

Contaminación Marina

Reporte Regional

Monitoreo Sinóptico

Para el Proyecto
Sistema Arrecifal Mesoamericano

Por:

Dr. Gerardo Gold Bouchot
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
Unidad Mérida

Noviembre de 2002

Resumen Ejecutivo

La información que hay disponible sobre contaminación marina en la región del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) es muy escasa, y casi toda está dispersa en la llamada "literatura gris", esto es, reportes técnicos de proyectos, reportes gubernamentales, tesis, etc. que generalmente son difíciles de obtener. Hay algunos trabajos publicados en la literatura científica, lo que tiene las ventajas de estar disponibles y haber pasado por un proceso de revisión. La mayor parte de los trabajos encontrados se refieren a niveles de nutrimentos (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos y silicatos) y/o niveles de bacterias coliformes, y muy pocos sobre contaminantes tóxicos (plaguicidas, metales pesados, hidrocarburos, etc.) que sin embargo son la mayoría de los que están publicados en las revistas científicas. Esto es un hecho curioso, pues prácticamente todos los trabajos de revisión o de síntesis de la información se refieren a la contaminación por los agroquímicos e hidrocarburos como una de las amenazas principales en la región.

El diagnóstico elaborado por los consultores nacionales sobre las capacidades técnicas, tanto en términos de personal capacitado como de infraestructura analítica muestran un panorama semejante al de los trabajos encontrados. Los cuatro países disponen de personal y equipo para determinar nutrimentos y bacterias fecales, pero solo México tiene laboratorios analizando rutinariamente contaminantes tóxicos en muestras marinas. Esto implica que hay una necesidad regional de fortalecer las capacidades nacionales para llevar a cabo el Programa Sinóptico de Monitoreo, tanto a nivel de personal capacitado como de infraestructura analítica. Si se quiere que el monitoreo se lleve a cabo durante un tiempo suficientemente largo, que permita tomar medidas de manejo racionales, entonces hay que capacitar personal al máximo nivel posible, esto es, a nivel de postgrado (maestría y doctorado). La capacitación a corto plazo no sería suficiente.

La carencia de información sobre los niveles de los contaminantes tóxicos, así como la relativa ausencia de grupos de investigación trabajando activamente sobre aspectos de contaminación y ecotoxicología acuáticas, presentan grandes retos para el Programa Sinóptico de Monitoreo del SAM, pero al mismo tiempo representan una gran oportunidad para que el Programa contribuya de manera fundamental al conocimiento de estos aspectos y por lo tanto, al manejo sostenible de los ecosistemas de la región.

En base a la situación detectada en los países participantes, se propone que se monitoreen los grupos de contaminantes tóxicos que se han detectado como mas usados en la región, usando cuando esto es posible, sustitutos que sean más fáciles de analizar y que no se necesite equipo tan costoso. Así se propone el monitoreo de los plaguicidas organofosforados y carbámicos determinando la inhibición de colinesterasas en músculo y el monitoreo de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) analizando sus metabolitos en bilis de peces o glándula digestiva de moluscos. Finalmente se propone el análisis de plaguicidas organoclorados (incluyendo los bifenilos policlorados, o PCBs) directamente pues no hay sustitutos. Inicialmente estos análisis se pueden realizar en otros laboratorios por contrato.

También se propone la implementación de un programa de control y aseguramiento de la calidad analítica, que permita confiar en la calidad de los resultados y su comparabilidad entre los países.

Introducción

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más diversos del mundo, y por su belleza escénica, que los hace un destino turístico de primer orden, y su importancia ecológica, han sido objeto de importantes esfuerzos, tanto nacionales como internacionales, para su protección. Los corales han sido explotados intensamente, tanto para la extracción de materiales de construcción, peces y otros organismos de ornato, pesca y turismo. Esto los ha colocado en una situación difícil, ya que son amenazados por una serie de factores que pone en duda su viabilidad a largo plazo. Recientemente Hodgson (1999) publicó una revisión sobre los efectos de las actividades humanas sobre los arrecifes de coral a escala global. En esta revisión se enfatiza que los efectos de las actividades humanas no se entienden claramente, particularmente a escalas regionales o globales. Una de las áreas críticas identificadas en esta revisión son los arrecifes del Caribe noroccidental, que es precisamente el área de estudio de este proyecto.

El proyecto para la conservación del Sistema Arrecifal Mesoamericano se compone de distintos programas. Uno de estos programas es el Programa de Monitoreo Sinóptico, que a su vez se divide en varias partes, una de las cuales es el Monitoreo de Contaminantes (GEF, 2001). Para fundamentar y diseñar este componente se realizó una consultoría que debía, entre otras cosas, coordinar las actividades de un consultor nacional por cada país. Estos consultores nacionales debían realizar un análisis de su país, en términos de la información disponible sobre la contaminación marina (en el litoral del Atlántico solamente, para aquellos países con costas sobre los océanos Pacífico y Atlántico), y hacer un diagnóstico sobre las capacidades nacionales en materia de análisis de contaminantes (particularmente los contaminantes tóxicos tales como los plaguicidas, metales pesados, hidrocarburos del petróleo, etc.) en términos tanto del personal capacitado como de la disponibilidad del equipo analítico necesario para realizar estas mediciones. Este Reporte Regional presenta la información obtenida, no solo por los consultores nacionales, sino por el Consultor Internacional. Los Reportes de País elaborados por los respectivos Consultores Nacionales se anexan a este Reporte Regional.

Para obtener información adicional a la obtenida por los Consultores Nacionales se realizaron búsquedas de información usando medios electrónicos, pues el tiempo disponible no permitía otra cosa, además de que los Consultores Nacionales debían recopilar la información disponible localmente en sus países, en particular la

"literatura gris", esto es, los reportes técnicos de proyectos, reportes de agencias gubernamentales u ONGs, tesis, etc. y que generalmente no están fácilmente disponibles para el público. Se usaron las bases de datos de *ASFA* (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts) en disco compacto de 1975 hasta 2001, *Web of Science* y *Science Citation Index* (Institute for Scientific Information) en Internet, así como sitios convencionales de búsqueda por Internet tales como *Google* y *Altavista*.

