drenes por aguas no tratadas ha repercutido en una reducción importante en la actividad pesquera. La desembocadura del dren Moroncarit era hasta hace poco lugar de reproducción de pescado y camarón, actualmente, la alta contaminación y el crecimiento desmedido del manglar han hecho desaparecer esta zona (López-Ríos y Lechuga-Anaya, 2001).

Con respecto a los metales pesados y pesticidas, se han reportado concentraciones altas de Mn ( $761\mu\text{g/g}^{-1}$ ) en el tejido de *Fistulobalaunus* sp. (Páez-Osuna et al., 1999a) y concentraciones altas de Zn ( $1\,466\mu\text{g/g}^{-1}$ ) en ostiones de manglar (Páez-Osuna et al., 2002). A nivel regional la bahía de Yavaros presenta uno de los niveles más altos de PCBs ( $390\text{ ng/g}^{-1}$ ) y HCB ( $911\text{ ng/g}^{-1}$ ) (Páez-Osuna et al., 2002).

## 2.6. Cuenca del Río Culiacán

El Río Culiacán (72 km de longitud) se forma de la confluencia de los Ríos Humaya y Tamazula, pasando por la ciudad de Navolato y desembocando en la Ensenada del Pabellón. La cuenca ( $17,195\text{ km}^2$ ) tiene un escurrimiento medio anual de 3,276.2 millones de  $\text{m}^3$  (Fig. 1).

### 2.6.1. Sistema Lagunario Altata-Ensenada del Pabellón

#### *La Bahía de Altata*

La bahía de Altata (Fig. 1) es somera y arenosa (9,100 hectáreas) y es formada por la plataforma continental y la Isla de Redo. La barra de la Tonina se forma al sureste de la Isla de Redo y su entrada al mar fue abierta por un fuerte ciclón en 1897. La bahía se une al extremo sur de la Isla de Redo y la punta noroeste de la península de Lucernilla. Entre ambas rompientes existe un canal con profundidad mayor a tres brazas y media; en la entrada existe un pequeño vaso con una profundidad de dos brazas y media.

#### *La Ensenada del Pabellón*

La Ensenada del Pabellón (27,400 hectáreas) se distribuye paralelamente a la línea de la playa y también se profundiza tierra adentro. La separa del mar la Península de Lucernilla que forma una de las puntas que limitan la boca de comunicación marina (Fig. 1).

#### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

La Ensenada del Pabellón y la Bahía de Altata son importantes productores regionales de camarón. Ambos presentan temperatura y salinidad máxima en primavera y verano y mínima en invierno. Los niveles de concentración de nitritos, fosfato y clorofila son mayores a otros ecosistemas cercanos, debido al uso prolongado de fertilizantes en las tierras agrícolas que rodean a los cuerpos de agua (Páez-Osuna et al., 1999b).



Las concentraciones de nutrientes (C, N y P) en el río Culiacán se han incrementado desde 1948 (Ruiz-Fernández et al., 2002). La carga de nutrientes más importante ocurrió a mediados de los 70s por descargas residuales domésticas de Culiacán.

El sistema es receptor de las descargas agrícolas del Valle de Culiacán, Batoata, y Chiricahueto reciben además los efluentes residuales de los ingenios azucareros “Antonio Rosales” y “La Primavera”. Se encontraron anomalías en la concentración de fósforo orgánico (510-719 ppm) en muestras de las lagunas de Batoato, Caimanero y Chiricahueto, sugiriendo contaminación por aguas de retorno agrícola y los ingenios azucareros (Paéz-Osuna et al., 1992). La laguna de Altata-Ensenada del Pabellón esta sujeta a contaminación por Pb (Green-Ruiz y Páez-Osuna, 2001).

Se ha registrado contaminación moderada de Cu, Mn y Zn en tejido de ostión de manglar *Crassostrea corteziensis*, el mejillón *Mytella strigata* y la almeja *Chione subrugosa*. La contaminación proviene de fertilizantes y pesticidas, especialmente fungicidas metálicos (p. ej. Maneb, Zineb. Cupravit, y Sulfato de cobre) (Paez-Ozuna et al., 1994).

Un estudio de metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) en los peces *Mugil curema* y *Tilapia mossambica* de la laguna Chiricahueto y Batoato y el río Culiacán encontró los niveles más elevados en la laguna de Chiricahueto y los más bajos en el río Culiacán (Izaguirre-Fierro et al., 1992). Izaguirre-Fierro et al. (1992) encontraron niveles de Cu máximos (5.6 µg/g) en el músculo de *T. mossambica* del Valle de Culiacán, mientras que en el Valle de Mexicali se obtuvieron 2.6 µg/g (Gutiérrez-Galindo et al., 1989). Aunque los niveles de Cu en el tejido comestible de *M. curema* fueron relativamente elevados, no rebasaron las normas establecidas para el consumo humano.

Carvalho et al. (1996) reportaron concentraciones de algunos compuestos organoclorados (endosulfan: 140 ng/g<sup>-1</sup> en tejido blando del mejillón *M. strigata*; clorpirifos en sedimentos: 7.6 ng/g<sup>-1</sup>). Readman et al. (1992) reportaron 300 pg/g<sup>-1</sup> de DDT en el tejido blando de almejas y 80x10<sup>3</sup> pg/g<sup>-1</sup> en huevos de cormorán. Carvalho et al. (1996) no esperaba encontrar compuestos organofosforados, porque generalmente se degradan rápidamente. Las concentraciones de clorpirifos medidos en agua (hasta en 2.4 ng<sup>-1</sup>) fueron preocupantes por la toxicidad de estos compuestos en la fauna acuática. Los pesticidas más frecuentemente detectados fueron BHC (hexaclorociclohexano), aldrin, endosulfan y paratión. Estos estudios indican problemas alarmantes de contaminación por pesticidas y nutrientes. Las alteraciones bioquímicas y fisiológicas estudiadas en crustáceos por exposición a pesticidas indican que podrían causar diversas patologías, mortandades, y lento crecimiento de camarones (Galindo-Reyes et al., 1999). Páez-Osuna et al. (1998 y 2002) registraron concentraciones en el tejido blando del ostión *C. corteziensis* de 216 µg/g<sup>-1</sup> de Cu y de 655 ng/g<sup>-1</sup> de PCBs (bifenilos policlorados), en las lagunas de Altata-Ensenada del Pabellón y Navachiste. Se determinó que de los 22 compuestos organoclorados detectados, el pesticida más frecuente y con mayores concentraciones fue el HCB. Ostiones de la bahía de Yavaros (Sonora) y Navachiste (Sinaloa) registraron las mayores concentraciones de HCB con valores de 916 ng/g<sup>-1</sup> y 183 ng/g<sup>-1</sup>, respectivamente.

## 2.6.2. Laguna Navachiste

### *Localización*

La laguna de Navachiste (25° 28' N y 108° 51' W, 19,400 ha) limita al norte con una llanura de inundación, al sur con la Isla de San Ignacio, al este con la plataforma continental, al oeste con la Isla de San Ignacio. Tiene dos comunicaciones directas al mar, una al suroeste, limitada por la sierra de Navachiste y la otra al oeste, con la Isla de San Ignacio (Fig.1).

### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

Los esteros de Babaraza, el Tortugo, Cuchillo y Algodoneros están integrados a este sistema y desembocan en drenes derivados de las zonas de riego y drenaje del municipio de Guasave. Como consecuencia de la intensa actividad agrícola, la laguna de Navachiste presenta altos índices de contaminación por PCBs y pesticidas organoclorados (HCB). Páez-Osuna et al. (2002) reportaron concentraciones de 655 ng/g de PCBs, y niveles de 183 ng/g de HCB en el tejido blando de *Crassostrea spp.* Se reportaron niveles relativamente altos de Cd (10.3µg/g) en ostiones (*C. corteziensis*) en comparación con almejas *Chione* (1.5µg/g) y ostiones de otras áreas, incluyendo el Puerto de Mazatlán, en donde detectaron 0.7 y 1.5 µg/g (Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas, 1990; Osuna-López et al., 1990). No se encontraron fuentes antropogénicas de Cd, y solo se reciben escorrentías derivadas de la agricultura. Fuentes directas de Cd pueden ser fertilizantes, pues los niveles de Cd corresponden a los contenidos en fertilizantes fosforados (Páez-Osuna et al., 1991). También se encontraron niveles elevados de Cu (153 µg/g) (Páez-Osuna et al. 2002).

## 2.7. Cuenca del Río Quelite

En la cuenca del río Quelite (835 km<sup>2</sup>) escurren anualmente un promedio de 107 millones de metros cúbicos con variantes que oscilan de 78 a 163 millones de m<sup>3</sup> (Fig 1.). Esta corriente toca a los poblados de El Castillo, Las Juntas, Amapa, Los Naranjos, El Quelite, Estación Modesto y El Recreo entre otros. A 100 km de su origen desemboca en el Océano Pacífico. Los arroyos El Zapote y Los Cocos desembocan en el Río Presidio.

### 2.7.1. Bahía de Mazatlán

#### *Localización*

La bahía de Mazatlán (24.8 km<sup>2</sup>) está delimitada al oeste por el Océano Pacífico (Fig. 1). Tres islas se encuentran a poca distancia; al poniente y paralelamente a éstas la isobata de 15 m. El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano. El Río Quelite, los Arroyos del Zapote, La Noria y de Los Cocos forman parte de los recursos hidrológicos del municipio en su vertiente suroccidental y suroriental y durante la estación de lluvia aumentan su caudal considerablemente. De acuerdo a la clasificación de estuarios (Pritchard, 1967) la bahía es un estuario negativo, pues la entrada de agua dulce fue drásticamente reducida después del aislamiento del Río Presidio por procesos naturales de asolvamiento y la construcción del Aeropuerto Internacional de Mazatlán.

## *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

La contaminación por metales pesados en bivalvos ha incrementado en los últimos años (Frias-Espicqueta et al., 1999; Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas, 1990; Soto-Jiménez et al., 2001; Soto-Jiménez y Páez-Osuna, 2001). En base a dos estudios que se llevaron a cabo con anterioridad uno en el período de 1988-1989 (Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas, 1990) y otro llevado a cabo durante el período de 1994-1995 (Frias-Espicqueta et al., 1999), Soto-Jiménez y Páez-Osuna (2001) determinaron que con excepción del Cd, las concentraciones de metales pesados para el ostión *C. iridescens* se han incrementado significativamente. En el caso del Cu los incrementos fueron de 3.6-4.2 veces en comparación a los estudios de Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas (1990) y Frías-Espicqueta et al. (1999); para Fe fue de 27.5-75 veces; Mn 1.7-2 veces; Ni 3.2 veces; Pb comparable >1.5 veces y Zn 2.6-2.9 veces más elevado (Soto-Jiménez et al., 2001).

Los incrementos obedecen a que la bahía de Mazatlán recibe constantemente metales pesados de los procesos relacionados con el procesamiento de pescado y camarón (enlatado y enfriamiento de las plantas de energía), chorros de arena de barcos y efluentes domésticos sin tratamiento provenientes de áreas de colindantes (Soto-Jiménez y Páez-Osuna, 2001).

Actualmente las mareas rojas son muy comunes en el Golfo de California y particularmente frecuentes en Bahía Kino, Bahía de Guaymas, Isla Angel de la Guarda, laguna Yavaros, Puerto de Topolobampo (laguna de Ohuira), y Bahía de Mazatlán (Cortés-Altamirano y Nuñez-Pasten, 1991, 1992). Estas han sido motivo de preocupación por su evidente propagación en la región y a escala mundial. Las mareas rojas contaminan moluscos bivalvos, que al ingerirse estos producen intoxicaciones severas (Cortés-Altamirano y Nuñez-Pasten, 1992). Mee et al. (1986) reporto una marea roja tóxica causada por *Gymnodinium catenatum* en abril de 1979 en la Bahía de Mazatlán, durante la cual el consumo de ostiones y almejas resultó en envenenamiento paralizante por mariscos (EPM) de 28 personas, culminando en decesos.

