

EL COLEGIO  
DE SONORA



# Pesquerías globalizadas

Gloria Ciria Valdéz Gardea  
Manuel Salvador Galindo Bect  
Coordinadores

Vidal, O., y C. D'Agrosa. 1994. Monitoring and Evaluation of the Incidental Mortality of the Vaquita, *Phocoena sinus*, During Fishing Activities in the Upper Gulf of California. Final Report to Conservation International.

Villa Ramírez, Bernardo. 1976. Report on the Status of *Phocoena sinus*, Norris and McFarland 1958, in the Gulf of California. *Anales del Instituto de Biología* 2: 203-208.

Walker, B. W. 1960. The Distribution and Affinities of the Marine Fish Fauna of the Gulf of California. *Systematic Zoology* 9 (3): 123-133.

White, A. T. 1988. *Marine Parks and Reserves Management for Coastal: Environments in Southeast Asia*. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management on Behalf of the Association of Southeast Asian Nations/United States Coastal Resources Management Project.

Wilson, J. A., y P. Kleban. 1992. Practical Implications of Chaos in Fisheries: Ecologically Adapted Management. *MAST* 5 (1): 67-75.

LA VAQUITA MARINA (*PHOCOENA SINUS*)  
Y LA TOTOABA (*TOTOABA MACDONALDI*) ESPECIES EN PELIGRO  
DE EXTINCIÓN DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

Manuel Salvador Galindo Bec†  
José Martín Hernández Ayón\*  
Miguel Ángel Huerta Díaz\*

INTRODUCCIÓN

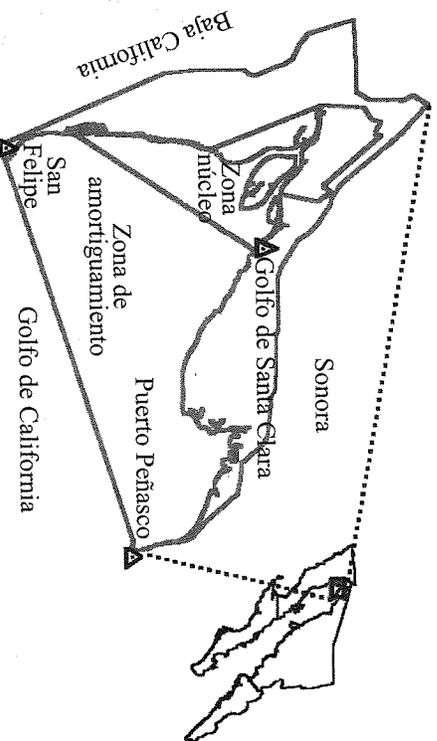
La Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado se encuentra en la región somera localizada en el extremo norte del golfo de California (véase figura 1) y, para proteger sus valores biológicos, el gobierno mexicano emitió el decreto de la reserva, en junio de 1993 (*Diario Oficial de la Federación*, DOF 1993). Esta área representa un hábitat de reproducción, crianza y desarrollo de especies endémicas vulnerables o en peligro de extinción, como la vaquita marina (*Phocoena sinus*) y la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), así como de numerosos invertebrados marinos y peces de importancia comercial que buscan alimento, refugio y condiciones hidrológicas óptimas en una etapa temprana de su crecimiento (Aragón 2000; Álvarez 2001; Galindo et al. 2007).

En el alto golfo de California hay una intensa actividad pesquera, principalmente de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y de curvina golflina (*Cynoscion onthonopterus*), que se mencionan como un riesgo para la captura incidental de la vaquita marina y la totoaba,

\* Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Instituto de Investigaciones Oceanológicas, km. 107 carretera Tijuana-Ensenada s/n, Ensenada, B. C., México, C. P. 22860. Correos electrónicos: salvador@uabc.edu.mx / jmartin@uabc.edu.mx / huertam@uabc.edu.mx

pero también representan una de las principales fuentes de ingresos económicos de las comunidades pesqueras de San Felipe, Baja California, Puerto Peñasco y El Golfo de Santa Clara, Sonora (Ibid.).

Figura 1. Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado



Fuente: datos tomados del Dof (1993).

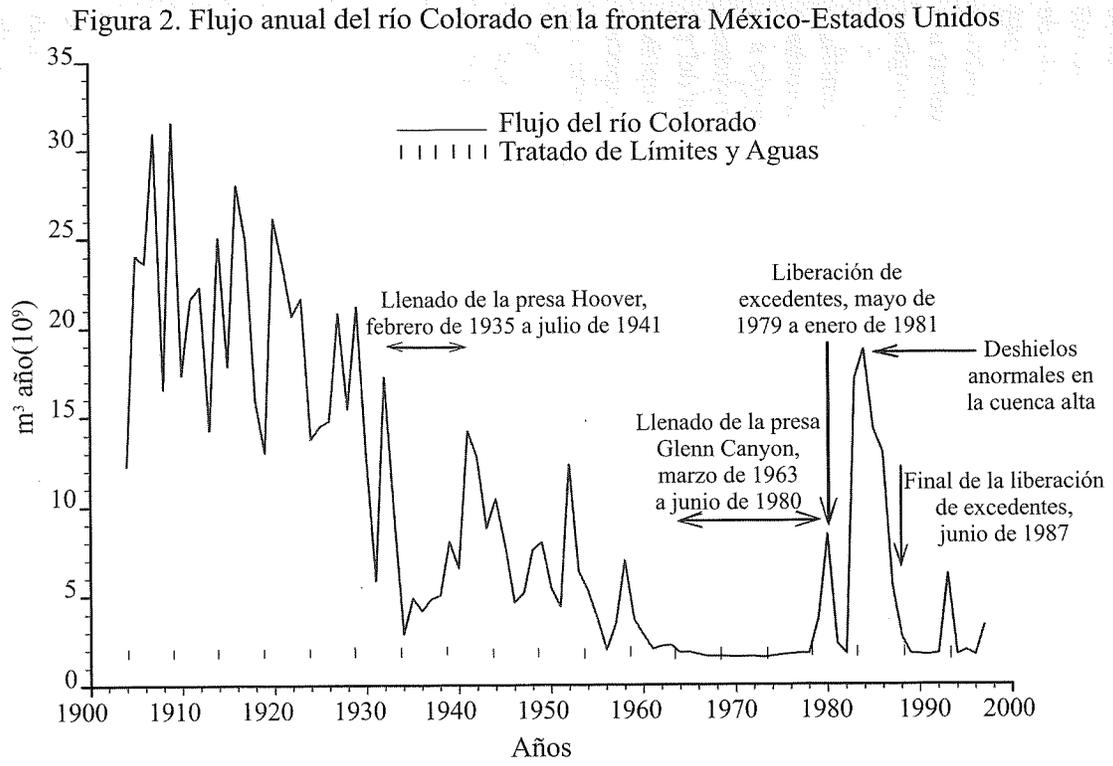
La construcción de las presas Hoover, en 1935; Glenn Canyon, en 1963, en Estados Unidos, y Morelos, en Baja California, México, ha limitado el ingreso de agua dulce superficial al estuario del río Colorado; lo que sólo ha ocurrido en los años con precipitación pluvial alta y deshielos anormales en su cuenca superior (Cupul 1994; Lavín y Sánchez 1999; Galindo et al. 2000; Carrizuri Beltrán et al. 2011).