Los resultados de los análisis de contaminantes tóxicos son particularmente importantes por varias razones: Muchos de estos contaminantes son persistentes, y pueden permanecer en el ambiente durante décadas como es el caso de algunos plaguicidas o miles de años, como es el caso de los metales pesados; Todos los contaminantes incluidos en la lista de "los doce sucios" (DDT, hexaclorobenceno, dioxinas, etc.) elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (PNUMA) pertenecen este grupo y están sujetos a programas internacionales de eliminación de su uso y monitoreo de sus niveles en el ambiente; Su análisis en muestras ambientales requiere cierto nivel de capacitación y equipo analítico caro y sofisticado. La falta de información sobre niveles y efectos de contaminantes en sistemas arrecifales no debe ser tan sorprendente, pues aún en la Gran Barrera Arrecifal de Australia hay relativamente pocos trabajos sobre estos temas. Así, Hutchings y Haynes (2000), en su reciente introducción a un número especial del *Marine Pollution Bulletin* sobre fuentes, destino y consecuencias de los contaminantes en la Gran Barrera Arrecifal afirman que se conoce muy poco sobre los efectos acumulativos y subletales de los contaminantes sobre los corales y comunidades asociadas. Esta opinión es compartida por Haynes y Johnson (2000), quienes hacen un llamado a complementar los análisis químicos de contaminantes con el uso de biomarcadores diseñados para ambientes tropicales.

Un antecedente regional digno tomarse en cuenta fue el Programa CARIPOL (Atwood *et al.* 1987) que durante varios años coordinó la Subcomisión para el Gran Caribe y Áreas Adyacentes (IOCARIBE) de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO. Este programa fue muy exitoso mientras se enfocó en mediciones relativamente simples, como la medición de alquitranes en playas y de hidrocarburos disueltos/dispersos. Los datos se sistematizaron en una base de datos electrónica con decenas de miles de registros que actualmente está alojada en la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en Washington. Cuando este programa intentó hacer análisis que requerían instrumentación costosa y personal altamente calificado fracasó (entre otras razones).

Resultados

a) General

Los resultados obtenidos, tanto en las búsquedas electrónicas como en las realizadas por los Consultores Nacionales, mostraron que hay muy pocos trabajos publicados (menos de diez) en la literatura científica, por lo tanto disponibles al público y que han sido sometidos a escrutinio académico antes de ser publicados. La mayoría de la información está en la "literatura gris", que es mucho más difícil de obtener. Esto hace que esta información no esté disponible, en términos prácticos, para entender la situación de la contaminación marina en la región del SAM y por lo tanto tampoco para manejar de una manera sostenible los ecosistemas que lo conforman. En particular la información disponible no permite establecer patrones geográficos ni tendencias temporales de la contaminación, lo que dificulta tomar medidas de remediación, mitigación o control de fuentes.

Hay documentos generales, que presentan descripciones a gran escala, y describen los principales problemas ambientales detectados para cada país. En los libros "Seas at the millenium", editados por Charles Sheppard (quien es el editor en jefe de la revista *Marine Pollution Bulletin*) tiene capítulos sobre Belice (Harborne *et al.*, 2000) y el Golfo de México, que describe también el Caribe Mexicano (Vázquez Gutiérrez *et al.*, 2000). Harborne *et al.* (2001) publicaron una descripción similar para Honduras. Reef Base tiene disponible en Internet descripciones para los cuatro países del SAM (Reef Base,s/f). En el caso de México hay varias compilaciones que hacen una revisión de la situación de la contaminación en el país. Lilia Albert hizo una revisión de los plaguicidas organoclorados (Albert, 1996), De la Lanza (1991) hace una revisión sobre los mares mexicanos, incluyendo el Caribe; Villanueva y Vázquez-Botello (1992) revisan los datos de metales pesados, y Villanueva *et al.* (1997) revisan los niveles de hidrocarburos del petróleo. Estas evaluaciones coinciden en considerar la contaminación como uno de los problemas prioritarios en el medio marino de cada país. En particular se mencionan la agricultura, las descargas de aguas negras sin tratar, y los hidrocarburos del petróleo (por el tránsito de buques-tanque, etc.) como las principales fuentes de contaminantes en la región. Es notable que se identifique a los plaguicidas e hidrocarburos como problemas ambientales, pues con la excepción de México, casi no hay resultados en la literatura científica sobre niveles de estos contaminantes en el medio marino. Sin embargo, por la actividad agrícola en la cuenca de los principales ríos que descargan en la

región, y por el movimiento portuario de carga y descarga de combustibles, es una suposición razonable, y esta es una de las conclusiones de Dulin *et al.* (1999) en su análisis de amenazas en la región.

La información encontrada presenta un patrón interesante, pues la gran mayoría de la información en la "literatura gris" se refiere a concentraciones de nutrimentos (nitratos, nitritos, amonio, silicatos y fosfatos) y conteos de bacterias coliformes, mientras que la mayoría de los trabajos publicados en la literatura internacional y libros académicos se refiere a contaminantes tóxicos. Esto se debe a que las mediciones de niveles de nutrimentos y bacterias coliformes están en las legislaciones de prácticamente todos los países del mundo, y son realizados muchas veces por agencias gubernamentales que no tienen entre sus objetivos el publicar resultados en revistas técnicas. Por otro lado, las determinaciones de contaminantes tóxicos son realizados generalmente por instituciones académicas, más interesadas en difundir sus resultados y someterlos al escrutinio de sus colegas.

Otra tendencia de los resultados encontrados es que, excepto por el monitoreo que realiza el Coastal Zone Management Authority and Institute de Belice desde hace varios años (Coastal Zone Management Authority and Institute, 2000), no hay series de tiempo largas en el SAM, al menos no que hayan sido sistematizadas y presentadas en un reporte disponible públicamente. Ciertamente puede haber esfuerzos sistemáticos de monitoreo, pero no han sido sistematizados ni difundidos ampliamente.

b) Belice

Para Belice se encontraron cuatro trabajos sobre contaminación, dos de ellos sobre plaguicidas organoclorados, uno sobre metales pesados en sedimentos y otro sobre nutrientes y bacterias en la cuenca de la presa de Mollejón. De los trabajos sobre plaguicidas, uno es sobre niveles de plaguicidas en huevos de cocodrilo (Wu *et al.*, 2000) y uno sobre plaguicidas en el aire (Alegria *et al.*, 2000). Gibbs y Guerra (1997) reportaron niveles de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Belice. Eaton *et al.* (1999) reportaron concentraciones de nutrientes y conteos bacterianos en el área de la presa Mollejón. Aunque ciertamente limitados, estos estudios muestran que hay problemas todavía con los plaguicidas organoclorados, aunque su uso se haya prohibido o limitado. Los plaguicidas encontrados concuerdan generalmente en las muestras de huevos de cocodrilos y

en el aire, así como con los encontrados en peces y sedimentos de la bahía de Chetumal, México (Noreña *et al.*, 1998), fronteriza con Belice.