Además de las descargas municipales con altos niveles de metales pesados, se ha detectado coprostanol en la bahía, considerado indicador de contaminación fecal humana. Las concentraciones de este esteroide fecal en los sedimentos fluctúan entre 0.006 y 0.20 mg/kg (Escalona et al., 1980).

### 2.7.2. Estero de Urías

#### *Localización*

El Estero de Urías (1,200 ha, 23° 08'48"-23° 16'00" N y 106° 29'24"-106° 23'26" W) tiene comunicación libre y permanente con el mar, por lo que su hidroquímica está influenciada por el régimen de mareas (Fig. 1). Tiene aportes muy reducidos de agua dulce, pero recibe una cantidad relativamente alta de desechos domésticos. El estero tiene 17 km de longitud y 650 m de ancho. Existen además varios esteros secundarios de anchura inferior a 50 m. La parte más cercana a la boca (primeros 3 km) es utilizada como puerto de altura. La parte media (3-7 km de la boca) recibe las principales descargas domésticas e industriales, además del efluente de dos plantas termoeléctricas. Aquí se encuentra también la flota camaronera del puerto. Los restantes 10 km, y los esteros secundarios, están bordeados por manglar.

## *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

El estero presenta contaminación por los efluentes procedentes de Mazatlán, mientras que las granjas camaronícolas utilizan su agua para el llenado de los estanques y el intercambio diario.

Galindo-Reyes et al. (2003) encontró contaminación por PCBs (especialmente Arochlor 1254), aunque la mortandad y patologías asociadas al camarón blanco (*L. vannamei*) pueden ser atribuidas a pesticidas, hidrocarburos, u otros químicos (Alduenda et al., 1985; Martín y Gutiérrez-Galindo, 1989; Galindo-Reyes et al., 1996). Cuando el camarón blanco es expuesto a lindano, lorsban, clordano y DDT se incrementa su tasa de respiración (5-21%) y la síntesis del glicógeno decrece (Galindo-Reyes et al. 1996). La contaminación por PCBs no deja de comprometer el futuro del ecosistema, incluyendo las pesquerías y el potencial desarrollo de la camaronicultura en esta región. El impacto de las granjas camaronícolas se asocia a la deforestación de grandes extensiones de mangle en esta área. Agraz-Hernández (1999) reportó que en el Estero Urías las densidades de manglar alrededor de las granjas camaronícolas se han reducido en un 50%.

La productividad primaria de estero es alta ( $0.86 \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{año}^{-1}$ ). La distribución estacional es bimodal, con máximos en primavera-verano ( $5.34 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ) y mínimos en invierno ( $0.1 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ) (Robles, 1985). La elevada productividad se atribuye al exceso de material orgánico de origen antropogénico. Predominan las diatomeas y dinoflagelados (Priego, 1985), así como la de macroalgas bentónicas (*Rhizoclonicem* sp., *Hydrocoleum* sp., y *Chaeto morpha*, Alvarez-León, 1980).

## 2.8. Cuenca del Río Presidio y Río Baluarte

### *Río Presidio*

En la vertiente norte de la sierra del Salto (Durango) nace el Río Presidio (167 km de longitud). Su cuenca de captación es de  $5,614 \text{ km}^2$  y tiene un gasto promedio anual de 900 millones de  $\text{m}^3$  (Fig. 1).

### *Río Baluarte*

Sobre el Espinazo del Diablo se forma el Río Baluarte (130 km de longitud). Su cuenca de captación es  $4,700 \text{ km}^2$ , con escurrimiento medio anual de 1,519.3 millones de  $\text{m}^3$  (Fig. 1).

### 2.8.1. Sistema Lagunario Huizache-Caimanero

#### *Localización*

En el sistema lagunario Huizache-Caimanero (Sinaloa,  $22^\circ 50' \text{ N}$  y  $106^\circ 01' \text{ W}$ ,  $175 \text{ km}^2$ ) desembocan los ríos Presidio y Baluarte. Las lagunas no tienen comunicación directa con el mar ni con los ríos y el intercambio de agua se realiza a través de esteros angostos con amplias llanuras de inundación. La marisma del Huizache ( $40.7 \text{ km}^2$ ) recibe influencia marítima del estero el Ostial y de agua dulce por un canal de desviación procedente del Río Presidio. Los esteros de la Anona y El Pozo del Caimán, reciben agua de los Ríos Presidio y Baluarte. La Laguna de Caimanero ( $134.3 \text{ km}^2$ ) recibe influencia marítima a través del estero (Fig. 1).



## *Modificación del Hábitat*

El sistema no presenta problemas de contaminación por metales pesados y descargas domésticas, industriales, y agrícolas, pero si hay disminución y alteración de las fuentes de agua dulce.

Hasta 1980, el sistema lagunar soportaba producciones de camarón de hasta 1,500 ton (De la Lanza y García, 1991) y era considerado la laguna costera de mayor productividad por unidad de área en México, con una captura promedio de 5 ton/día (Edwards, 1978). Durante la última década la producción ha decrecido considerablemente (Zetina-Rejón et al., 2003).

El ciclo anual del plancton y los parámetros más importantes de la hidrología fluctúan ampliamente en función de los aportes pluviales y factores antropogénicos (Gómez-Aguirre et al., 1974). La densidad de postlarvas de camarón (*P. vannamei* y *P. stylirostris*) y larvas de peces es significativamente mayor en época de lluvias (Rogerío-Poli y Calderón-Pérez, 1987; Álvarez-Cadena et al., 1978, 1988). Rogerío-Poli y Calderón-Pérez (1987) atribuyen los cambios en la densidad de postlarvas a la temperatura, pero se ha considerado que la deforestación de mangle causa la pérdida de agua superficial y cambios en la salinidad del ecosistema lagunar (Ruiz-Luna y Berlanga-Robles, 1999).

Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (1999) observaron entre 1973-1997 la reducción en 20% del agua superficial e incrementos en la tasa de salinidad temporal. Ellos consideraron que el impacto en el sistema lagunar se debió a la reducción en un 50% de los manglares y bosques tropicales para convertirlos en tierras agrícolas. Además del alto índice de deforestación de manglares (1.9% por año), la distribución de mangle en esta zona es irregular.

## 2.9. Cuenca del Río San Pedro Mezquital

El río Mezquital (San Pedro) nace en los Altos de Cuevecillas y Culebras (Durango), conocido como el Río de la Casita y Río del Tunal. Pasa por Nayarit, en donde se conoce por Río San Pedro, desembocando en la Laguna Brava. Tiene un trayecto de 346 km en Durango y 152 en Nayarit (Fig. 1).

### 2.9.1. Estero de Camichín

#### *Localización*

El Estero de Camichín es un cuerpo de agua alargado (21° 45' N y 105° 30' W) y recibe los escurrimientos de una serie de lagunas interiores (Toluca y laguna Grande de Mexcaltitán), que a su vez son receptores de los aportes del río San Pedro (Fig. 1).

#### *Impacto de la Calidad de Agua en Sedimentos y Biota*

Entre 1990 a 1995 se presentaron mortandades masivas (30-100%) en cultivos de ostión *Crassostrea corteziensis* del Estero de Camichín y se estudió si las mortandades se relacionaban con metales pesados (Páez-Osuna et al., 1995). Los niveles de Pb en sedimentos del estero fueron mayores que los niveles de ese mismo año en el Estero Urías (Osuna-López et al., 1986) (Cuadro

22). Es posible que el suministro significativo de Pb esté relacionado a las actividades mineras regionales.

Cuadro 22. Concentraciones de metales pesados en *Crassostrea corteziensis* de distintas localidades del Noroeste de México ( $\mu\text{g/g}$  o ppm en base al peso seco).

Localidad	Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb
<sup>a</sup> Estero de Urías, Mazatlán	1.5	82	220	16	6.1	1620	14.6
<sup>b</sup> Laguna de Navachiste, Guasave	10.3	67	232	7	2.6	509	1.1
<sup>c</sup> Sistema Lagunar de Altata-Ensedada del Pabellón, Culiacan	3.9	147	139	14	1.9	727	<0.5
<sup>d</sup> Estero de Camichín, Nayarit	6.1	27	860	36	3.2	426	7.7

Fuente: <sup>a</sup>Páez-Osuna y Marmolejo Rivas (1990); <sup>b</sup>Páez-Osuna et al. (1991); <sup>c</sup>Páez-Osuna et al. (1993); <sup>d</sup>Páez-Osuna et al. (1995)

Se considero que la mortandad masiva de los ostiones se debió a cambios hidrológicos por la construcción de un canal que desvió parte del caudal en el estero, pues ninguna muestra rebaso los límites máximos permisibles en alimentos para consumo humano.

### III. ANÁLISIS DE CADENA CAUSAL

El Análisis de Cadena Causal recorre las relaciones de causa-efecto, asociadas con cada problema significativo, desde los impactos socioeconómicos y ambientales hasta sus causas raíz. Su propósito es identificar las causas raíz más importantes de cada problema principal, para hacerlo objeto de medidas políticas apropiadas para su corrección o mitigación.

Entre los impactos ambientales que actúan en la región, están aquellos que se deben a causas naturales (p. ej. salinidad natural de los suelos, y la composición geoquímica de los sedimentos) y aquellos que se deben a actividades antropogénicas (ej. descargas urbanas e industriales, escorrentía agrícola). Las principales causas inmediatas de impacto ambiental son por contaminación química, microbiológica, eutroficación y sólidos suspendidos provenientes principalmente de las agricultura y actividades pecuarias. Por ejemplo, existen impactos significativos de contaminación, relacionados con los cambios en el transporte de sedimentos, nutrientes y contaminantes químicos. Aunque existe un gran número de causas raíz identificadas en el Análisis de Cadena Causal, los factores específicos con relación a las diversas causas raíz, son en gran medida similares y convergen en solo unos cuantos problemas (Fig. 7). Estos incluyen: la falta de reglamentación en aplicación de plaguicidas, prácticas ineficientes de irrigación, el tratamiento inadecuado de las fuentes de descarga puntuales, tanto urbanas como industriales, así como la inadecuada valoración de los servicios ambientales entre otros.