El volumen de agua dulce que ingresaba al estuario era de  $\sim 20\ 700 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ , hasta antes de la construcción de las presas, después sólo ha habido flujos ocasionales que dependen de los excedentes de los  $1\ 850 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  establecidos como cuota anual en un tratado de límites y aguas firmado con Estados Unidos el 3 de febrero de 1944 (véase figura 2) (Secretaría de Relaciones Exteriores 1975; Fradking 1981). En la actualidad toda esta asignación se utiliza para cubrir necesidades agrícolas y urbanas, sin considerar los cambios ecológicos que se inducirían por la restricción del agua dulce al estuario.

Aquí se hace un análisis del manejo de la información científica, que ha conducido al gobierno mexicano a considerar que la totoaba y la vaquita marina se encuentran en peligro de extinción, debido a la sobrepesca y a la pesca incidental en redes agalleras, respectivamente. Sin embargo, aunque el alto golfo de California y el delta del río Colorado han perdido sus condiciones estuarinas debido al represamiento del río, las estrategias para evitar la extinción de estas especies estuarino-dependientes mencionan que la reducción del flujo del río no representa un riesgo, por lo que todas las acciones para su recuperación están centradas en controlar al sector pesquero. Por ello aquí se hace un contraste del manejo inadecuado de la información científica, desde el punto de vista de la pesca, así como de las políticas públicas implementadas, con la consideración del componente ambiental, como causa importante en el control del tamaño de las poblaciones estuarino-dependientes.

#### LA TOTOABA

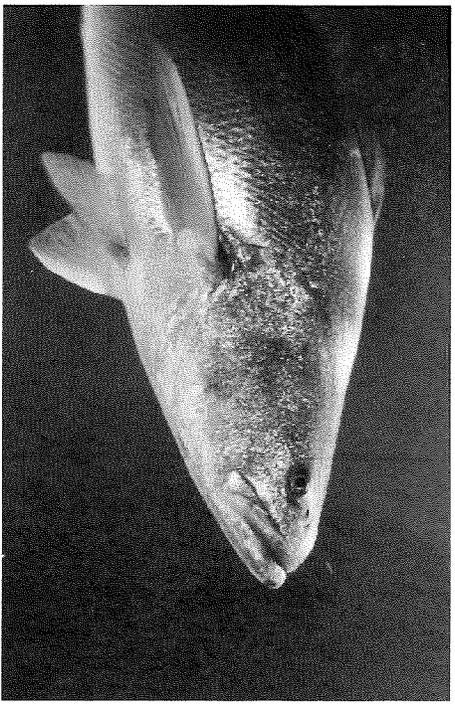
La totoaba (véase figura 3) está clasificada como en peligro de extinción, pertenece a la familia Sciaenidae, alcanza una longitud máxima de  $\sim 2$  metros, un peso de  $\sim 80$  kilos y una edad promedio de  $\sim 25$  años (Arvizu y Chávez 1972; Barrera 1985; Molina et al. 1988; Román 1994). Aunque en la actualidad el área de distribución está restringida a la parte norte y central del golfo de California, se sabe que realiza migraciones anuales desde la desembocadura del río Colorado hasta



Fuente: comunicación personal con Francisco Bernal Rodríguez, base de datos de la Comisión Internacional de Límites y Aguas, Mexicali, B. C.

el río Fuerte, Sinaloa y Bahía Concepción, B. C. (Arvizu y Chávez 1972).

Figura 3. La totoaba (*Totoaba macdonaldi*)



Fuente: <http://www.dossierpolitico.com/vernoticiasanteriores.php?artid=91065&relacion=dossierpolitico>

Esta especie estuvo sujeta a una intensa pesquería de 1934 a 1945, con capturas de más de 2 mil toneladas anuales, mismas que disminuyeron hasta 58 toneladas en 1975 (Berdegué 1955; Flanagan y Hendrickson 1976; Román 1994; Rowell et al. 2008). Se menciona que el manejo inadecuado de la pesquería la llevó a la sobreexplotación y, en consecuencia, al declive de la población, por eso en 1975 el gobierno mexicano estableció una veda indefinida para su explotación, y en 1979 se propuso como especie en peligro de extinción (DOF 1993; Nacional Marine Fisheries Services, NMFS 1979). Aún permanece en esa clasificación por: a) la alta mortalidad de juveniles, debido a la pesca incidental en redes de arrastre de barcos camaroneros; b) la sobreexplotación en el periodo de pesca legal; c) la captura clandestina

de adultos y d) la alteración de su hábitat natural, por el repesamiento del río Colorado (NMFS 1991).

Es importante señalar que, si bien es cierto, la pesquería de la totoaba ejerció una presión importante para que disminuyera el número de ejemplares en las décadas de 1930 y 1940, también es posible que, como el primer repesamiento del río Colorado fue en 1935 y la totoaba tiene un promedio de vida de 25 años, los organismos que se explotaron explotando de 1935 a 1945 fueran los que ya habían nacido antes de que eso ocurriera, y que después haya comenzado su declive drástico, hasta 1975 (Lercari y Chávez 2007). También es posible que en la actualidad las variables ambientales, modificadas por el repesamiento del río, sea lo que esté controlando principalmente el tamaño de la población, más que la pesca incidental (Rowell et al. 2008).