El Reporte de País (Fernandez, 2002) menciona que los productos agrícolas representan el 90% de las exportaciones, y la industria que hay es ligera, como por ejemplo la manufactura de baterías, la producción de ron y cerveza, y el procesamiento de alimentos. En Belice se hace el que probablemente sea el monitoreo de la zona costera más antiguo en la región, realizado por la Autoridad e Instituto de Manejo de la Zona Costera (Coastal Zone Management Authority and Institute, 2000).

El Reporte identifica las descargas urbanas y la agricultura como las principales amenazas a la zona costera (en términos de contaminación). En el caso de la agricultura el mayor uso de agroquímicos se da en los cultivos de caña de azúcar, cítricos y papaya. La industria está concentrada alrededor de la ciudad de Belice, y un estudio encontró en 1997 (Gibbs and Guerra, 1997) niveles elevados de algunos metales (plomo, cadmio, cobre y zinc) en los sedimentos del puerto. Sin embargo, otro estudio en 2001 (Vernon, 2001) encontró concentraciones mucho menores. Por ejemplo, la concentración de plomo en 1997 fue de 75 mg/kg mientras que en 2001 fue de 9 mg/kg, aunque no queda claro si los métodos analíticos, estaciones de muestreo, etc. fueron los mismos y por lo tanto si los resultados son directamente comparables. También se realizó un estudio sobre metales y plaguicidas en el distrito de Stann Creek (WRIScS, 2001), encontrando niveles muy bajos de ambos contaminantes en el río y prácticamente indetectables en la zona costera adyacente, concluyendo que el transporte por el río hacia el mar es mínimo.

El Reporte de País menciona que el Departamento del Ambiente adquirió recientemente equipo para análisis de residuos de contaminantes orgánicos y metales pesados (cromatógrafo de gases y espectrofotómetro de absorción atómica), y que se va a contratar personal adicional para efectuar estos análisis. Hay infraestructura para hacer las determinaciones de microorganismos fecales y determinaciones de nutrimentos en agua, y este tipo de análisis se hacen sistemáticamente.

c) Guatemala

El Reporte de País (Solórzano de Zepeda, 2002) menciona que los plaguicidas deben ser problema porque la agricultura es la principal actividad económica de Guatemala (25% del Producto Interno Bruto y 70% de las exportaciones). Se cita un estudio en la cuenca del Río Motagua, donde se encontraron cantidades significativas de Cipermetrina y plaguicidas organofosforados. Respecto a otros contaminantes tóxicos se menciona a los hidrocarburos del petróleo, debido al comercio de estos compuestos en la Bahía de Amatique. El país importa 1.47×10^6 ton/año por mar, lo que constituye un riesgo por las descargas al medio marino, ya sean por los procedimientos rutinarios de carga y descarga, lavado de tanques, etc. como por la posibilidad de derrames accidentales. También se mencionan las descargas urbanas como un problema ambiental en la costa atlántica de Guatemala. En particular se refiere que el Río Polochic y el Lago de Izabal están contaminados por descargas urbanas y bacterias fecales, presentando síntomas de eutrofización. En un estudio se encontraron concentraciones elevadas de algunos metales traza como el plomo, cobre, cinc, cromo y níquel disueltos en el agua del Puerto Santo Tomás de Castilla y los ríos Pichilingo, Zapatero, Escondido, Cacao y Quebrada Seca.

El Reporte de País no menciona explícitamente las capacidades analíticas disponibles en Guatemala, pero excluyendo las determinaciones de microorganismos fecales y determinaciones de nutrientes en aguas, no parece haber laboratorios realizando análisis de sustancias tóxicas en la zona costera del país. La infraestructura analítica parece existir, esto es, el equipo analítico existe, pero se usa para otro tipo de análisis.

Como en los otros países del SAM no hay un programa continuo de monitoreo de contaminantes, sobre todo tóxicos, en la costa del Caribe de Guatemala.

d) Honduras

En el caso de Honduras, Harborne *et al.* (2001) mencionan entre los principales impactos antropogénicos las descargas de aguas negras y a los agroquímicos. Ellos mencionan que las importaciones de plaguicidas han aumentado consistentemente en los últimos años, aunque "los datos sobre residuos de plaguicidas y sus efectos sobre los recursos marinos de la costa caribeña de Honduras parecen ser casi inexistentes". Los niveles de industrialización son bajos, como en casi toda la costa caribeña, pero hay puntos localizados con industria relativamente pesada, como Bahía Francesa, en la costa sur de

Roatán. También el incremento de la población en la costa, y el desarrollo del turismo amenazan la salud de los ecosistemas arrecifales.

En el Reporte de País (Marín, 2002) se mencionan pocos estudios de contaminación marina en la costa atlántica de Honduras. En uno se determinaron los parámetros generales de calidad del agua en Puerto Cortés, que solo encontró niveles preocupantes de coliformes fecales en algunas playas de uso recreativo pero no en otros parámetros como el pH, DBO y DQO. Otro estudio mencionado es sobre el impacto de una planta productora de energía, que encontró niveles elevados de sólidos, DBO, DQO, detergentes y sulfatos. Un dato interesante de este estudio es que no se encontraron niveles detectables de compuestos orgánicos volátiles ni plaguicidas organoclorados.

En los ríos Ulúa y Chamalecón se encontraron niveles de arsénico, plomo y mercurio disueltos que excedían los niveles considerados peligrosos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA). Los plaguicidas organoclorados y los bifenilos policlorados (PCBs por sus siglas en Inglés) estuvieron por debajo de los límites de detección analítica de los métodos empleados.

En un estudio en músculo de peces de la Isla de Utila (CESCCO, 1994), las concentraciones de PCBs estuvieron por debajo del límite de detección del método. Los plaguicidas con las concentraciones más altas fueron el DDT y el γ -Hexaclorociclohexano (Lindano), pero estuvieron por debajo de los límites permitidos. Tanto los PCBs como los plaguicidas organoclorados se consideraron que no representan un riesgo para la salud humana.

Cruz *et al.* (1990) realizaron un estudio sobre el transporte de desechos sólidos a la costa caribeña de Honduras, pero no encontraron niveles alarmantes. No parece haber, al menos en la literatura abierta una actualización de este estudio.

El Reporte de País no menciona explícitamente las capacidades analíticas disponibles en Honduras, pero excluyendo las determinaciones de microorganismos fecales y determinaciones de nutrientes en aguas, no parece haber laboratorios realizando análisis de sustancias tóxicas en la zona costera del país de manera sistemática. La infraestructura analítica parece existir, particularmente en el Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO), pero no parece que se hagan análisis rutinariamente.