## Causas Inmediatas

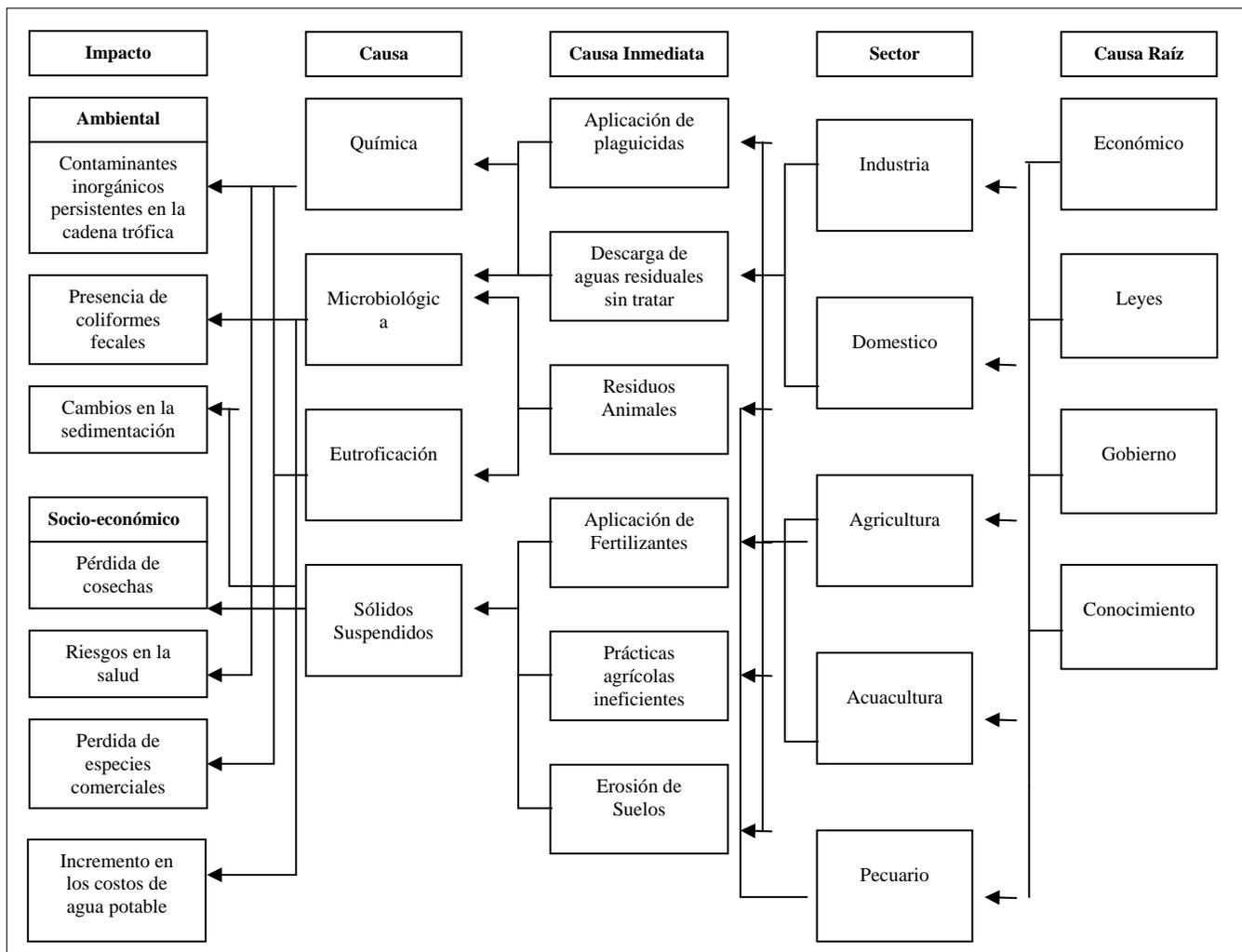
Se tiene que en la mayor parte de la franja costera y las cuencas de drenaje asociadas se caracterizan por el hecho de que concurren actividades económicas de importancia como la agricultura, turismo, camaronicultura y en menor escala la actividad industrial. De estas, se considera que la agricultura intensiva, las actividades pecuarias, la camaronicultura, y varias otras actividades industriales han sido causa importante de contaminación química, microbiológica y de eutroficación de los recursos hídricos de la región. Algunas de las causas inmediatas detrás de estas actividades son: el tratamiento inadecuado de las fuentes de descarga puntuales, tanto urbanas como industriales, la escorrentía agrícola y lixiviados de la industria minera.

Durante el diagnóstico se consideró a la contaminación química como la causa principal de contaminación en orden de importancia, debido a los efectos que produce este tipo de contaminación y los riesgos que posee para la salud humana.

La contaminación microbiológica, los sólidos suspendidos y la eutroficación fueron considerados como prioridad secundaria. En el análisis, se noto que los sólidos suspendidos son parte parcial de los factores que contribuyen a la contaminación microbiológica y eutroficación. La contaminación microbiológica fue identificada como un problema importante debido a que se encontraron concentraciones moderadas de coliformes fecales y la presencia de organismos patógenos en ríos y cuerpos de agua.

La magnitud de los impactos asociados con la contaminación microbiológica varía dependiendo de la cuenca que se analice. En general, los impactos por este tipo de contaminación son considerados de bajo a moderado. Sin embargo, a lo largo del litoral, se pueden encontrar sitios con impactos severos, principalmente cerca de las zonas de descarga de las aguas residuales.

Figura 8. Diagrama de Cadena Causal



### Contaminación Química

La aplicación de plaguicidas, prácticas ineficientes de irrigación, y las descargas de efluentes urbanos e industriales son las causas inmediatas principales de contaminación química. Además, la disminución del volumen de agua de los ríos debido a la extracción para uso agrícola disminuye su capacidad de dilución y purificación.

Los estudios conducidos por varios autores (García-Hernández et al., 2001; Galindo-Reyes, 2000; Osuna-Flores y Riva, 2002) coinciden en que la contaminación por plaguicidas es el principal problema de contaminación química que enfrentan las cuencas de los ríos Colorado, Yaqui, Mayo, El Fuerte, Sinaloa Culiacán y San Pedro Mezquital. En localidades más específicas, el cultivo de tomate y algodón ha contribuido enormemente en la contaminación química, ya que estos cultivos utilizan grandes cantidades de agroquímicos especialmente el cultivo de algodón (Ortiz, 2003). Por su parte, los derrames de las presas de jales de la industria minera son causa principal de



contaminación química en la cuenca del río Sonora y San Pedro (Romero-Acosta, 1996; Yocupicio-Anaya y Gómez-Álvarez, 1987).

Las prácticas ineficientes de irrigación son conducidas principalmente por la ausencia de drenaje natural o artificial (superficial o subterráneo) (De la Peña, 1993). El resultado de estas prácticas ineficientes permite altos volúmenes de agua contaminada con agroquímicos que regresan al sistema de drenes, los cuales después desembocan en lagunas, bahías y esteros de la región. El cultivo de algodón, particularmente requiere de la aplicación de altos índices de fertilizante, plaguicidas y riego intensivo, el cual causa entradas significativas de fertilizantes y plaguicidas a los ríos. De Mayo a Septiembre, los campos de algodón consumen de 4,500 a 6,500 m<sup>3</sup> de agua por hectárea y aproximadamente 3,507 kg/ha de plaguicidas (González-Enríquez, 1991), del cual más de la mitad del agua aplicada al cultivo regresa al sistema hidrológico por medio de drenes, percolación y flujo sub-superficial.

Por su parte los efluentes domésticos e industriales constituyen la fuente antropogénica de suministro de metales más grande de los ríos y pueden estar constituidas de aguas no tratadas o tratadas sólo mecánicamente, cargadas de sustancias que logran pasar por las plantas de tratamiento, o que son servidas mediante emisores o descargadas en forma directa sobre la zona costera. Entre los metales que se encuentran en los niveles más altos de los sólidos de esta agua residuales sobresalen por lo general el Cr, Cu, Pb, Zn, Cd y Ag.

Entre las industrias que mayormente impactan la región por contaminación química, se identificaron: la industria azucarera (zona comprendida entre los ríos Fuerte y Culiacán), la industria de procesamiento de alimentos y bebidas, la industria minera y las actividades agrícolas. Un problema importante que se identificó en la descarga de efluentes industriales, es que la falta de sistemas independientes de tratamiento para los efluentes de las diferentes industrias hace que los costos de tratamiento sean muy elevados, ya que además de remover la materia orgánica y bacteriológica, se deben de tratar los tóxicos y metales pesados provenientes de las descargas industriales, las cuales están conectadas a la redes municipales de alcantarillado. Una causa inmediata adicional se origina de la inadecuada eliminación de desechos sólidos urbanos e industriales, los cuales tienden a infiltrar contaminantes en los acuíferos.

#### *Contaminación Microbiológica*

Cuatro causas inmediatas están ligadas a la contaminación microbiológica: aguas residuales municipales no tratadas, escorrentía agrícola, residuos animales y vertidos de transportes marítimos. De estas causas inmediatas, se considera a las aguas residuales municipales no tratadas, y los residuos animales como las más importantes.

La región se caracteriza por la inadecuada operación y en algunos casos la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales. Como resultado, los organismos patógenos son raramente removidos de las aguas antes de ser nuevamente vertidas a los ríos y cuerpos de agua. Se conoce que algunos organismos patógenos (Ej. *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli*) pueden sobrevivir por semanas en aguas residuales crudas (Bojorquez-Rayos, 1994), por lo que representan un problema para la salud humana y de los ecosistemas.

De los estados de la región, Sinaloa es el que presenta el mayor problema de degradación de la calidad de agua superficial, ya que éste sólo cuenta con infraestructura para tratar menos de 10% de

los volúmenes descargados de aguas residuales, con los que se dañan principalmente las partes bajas de las cuencas de los ríos Culiacán y San Lorenzo en donde se alcanzan valores máximos del Índice de Calidad del Agua (ICA) de 32 y 39 respectivamente, por lo que se les clasifica como fuertemente contaminados (CNA, 2001). Para el río Culiacán las afectaciones son provocadas principalmente por las descargas de la ciudad de Culiacán. En el caso de los ríos Fuerte y Sinaloa, se presentan valores de ICA de 64 y 60 respectivamente, clasificándose como corrientes contaminadas; están afectadas principalmente por las descargas de las diversas localidades del municipio de Ahome. No obstante, los demás estados de la región no están en una mejor condición. La actividad pecuaria intensiva, principalmente la producción de cerdo y de aves en la cuenca del río Mayo presenta graves problemas de contaminación microbiológica, ya que en las principales ciudades de la cuenca no se cuenta con plantas de tratamiento. Este río, aguas abajo de la ciudad de Navojoa, se convierte en el cuerpo receptor de las descargas residuales, tanto de la población como de granjas porcícolas y avícolas siendo su punto final la bahía de Yavaros.

### *Eutroficación*

Las descargas de fuentes no puntuales, son la principal causa inmediata de los casos de eutroficación, y son causadas principalmente por la aplicación de fertilizantes, prácticas ineficientes de irrigación, así como residuos animales y la lixiviación de desechos sólidos en las aguas subterráneas. Como causas inmediatas adicionales, se determinó que estas provienen de la industria, y los urbanos, así como de la camaronicultura. Los efluentes descargados a los ríos contienen nutrientes de varios desechos industriales, comerciales y habitacionales, incluyendo detergentes. La matanza industrial de ganado, cerdos y aves también tiende a descargar efluentes con concentraciones altas de nutrientes.

La aplicación de fertilizantes (tanto orgánicos como inorgánicos) contribuye a grandes descargas de fósforo y nitrógeno del sector agrícola. El exceso de nutrientes es comúnmente transportado a los ríos como escorrentía que resulta de la práctica ineficiente de irrigación. Los nutrientes también son absorbidos por partículas de limo y arcilla, que son transportadas a los ríos como consecuencia de la erosión.

Por su parte, la acuicultura incide también en impactos significativos relacionados con la descarga de nutrientes (Cuadro 23). Páez Osuna (2001) estimó la carga ambiental de fósforo y nitrógeno proveniente de piscicultura entre 9.5 y 23 kg P/ton y 50 y 100 kg N/ton y para las granjas camaronícolas intensivas va de 16 a 42 kg P/ton y 53 a 114 kg N/ton. De este estudio se dedujo que las granjas camaronícolas intensivas son las que mayormente aportan nutrientes al medio ambiente, por lo que tienen un potencial de impacto mayor (en términos de descarga de nutrientes). Como resultado, cuando se combinan los efluentes procedentes de la agricultura, camaronicultura, industria y los domésticos son causa de eutroficación en los cuerpos de agua principalmente en las cuencas del río Yaqui, Mayo, Fuerte y Culiacán.

Cuadro 23. Descargas de Fósforo (P) y Nitrógeno (N) (toneladas) por granjas camaroneras en cuatro estados del Noroeste de México

Estado	Fósforo (P)		Nitrógeno (N)	
	(kg)	(%)	(Kg)	(%)
<b>1993</b>				
Baja California	1 150	0.3	3 800	0.3
Sonora	53 200	15.4	195 400	16.2
Sinaloa	265 700	76.9	917 200	75.8
Nayarit	25 400	7.4	92 800	7.7
Total	345 450	100	1 209 200	100
<b>1998</b>				
Baja California	1 150	0.1	3 800	0.1
Sonora	220 000	26.4	809 000	27.9
Sinaloa	580 000	69.6	1 978 000	68.1
Nayarit	32 500	3.9	112 000	3.9
Total	833 650	100	2 902 800	100

FUENTE: Páez-Ozuna et al., 1999b

### *Sólidos Suspendidos*

La erosión de suelos es la causa inmediata más importante del incremento de sólidos suspendidos en los ríos. La deforestación progresiva de bosques riparios nativos y las prácticas agrícolas actuales son la causa principal de la erosión de los suelos. El uso intensivo del suelo y las prácticas agrícolas han degradado y compactado la estructura del suelo, cambiando su capacidad de infiltración, dando lugar a procesos de erosión del suelo.