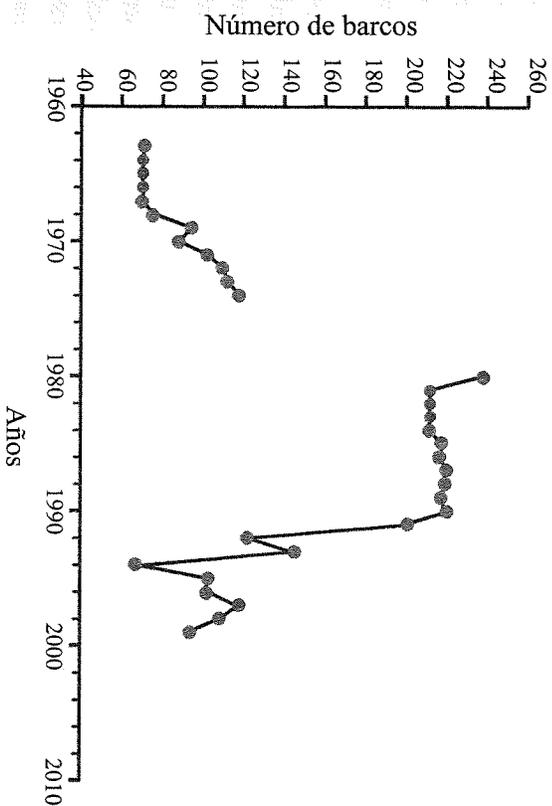
Los estudios más recientes sobre crecimiento y mortalidad de la totoaba en el alto golfo son los realizados por Pedrín et al. (2001), quienes analizaron datos de capturas de muestreos experimentales de 1985 a 1989, con aporte de agua del río Colorado y de 1990 a 1993 sin dicho aporte; concluyeron que la mortalidad de totoabas se quintuplicó en la década de 1990, debido al esfuerzo pesquero, y que es probable que la población permanezca sobreexplotada por la pesca incidental.

Es importante resaltar que Pedrín et al. (2001) no mencionaron que los periodos con y sin aporte de agua del río influyeron en sus datos, y que encontraron la mayor supervivencia de totoabas en los años ochenta, cuando el aporte de agua dulce al alto golfo fue importante (véase figura 2). Por otro lado, concluyeron que la mayor mortalidad de totoabas en los años noventa se debió al esfuerzo pesquero, sin embargo, esta afirmación es contradictoria, ya que el mayor esfuerzo en la historia del alto golfo fue en la década anterior, cuando sobrevivieron más ejemplares (véase figura 4). Con este artículo se puede deducir una posible relación de la supervivencia y la mortalidad, asociada a factores ambientales.

Román (1994), al estudiar la edad y crecimiento de la totoaba de 1987 a 1991, mencionó que sus resultados mostraron que la estructura poblacional de tallas fue estable, pero con biomasa baja. Pedrín

et al. (2001) también sugirieron que la biomasa baja de totoabas se debe al efecto de la pesca clandestina de adultos y a la mortalidad accidental de juveniles en redes de arrastre de camarón. Es importante resaltar que si la estructura de tallas de la población es estable, no se puede concluir que la causa principal para mantenerla pequeña sea la presión pesquera, ya que ésta lo primero que desequilibra es la estructura poblacional. Lo anterior conduce a sugerir que los cambios ambientales debidos al repesamiento del río Colorado pudieron influir en la disminución de totoabas, y que la presión pesquera lo agudiza.

Figura 4. Variación del número de barcos camaroneros en Puerto Peñasco, de 1962 a 1999



Fuente: base de datos en los archivos del Instituto Nacional de la Pesca en Guaymas (no publicados).

En el campo de la oceanografía es ampliamente conocida la importancia de los ríos en el funcionamiento ecológico de los estuarios,

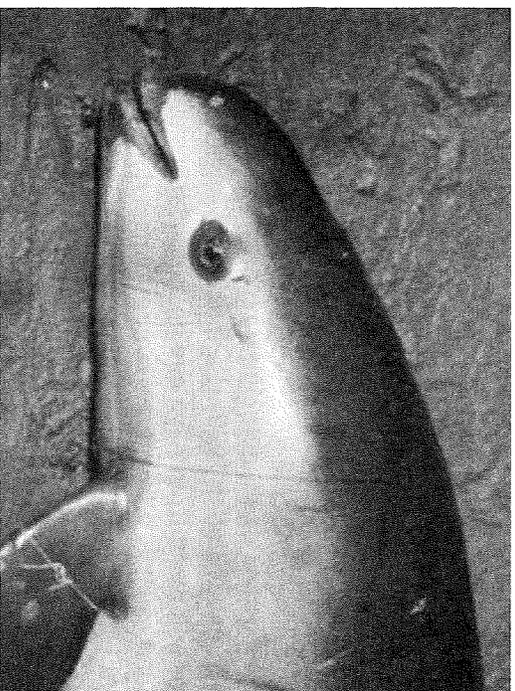
entre algunos ejemplos se puede decir que éstos son utilizados como áreas de reproducción y crianza, debido a que las especies encuentran protección y alimento. La diferencia de salinidad y áreas someras en los estuarios proporcionan protección. El aporte de nutrientes por el río aumenta la disponibilidad de alimento, mediante cambios en la estructura fitoplanctónica e incremento de la productividad orgánica primaria.

#### LA VAQUITA MARINA

La vaquita marina (véase figura 5) es endémica del alto golfo de California, pertenece a la familia de las marsopas (*Phocoenidae*), mide 1.5 metros y pesa unos 55 kilos; la hembra tiene una cría cada dos años, y se ha calculado que vive un promedio de 22 años. Desde 1978 está clasificada como vulnerable (Brownell 1983; Rojas y Taylor 1999; Rojas Bracho et al. 2006; Gerrodette et al. 2011) y en peligro de extinción por la International Union for Conservation of Nature (Klinowska 1991).

Su población se estimó en menos de 500 individuos a principios de la década de 1990, se menciona que al año mueren entre 40 y 80 al quedar atrapadas incidentalmente en las redes agalleras, y se calcula que en la actualidad hay menos de 150 ejemplares (Rojas Bracho et al. 2006; Gerrodette et al. 2011). Los registros disponibles sobre su distribución indican que se concentra sobre todo en el límite suroeste de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, frente al poblado de San Felipe, B.C. (Silber y Norris 1991). El factor principal de riesgo para la disminución de la población de la vaquita es la mortalidad incidental en redes de enmalle, debido a la pesca (Brownell 1983; Barlow 1986; Vidal 1990; Rojas y Taylor 1999; Rojas Bracho et al. 2006; Gerrodette et al. 2011). Sin embargo, esta afirmación es controversial, ya que Fliescher et al. 1996, estimaron una mortalidad incidental de 0.0058 vaquitas por lance de pesca, y concluyeron que la captura ribereña no es la única

Figura 5. La vaquita marina (*Phocoena sinus*)



Fuente: fotografía de A. Robles; tomada de Rojas et al. (2006, 180).

causa de su aparente reducción; estos autores más bien señalan a la pérdida de las condiciones estuarinas del alto golfo, debido al represamiento del río Colorado, como posible causa.