Como en los otros países del SAM no hay un programa continuo de monitoreo de contaminantes, sobre todo tóxicos, en la costa del Caribe de Honduras.

e) México

Dado el tamaño y complejidad del país, la gran longitud de sus litorales (más de 11,000 km) y a que esta revisión se refiere únicamente a la región comprendida dentro del SAM, se decidió incluir únicamente la información existente sobre la costa del Estado de Quintana Roo (que comprende todo el Caribe Mexicano), y hacer el diagnóstico de capacidades analíticas únicamente en la zona adyacente al SAM.

El Reporte de País (Alvarez Legorreta, 2002a) identificó una serie de estudios publicados, tesis de licenciatura y postgrado, y reportes técnicos que hacen que el Caribe Mexicano, desde el punto de vista de la contaminación sea el área mejor conocida, y en particular la zona fronteriza entre México y Belice en la Bahía de Chetumal. A pesar del número relativamente alto de trabajos sobre contaminación en México, muy pocos son específicamente sobre zonas arrecifales, por lo que este es un punto importante a tomar en cuenta para futuros estudios.

Los niveles de plomo medidos en los anillos de crecimiento del coral *Montastrea annularis* en Cancún fueron más elevados que en Majahual (Medina-Elizalde, Gold-Bouchot y Ceja-Moreno, 2002), y más altos que los encontrados por otros investigadores en la misma especie en otras regiones del Caribe. Reyes y Merino (1991) y Merino *et al.* (1992) encontraron condiciones de eutrofización en la Laguna Nichupté, en Cancún, por descargas de aguas negras urbanas y de la zona hotelera.

En la Bahía de Chetumal es donde más trabajos se han publicado, y Rosado-May *et al.* (2001) hicieron una recopilación completa de todos los estudios publicados, reportes técnicos y tesis que se han hecho sobre la Bahía desde todos los puntos de vista, no nada más sobre contaminación. Por otro lado, Alvarez Legorreta (1999) hizo una compilación de los estudios de contaminación en la Bahía realizados por El Colegio de la Frontera Sur y su antecesor, el Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Finalmente, Rosado-May *et al.* (2002) publicaron las memorias de un simposio sobre la Bahía, donde se trataron diferentes aspectos, desde manejo y ecología hasta contaminación. Como puede verse la cantidad de información

generada es tal que ha merecido tres revisiones en dos años. No se encontraron estudios sobre contaminación en el lado beliceño de la bahía.

Así, se han reportado niveles de plaguicidas organoclorados (Alvarez Legorreta, 2002b; Noreña-Barroso *et al.*, 1998) y de metales pesados (García-Ríos y Gold-Bouchot, 2002) en los sedimentos de la Bahía, y se determinó que estos sedimentos son tóxicos (Zapata-Pérez *et al.*, 2000). También se han determinado plaguicidas y otros compuestos organoclorados, así como biomarcadores de exposición y efecto en el Bagre Maya (*Ariopsis assimilis*; Noreña-Barroso *et al.*, 2002). Ortiz-Hernández y Sáenz-Morales (1997) determinaron niveles de detergentes y ortofosfatos, y Ortiz-Hernández y Sáenz-Morales (1999) conteos de bacterias en el agua de la Bahía. Euán-Avila *et al.* (2002) caracterizaron las fuentes no puntuales de contaminación de origen agrícola a la Bahía, y finalmente Herrera-Silveira *et al.* (2002) determinaron que en general la Bahía presenta síntomas de eutrofización. Estos estudios muestran que la Bahía tiene problemas serios de contaminación, y dado que es un ecosistema compartido entre México y Belice las soluciones a estos problemas deben abarcar la cuenca completa del Río Hondo, y por lo tanto a los dos países.

Mención aparte merecen dos estudios realizados en la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, la segunda más grande de México. Gold-Bouchot *et al.* (1998) encontraron que los niveles de algunos plaguicidas en los sedimentos, como los hexaclorociclohexanos y los clordanos, eran similares a los encontrados en la Bahía de Chetumal. Casi simultáneamente Nipper y Carr *et al.* (2001) reportaron que todas las muestras, excepto una, muestras eran tóxicas de acuerdo a las pruebas de toxicidad usando gametos y huevos de erizo. Dado que se trata de un área protegida muy grande, sin fuentes aparentes de contaminantes, y a que su línea de costa abarca una porción considerable de la parte mexicana del SAM, estos resultados son preocupantes. Sin embargo, muestras colectadas más recientemente, en 2003, no presentaron toxicidad y las concentraciones de hidrocarburos, plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en el agua intersticial de los sedimentos fueron muy bajas (Scott Carr y Gerardo Gold-Bouchot, comunicación personal).

Finalmente, en el Reporte de País (Alvarez Legorreta, 2002a) se mencionan una serie de reportes técnicos y tesis que analizan niveles de hidrocarburos disueltos/dispersos y nutrimentos en Cozumel y la zona de CALICA, Quintana Roo, así como una serie de reportes producidos por El Colegio de la Frontera Sur y la Unidad Mérida del

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados sobre la mortalidad masiva de bagres (*A. assimilis*) que ocurrió en 1996.

Como en los otros países del SAM no hay un programa continuo de monitoreo de contaminantes, sobre todo tóxicos, en la costa del Caribe de México, aunque la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales que maneja las áreas protegidas en la costa del Caribe ha iniciado recientemente un esfuerzo para estandarizar los métodos de monitoreo, la colecta de la información su sistematización.

Los principales contaminantes tóxicos detectados en la región del SAM, tanto aquellos analizados directamente en estudios como aquellos que han sido detectados como amenazas posibles por su uso, se resumen en la tabla siguiente. En todos los países del SAM se realizan, de una manera no sistemática excepto en el caso de Belice y actualmente en México en algunas áreas naturales protegidas como Cancún e Isla Mujeres, análisis de nutrimentos y bacterias fecales.

País	Contaminantes Analizados	Contaminantes Potenciales
México	Metales, plaguicidas (organofosforados y organoclorados), PCBs, hidrocarburos, nutrimentos, bacterias coliformes	Todos los anteriores
Belice	Metales, nutrimentos, bacterias coliformes	Plaguicidas (organofosforados y organoclorados) e hidrocarburos
Guatemala	Metales, nutrimentos, bacterias coliformes	Metales, plaguicidas (organofosforados y organoclorados), PCBs, hidrocarburos
Honduras	Metales, plaguicidas (organofosforados y organoclorados), PCBs, nutrimentos, bacterias coliformes	Hidrocarburos

Es interesante notar que aunque el nivel de industrialización en general no es alto en la región del SAM los contaminantes tóxicos más analizados son los metales pesados, y otros contaminantes tóxicos mencionados como amenazas a los corales como los plaguicidas, han sido estudiados mucho menos. Otro aspecto notable es la ausencia de

programas sistemáticos de monitoreo de la zona costera en general, y de las zonas arrecifales en particular.