La descargas más grandes de sólidos suspendidos en ríos se originan en las cuencas de los ríos Yaqui, Mayo, Fuerte, Sinaloa y Culiacán, donde la ineficiente práctica agrícola, la deforestación, la agricultura de tumba y quema, y el arado intensivo han resultado en el incremento de erosión. La mecanización de la agricultura, la cual comenzó en la década de 1940, ha deteriorado la situación desde entonces.

### **Causas Raíz**

Primeramente se discuten las causas raíz de contaminación que son comunes en los diferentes sectores económicos, y después se procede aplicar estas causas raíz hacia el análisis de las prácticas agrícolas y del tratamiento de aguas residuales. En la parte final se discute el tema de la falta de una integración en el manejo de los recursos hídricos y la necesidad de reforzar el proceso participativo de los consejos de cuenca.

### *Causas Raíces Comunes*

Las causas raíz en común que se observaron en la contaminación de la región pueden ser clasificadas en cinco categorías básicas: demográficas, económicas, legales, de gobierno y conocimiento.

### *Económicas*

Las causas raíces económicas también se encuentran relacionadas con deficiencias de gobierno, leyes y conocimiento. La inadecuada valoración de los beneficios obtenidos de los recursos naturales y servicios ambientales, se presenta en toda la región. Ríos y cuerpos de agua sanos proveen distintos beneficios a la economía (Ej. provee de hábitat a especies comerciales, control de alimentos) para la salud humana (Ej. agua potable limpia, especies comerciales libre de contaminación) e indirectamente a la sociedad (Ej. provee de lugares recreacionales). Estos beneficios son típicamente subvaluados en la toma de decisiones y la implementación de políticas en toda la región.

Los incentivos económicos favorecen la ganancia económica a corto plazo sobre la tecnología ambientalmente amigable y sostenible a largo plazo. Considerando que los químicos industriales y plaguicidas se pueden obtener a precios bajos y en el caso de los plaguicidas, estos tienden a promover una producción agrícola eficiente y competitiva en el mercado; como resultado existen grandes incentivos económicos para el uso de estos productos (FAO, 2000). Cuando se combina con una inadecuada regulación, el alto costo del tratamiento de agua residual y el bajo costo del agua, prácticamente se asegura que la industria y la agricultura seguirán contaminando las fuentes de agua.

Generalmente no existen incentivos económicos que fomenten sustentabilidad en las regulaciones ambientales actuales. En México se emplean solo dos tipos de instrumentos de gestión ambiental: 1) Tasas por emisión de contaminantes: A las empresas se les cobra una cuota por unidad de descarga de contaminantes en el ambiente. Se trata de motivar a las empresas a tratar sus efluentes y así reducir la contaminación. Cada empresa queda en libertad de decidir cuánto trata y cuánto paga. El objetivo es llegar a controlar la descarga del conjunto de la industria; y 2) Tasas por uso: Se cobran a los usuarios de los recursos naturales con el fin de cubrir el costo del manejo del ambiente, reducir el consumo y motivar la conservación.

A pesar de que existen estos mecanismos fiscales, con la finalidad de incrementar los costos de operación de aquellos que no cumplan con las regulaciones ambientales (el que contamina, paga) estas no se han cumplido. Desde 1994 incentivos económicos, tales como el programa PROCAMPO (SAGARPA, 1998) y el pago de derechos de descarga (DOF, 1997), fueron establecidos como instrumentos legales válidos para el control ambiental; sin embargo, estos incentivos políticos aún no muestran resultados contundentes.

La existencia de pobreza también está ligada con diferentes aspectos de la contaminación. Como el hecho de que muchos agricultores no tienen los medios para aplicar tecnologías agrícolas eficientes en la ausencia de capital para infraestructura agrícola. Por otra parte muchos de los municipios rurales de la región no pueden financiar proyectos de infraestructura para el tratamiento de sus aguas residuales. Finalmente, es importante resaltar que muchos de los bienes producidos en la región, son incentivados por los mercados de exportación, producto del TLC con América del Norte (Audley et al., 2003).

### *Leyes y Gobierno*

Con respecto a este rubro, se han desarrollado diversas leyes y reglamentos en los tres niveles de gobierno que tratan el uso y regulación de los recursos hídricos de la región, además de que existen



acuerdos multilaterales con respecto al uso y distribución de las aguas internacionales compartidas entre México y Estados Unidos. Sin embargo, muchos de estos acuerdos no han tenido la capacidad de satisfacer y cumplir las regulaciones ambientales exigidas. Como resultado, los organismos federales, estatales y municipales responsables de las cuestiones ambientales a menudo fracasan en hacer cumplir las leyes y decretos.

La ineficiencia de la legislación en materia de agua (Karam-Quiñones, 2003) y la falta de recursos humanos y financieros para hacer cumplir las políticas ambientales se puede observar claramente en la región. La ausencia de acciones legales contra los que contaminan demuestra la falta de recursos asignados que permitan el monitoreo y supervisión de efluentes que se descargan a los ríos y cuerpos de agua. Como ejemplo, en el estado de Sonora se cuenta con un inspector por cada 1 588 usuarios (CNA, 2003b); la situación en los demás estados no debe de ser muy diferente. Otra de las principales causas en la falta de cumplimiento de las leyes y políticas ambientales en materia de contaminación es que el presupuesto asignado no permite que se lleven a cabo las debidas evaluaciones de impacto ambiental y regulación. En el 2000, el presupuesto destinado al medio ambiente representó solo el 0.378% del presupuesto nacional (4,484 millones de pesos); para el 2001 representó el 0.327% (4,447 millones de pesos (DOF, 2002). Por otra parte mucho del personal calificado y con experiencia, comúnmente cambia de profesión o se dedica a otras actividades, debido a los bajos salarios que se pagan en algunas instituciones federales y estatales encargadas de la regulación ambiental.

Los mecanismos participativos en la toma de decisiones son generalmente inadecuados, y aunque la Ley de Aguas Nacionales y la Comisión Nacional del Agua promueve la creación y desarrollo de los Consejos de Cuenca, estos no han sido implementados de forma correcta. La capacidad de negociación y la influencia económica y política de algunos grupos específicos comúnmente desproporcionan la estructura de poder de influencia que finalmente contribuye a la indiferencia de las leyes ambientales y el retraso de posibles soluciones a los problemas de contaminación.

Finalmente la falta general de coordinación entre los distintos organismos federales, estatales y municipales dificulta aún más el seguimiento de las descargas contaminantes. La coordinación entre el desarrollo económico y la política ambiental es generalmente poca o nula.

### *Conocimiento*

La falta de estudios técnicos sobre la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea, así como de algunos cuerpos de agua en la región es evidente. Consecuentemente, es difícil determinar correctamente la magnitud de los impactos, resultado de la contaminación de los recursos hídricos. Particularmente la ausencia de información sobre la carga contaminante derivada de las actividades agrícolas en la región es preocupante, sin esta es imposible llevar a cabo una adecuada evaluación del impacto de los contaminantes en el medio ambiente.

La falta de conciencia pública en lo que respecta al cuidado del medio ambiente exagera la situación actual. El agua es generalmente percibida como un recurso abundante y que se renueva y restablece por si mismo. Estas percepciones hacen que sea difícil implementar instrumentos económicos adecuados para el uso y contaminación de los recursos hídricos de la región. La falta de compromiso de la sociedad para las cuestiones ambientales, ha llevado a un inadecuado sistema de tratamiento de aguas residuales tanto urbanas como industriales, con excepción de aquellos lugares donde los efectos de estas deficiencias han resultado en impactos altamente visibles al interés



público. Aunado a esto, la falta de visión empresarial, como parte de la conciencia pública en lo que respecta al cuidado del medio ambiente, ha retrasado el desarrollo y empleo de nuevos productos que impacten menos sobre el medio ambiente.

#### *Causas Raíces para las Prácticas Agrícolas*

Las características de la región y la historia de las políticas hidráulicas en México determinaron el desarrollo de grandes áreas de irrigación (las más importantes del país). Desde la década de los veinte cuando el gobierno federal inició los programas de inversión en grandes obras de irrigación, la superficie cultivada de los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California se incremento notoriamente. El uso de agroquímicos, por lo tanto, también se incremento. Plaguicidas organoclorados destacan a partir de 1948 por su aplicación en volúmenes considerables sobre cultivos de la región (Martínez, 2003). Debido a su intenso uso, se encuentran ampliamente distribuidos en la región del Golfo de California. Adicionalmente a partir de la firma del Tratado de Libre Comercio con América del Norte, se aumentaron bruscamente las importaciones de plaguicidas y fertilizantes nitrogenados a México (Audley et al., 2003).

#### *Económicas*

Los incentivos de mercado de ganancia a corto plazo, prácticamente aseguran la persistencia del uso de plaguicidas y fertilizantes debido al agresivo mercadeo de las compañías de agroquímicos y los altos rendimientos que estos generan en el campo al ser utilizados. En los países en desarrollo, incluido México, algunos de los plaguicidas más antiguos continúan siendo los más baratos de producir y, para algunos fines, continúan siendo muy eficaces, por ejemplo, el DDT para la lucha contra la malaria. Los países en desarrollo sostienen que, por razones de costo y eficacia, no pueden permitirse prohibir algunos de los plaguicidas antiguos (Ongley, 1997). A menos de que ocurran brotes extensos de plagas resistentes a los insecticidas o la infestación de maleza, los agricultores no están dispuestos a invertir en tecnologías ambientalmente amigables, tales como el control biológico de plagas y maleza. Los incentivos de mercado también fomentan el cultivo de cosechas que utilizan grandes volúmenes de agua tales como el algodón.

#### *Leyes y Gobierno*

Las leyes, con respecto a las descargas contaminantes de tipo agrícola presentan serias deficiencias. La Ley de Derechos de descargas residuales (NOM-001-ECOL-1996), establece que están exentos del pago todos aquellos que cumplan con la regulación existente y tengan el certificado de calidad del agua expedido por la CNA, es decir, si se respetan los máximos permisibles de los contaminantes designados; igualmente quedan exentas las poblaciones rurales de menos de 2 500 habitantes y, desde luego, las descargas provenientes del riego agrícola. La razón de que las aguas de retorno agrícola no reciban tratamiento alguno, en parte, es por su carácter difuso o no puntual. Debido a esto, no existen datos relativos a la carga contaminante derivada de las actividades agrícolas, más sin embargo los efectos y repercusiones de la contaminación por actividades agrícolas están ampliamente documentados.

La ineficiente regulación de plaguicidas, es otro problema legal que necesita atención inmediata. A pesar de que existen regulaciones sobre el uso de agroquímicos (CICOPLAFEST, 1998), se han detectado en muestras de agua de la región plaguicidas prohibidos o restringidos para su uso en México, tales como aldrín, endrín, lindano y DDT (Galindo-Reyes, 2000; Galindo-Reyes et al., 1999; Gardner et al., 2003; González-Enríquez, 1991; Osuna-Flores y Riva, 2002). Esto revela que la aplicación de las regulaciones existentes para el uso de agroquímicos es inadecuada.

### *Conocimiento y Tecnología*

La falta de conocimiento científico y tecnológico dificulta los esfuerzos para determinar el impacto de los plaguicidas sobre la fauna acuática y terrestre. Existen cerca de 277 plaguicidas registrados en México (CICOPLAFEST, 1998) y para determinar los impactos de cada uno de ellos, así como la interacción y efectos acumulativos entre los diferentes compuestos se requiere de un análisis complejo, personal altamente calificado y campañas de muestreo sumamente costosas. Aún en el caso de que se avanzara en la determinación de los impactos, la labor en el control de distribución y seguimiento en la aplicación de pesticidas, sería sumamente complejo y costoso. Para complicar aún más la situación existente, existe el hecho de que tanto el público en general como muchos agricultores desconocen los efectos negativos y los riesgos de salud asociados al uso de plaguicidas.