El análisis de este argumento es que el flujo del río representaba la fuente de nutrientes más importante para el alto golfo, por lo que su desviación, para usos agrícolas y domésticos, eliminó el aporte de nutrientes y, como consecuencia, la productividad disminuyó drásticamente, se redujo la concentración de alimento, así como la capacidad de carga de este ecosistema. Lo anterior se encuentra sustentado en un principio básico de la oceanografía: el tamaño de la población de organismos depende de la productividad orgánica primaria, la cual es estimulada por los nutrientes, y que por esa razón los ambientes más productivos son los estuarios y en orden descendente las surgencias, la zona costera y, por último, la oceánica (Houde y Rutherford 1993).

Sin embargo, Rojas y Taylor (1999), al hacer un análisis de la literatura disponible, llegan a la conclusión de que la situación en peligro de la vaquita no se debe a la interrupción del flujo del río, ya que los factores ambientales y biológicos no son un problema serio para su supervivencia. Sustentan sus afirmaciones en que en el alto golfo de California la concentración de nutrientes es elevada (Cupul 1994), hay grandes tasas de productividad primaria (Santamaría del Ángel et al. 1994), alta biomasa de zooplankton (Farfán y Álvarez 1992), ninguna evidencia de desnutrición y reportes sobre su reproducción exitosa (Rojas y Taylor 1999). Es interesante analizar los artículos que estos autores utilizaron, ya que no sustentan sus afirmaciones, y en realidad resaltan y fortalecen la importancia del río en el funcionamiento estuarino. A continuación se analizarán los factores mencionados.

#### *Concentración elevada de nutrientes*

Cupul (1994) midió concentraciones altas de nutrientes en el delta del río Colorado, durante la condición estuarina formada temporalmente en 1993, cuando hubo un exceso de agua dulce, que llegó gracias al tratado internacional celebrado entre México y Estados Unidos, lo que permitió que entrara agua dulce al delta del río. Los valores reportados de nitratos fueron de  $\sim 25 \mu\text{M}$ , a salinidades cercanas a cero al norte de la isla Montague, de  $\sim 12 \mu\text{M}$  a salinidades de 20, frente al El Golfo de Santa Clara, pero cercanos a  $1 \mu\text{M}$ , a salinidades oceánicas de 35 hacia el alto golfo. En ese año los flujos de agua fueron superiores a los acordados en el tratado (véase figura 2).

En contraste, los valores de nutrientes reportados por Hernández et al. (1993) durante un lapso sin aporte de agua del río, de 1989 a 1990, fueron de hasta  $\sim 45 \mu\text{M}$  de nitratos,  $\sim 20 \text{ km}$  al norte de la isla Montague (río arriba), pero cercanos a  $1 \mu\text{M}$  frente al Golfo de Santa Clara. Resultados recientes en la misma área muestran que, con la construcción de un tapón en el cauce del río Hardy, se obstruyó el poco flujo de agua remanente que proporcionaba nutrientes al delta, de tal forma que los valores actuales son de  $\sim 15 \mu\text{M}$ , donde antes eran

de  $\sim 45 \mu\text{M}$  de nitratos, mientras que frente a El Golfo de Santa Clara se midieron valores de hasta  $0.15 \mu\text{M}$ .

#### *Tasas altas de productividad primaria*

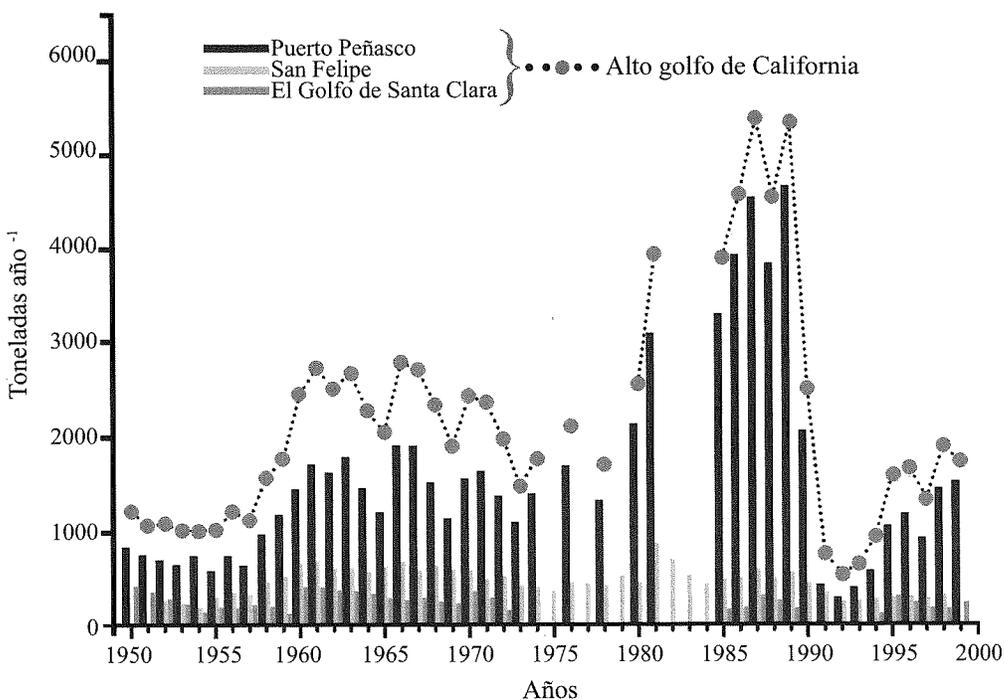
Santamaría del Ángel et al. (1994) muestran valores altos de clorofilas durante el periodo *El Niño* 1982-1984, con lo que Rojas y Taylor (1999) justificaron la alta productividad orgánica primaria en el alto golfo. Sin embargo, los valores en realidad representan condiciones estuarinas, ya que la información analizada correspondió a la década 1979-1989, cuando existieron aportes importantes de agua del río Colorado al estuario (véase figura 2). Este artículo fortalece la importancia del agua del río en el aporte de nutrientes, para estimular la alta productividad orgánica primaria mencionada.