Los contaminantes tóxicos más reportados son el DDT, el Lindano (γ -hexaclorociclohexano), el plomo, mercurio y endosulfán. Los hidrocarburos sólo se han analizado en la Bahía de Chetumal, en Cancún y en Sian Ka'an.

f) Infraestructura analítica y humana

En los cuatro países que participan en el SAM hay grupos, tanto en el sector académico como el gubernamental, con personal y equipo adecuados para realizar las mediciones básicas de lo que se conoce como *calidad del agua*. Esto es, las mediciones de las concentraciones en el agua de los nutrimentos vegetales (nitritos, nitratos, fosfatos, silicatos y amonio), pH, temperatura, salinidad, turbidez, etc. También hay grupos capaces de realizar conteos de bacterias coliformes en el agua de mar. Esto se debe a que, como en prácticamente todos los países del mundo, estos parámetros están considerados en las respectivas legislaciones ambientales y/o sanitarias y es necesario hacer estas mediciones para cumplir con dicha legislación.

En el caso del monitoreo ambiental, estas mediciones se realizan muchas veces de manera rutinaria en los estudios ecológicos generales, pues permiten interpretar o explicar los resultados de la abundancia o diversidad biológicas. Desde el punto de vista de la contaminación permiten tener una idea de si la zona bajo estudio está pasando por un proceso de eutrofización, esto es, si hay una sobre-fertilización del agua, lo que puede conducir a un crecimiento explosivo de las plantas, cambios en la composición de especies y, si el proceso sigue su curso, a la falta total de oxígeno en el agua debido a la descomposición de los organismos. Las bacterias coliformes tienen una importancia principalmente sanitaria, ya que no hay estudios hasta la fecha que indiquen que su presencia es dañina a los organismos acuáticos.

Sin embargo, desde el punto de vista de los contaminantes tóxicos la situación es muy distinta. Basados en la información proporcionada por los consultores nacionales, y la búsqueda electrónica de información, solamente en México, y parcialmente en Honduras, hay actualmente laboratorios activos realizando análisis de estos contaminantes. En los pocos trabajos que hay en los otros países, los análisis se han realizado generalmente en el extranjero.

Esto hace necesaria una estrategia coordinada de fortalecimiento de las capacidades, tanto de personal como de infraestructura en los países de la región, pues aún en México estas capacidades están limitadas.

Una solución de corto plazo sería establecer un programa de capacitación, que permitiera entrenar a un número de personas en las técnicas analíticas y de control de calidad necesarias para el análisis de contaminantes en muestras ambientales. Sin embargo, como la experiencia del Programa CARIPOL muestra, esto debe ir acompañado de una estrategia a mediano plazo de fortalecimiento de la capacidad analítica de los laboratorios, y sobre todo de educación de personal a nivel de postgrado (maestría y doctorado), que permita no solo el análisis químico de las muestras, sino la interpretación correcta de los resultados y el diseño de programas de investigación y monitoreo en la región. En este sentido, se propone que se busquen activamente fondos que permitan fortalecer las capacidades nacionales en estos dos aspectos. Así, se puede enviar a jóvenes talentosos a universidades y centros de investigación del extranjero a realizar estudios de postgrado, con el compromiso de realizar su tesis de grado en temas relevantes para la región y el SAM en particular. Esto implica que tengan una plaza de trabajo asegurada a su regreso, así como las condiciones de infraestructura apropiadas para realizar su trabajo, pues esta es la única manera de asegurar que el Programa Sinóptico de Monitoreo, en su componente de contaminación, sea sostenible a largo plazo.

g) Monitoreo de Contaminantes

La mayoría de las revisiones generales, y diagnósticos señalan a los contaminantes, y en general a los agroquímicos e hidrocarburos como una de las más serias amenazas a la salud de los ecosistemas arrecifales de la región. Sin embargo, estas sustancias son tóxicas sub-letalmente a concentraciones muy bajas, a nivel de trazas (partes por millón) como es el caso de los hidrocarburos, o ultra-trazas (partes por mil millones), como los plaguicidas.

El análisis de estas sustancias a niveles tan bajos, en matrices muy complejas como pueden ser los tejidos de los organismos, no es fácil y requiere de instrumentación (cromatógrafos de gases, cromatógrafos acoplados a espectrómetros de masas, espectrofotómetros de absorción atómica con vaporización electroquímica, etc.) costosa, pero sobre todo cara de operar y mantener. Estos análisis requieren de personal altamente capacitado

para operar adecuadamente estos equipos, y sobre todo interpretar adecuadamente los resultados. Además, los análisis son caros pues se necesitan reactivos de alta pureza.

Estas dificultades, y la ausencia relativa de laboratorios con el personal y el equipo adecuados en la región, obliga a proponer estrategias que permitan usar mediciones más simples y que permitan tener una visión de la situación de la contaminación en los ecosistemas arrecifales, de pastos y manglares en la región. Desde luego, si las circunstancias lo permiten y la situación lo amerita se pueden realizar análisis más sofisticados que los propuestos en este documento.

Los insecticidas más usados actualmente son los llamados organofosforados y los carbamatos (Paratión, Malatión, Clorpirifos, Carbaryl, etc.), que se desarrollaron a partir de que se descubrió que los plaguicidas de primera generación, los plaguicidas organoclorados tales como el DDT, Aldrin, Endrin, Lindano, etc., eran altamente dañinos al ambiente debido a su persistencia y tendencia a bioacumularse en los tejidos de los organismos. Los plaguicidas organofosforados se degradan muy rápidamente (comparados con los clorados) pero muchas veces sus metabolitos también tienen actividad tóxica (Fulton y Key, 2001), y no son una familia de compuestos relativamente homogénea, lo que hace que su análisis sea difícil. Esto ha hecho que en lugar de analizar químicamente estos compuestos, o como una primera aproximación para decidir su análisis, se realicen análisis de inhibición de acetilcolinesterasa, que es la enzima que inhiben estos plaguicidas (Fulton y Key, 2001).

→ Así, en lugar de analizar directamente los plaguicidas fosforados y carbámicos se recomienda analizar la actividad de la acetilcolinesterasa en músculo de peces (u otros organismos). Esta determinación es mucho más simple y requiere instrumentación más sencilla, ampliamente disponible en la región.