Por otra parte algunas de las comunidades rurales tienen poco conocimiento sobre los métodos de cultivo que conservan la estructura del suelo y reducen la erosión de los suelos, aunque cabe destacar que se han dirigido campañas (SAGARPA, 2004) para la aplicación de técnicas de siembra con la finalidad de resolver este problema.

### *Causas raíces de la descarga de efluentes urbanos e industriales*

La descarga de efluentes del sector urbano e industrial están vinculadas a varias causas raíces en común. De hecho, las descargas de efluentes industriales generalmente se vierten a los sistemas urbanos de drenaje municipal, lo cual muestra que muchas de las políticas enfocadas a resolver este problema deben considerar al sector urbano e industrial como un solo sistema.

Entre los factores que acentúan y regionalizan los problemas de contaminación están la concentración de población en zonas urbanas y falta de tratamiento de las aguas residuales antes de disponerlas a un cuerpo de agua. Asimismo, aún cuando las que existen son necesarias, ninguna de las plantas de tratamiento de aguas residuales se encuentra en alguno de los puntos que generan mayor cantidad de aguas residuales y mayores cargas orgánicas. De las 170 plantas municipales y de las 270 plantas industriales para el tratamiento de las aguas residuales de la región 10% operan adecuadamente, 18% no operan y 94% operan deficientemente. La mayoría de los sistemas de tratamiento son lagunas de estabilización (CNA, 2004).

### *Económico*

Los instrumentos económicos para el control de contaminación por efluentes municipales e industriales son generalmente poco desarrollados o nulos (OECD, 1999). Aunque existe la obligación de pagar derechos por descargas de aguas residuales, en función del volumen de contaminantes excedido de los límites impuestos en la normatividad (DOF, 1997), el cobro de estos derechos en la práctica es virtualmente nulo debido a las fallas en el sistema de cobros o porque cumplen con la normatividad. Como resultado, no existen incentivos económicos que disuadan a las industrias de seguir vertiendo sus desechos al sistema urbano de drenaje.

### *Leyes y Gobierno*

En general, la normativa sobre medio ambiente ha creado derechos a contaminar, por ejemplo, fijando valores límites que definen la cantidad máxima de contaminación permitida por emisor. La Norma Oficial Mexicana que regula las descargas a los cuerpos receptores nacionales en comparación con las normas técnicas ecológicas anteriores, relajó en gran medida las condiciones



máximas permitidas de descarga de contaminantes y los plazos para cumplirlas, además de omitir algunos contaminantes muy característicos de actividades productivas. Las empresas no tienen ningún incentivo para superar las normas establecidas. Esto ha ocasionado mayores problemas de contaminación de cuencas y acuíferos en los últimos años, ya que el cobro de derechos por descarga, solo se aplica cuando la descarga excede de lo permitido. Adicionalmente la pobre aplicación de las regulaciones existentes es un problema mayor que impide un control adecuado de las descargas. Como ejemplo, cerca de las 36,000 descargas registradas en México, sólo 9,000 están regularizadas a través de permisos (CESPEDES, 1998).

La centralización de las funciones operativas, impide una coordinación eficiente con otros organismos estatales y municipales para el control de la contaminación. Para evitar que esto siga sucediendo, se requiere del esfuerzo por parte del gobierno, para involucrar más a los usuarios en la toma de decisiones y la repartición de funciones operativas, de manera que se distribuyan equitativamente facultades y responsabilidades con el objeto de lograr que las decisiones en materia de agua se tomen lo más cerca posible de los lugares donde ocurren los problemas.

La inadecuada participación con los diferentes usuarios en la toma de decisiones hace difícil que se maneje eficazmente el problema de contaminación. Los impactos de la contaminación industrial tienden a afectar diversos componentes del medio ambiente y de la sociedad, más sin embargo los beneficios de la producción industrial tienden a fluir a solo unos cuantos grupos. Por ejemplo, las comunidades aguas debajo de las descargas residuales son las que reciben el impacto directo de la contaminación, más sin embargo los que toman las decisiones en materia de saneamiento, no siempre consideran los impactos que produce el inadecuado tratamiento de aguas residuales a los intereses económicos y sociales de estas comunidades.

### *Consejos de Cuenca*

El gobierno federal, a través de la CNA, inició a principios de los noventa un esfuerzo por contener la sobreexplotación de los recursos hídricos. Para ello se estableció un nuevo modelo descentralizado basado en la gestión integral por cuenca hidrológica siendo Los Consejos de Cuenca, de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (LAN) de 1992, instancias de carácter consultivo para la gestión integral del agua y la representación de intereses teniendo como unidad a la cuenca hidrológica, espacios de coordinación en el territorio geográfico entre los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), y de concertación entre representantes gubernamentales y usuarios.

Con el fin de llevar a cabo sus acciones, los Consejos de Cuenca cuentan con organizaciones auxiliares a nivel de Subcuenca, microcuenca y acuífero, denominadas Comisiones de Cuenca, Comités de Cuenca y Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS), respectivamente, las que deben contribuir a promover la organización de los usuarios y su participación en la programación hidráulica (CNA, 1998b).

La puesta en marcha de los Consejos de Cuenca revela la contradicción existente respecto a la participación de los usuarios, pues ésta es apenas de carácter consultivo. Castelán-Crespo (2001) sostiene que son insuficientes los espacios creados para que la toma de decisiones incorpore a la sociedad civil. De igual manera, la sociedad no percibe estos espacios, y si los hace, es a través de grupos de interés. La Ley de Aguas Nacionales (LAN) en su artículo 4 otorga facultades exclusivas al Ejecutivo Federal para legislar y administrar en materia de aguas nacionales y establece que la



participación de los usuarios y particulares será promovida por el Ejecutivo Federal sólo en términos de la realización y administración de las obras y de los servicios hidráulicos (Art. 5). En materia de Consejos de Cuenca, la LAN los considera instancias de coordinación y concertación (Art. 13), por lo tanto carentes de facultades normativas. El autor afirma que actualmente los Consejos de Cuenca solo pueden proponer recomendaciones hacia las instancias gubernamentales, no suplen a ninguna autoridad u organización y los usuarios no cuentan con facultad para emitir alguna normatividad oficial o ejercer acción legal o jurídica.

En lo relativo a la estructura de los Consejos de Cuenca existen dos limitaciones. Por un lado, su escasa representatividad, pues no se considera la diversidad social de los usuarios y por lo tanto la heterogeneidad existente dentro de estos; ni la diferente capacidad de negociación de los usuarios, pues los intereses de éstos no necesariamente abarcan los intereses de la sociedad en su conjunto sino otros de orden particular. Por otro lado, la participación de la sociedad civil, las organizaciones no gubernamentales y las instituciones académicas y educativas se encuentran supeditada a la investigación que haga la CNA, si ésta los juzga conveniente (Art. 15, fracc. III del RLAN). De esta forma se puede observar que los Consejos de Cuenca no son foros abiertos a la participación pues la LAN confiere un alto grado de discrecionalidad al facultar a la CNA para decidir quienes participan. Esta atribución le permite jugar con los balances de poder y tener capacidad para dirigir las decisiones hacia objetivos o resultados ya establecidos previamente en otras instancias. Por tanto, el marco para que la sociedad acceda de manera organizada y en corresponsabilidad a los niveles decisión continúa siendo muy estrecho y, en última instancia, la determinación se mantiene en manos a nivel federal (Castelán-Crespo, 2001)

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### Conclusiones

En general podemos señalar que la contaminación del agua es uno de los principales problemas de salud pública debido al insuficiente tratamiento de las aguas residuales, la disposición de efluentes no tratados, la operación y mantenimiento inadecuados de las plantas de tratamiento y la escorrentía agrícola. A ello se une la carencia de sistemas adecuados de captación, tratamiento y distribución de agua potable.

La lucha contra la contaminación es tan costosa que las decisiones sobre las prioridades en la ordenación de los recursos deben basarse en el conocimiento del costo de la contaminación del agua para los distintos sectores económicos. Ese costo se divide en dos componentes: el primero es el costo directo (por ejemplo, tratamiento) de las medidas para atenerse a las normas mínimas de calidad del agua, según sus distintos usos; el segundo es el costo de las oportunidades económicas perdidas como consecuencia de la mala calidad del agua. Cabría señalar los siguientes ejemplos: merma de la producción debido a la salinidad excesiva del agua de riego, y pérdida de la producción pesquera como consecuencia de problemas de reproducción y crecimiento ocasionados por productos químicos tóxicos. Sólo conociendo los costos directos e indirectos y asignando estos costos a los diversos sectores económicos (incluida la agricultura), se podrá evaluar el verdadero costo causado y absorbido por la agricultura, en relación con otros sectores.



Una de las razones por las que las consideraciones medioambientales no se incorporan suficientemente en la formulación de las políticas económicas es que la política económica se interesa sobre todo, y con razón, por la estabilidad macroeconómica y el funcionamiento de los mercados. No obstante, muchos problemas medioambientales surgen precisamente porque no existen mercados para bienes y servicios medioambientales. Al tiempo que se perjudica al medio ambiente, la ausencia de estos mercados da lugar a una fuente importante de lagunas económicas, o de factores externos asociados.

La información analizada para la elaboración de este trabajo, permitió obtener un panorama general de la problemática de contaminación del agua en el Golfo de California, así como regionalizar y jerarquizar la atención que debe darse a los cuerpos de agua para el control de su contaminación. En el Golfo de California la mayoría de los contaminantes provienen de fuentes no puntuales ubicadas en las cuencas del río Yaqui, Mayo, Fuerte y Culiacán. El problema se acrecienta en esta zonas por la ausencia de plantas de tratamiento, por lo que los ríos, arroyos y drenes agrícolas se convierten en cuerpos receptores de descargas domésticas e industriales.

En este sentido, los cuerpos de agua en regiones colindantes a zonas de riego agrícola, como el delta del río Colorado, río Yaqui, río Culiacán así como el sistema lagunario de Altata-Ensenada del Pabellón y la laguna de Navachiste fueron considerados de interés prioritario. Adicionalmente los ríos San Pedro y Sonora presentan problemas graves por contaminación de metales pesados, por lo que también se deben considerar de interés prioritario. Al igual que en otras partes del mundo, en México, el más común de los contaminantes de los ríos y aguas costeras está relacionado con la descarga de aguas municipales no tratadas. La insuficiencia o ausencia de tratamiento ha deteriorado la calidad del agua en las bahías de Yavaros y los puertos de Guaymas y Mazatlán.

Aunque Páez-Osuna (2001) considera que no existe contaminación metálica evidente, los estudios muestran que las concentraciones de metales traza en el tejido de los organismos se incrementa con el tiempo, por lo que es importante seguir monitoreando la bioacumulación de metales pesados en moluscos, peces, mamíferos y aves.

La rehabilitación y operación adecuadas, así como-el mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes deben reforzarse. Se requieren además, plantas de tratamiento de aguas residuales que controlarían el 51.8% de la contaminación urbana en los siguientes puntos: San Luis Río Colorado, Navojoa, Ahome, Culiacán La Paz, Guaymas y Mazatlán. Finalmente el sector agrícola requiere controlar prioritariamente las aguas de retorno agrícola y mejorar la eficiencia de riego de los principales distritos de riego de la región.

Es importante que las investigaciones se utilicen para apoyar la formulación de políticas públicas que se concreten en programas y acciones para un mejor manejo de los recursos hídricos.

## Recomendaciones

Los objetivos de política de medio ambiente deberían plantearse, en principio, de modo que el beneficio de la mejora del medio ambiente se adaptara al menos a los costos para lograrla. Sin embargo, con frecuencia es difícil para un legislador atribuir un valor a un paisaje específico o al daño causado por un agente contaminante en particular, o calcular el costo exacto de la disminución de la contaminación. El uso de instrumentos económicos especifica los costos de las mejoras del



medio ambiente. La normativa también impone costos aunque estos se mantengan ocultos o implícitos.