Sin embargo, Millán et al. (1999), al estudiar la productividad orgánica primaria sin aportes de agua del río de agosto, de 1989 a junio de 1990, mencionaron diferencias importantes en la existente frente a El Golfo de Santa Clara, con valores decrecientes, de  $14 \text{ mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ , en agosto de 1989, a  $6.4 \text{ mg C m}^{-3}\text{h}^{-1}$ , en febrero de 1990;  $3.2 \text{ mg C m}^{-3}\text{h}^{-1}$ , en abril de 1990, y  $0.5 \text{ mg C m}^{-3}\text{h}^{-1}$ , en junio de 1990.

Como referencia de que el tamaño de la población de las especies estuarino-dependientes, como la vaquita marina y la totoaba, se encuentra estrechamente ligados a los cambios en la productividad orgánica primaria del alto golfo, puede indicar que en el lapso con productividad baja, estudiado por Millán et al. (1999), la captura de camarones en 1990-1991 fue inferior a las mil toneladas, mientras que la de los años ochenta, según Santamaría del Ángel et al. (1994), dichas capturas superaron las 5 mil toneladas (véase figura 6).

Si bien es cierto que la población de la vaquita es pequeña y que la mortalidad incidental debido a la pesca la pone en mayor riesgo de extinción, la pregunta a dilucidar sería, ¿en qué proporción el problema se debe al efecto de la presión pesquera y los cambios ambientales provocados por el represamiento del río? Según nuestro punto de vista, es inaceptable la tesis de que la vaquita marina no tiene relación con el represamiento del río, primero porque la literatura utilizada no

Figura 6. Captura comercial de camarones en el alto golfo de California



Fuente: base de datos en los archivos del Instituto Nacional de la Pesca en Guaymas (no publicados).

lo sustenta, y segundo porque al ser una especie endémica del alto golfo, donde las condiciones estuarinas se perdieron por el represamiento del río, quedó expuesta a depredadores oceánicos, debido a la pérdida de la barrera de protección salina, así como a cambios en el tipo y abundancia del alimento disponible.

El principio ecológico básico por considerar es que el tamaño de las poblaciones de los organismos, que viven en forma temporal o permanente en los estuarios, está estrechamente relacionado con la protección y el alimento disponible (Nixon 1992; Houde y Rutherford 1993; Snow et al. 2000; Galindo et al. 2000).

#### *Biomasa alta de zooplankton*

Farfán y Álvarez (1992) estudiaron la biomasa de zooplankton del alto golfo, en 1973, cuando no había aporte del río y, según sus resultados, ésta no existía. La mayor parte del año los valores son inferiores a 2 y 40 mg m<sup>-3</sup>, que son representativos de regiones oceánicas; sólo son mayores de 100 mg m<sup>-3</sup> en enero y agosto, que son representativos de lagunas costeras, como el estero de Punta Banda, B.C. Este artículo muestra que los valores reportados estuvieron muy por abajo de los que deberían existir en un estuario, que superan los 1 200 mg m<sup>-3</sup> (Ordóñez y Ornelas 2003, 234), lo que fortalece la hipótesis de que con la disminución del aporte de nutrientes al alto golfo debió disminuir la productividad y la biomasa de zooplankton.

#### *Ninguna evidencia de desnutrición y reportes sobre su reproducción exitosa*

Rojas y Taylor (1999) indican que el problema de la vaquita no tiene relación con el represamiento del río, y que la disminución del tamaño de la población sólo se debe a la pesca incidental en las redes de enmalle. Sustentan su argumento con el hecho de que ninguno de los ejemplares recuperados tenía signos de inanición o desnutrición, y que se seguían observando madres con crías, por lo que se sabe que su

reproducción es exitosa. Consideramos que esta afirmación no tiene un sustento sólido ya que, con el represamiento del río y la reducción del alimento disponible, el sistema no necesariamente tiene que transformarse en oligotrófico, sino que el tamaño de las poblaciones estuarino-dependientes se equilibran a las nuevas condiciones ambientales. Prueba de ello es que ninguno de los ejemplares capturados de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), un organismo estuarino-dependiente del alto golfo, tuvo signos de inanición o desnutrición, y su reproducción es exitosa. ¿Significaría esto que el camarón tampoco tiene relación con el represamiento del río?

#### ACCIONES PARA SALVAR A LA VAQUITA MARINA

El Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita fue constituido en 1997, por reconocidos investigadores de Europa, Estados Unidos, Canadá y México. El propósito principal de este grupo es proponer un plan de recuperación, basado en la mejor información científica disponible, que debe contemplar y considerar los aspectos socioeconómicos de los usuarios de los recursos en esta zona.

Queda claro que la información disponible no se ha manejado de manera adecuada, y que no existen bases científicas robustas para sustentar que la disminución de la población de vaquita no tiene relación con la modificación del hábitat estuarino natural. Es por eso que en las acciones iniciadas para evitar su extinción descartan al componente ambiental, y el 29 de diciembre del 2005 el gobierno mexicano puso controlar principalmente al factor pesca incidental, para lo que prohibió el uso de redes de arrastre en cerca de 80 por ciento del área de distribución, la que fue denominada refugio para la vaquita (véase figura 7). También se planteó ampliar los actuales límites de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, ya que a la fecha el decreto de refugio para la vaquita sólo incluye 60 por ciento del área de distribución, y queda desprotegida la restante (véase figura 7). En forma paralela se pusieron en marcha programas

estratégicos para controlar la actividad pesquera, y así proteger a la vaquita marina.

#### *Programa de Reconversión Tecnológica*

Los institutos Nacional de Ecología y Nacional de Pesca (INPESCA) se dieron a la tarea de buscar métodos y técnicas de pesca amigables con el ambiente, que no dañen a la vaquita marina. Con ese propósito realizaron trabajos experimentales para probar la red "suripera", como un arte de pesca alternativa (INPESCA/World Wildlife Fund 2009); un prototipo de red de arrastre ligera para capturar escama y camarón, utilizada por lo común con éxito en lagunas costeras de Sinaloa (véase figura 8).

Los resultados no fueron económicamente redituables para satisfacer los volúmenes de producción pesquera del alto golfo, pues el poco rendimiento de la atarraya "suripera" es equivalente a 34 por ciento del chinchorro de línea tradicional que utiliza el pescador (Ibid.).