La fracción más tóxica de los hidrocarburos son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs por sus siglas en Inglés). Estos compuestos son altamente tóxicos, y sobre todos los de alto peso molecular tienen un alto potencial carcinogénico. La EPA lista más de 20 compuestos de los PAHs en su lista de contaminantes prioritarios. Se ha reportado (Negri y Heyward, 2000) que a concentraciones de 70 µg/L se inhibió la fertilización de gametos del coral *Acropora millepora*, así como la metamorfosis larval. Estas concentraciones, y mayores, han sido reportadas en algunos sitios en el Caribe Mexicano. Su análisis requiere de la cromatografía de gases acoplada a espectroscopia de masas (GC/MS), equipo no fácilmente disponible en

la región. Sin embargo, el análisis de los metabolitos de los PAHs en la bilis de los peces (o en la glándula digestiva o hepatopáncreas de los invertebrados) es muy simple, y tiene la ventaja de que se determina la fracción de los contaminantes que ya han sido metabolizados, y por lo tanto pueden ejercer su acción tóxica (Ariese *et al.*, 1993; Ass *et al.*, 1998). Por esta razón, la asociación entre las concentraciones de los metabolitos y los posibles efectos en los organismos es más directa.

Así, en lugar de analizar directamente los hidrocarburos aromáticos policíclicos se recomienda analizar los metabolitos en bilis de peces (o en la glándula digestiva o hepatopáncreas de invertebrados). Esta determinación es mucho más simple y requiere instrumentación más sencilla, ampliamente disponible en la región.

Finalmente, los plaguicidas organoclorados (y el grupo químicamente similar de los bifenilos policlorados, o PCBs por sus siglas en Inglés) constituyen la mayoría de los compuestos listados en la “docena sucia” del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Estos compuestos, debido a su alta persistencia en el ambiente, su tendencia a la bioacumulación y bioamplificación, y la recientemente descubierta capacidad de transporte global hacia los polos, los hace un grupo prioritario de compuestos a monitorear en el SAM. En varios puntos dentro de la región, como la Bahía de Chetumal (Noreña-Barroso *et al.*, 1998; Alvarez Legorreta, 2002b), la Reserva de Sian Ka’an (Gold-Bouchot *et al.*, 1998), y Belice (Alegria y Bidleman, 2000; Wu *et al.*, 2000) se han detectado niveles relativamente altos de estos compuestos, lo que confirma la necesidad de monitorearlos en la región.

Desgraciadamente en el caso de los plaguicidas organoclorados no hay un sustituto sencillo para su determinación, por lo que se recomienda analizarlos directamente, tanto en el hígado (o su equivalente funcional en invertebrados, como puede ser el hepatopáncreas) de los organismos como en sedimentos. En una primera etapa los países que no tienen la capacidad de analizarlos localmente pueden coleccionar las muestras y enviarlas para su análisis a laboratorios de otros países. En paralelo se debe trabajar en fortalecer las capacidades nacionales para el análisis de estos compuestos, para que en una segunda etapa sean analizados localmente.

Los análisis de organismos deben realizarse mensualmente durante al menos dos a tres años, para tener una idea de la variabilidad temporal de estos parámetros, y el posible efecto de la época del año, y por lo tanto del estado reproductivo de los organismos. Los análisis de sedimentos se pueden hacer una o dos

veces al año, pues generalmente las tasas de sedimentación no son suficientemente altas para permitir un muestreo más frecuente.

Una parte muy importante de cualquier programa de monitoreo consiste en asegurar la calidad e intercomparabilidad de los datos obtenidos. Esto es particularmente importante cuando son programas internacionales, ya que es vital poder confiar en la calidad de los resultados y poder compararlos, ya sea entre distintas zonas o países, o en distintos tiempos.

En este sentido debe implementarse un programa de control y aseguramiento de la calidad analítica. Esto es relativamente sencillo en el caso de los plaguicidas organoclorados, pues existen materiales certificados de referencia para tejidos de organismos marinos (mejillones, ostras y peces) y sedimentos. La NOAA de los Estados Unidos mantiene una base de datos de materiales certificados de referencia marinos existentes en el mercado.

Este programa debe especificar, entre otras cosas, el número de determinaciones en blanco, blancos enriquecidos para determinar recuperación, y número de muestras de materiales certificados de referencia por lote de muestras a analizar. En principio se propone analizar un blanco y un blanco enriquecido por cada lote de 10 muestras, así como repetir (a ciegas) el 10% de los análisis. Durante cada ciclo del monitoreo (cada seis meses, por lo menos) debe analizarse por triplicado (a ciegas) un material certificado de referencia.

Como parte del programa de aseguramiento y control de calidad, cada laboratorio participante debe mantener un cuaderno exclusivamente para las actividades dentro del Programa de Monitoreo Sinóptico, donde se registren todas las actividades analíticas, como calibraciones del equipo, estándares usados, resultados instrumentales, número de lote de los reactivos usados, etc.

Para el análisis de colinesterasas y metabolitos de PAHs en bilis no hay materiales certificados de referencia, por lo que se propone la fabricación y validación de materiales de referencia para estos parámetros. Esto se puede hacer por contrato con los organismos de metrología de los países, o laboratorios académicos.

También deben organizarse ejercicios de intercalibración, obligatorios para los laboratorios participantes. Para esto puede establecerse un convenio con el Laboratorio Ambiental Marino de la

IAEA/UNEP en Mónaco, el Programa QUASIMEME de la Unión Europea, o los organismos metroológicos de los países.

Un punto importante es la selección de la(s) especie(s) para el análisis de plaguicidas organoclorados, metabolitos de los PAHs y colinesterasas en organismos. Es importante la selección de los organismos a analizar, pues para poder comparar los resultados es importante que todos los países participantes usen la misma especie, aunque localmente se puedan analizar individuos de otras especies adicionalmente. El organismo seleccionado debe cumplir, por lo menos, con las siguientes características:

- Estar presente en toda la región.
- Vivir y/o alimentarse en el fondo.
- Ser suficientemente abundante todo el año.
- Fácil de capturar.
- Fácil de identificar.
- De tamaño suficientemente grande.
- No ser especie protegida.

Se propone un estudio para identificar a la(s) especie(s) que se usará(n) para el monitoreo sinóptico. Se puede contratar a una institución o laboratorio académico para hacer esto. Desde luego los países participantes pueden localmente usar otras especies de interés para ellos, además de la(s) especie(s) seleccionada(s). Para una primera fase, en consulta con ictiólogos de la región, se propone usar el “ronco” *Haemulon plumieri* como organismo para realizar los análisis de contaminantes pues cumple con los requisitos mencionados anteriormente.