En este sentido WWF debería de inclinar sus esfuerzos en promover el uso de instrumentos económicos que regulen las fuentes de contaminación, tales como:

1.- Fondo de garantía ambiental. Los grandes proyectos mineros, forestales, agrícolas y de infraestructura pagan una cuota para asegurar que al final repararán los posibles daños ambientales.

2.- Impuestos verdes y diferenciales. Se proyecta reemplazar impuestos tradicionales por impuestos al consumo y contaminación del ambiente. Estos son los impuestos verdes.

De acuerdo con los impuestos diferenciales, en cambio, pagan más los usos y productos que deterioran el ambiente y se subsidian parcialmente los que son conservacionistas.

Como recomendación adicional, es necesario trabajar en la creación de una base de datos sobre la clasificación, el número y uso de plaguicidas en la región. La concertación de estas medidas y recomendaciones debe realizarse en conjunto con los tres niveles de gobierno, así como las diversas organizaciones y centros de educación superior de la región encargados de la regulación y cuidado del medio ambiente.

## V. REFERENCIAS

- Agraz-Hernández, C.M. 1999. Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa Noroccidental de México. Tesis Doctoral. Univ. Autón. Nuevo Leon, Monterrey, México.
- Alduenda, R.M.A., Guerrero, I.M.A. y Zazueta, C.J.L. 1985. Estudio de contaminación por hidrocarburos y microorganismos patógenos en el estero Urías. Tesis de Maestría. Univ. Autón. Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México.
- Álvarez-Borrogo, S. 1971. Vientos en la Bahía de Todos Santos. Publicación del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC.
- Álvarez-Borrogo, S. y Galindo-Bect, L.A. 1974. Hidrología del Alto Golfo de California I. Condiciones durante Otoño. *Cienc. Mar.* 1(1):46-64.
- Álvarez-Cadena, J.N., Aquino-Guzmán, M., Alonso-Rojo, F., Millán-García, J.G. y Torres-Salinas, F. 1978. Composición y abundancia de las larvas de peces en el Sistema Lagunar Huizache-Caimanero. Parte I, Agua Dulce 1978. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol., UNAM Agua Dulce* 11(1): 163-180.
- Álvarez-Cadena, J.N., Cortés-Altamirano, R. y Massot-Pérez, G.A. 1988. Composición y abundancia de las larvas de peces en el Sistema Lagunar Huizache-Caimanero. Parte II, Tapo Botadero. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol., UNAM Agua Dulce* 11(1): 163-180.
- Álvarez-León, R. 1980. Hidrología y zooplancton de tres esteros adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol., UNAM* 7(1): 177-195.
- Aragón-Noriega, E.A. y Calderón-Aguilera, L.E. 2000. Does damming the Colorado River affect the nursery area of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in the Upper Gulf of California? *Rev. Biología Tropical* 48(4): 867-871.
- Arvizu, J. y Chávez, H. 1972. Sinopsis sobre la biología de la Totoaba (*Cynoscion macdonaldi*) Gilbert, 1890. FAO. Fish Synop. 108.
- Audley, J.J., Papademetriou, D.G., Polaski, S., y Vaughan, S. 2003. La promesa y la realidad del TLCAN: lecciones de México para el hemisferio. Carnegie Endowment for International Peace, Washington, D.C., 96 p.
- Blus, L.J. 1996. DDT, DDD and DDE in birds. En: Beyer, W.N., Heinz, G.H. y Redmon-Norwood, A.W. (Eds), *Environmental Contaminants in Wildlife, Interpreting Tissue Concentrations*, pp 49-71. Boca Raton, FL. CRC Lewis Publishers. 490 pp
- Bojorquez-Rayos, A.J. 1994. Evaluación bacteriológica del ostión *Crassostrea gigas* y su agua de cultivo en Bahía de Lobos, Sonora. Tesis de Licenciatura en Química, ITSON. Cd. Obregón Sonora, México, p. 74.
- Byrne, J.U. y Emery, K.O. 1960. Sediments of the Gulf of California. *Geol. Soc. America Bull.* 71(7): 983-1010.
- Calderón-Aguilera, L.E., Aragón-Noriega, E.A., Licón, H.A., Castillo-Moreno, G. y Maciel-Gómez, A. 2002. Abundance and composition of penaeid postlarvae in the Upper Gulf of California. *Contrib. to the Study of East Pacific Crustaceans Vol. 1:* 281-291.
- Cámara-Durán, O.A. 1993. Efecto del uso ineficiente del agua y agroquímicos, sobre la calidad del agua en el Valle del Yaqui, Sonora, México. *ITSON-DIEP* 1(4): 50-65.
- Campoy-Favela, J., Varela-Romero, A. y Juárez-Romero, L. 1989. Observaciones de la Ictiofauna nativa del Río Yaqui, Sonora, México. *Ecológica* 1(1): 1-13.
- Carvahlo, F.P, Fowler, S.W., González-Farías, F., Mee, L.D. y Readman, J.W. 1996. Agrochemical residues in the Altata-Ensenada del Pabellón coastal lagoon (Sinaloa, Mexico): a need for

- integrated coastal zone management. *International Journal of Environmental Health Research*, 6: 209-220.
- Castelán-Crespo, E. 2001. *State of Mexico's Water*. Third World Centre for Water Management, Mexico City, 100 p.
- Castillo-Acosta, L.G. 2002. Estimación de la contaminación por nitrógeno derivada de la actividad humana en las aguas superficiales y subterráneas del valle del Yaqui, Sonora. Tesis de Maestría en Ingeniería en Administración de Recursos Hidráulicos. ITSON. Cd. Obregón Sonora, México, p. 67.
- Ceballos, G. y Pacheco, J. 2003. Los perritos llaneros de Chihuahua. *Rev. Pronatura* 2: 28-33.
- Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES). 1998. Eficiencia y uso sustentable del agua en México: participación del sector privado. Disponible en: [http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/Ef\\_Agua/conte.htm](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/Ef_Agua/conte.htm)
- CICOPLAFEST. 1998. Catálogo oficial de plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. México, D.F. 519 p.
- Cleverly, J.R., Smith, S.D., Sala, A., y Devitt, D.A. 1997. Invasive capacity of *Tamarisk ramosissima* in a Mojave desert floodplain: the role of drought. *Ecology* 111: 12-18.
- El Colegio de México, A.C. (COLMEX). 2003. Bases para el ordenamiento ecológico de la región de Escalera Nautica (Componente Social y Económico). Informe Final. Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT), México. 535 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1997. Problemática del Río Colorado. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional de la Península de Baja California. 28 p.
- CNA. 1998a. Diagnóstico de la Región Hidrológica II Noroeste. Hermosillo, Sonora.
- CNA. 1998b. Los Consejos de Cuenca en México, definiciones y alcances. Comisión Nacional del Agua. Unidad de Programas Rurales y Participación Social. México, 169 p.
- CNA. 1999. Problemática del Río Colorado. Comisión Nacional del Agua – Gerencia Regional de la Península de Baja California, 28 p.
- CNA. 2001. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA. 2003a. Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región I Península de Baja California. Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA. 2003b. Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región II Noroeste. Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA. 2003c. Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región III Pacífico Norte. Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA. 2003d. Inventario nacional de descargas de aguas residuales, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. SGT. Comisión Nacional del Agua, México.
- CNA. 2004. Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua, México.
- Comisión de Servicios de Agua del Estado (COSAE). 2003. Reseña del Acueducto Río Colorado-Tijuana. Disponible en: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/cosae/index.html>
- CONAPESCA. 2002. Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación. México.
- Congreso de la Unión. 2001. La Marina Mercante: Situación General, Estructura y Evolución. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/comisiones/marina/mercante/>
- Cruz-Molina, N.C. 1999. El perrito de la pradera, categoría: peligro de extinción. *Entorno* 4: 2.
- Cortés-Altamirano, R., y Núñez-Pasten, A. 1991. Registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sin., México. *Rev. de Investigación Científica*, 2: 44-45.
- Cortés-Altamirano, R., y Nuñez-Pasten, A. 1992. Doce años (1979-1990) de registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sin., México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.*, UNAM 19: 113-121.



- De Aguinaga, J.G. 2002. Modelación geohidrológica del acuífero del río San Pedro. Tesis de Licenciatura. Univ. Sonora, Hermosillo, México 89 p.
- De la Peña, I. 1993. Problemas de salinidad y drenaje. Documento de circulación interna. Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional del Noroeste, Subgerencia de Riego y Drenaje, Cd. Obregón, Son.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. SEMARNAP. Lunes 6 de enero de 1997. México, 68-86 p.
- DOF. 2002. Segunda Sección. Decreto por el que se aprueban los programas sectoriales de mediano plazo denominados Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006 y Programa Nacional Hidráulico 2001-2006. SEMARNAT. Miércoles 13 de febrero de 2002. México, 131-406.
- De la Lanza, E.G. y García-Calderón, J.L. 1991. Sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sin. Un estudio socio ambiental, pesquero y acuícola. *Hidrobiología* 1(1): 1-27.
- Dirección General de Ecología del Estado de Baja California. 1995. Plan de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California, 126 p.
- Dominguez, Lorena. 2004. Mexico's economists look to a recovery at last. Bank One Economic Outlook Center, W. P. Carey School of Business.
- Edwards, R.R.C. 1978. The fishery and fisheries biology of penaeid shrimp on the Pacific coast of Mexico. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16: 145-180.
- Ehrtart, L.M. 1991. Fibropapillomas in green turtles of the Indian River Lagoon, Florida: distribution over time and area. In Balazs, G.H., Pooley, S.G. (Eds.), *Research Plan for Marine Turtle Fibropapilloma*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech memo NMFS-SWFC-156, pp. 59-61.
- Escalona, R.L., Rosales, M.T.L., y Mandelli, E.F. 1980. On the presence of fecal steroids in sediments from two Mexican harbours. *Bull. Env. Cont. Toxicology* 24: 289-295.
- FAO. 2000. El agua como recurso para la producción de alimentos. 26ª Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Mérida, México, 10 al 14 de Abril del 2000.
- Fernández-Rubio, R. 1979. Incidencia de las actividades mineras en la calidad de las aguas subterráneas. En CIFCA, (Cuadernos del Centro Internacional de Formación de Ciencias Ambientales), Madrid, España, 126 p.
- Fimbres-Gutiérrez, M.C. y Romo-Cadena, L. 1996. Estudio de incidencia de metales tóxicos en agua potable del estado de Sonora. Tesis de Licenciatura. Univ. de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, 70 p.
- Flanagan, C.A. y Hendrickson, J.H. 1976. Observations on the commercial fishery and reproductive biology of the totoaba, *Cynoscion macdonaldi*, in the Northern Gulf of California. *Fish. Bull.* 74(3): 531-544.
- Frías-Espiricueta, M.G., Osuna-López, J.I., Sandoval-Salazar, G., López-López, G. 1999. Distribution of trace metals in different tissues in the rock oyster *Crassostrea iridescens* seasonal variation. *Bull. Env. Cont. Toxicology* 63: 73-79.
- Galindo-Reyes, G. 1987. Contaminación en camarones *Penaeus spp.* y en el agua del estero Urias. *Rev. Cienc. del Mar* 9: 32-36.
- Galindo-Reyes, G. 2000. Condiciones ambientales y de contaminación en los ecosistemas costeros de Sinaloa. Culiacán, Sin. 158 p.
- Galindo-Reyes, G., Medina, J.A. y Villagrana, L.C. 1996. Physiological and biochemical changes in shrimp larvae (*Penaeus vannamei*) intoxicated with organochlorine pesticides. *Mar. Poll. Bull.* 32: 872-875.