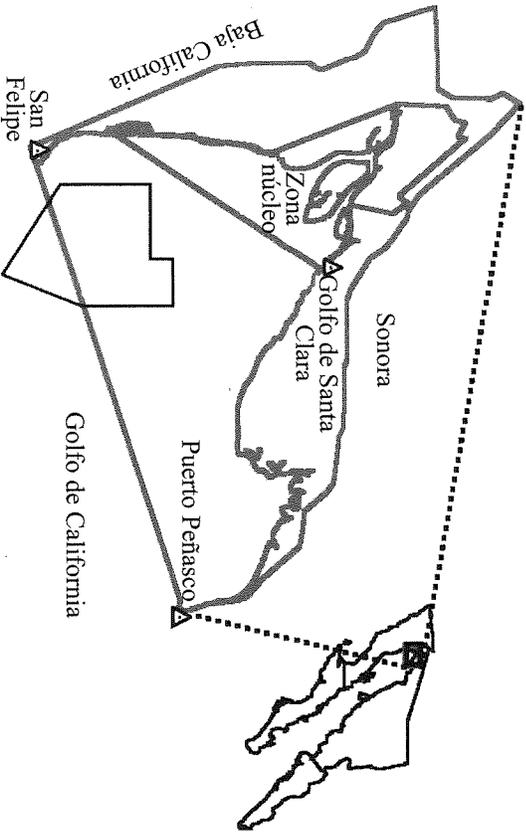
#### *Programa de Reconversión Productiva*

Las secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAP) y de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA), firmaron un convenio de colaboración, el 25 de marzo del 2008, para conjuntar acciones para la conservación de la vaquita marina. Se planteó reducir la utilización de las artes de pesca, que pudieran dañar el ecosistema de la especie, mediante el retiro voluntario de los permisos de pesca, a cambio de una remuneración económica. Los pescadores que ya aceptaron el ofrecimiento han invertido en la construcción de cabañas para renta, y así probar otras alternativas económicas, para complementar sus ingresos.

Aunque en principio la idea de reconvertir la actividad pesquera en turística es buena, por desgracia quienes eligieron esta opción no han obtenido los resultados positivos esperados, ya que El Golfo de Santa Clara es un puerto pesquero, y el turismo se restringe a unos

cuantos días al año, que son los festivos de México y Estados Unidos. Esta inseguridad en los ingresos ha provocado que la pesca continúe, con formas alternas.

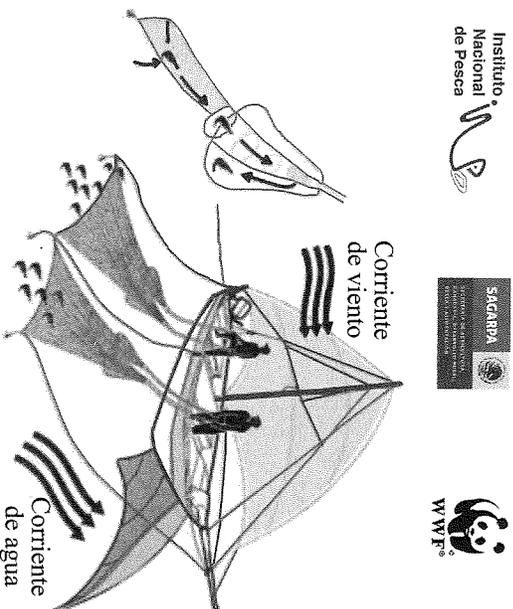
Figura 7. Área de distribución y refugio de la vaquita marina



Fuente: datos tomados del DOF (2005).

Otra alternativa para proteger el hábitat de la vaquita marina es la reconversión de la pesca por la acuicultura, para lo que CONAPESCA aportó 50 millones de pesos para el proyecto de rehabilitación y equipamiento de unas 200 hectáreas de la antigua granja camaronícola Maritech. Cabe destacar que no se consideró la protección de otras especies ecológica y comercialmente importantes, que utilizan el delta del río Colorado como zona de crianza. Aunque los límites de la

Figura 8. Prototipo de red suripera



Esquema de las atarrayas “suriperas”, demostrando su principio operativo.

Fuente: INPESCA/WWF (2009).

granja están en el área de amortiguamiento del decreto de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, en realidad el funcionamiento y el recambio de 20 por ciento del volumen diario de agua de la granja dependen de los canales Santa Clara y Santa Isabel, a los cuales arriban biomásas de huevecillos, así como estadios tempranos de peces y crustáceos, que tienen que ser removidos por filtración, durante el bombeo de agua del canal de llamada a la granja. Por tanto, si ésta llegara a tener problemas de virus, serían liberados a la zona núcleo de la reserva, lo que perjudicaría el funcionamiento ecológico de esa importante área de crianza, aunado a otros problemas asociados al propio manejo de las granjas.

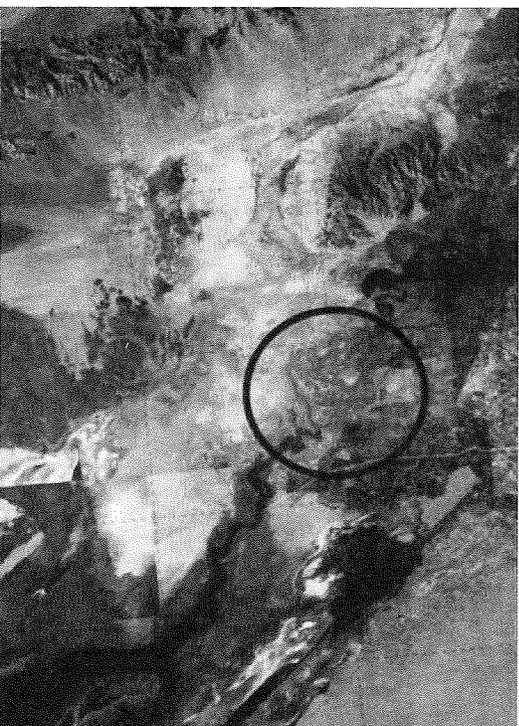
PROPUESTA DE RESTAURACIÓN

El efecto del represamiento del río en el estuario tiene componentes físicos, químicos y biológicos; la pérdida de protección física, por diferencias de salinidad, no podrá ser restaurada sin la liberación de un flujo abundante del río, por lo que en este caso se propone una restauración parcial, considerando la importancia de los nutrientes para sostener la productividad orgánica primaria. Por ello se sugiere utilizar las aguas residuales de origen doméstico de la planta de tratamiento Las Arenitas de Mexicali, B. C., que contiene concentraciones de nutrientes dos órdenes de magnitud mayores que el río, y que en la actualidad se están vertiendo al cauce del río Hardy. Si bien, consideramos que no tendrían las mismas proporciones de nutrientes que transportaba el río Colorado, con las elevadas concentraciones de nitratos y fosfatos de las aguas residuales se podría fertilizar el alto golfo de California, y favorecer el incremento de la productividad orgánica primaria y la recuperación del tamaño de las poblaciones de las especies estuario-dependientes.