Conclusiones

- Hay muy poca información disponible sobre la contaminación en el SAM. La poca que hay está concentrada principalmente en México.
- Hay instituciones, tanto gubernamentales como académicas, con capacidad para realizar análisis de calidad del agua en los cuatro países participantes.
- Sólo en México hay laboratorios actualmente activos realizando análisis de contaminantes tóxicos en muestras marinas.

- Se propone el monitoreo de los plaguicidas organofosforados y carbámicos usando la inhibición de la acetilcolinesterasa en músculo, y el análisis de hidrocarburos mediante el análisis de los metabolitos de los PAHs en bilis de peces (o glándula digestiva en moluscos). Los plaguicidas organoclorados se deben analizar directamente, pues no hay sustitutos más simples.
- Debe implementarse un programa de control y aseguramiento de la calidad analítica, incluyendo el análisis de blancos, materiales certificados de referencia (cuando los haya disponibles), y muestras en duplicado.

Referencias Consultadas

Albert, L. A. 1996. Persistent Pesticides in Mexico. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 147: 1-44.

Alegria, H. A., Bidleman, T. F., and Shaw, T. J. 2000. Organochlorine Pesticides in Ambient Air of Belize, Central America. *Environmental Science and Technology*, 34(10): 1953-1958.

Alvarez Legorreta, T. 1999. Estudios sobre contaminación en la Bahía de Chetumal realizados por CIQROO y el Colegio de la Frontera Sur, 1993-2000. *AvaCient* 30: 30-38.

Alvarez Legorreta, T. 2002a. *Reporte Final de la Consultoría Nacional sobre Contaminación Marina en México*. Chetumal, Quintana Roo, México.

Alvarez Legorreta, T. 2002b. *Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos de la Bahía de Chetumal y del Rio Hondo. Una Revisión de los Estudios Realizados de 1993 a 1999*. En: F. J. Rosado-May, R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). *Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia*. Universidad Autónoma de Quintana Roo, México. P. 171-178.

Ariese, et.al. 1993. Synchronous fluorescence spectrometry of fish bile: A rapid screening method for the biomonitoring of PAH exposure. *Aquatic toxicology*, 26: 273-286.

Ass, Endre; Jonny Beyer and Anders Goksoyr. 1998. PAHs in fish bile detected by fixed wavelength fluorescence. *Marine Environmental Research*, 46 No. 1-5, pp225-228.

Atwood, D. K., Burton, F. J., Corredor, J. E., Harvey, G. R., Mata-Jimenez, A. J., Vazquez-Botello, A., and Wade, B. A. 1987. Results of the CARIPOL Petroleum Pollution Monitoring Project in the Wider Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 18(10): 540-548.

Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO). 1994. Determinación de Bifenilos Policlorados (BPC's) Residual y Plaguicidas Organoclorados en Peces Comestibles de la Bahía de la Isla de Utila.

Coastal Zone Management Authority and Institute. 2000. *State of the Coast Report of Belize*. Belize, 76 Pp.

Cruz, G. A., Lopez, V., and Sosa, C. 1990. Pollution by Solid Wastes Carried by Marine Currents to the Caribbean Coast of Honduras. *Revista de Biología Tropical*, 38(2A): 339-342.

De la Lanza Espino, G. (Compiladora). 1991. *Oceanografía de Mares Mexicanos*. AGT Editor, S. A. México, D. F.

Dulin, P., Bezauri, J., DotheroMcField, M., Basterrechea, M., Aspra de Lupiac, B., and Espinoza, J. 1999. *Conservation and Sustainable Use of the Meso-American Barrier Reef System in Mexico, Belize, Guatemala and Honduras: Threat and Root Cause Analysis*. (Draft).

Eaton, W. D., Van Zinderen, E., and Palacio, V. 1999. Nutrient and Microbial Análisis of Watersheds Above and Below the Mollejon Dam, Belice. *Mesoamericana*, 4(4): 132-137.

Euán-Avila, J.I., A. Licea-Correa y H. Rodríguez-Sánchez. 2002. *Caracterización de fuentes no puntuales de contaminación agrícola en el municipio de Othón P. Blanco en Quintana Roo, y su posible influencia en la Bahía de Chetumal*. En: F. J. Rosado-May, R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). *Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia*. Universidad Autonoma de Quintana Roo, México.

Fernández, Mario. 2002. *Belize Country Report*. Belize City, Belize.

Fulton, Michael H. and Key, Peter B. 2001. Acetylcholinesterase inhibition in estuarine fish and invertebrates as an indicator of organophosphorous insecticide exposure and effects. *Environ. Toxicol. Chem.* 20(1): 37-45.

Garcia-Rios, V. Y. y Gold-Bouchot, G. 2002. *Especiación de Metales Pesados en Sedimentos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, y la Acumulación en el Tejido Muscular de Bagres (Ariopsis assimilis)*. En: F. J. Rosado-May, R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). *Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia*. Universidad Autónoma de Quintana Roo, México. P. 149-160.

Gibbs, R. J. and Guerra, C. Metals in the Bottom Muds in Belize City Harbor, Belize. 1997. *Environmental Pollution*, 98(1): 135-138.

Gold-Bouchot, G., O. Zapata-Pérez y V. Ceja-Moreno. 1998. Plaguicidas organoclorados e hidrocarburos en sedimentos de la Reserva de Sian Ka'an, Quintana Roo. Reporte Final.

Global Environmental Facility. 2001. *Central America. The Conservation and Sustainable Use of the MesoAmerican Barrier Reef System (MBSR)*. Report No. 21786 LAC. Washington, DC.

Harborne, A. R., Afzal, D. C., and Andrews, M. J. 2001. Honduras: Caribbean Coast. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12): 1221-1235.

Harborne, A. R., McField, M. D., and Delaney, E. K. 2000. *Belize*. In: C. Sheppard (editor), *Seas at the Millenium: An Environmental Evaluation*. Volume I. Elsevier Science Ltd., New York, Oxford.

Haynes, D. and Johnson, J. E. 2000. Organochlorine, Heavy Metal and Polyaromatic Hydrocarbon Pollutant Concentrations in the Great Barrier Reef (Australia) Environment: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7-12): 267-278.