- Galindo-Reyes, G., Villagrana-Lizarraga, C. y Álvarez, G.L. 1999. Environmental conditions and pesticide pollution of two coastal ecosystems in the Gulf of California, Mexico. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 44(3): 280-286.
- Galindo-Reyes, G., Leyva, N. R., Millan, O. A. y Lazcano, G. A. 2002. Effects of pesticides on DNA and protein of shrimp larvae *Litopenaeus stylirostris* of the California Gulf. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 53(2): 191-195.
- Galindo-Reyes, G., Montes-Verdugo, J., Cassin, D. y Carvajal, R. 2003. Pollution by polychlorinated biphenyls in an estuary of the Gulf of California. Their toxicity and bioaccumulation in shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Mar. Poll. Bull.* 46(8): 959-963.
- Gallo-Reynoso, J.P. 1996. Distribution of neotropical river otter (*Lutra longicaudis annectens* Major, 1897) in the río Yaqui, Sonora México. *IUCN Otter Specialist Group Bull.* 13(1): 27-31.
- Gallo-Reynoso, J.P. 1997. Situación y distribución de las nutrias en México, con énfasis en *Lontra longicaudis annectens* MAJOR, 1897. *Rev. Mex. Mastozoología* 2: 10-32.
- Gallo-Reynoso, J.P., G. Suárez-Gracida, H. Cabrera-Santiago, E. Coria-Galindo, J. Egido-Villarreal y L.C. Ortiz. 2002. Status of beaver (*Castor canadensis frontator*) in Río Bavispe, Sonora, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 47(3): 501-504.
- García-Hernández, J. King, K.A., Velasco A.L., Shumilin, E. Mora, M.A. y Glenn E.P. 2001. Selenium, selected inorganic elements, and organochlorine pesticides in bottom material and biota from the Colorado River delta. *J. Arid Env.* 49: 65-89.
- García-López, Patricia. 1989. Evaluación del grado de contaminación bacteriana de interés sanitario en el agua del sistema estuarino Sto. Domingo La Atanasia, considerando como zona de explotación de moluscos bivalvos. Tesis de Licenciatura en Química, ITSON. Cd. Obregón Sonora, México, p. 79.
- Gardner, S.C., M. Dawn Pier, Raymond Wesselman, y J. Arturo Juárez. 2003. Organochlorine contaminants in sea turtles from the Eastern Pacific. *Mar. Poll. Bull.* 46(9):1082-1089.
- Glenn, E.P., C. Lee, R. Felger y S. Zenegal. 1996. Effects of water management on the wetlands of the Colorado River delta, Mexico. *Conservation Biology*, 10: 1175-1186.
- Gómez-Aguirre, S., Licea-Durán, S y Flores-Coto, C. 1974. Ciclo del plancton en el sistema Huizache-Caimanero, México (1969-1970). *An. Centro Cienc. Mar. Limnol., UNAM* 1(1):  
Diponible en: <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/centro/1974-1/articulo5.html>
- González-Enríquez, R. 1991. Contaminación por agroquímicos en el Valle del Yaqui. Tesis de Maestría, ITSON, Cd. Obregón, Sonora, México.
- Green-Ruiz, C. y Páez-Osuna, F. 2001. Heavy metal anomalies in lagoon sediments related to intensive agricultura in Altata-Ensenada del Pabellón coastal system (SE Gula of California). *Environment Internacional* 26: 265-273.
- Guardado-Puentes, J. y Núñez-Esquer, O. 1975. Concentración de DDT y sus metabolitos en especies filtroalimentadoras y sedimentos en el valle de Mexicali y alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura en Oceanología, UABC, p. 20.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G. y Villaescusa-Celaya, J. 1988a. Chlorinated Hydrocarbons in Molluscs of the Mexicali Valley and Upper Gulf of California. *Cienc. Mar.*, 13(3): 91-113.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G., Olguín-Espinoza, G., Villa-Andrade, M.F. y Villaescusa-Celaya, J.A. 1988b. Insecticidas organoclorados en peces del valle de Mexicali, Baja California, México. *Cienc. Mar.* 14 (4):1-22.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Muñoz, G. y Rojas, V. 1989. Metales traza en peces del valle de Mexicali, Baja California, México. *Cienc. Mar.* 15(4): 105-115.

- Gutiérrez-Galindo, E.A., Flores-Munoz, G., Villaescusa-Celaya, J. y Arreola-Chimal, A. 1994. Spatial and temporal variations of arsenic and selenium in a biomonitor (*Modiolus capax*) from the Gulf of California, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 28(5): 330-333.
- Hall, E.R. 1981. *The mammals of North America*. Wiley Interscience Publication, New York.
- Herbst, L.H. 1994. Fibropapilloma of marine turtles. *Annual Reviews of Fish Disease* 4: 389-425.
- Herbst, L.H. y Klein, P.A. 1995. Green turtle fibropapillomatosis: Challenges to assessing the role of environmental cofactors. In: Rolland, R., Gilbertson, M. (Eds.), *Colborn Wildlife Development NIH-95-218. Environmental Health Perspectives* 103 (Supp.) 27-30.
- Hendrickson, D.A., Minckley, W.L., Miller, R.R., Siebert, D.J. y Haddock, P.L. 1981. Fishes of the Río Yaqui, Mexico and the United States. *Journal Arizona, Nevada Academy Sciences* 15: 65-106.
- Hendrickson, D.A., Espinosa-Pérez, H., Findley, L.T., Forbes, W., Tomelleri, J.R., Mayden, R.L., Nielsen, J.L., Jensen, B., Ruiz-Campos, G., Varela-Romero, A., Van Der Heiden, A., Camarena, F., y García-Leon, F.J. 2003. Mexican native trouts: a review of their history and current systematic and conservation status. *Rev. Fish Biol. Fisheries* 12: 273-316.
- Hernández-Ayón, J.M., M.S. Galindo-Bect, B.P. Flores-Baez, y S. Alvarez-Borrego. 1993. Nutrient concentrations are high in turbid waters of the Colorado River Delta. *Est. Coast. Shelf Sci.* 36(6): 593-602.
- Hosch, G.E. 1996. Prospective mapping of total cadmium, copper, zinc and lead contamination in water, sediment and clams (*Chione gnidia*) of Guaymas Bay, Sonora, Mexico. M.Sc. Thesis. Univ. of Hull, England.
- Hosch, G.E., Elliot, M., García, L. y Higuera, I. 1997. Determinación de metales pesados totales en agua, sedimento y almejas de la Bahía de Guaymas, Sonora, México. *Boletín CIAD* 6(1): 5-6.
- INEGI. 1999. Estadísticas del medio ambiente, Tomo I y II. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2000. XII Censo general de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2002. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2003. XV Censo general de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2003a. Anuario estadístico del estado de Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2003b. Anuario estadístico del estado de Baja California Sur. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2003c. Anuario estadístico del estado de Nayarit. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2003d. Anuario estadístico del estado de Sinaloa. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2003e. Anuario estadístico del estado de Sonora. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI. 2003f. Anuario de estadísticas por entidad federativa. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). 1987. Estudio para evaluar la reutilización de las aguas residuales del colector número 1 del Valle del Yaqui.
- ITSON-DIFOIN. 1987. Alternativas de reuso del agua residual del colector Principal No.1 y evaluación del impacto ecológico, pesquero y social en el sistema estuarino "La Atanasia-Sto. Domingo" del Valle del Yaqui. Informe Técnico ITSON-DIFOIN, Cd. Obregón, Sonora, México.



- Izaguirre-Fierro, G., Páez-Osuna, F. y Osuna-López, J.I. 1992. Metales pesados en peces del Valle de Culiacán, Sinaloa. *Cienc. Mar.* 18(3): 143-151.
- Juárez-Romero, L., Varela-Romero, A. y Campoy-Favela. (en preparación). Los peces dulceacuícolas de Sonora. Centro Ecológico de Sonora, Pub. esp.
- Karam-Quiñones, C. 2003. El régimen jurídico del agua en México: hacia un manejo integrado. 3er Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, del 9 al 13 de Junio del 2003. Arequipa, Perú.
- Lacher, L.J. 1994. Hydraulic and legal issues of the Upper San Pedro River Basin, Arizona. Report submitted to the Department of Hydrology and Water Resources, Univ. Arizona.
- Leopold, A.S. 1953. Round River; from the journals of Aldo Leopold (L.B.Leopold, ed.). Oxford University, 173 p.
- Leopold, A.S. 1959. Wildlife of Mexico: the game birds and mammals. Univ. California Press, 568 p.
- López-Ríos, O. y Lechuga-Anaya, M. 2001. Contaminantes en los cuerpos de agua del sur de Sonora. *Salud Pública de México* 43: 298-305.
- Marmolejo-Rivas, C. y Páez-Osuna, F. 1990. Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, *Mytella strigata*. *Bull. Env. Contam. Toxicol* 45: 545-551.
- Martin, M. y Gutiérrez-Galindo, E. 1989. Pesticides and PCBs in oysters from Mazatlan, Sinaloa, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 20: 469-472.
- Martínez, J. 2003. Acuíferos y agroquímicos en una región fronteriza: retos y oportunidades del TLCAN para la agricultura mexicana. Segundo Simposio de Análisis sobre los Efectos del Comercio en el Medio Ambiente. Red Fronteriza de Salud y Ambiente A.C. Universidad de Sonora, México.
- Mee, L.D., Espinosa, M. y Díaz, G. 1986. Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific Coast of Mexico. *Mar. Env. Res.* 19: 17-92.
- Mellink, E. y Luévano, J. 1998. Status of beavers (*Castor Canadensis*) in Valle de Mexicali, Mexico. *Bull. Southern California Acad. Sci.* 97(3): 115-120.
- Méndez, L. S.T. Álvarez-Castañeda, B. Acosta, y A.P. Sierra-Beltrán. 2002. Trace metals in tissues of gray whale (*Eschrichtius robustus*) carcasses from the Northern Pacific Mexican Coast. *Mar. Poll. Bull.* 44(3): 217-221.
- Minkley, W.L. y Robertson, B. 1986. Rio Yaqui fishes recovery plan. Unpub. Draft Ms, 47 p.
- Monreal, S.R., Rangel, M.M. y Valenzuela, S.L.H. 2001. La intrusión salina en el acuífero de la costa de Hermosillo, Sonora. Acta de sesiones de la XXIV Convención Internacional de la AIMMGM. 24(24): 93-98
- Mora, M. A. 1991. Organochlorines and breeding success in cattle egrets from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico. *Colonial Waterbirds*, 14: 127-132.
- Mora, M. A. 1997. Transboundary pollution: persistent organochlorine pesticides in migrant birds of the southwestern United States and Mexico. *Env. Toxicol. Chemistry*, 16: 3-11.
- Mora, M.A. y Anderson, D.W. 1995. Selenium, Boron, and heavy metals in birds from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico. *Bull. Env. Cont. Toxicol.*, 54: 198-206.
- OECD. 1999. Economic instruments for pollution control and natural resources management in OECD countries: a survey. OECD, Paris, 115 p.
- Ongley, E.D. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO: Riego y Drenaje, No. 55, 101 p.
- Ortiz, R. 2003. Los plaguicidas en México. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/losplaguicidas/losplaguicidas.shtml>