En la actualidad estas aguas reciben un tratamiento secundario y son vertidas al río Hardy, por lo que es importante que las residuales se traten de forma adecuada, para que el efluente esté libre de virus y bacterias, de esa forma se evitarían riesgos de contaminación y problemas de salud. También, el desbalance entre el alto contenido de nutrientes, en relación con el tiempo de residencia de las aguas en el río Hardy, podría ocasionar problemas de eutrofización, crecimiento extraordinario de la población de microalgas y el consumo casi total de los nutrientes durante su trayecto. Para evitar lo anterior, se propone entubar las aguas de la planta Las Arenitas, y enviarlas a un lugar con intenso recambio de agua por efecto de la marea, para que sea el mecanismo natural de recambio de agua y bombeo hacia el delta del río y alto golfo (véase figura 9).

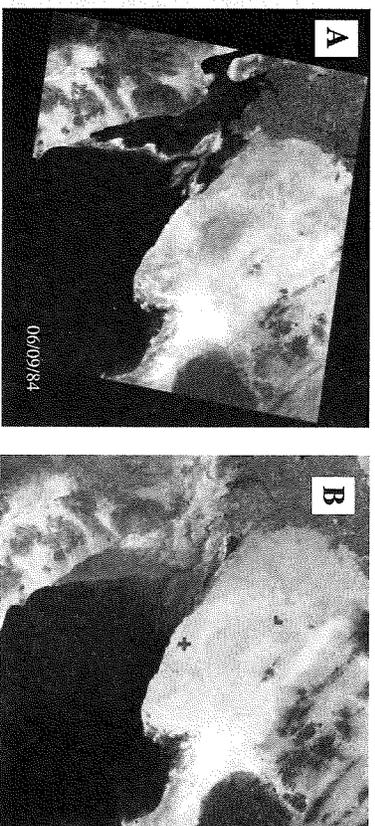
Con esta propuesta se crearía un miniestuario, que simularía de forma parcial el funcionamiento ripario y el estuario, en relación con los nutrientes y la productividad orgánica primaria. Esta acción simularía la importancia del río Colorado en el estuario, ya que es

Figura 9. Propuesta de restauración de un miniestuario utilizando aguas residuales domésticas



Fuente: imagen obtenida de Google Earth: sfo, NOAA, US Navy NGA, GEBCO (2011).

Figura 10. Cambios en las dimensiones del área de humedales: (A) con aporte y (B) sin aporte de agua del río Colorado



Fuente: imágenes de satélite Landsat 7, NOAA 1984 (A) y 1982 (B).

difficil restituir el área de humedales, que ha variado de 63 mil a 5 800 hectáreas, con y sin aporte del río respectivamente (véase figura 10) (Glenn et al. 1995). Estas áreas de inundación someras formaban parte importante del funcionamiento ecológico del delta, ya que servían de protección y crianza de las especies estuarino-dependientes. Así como el aporte de agua dulce del río, que disminuye la salinidad en el estuario, y forma una barrera física de protección, al impedir el paso de depredadores oceánicos al lugar de crianza. Ahora esta barrera de protección se ha perdido, y esto ocasiona mayor mortalidad por depredación y, por lo tanto, menor supervivencia de las especies estuarino-dependientes, entre ellas la vaquita marina y la totoaba.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Borrego, Saúl. 2001. The Colorado River Estuary and the Upper Gulf of California, Baja, Mexico. En *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*, editado por U. Seeliger y B. Kjerfve. Ecological Studies 144, Berlín y Heidelberg: Springer Verlag.
- Aragón Noriega, Eugenio A. 2000. Ecología del reclutamiento del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871) en el alto golfo de California. Tesis de doctorado en ecología marina, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada.
- Arvizu, J., y H. Chávez. 1972. FAO Fisheries. Sinopsis sobre la biología de la totoaba (*Cynoscion macdonaldi*), Gilbert 1890.
- Barlow, J. 1986. Factors Affecting the Recovery of *Phocoena sinus*, the Vaquita or Gulf of California Harbor Porpoise. Administrative Report No. II-86-37. NMFS.
- Barrera Guevara, Juan C. 1985. La totoaba: valioso recurso del NW de México. *Sonora Investigación y Desarrollo* (3): 2-4.

- Berdegué, A. J. 1955. La pesquería de la totoaba (*Cynoscion macdonaldi*) en San Felipe, Baja California. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 16 (1-4): 45-78.
- Brownell, R. L. 1983. *Phocoena sinus*. *Mammalian Species* 198: 1-3
- Carriguirri Beltrán, José D., Julio A. Villaseca Celaya, Víctor Camacho Ibar, Walter Daesslé y Pedro G. Castro Castro. 2011. The Effects of Damming on the Materials Flux in the Colorado River Delta. *Environment Earth Science* 62 (7): 1407-1418.
- Cupul Magaña, Amílcar L. 1994. Flujos de sedimentos en suspensión y de nutrientes en la cuenca estuarina del río Colorado. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- dof. 2005. Acuerdo mediante el cual se establece el área de refugio para la protección de la Vaquita (*Phocoena sinus*). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- \_\_\_\_\_. 1993. Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera, la región conocida como Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, ubicada en aguas del Golfo de California y los municipios de Mexicali, Baja California, Puerto Peñasco y San Luis Río Colorado, Sonora. 10 de junio.
- Fartán, Blanca C., y Saúl Álvarez Borrego. 1992. Biomasa del zooplánton del alto golfo de California. *Ciencias Marinas* 18 (3): 17-36.
- Flanagan, C. A., y J. R. Hendrickson. 1976. Observation on the Commercial Fishery and Reproductive Biology of the Totoaba (*Cynoscion macdonaldi*), in the Northern Gulf of California. *Fishery Bulletin* 74 (3): 531-544.

- Fleischer, L., R. Moncada Cooley, H. Pérez Cortés Moreno y A. Polanco Ortiz. 1996. Análisis de la mortalidad incidental de la vaquita (*Phocaena sinus*). Historia y actualidad (abril de 1994). INAPESCA. SEMARNAP, *Ciencia Pesquera* 13: 78-82.
- Fracking, P. L. 1981. A River no More, the Colorado River and the West. Nueva York: Alfred A. Knopf.
- Galindo Bect, Manuel S., Henry M. Page, Robert L. Petty, José M. Hernández Ayón, Eugenio A. Aragón Noriega y Héctor Bustos Serrano. 2007. Variación temporal en la abundancia de postlarvas y juveniles de camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*) y camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*) en el estuario del río Colorado. *Ciencias Marinas* 33 (3): 247-258.
- \_\_\_\_\_, Edward P. Glenn, Henry M. Page, K. Fitzsimmons, Luis A. Galindo Bect, José M. Hernández Ayón, Robert L. Petty, Jaqueline García Hernández y David Moore. 2000. Penaeid Shrimp Land-ling in the Upper Gulf of California in Relation to Colorado River Freshwater Discharge. *Fishery Bulletin* 98: 222-225.
- Glenn, Edward P., C. Lee, R. Felger y S. Zengel. 1995. Effects of Water Management on the Wetlands of the Colorado River Delta, México. *Conservation Biology* 10 (4): 1175-1186.
- Gerrodette, Tim, Barbara L. Taylor, René Swift, Shannon Rankin, Armando M. Jaramillo Legorreta y Lorenzo Rojas Bracho. 2011. A Combined Visual and Acoustic Estimate of 2008 Abundance, and Change in Abundance Since 1997, for the Vaquita (*Phocaena sinus*). *Marine Mammal Science* 27 (2): E79-E100.
- Hernández Ayón, José M., Manuel S. Galindo Bect, Bernardo P. Flores Báez y Saúl Alvarez Borrego. 1993. Nutrient Concentrations are High in the Turbid Waters of the Colorado River Delta. *Estuarine Coast and Shelf Science* 37: 593-602.
- Houde, E. D., y E. S. Rutherford. 1993. Recent Trends in Estuarine Fisheries: Predictions of Fish Productions of Fish Production and Yield. *Estuaries* 16 (2): 161-176.
- INAPESCA/WWF. 2009. Evaluación de las atarrayas "suriperas" como opción para la captura comercial de camarón en el alto golfo de California. Informe técnico final de las campañas 2007-2008 y 2008-2009: <http://www.wwf.org.mx>.
- Klinowska, M. 1991. Dolphins, Porpoises and Whales of the World. The International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red Data Book. Gland: IUCN.
- Lavín, Miguel F., y Salvador Sánchez. 1999. On how the Colorado River Affected the Hydrography of the Upper Gulf of California. *Continental Shelf Research* 19: 1545-1560.
- Lercari, Diego y Ernesto A. Chávez. 2007. Possible Causes Related to Historic Stock Depletion of the Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) (Perciformes: Sciaenidae), Endemic to the Gulf of California. *Fisheries Research* 86: 136-142.
- Millán Nuñez, Roberto, Eduardo Santamaría del Ángel, Ramón Cajal Medrano y Oscar A. Barocio León. 1999. El delta del río Colorado: un ecosistema con alta productividad primaria. *Ciencias Marinas* 25 (4): 509-540.
- Molina, D., Miguel A. Cisneros, R. Uñas, C. Cervantes y M. A. Márquez. 1988. Prospección y evaluación de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el golfo de California. Informe técnico no publicado. Centro Regional de Investigación Pesquera-Guaymas.
- NMFS. 1991. Endangered Species Act Status Review, Totoaba (*Chrosion macdonaldi*). Protected Species Management Administrative Report swr-91-01: 9.

- \_\_\_\_\_. 1979. Considerations of Designating the Totoaba (*Phococion macdonaldi*), as an Endangered Species under the Endangered Species Act of 1973. National Marine Fisheries Services. The Assistant Secretary for Science and Technology.
- Nixon, Scott W. 1992. Quantifying the Relationship Between Nitrogen Input and the Productivity of Marine Ecosystems. *Advances in Marine Technology Conference* 5: 57-83.
- Ordóñez López, Uriel y Margarita Ornelas Rojas. 2003. Variaciones de la comunidad de copépodos plánticos en el gradiente estuarino-costero de Celestún, Yucatán, México. *Hidrobiológica* 13 (3): 231-238.
- Rojas Bracho, Lorenzo, Randall R. Reeves y Armando Jaramillo Legorreta. 2006. Conservation of the Vaquita (*Phocoena sinus*). *Mammal Review* 36 (3): 179-216.
- \_\_\_\_\_. y B. L. Taylor. 1999. Risk Factors Affecting Vaquita (*Phocoena sinus*). *Marine Mammal Science* 15: 974-989.
- Román Rodríguez, Martha J. 1994. Edad y crecimiento de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) Gilbert en el alto golfo de California. Tesis de maestría en ecología marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Rowell, Kirsten, Karl W. Flessa, David L. Dettman, Martha J. Román, Leah R. Gerber y Lloyd T. Findley. 2008. Diverging the Colorado River Leads to a Dramatic Life History Shift in an Endangered Marine Fish. *Biological Conservation* 141: 1138-1148.
- Santamaria del Ángel, Eduardo, Saúl Álvarez Borrego y F. E. Müller Karger. 1994. The 1982-1984 *El Niño* in the Gulf of California as Seen in Coastal Zone Color Scanner Imagery. *Journal of Geophysical Research* vol. 99.
- Santa Ríos, Andrea. 2012. Dinámica de nutrientes en el delta del río Colorado. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- Secretaría de Relaciones Exteriores. 1975. La salinidad del río Colorado, una diferencia internacional. Colección del archivo histórico diplomático mexicano. Tercera época, Serie Documental/13: 175.
- Silber, G. K., y K. S. Norris. 1991. The Geographic and Seasonal Distribution of the Vaquita (*Phocoena sinus*). *Anales del Instituto de Biología* 62: 263-268.
- Snow, G. C., J. B. Adams y G. C. Bate. 2000. Effect of River Flow on Estuarine Microalgal Biomass and Distribution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51: 255-266.
- Vidal, Omar. 1990. Population, Biology and Exploitation of Vaquita (*Phocoena sinus*). International Whaling Commission sc/42/SMSM24.
- Pedín Osuna, Oscar A., Julio H. Córdova Murueta y M. Delgado Marchena. 2001. Crecimiento y mortalidad de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) del alto golfo de California. INAPESCA-SAGARPA, México. *Ciencia Pesquera* 15.