- Osuna-Flores, I. y Riva, M.C. 2002. Organochlorine pesticide residue concentrations in shrimps, sediments, and surface water from Bay of Ohuira, Topolobampo, Sinaloa, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 68: 532-539.
- Osuna-López, J.I., Páez-Osuna, F. y Ortega-Romero P. 1986. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, PPb y Zn en los sedimentos del Puerto y antepuerto de Mazatlán. *Cienc. Mar.* 12: 35-45.
- Osuna-López, J., Zazueta-Padilla, H.M, Rodríguez-Higuera, A. y Páez-Osuna, F. 1990. Trace metal concentrations in mangrove oyster (*Crassostrea corteziensis*) from tropical lagoon environments, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 21: 486-487.
- Páez-Osuna, F. 2001. Camaronicultura y Medio Ambiente. Páez-Osuna F. (Editor). UNAM y El Colegio de Sinaloa, México, 222 p.
- Páez-Osuna, F. y Marmolejo-Rivas, C.1990. Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves. *Crassostrea corteziensis*. *Bull. Env. Toxicol.*45: 538-544.
- Páez-Osuna, F., Zazueta-Padilla, H.M. y Izaguirre-Fierro, G. 1991. Trace metals in bivalves from Navachiste lagoon, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 22: 305-307.
- Páez-Osuna, F., Bojórquez-Leyva, H., Izaguirre-Fierro, G., Osuna-López, J.I. y González-Farías, F. 1992. Carbono y fósforo en sedimentos de un sistema lagunar asociado a una cuenca de drenaje agrícola. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol., UNAM* 19(1): 1-11.
- Páez-Osuna, F., Osuna-López, G., Izaguirre-Fierro, G. y Zazueta-Padilla, H.M. 1993. Heavy metals in oysters from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Bull. Env. Cont. Toxicology* 50: 696-702.
- Páez-Osuna, F., Osuna-López, G., Izaguirre-Fierro, G. y Zazueta-Padilla, H.M. 1994. Trace metals in Mussels from the Ensenada del Pabellón Lagoon, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 28(2): 124-126.
- Páez-Osuna, F., Bojórquez-Leyva, H., y Pérez-Bernal, L.H. 1995. Concentración de metales pesados en el ostión de cultivo *Crassostrea corteziensis* durante un evento de mortandad masiva. *Rev. Cienc. del Mar* 14: 15-18.
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S.R., y Ruiz-Fernández, A.C. 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture: causes, effects and mitigating alternatives. *Env. Management* 28(1): 131-140.
- Páez-Osuna, F., Bojórquez-Leyva, H., y Ruelas-Insunza, J. 1999a. Regional Variations of heavy metal concentrations in tissues of barnacles from the subtropical pacific coast of Mexico. *Env. International* 25(5): 647-654.
- Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S.R., y Ruiz-Fernández, A.C. 1999b. Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. *Mar. Poll. Bull.* 38(7): 585-592.
- Páez-Osuna, F., Ruiz-Fernández, A.C., Botello, A.V., Ponce-Vélez, G., Osuna-López, J.I., Frías-Espéricueta, M.G., López-López, G., y Zazueta-Padilla, H.M. 2002. Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn) organochlorines (PCBs, HCB) and total PAHs in mangrove oysters from the Pacific Coast of Mexico: an overview. *Mar. Poll. Bull.* 44: 1296-1313.
- Paredes-Arellano, E. 1997. Recursos naturales en el delta del río Colorado en México y Norte del Golfo de California. *Rev. Travesía* 23-30.
- Payne, J.M., Frederic A.R., y Carrere-González, E. 1992. Feasability study for the possible enhancement of the Colorado Delta wetlands, Baja California Norte, México. Ducks Unlimited, Inc., and Ducks Unlimited of Mexico.
- Pérez, T.M.G. 1991. Evaluación experimental de diferentes metodologías para la cuantificación de metales pesados en agua y sedimentos estuarinos. Tesis de Licenciatura. ITSON, Cd. Obregón, Sonora, México.



- Priego, B.C. 1985. Contribución al conocimiento de la composición fitoplanctónica del Estero de Urías y la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Univ. Auton. Guadalajara, México 62 p.
- Pritchard, D.W. 1967. What is an Estuary: physical viewpoint. *Estuaries*, American Association of Advance Science Publications 83: 3-5.
- Readman, J.W., Kwong, L.L.W., Mee, L.D., Bartocci, J., Nilve, G., Rodríguez-Solano, J.A., y González-Farías, F. 1992. Persistent organophosphorus pesticides in tropical marine environments. *Mar. Poll. Bull.* 24: 398-402.
- Rice, J., Bertin W. Anderson y Robert D. Ohmart. 1984. Comparison of the importance of different habitat attributes to avian community organization. *J. Wildlife Manag.* 48(3): 895-911.
- Robles, E. G. 1985. Productividad primaria del fitoplancton y distribución temporo-espacial de pigmentos fotosintéticos (clorofila a y feopigmentos) en el Estero de Urías, durante un ciclo anual (septiembre 1982- Agosto 1983). Tesis de Licenciatura. Univ. Auton. de Guadalajara, México, 76 p.
- Rogerio-Poli, C. y Calderón-Pérez, J.A. 1987. Efecto de los cambios hidrológicos en la boca del río Baluarte sobre la inmigración de postlarvas de *Penaeus vannamei* Boone y *P. stylirostris* Stimpson al sistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa, México (Crustacea: Decápoda: Penaeidae. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol., UNAM* 14(1): 29-44.
- Romero-Acosta, A. 1996. Estudio de la contaminación por metales pesados en agua y sedimento del río San Pedro, Sonora, México. Tesis de Licenciatura. Univ. de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, 117 p.
- Ros, Jaime. 1995. La crisis mexicana: causas, perspectivas, lecciones. *Nexos*, No. 209.
- Ruelas-Inzunza, J.R., Páez-Osuna, F. y Pérez-Cortés, H. 2000. Distribution of mercury in muscle, liver and kidney of the spinner dolphin (*Stenella longirostris*) stranded in the Southern Gulf of California. *Mar. Poll. Bull.* 40(11): 1063-1066.
- Ruiz-Campos, G., y Rodríguez-Meraz, M. 1997. Composición taxonómica y ecológica de la avifauna de los ríos El Mayor y Hardy, y áreas adyacentes, en el Valle de Mexicali, Baja California, México. *An. Inst. Biol., UNAM, Serie Zoología* 68: 291-315.
- Ruiz-Luna, A. y Berlanga-Robles, C.A. 1999. Modifications in coverage patterns and land use around the Huizache-Caimanero Lagoon System, Sinaloa, Mexico: a multi-temporal analysis using LAND-SAT images. *Est. Coastal Shelf Sci.* 49: 37-44.
- Ruiz-Fernández, A.C., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B. Soto-Jiménez, M. y Páez-Osuna, F. 2002. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacán River Estuary, northwestern Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients. *Environmental Pollution* 118: 365-377.
- Sainz, C.L., 1989. Determinación de plaguicidas organoclorados por cromatografía gas-líquido en moluscos bivalvos del sistema estuarino La Atanasia-Sto. Domingo. Tesis de Licenciatura. ITSON, Cd. Obregon, Sonora, México.
- SAGARPA. 1998. Procampo, 1994-1998. Claridades Agropecuarias 64 (Diciembre).
- SAGARPA. 2004. Programa de Desarrollo Rural Alianza Contigo 2003. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México
- Schreiber, J.F. Jr. 1969. Geographical and geological features. In: *Environmental impact of brine effluents on the Gulf of California*. U.S. Dept. Int. Res. and Dev. Prog. Rep. No. 387.
- Schatan, C., 1996. Efectos del TLCAN en el cuidado del medio ambiente en México. *Revista de Comercio Exterior*, Banco Nacional de Comercio Exterior SNC, Marzo de 1996.



- Scorupa, J.P., Morman, S.P y Sefchick-Edwards, J.S. 1996. Guidelines for interpreting selenium exposures of biota associated with nonmarine aquatic habitats. U.S. Fish and Wildlife Service, prepared for: The National Irrigation Water Quality Program. Sacramento, CA. 74 pp.
- Secretaría de Marina. 1991. Estudio de la calidad del agua de la Bahía de Guaymas, Son., y proximidades. Dirección General de Oceanografía Naval. Dirección de Prevención de la Contaminación Marina. México.
- SEMARNAP/CNA. 1997. Estrategias del Sector Hidráulico. México.
- SEMARNAP. 1998. Anuario Estadístico de Pesca. México.
- Servín-Aguilar, M. 1996. Diagnóstico para el saneamiento de la cuenca del río Mayo. Tesis de Maestría en Ingeniería en Administración de Recursos Hidráulicos. ITSON. Cd. Obregón Sonora, México, p. 127.
- Shumilin, E., Páez-Osuna, F., Green-Ruiz, C., Sapozhnikov, D., Rodríguez-Meza, G.D. y Godínez-Orta, L. 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz Lagoon, Península de Baja California, México. *Mar. Poll. Bull.* 42(3): 174-178.
- Soria, M.L., Repetto, G., y Repetto, M. 1992. Revisión general de la toxicología de los metales. Cap. 8. En: *Toxicología Avanzada*. Repetto, M. (Ed). Ediciones Díaz Santos S.A., España, p. 293-343.
- Soto-Jiménez, M., y Páez-Osuna, F. 2001. Distribution and normalization of heavy metal concentrations in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlán Harbour (SE Gulf of California). *Est. Coastal Shelf Sci.* 53: 259-274.
- Soto-Jiménez, M., Páez-Osuna, F. y Morales-Hernández, F. 2001. Selected trace metals in oysters (*Crassostrea iridescens*) and sediments from the discharge zone of the submarine sewage outfall in Mazatlán Bay (Southeast Gulf of California): chemical fractions and bioaccumulation factors. *Env. Poll.* 114: 357-370.
- Taylor, J.P. y McDaniel, K.C. 1998. Restoration of saltcedar (*Tamarix spp.*) – infested floodplains on the Bosque del Apache National Wildlife Refuge. *Weed Technology* 12: 345-352.
- Valenzuela, R.A. 1991. Evaluación experimental de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de metales traza en tejido de camarón *Penaeus vannamei*. Tesis de Licenciatura. ITSON, Cd. Obregón, Sonora, México.
- Valenzuela-Cueto, J. 2001. Diagnóstico ambiental del Municipio de Cajeme. Tesis de Maestría. ITSON. Cd. Obregón Sonora, México, 89 p.
- Valenzuela-Gómez, L. 2000. Principales plaguicidas utilizados en el Valle del Yaqui, Sonora, y su impacto en la salud, por su uso y manejo en el periodo 1995-1999. Tesis de Licenciatura en Química, ITSON. Cd. Obregón Sonora, México, 79 p.
- Van Rossem, A.J. 1947. A synopsis of the savannah sparrows of northwestern Mexico. *Condor* 49: 97-107.
- Varela-Romero, A. 1992. Prospección de los peces nativos en la cuenca del Río San Pedro, Sonora, México. Informe técnico, Centro Ecológico de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Villa, B.R., Páez-Osuna, F., y Pérez-Córtes, H.M. 1993. Concentraciones de metales pesados en el tejido cardíaco, hepático y renal de la vaquita *Phocoena sinus* (Mammalia: Phocoenidae). *An. Inst. Biol., UNAM, Serie Zoología* 64(1): 61-72.
- Villareal, A. 1998. De 20 especies de peces en el Estado, ocho son únicas en el planeta. *Entorno* 1: 22-23.
- Van Rossem, A.J. 1947. A synopsis of the savannah sparrows of northwestern Mexico. *Condor* 49: 97-107.
- Weedman, D.A. y Kirk L. Young. 1997. Status of Gila Chub in the United States. In: Abstracts of the 30th Joint Annual Meeting of The Wildlife Society, New Mexico and Arizona Chapters, and American Fisheries Society, Arizona-New Mexico Chapter. February, 1997.



- Wiesenborn, W.D. 1996. Saltcedar impacts on salinity, water, fire frequency, and flooding. Saltcedar management Workshop 3.
- Wilson-Cruz, S. 2000. Detección de metales pesados en sedimento marino procedente de las principales zonas ostrícolas del estado de Sonora. Tesis de Licenciatura. Univ. de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, 78 p.
- World Wildlife Fund (WWF). 2004. Prioridades de conservación para el Golfo de California. WWF/Coalición para la Sustentabilidad del Golfo de California. México, 70 p.
- Yocupicio-Anaya, M.T., y Gómez-Alvarez, A. 1987. Estudio de la contaminación por metales pesados en el río Sonora y su afluente el río Bacanuchi. Tesis de Licenciatura. Univ. Sonora, Hermosillo, Sonora, México, 136 p.
- Zetina-Rejón, M., Arreguín-Sánchez, F. y Chávez, E.A. 2003. Trophic structure and flows of energy in the Huizache-Caimanero lagoon complex on the Pacific coast of Mexico. *Est. Coastal Shelf Sci.* 57(5-6): 803-815.