Herrera-Silveira, J. A., A. Jiménez-Saldivar, M. Aguayo-González, J. Trejo-Peña, I. Medina-Chan, F. Tapia-González, I. Medina-Gómez y O. Vázquez-Montiel. 2002. *Calidad del Agua de la Bahía de Chetumal a través de indicadores de su estado trófico*. En: F. J. Rosado-May, R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). *Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia*. Universidad Autónoma de Quintana Roo, México.

Hodgson, G. 1999. A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, 38(5): 345-355.

Hutchings, P. and Haynes, D. 2000. Sources, Fates and Consequences of Pollutants in the Great Barrier Reef. Editorial. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7-12): 265-266.

International Network on Water, Environment and Health. *Guidelines for Developing a Regional Monitoring and Environmental Information System*. Final Report to the World Bank.

Kammerbauer, J. and Moncada, J. 1998. Pesticide Residue Assessment in Three Selected Agricultural Production Systems in the Choluteca River Basin of Honduras. *Environmental Pollution*, 103(2-3): 171-181.

Marín, Mirna. 2002. *Reporte Final de la Consultoría Nacional de Honduras sobre Contaminación Marina*. Tegucigalpa, Honduras.

Medina-Elizalde Martín; Gold-Bouchot, Gerardo and Ceja-Moreno, Victor. 2002. Lead Contamination in the Mexican Caribbean Recorded by the Coral *Montastrea annularis* (Ellis and Solander). *Marine Pollution Bulletin*, 44: 421-431.

Merino, M., A. González, E. Reyes, M. Gallegos and S. Czitrom. 1992. Eutrophication in the lagoons of Cancún, Mexico. *Science of the Total Environment*, supplement 861-870.

Negri, A. P. and Heyward, A. J. 2000. Inhibition of Fertilization and Larval Metamorphosis of the Coral *Acropora millepora* (Ehrenberg, 1834) by Petroleum Products. *Marine Pollution Bulletin*, 41(7-12): 420-427.

Nicholson, M. and Fryer, R. In Press. Developing Effective Environmental Indicators-Does a New Dog Need Old Tricks?. *Marine Pollution Bulletin*.

Nipper, M. and R. Scott Carr. 2001. Porewater toxicity testing: A novel approach for assessing contaminant impacts in the vicinity of coral reefs. *Bull. Mar. Sci.* 69(2): 407-420.

Noreña-Barroso, E.; O. Zapata-Pérez; V. Ceja-Moreno and G. Gold-Bouchot. 1998. Hydrocarbons and Organochlorine Compounds in Sediments from Bay of Chetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61(1): 80-87.

Noreña Barroso, E., Sima Alvarez, R., Gold-Bouchot, G. y Guemez Ricalde, J. 2002. *Biomarcadores de Exposición y Efecto por Contaminantes orgánicos en el Bagre Maya Ariopsis assimilis de la Bahía de Chetumal*. F. J. Rosado-May, R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia. Universidad Autónoma de Quintana Roo, México. P. 161-170

Ortiz-Hernandez, M. C., and Saenz-Morales, R. 1997. Detergents and Orthophosphates Inputs from Urban Discharges to Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 59: 486-491.

Ortiz-Hernandez, M. C. and Saenz-Morales, R. 1999. Effects of Organic Material and Distribution of Fecal Coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Environmental Monitoring and Assessment*, 55(3): 423-434.

PNUMA. 2002. *GEO-2000. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2000. Informe del PNUMA sobre el Medio Ambiente en el Milenio*.

Reef Base. Mexico.

www.reefbase.org/resources/res_overview.asp?country=MEX.

Reef Base. Belice.

www.reefbase.org/resources/res_overview.asp?country=BLZ.

Reef Base. Honduras.

www.reefbase.org/resources/res_overview.asp?country=HND.

Reef Base. Guatemala.

www.reefbase.org/resources/res_overview.asp?country=GTM.

Regional Coordinating Unit. *Evaluation of the Coastal and Marine Resources of the Atlantic Coast of Guatemala*. 1995. CEP Technical Report No. 34. Kingston, Jamaica.

Reyes, E. and Merino, M. 1991. Diel Dissolved Oxygen Dynamics and Eutrophication in a Shallow, Well Mixed Tropical Lagoon (Cancun, Mexico). *Estuaries*, 14(4): 372-381.

Rosado-May, F. J., Romero Mayo, R., y Medina Gamez, Y. (Compiladores). 2002. *Retos y Perspectivas de la Bahía de*

Chetumal y sus alrededores: Un análisis de la bibliografía Publicada. Serie Bahía de Chetumal No. 1, Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo.

Rosado-May, F. J., R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). 2001. *Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia.* Serie Bahía de Chetumal No. 2, Universidad Autónoma de Quintana Roo, México.

Salazar Silva, Patricia. 1998. Cambios en la Estructura de la Comunidad del Macrobentos y su Relación con Contaminantes Orgánicos en los Sedimentos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. Tesis de Maestría en Biología Marina, CINVESTAV Unidad Mérida.

Sherman, Benjamin. 2000. Marine Ecosystem Health as an expression of morbidity, mortality and disease events. *Mar. Poll. Bull.* 41(1-6): 232-254.

Solórzano de Zepeda, Mirtala del Carmen. 2002. *Informe Final de la Consultoría Nacional para Guatemala sobre Contaminación Marina.* Guatemala, Guatemala.

Watershed Reef Interconnectivity Scientific Study, The (WRIScS). An Investigation of the Impact on Reef Environments of Changing Land-Use in the Stann Creek District of Belize. Executive Summary.

UNEP. 1994. *Regional Overview of Land-Based Sources of Pollution in the Wider Caribbean Region.* CEP Technical Report No. 33. Kingston, Jamaica.

UNEP. 1992. *Environmental Quality Criteria for Coastal Zones in the Wider Caribbean Region.* CEP Technical Report No. 14. Kingston, Jamaica.

UNEP. 1999. *Assessment of Land-Based Sources and Activities Affecting the Marine, Coastal and Associated Freshwater Environment in the Wider Caribbean Region.* UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 172.

Vazquez, G. F., Rangel, B. R., Mendoza-Quintero, M. A., Fernández, P. J., Aguayo, C. E., Palacio, P. A., and Virender, K. S. 2000. *Southern Gulf of México.* In: C. Sheppard (editor), Seas at

the Millennium: An Environmental Evaluation. Volume I. Elsevier Science Ltd., New York, Oxford.

Vernon, Harry. 2001. Report of Chemical Analysis of Soil and Water, Belize City Harbor Dredging Project. H₂O Water Quality Consultants, Department of the Environment.

Vidal-Martinez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Noreña-Barroso, E. and Gold-Bouchot, G. (In Press). The Relationship Between the Macroparasite Communities of *Ariopsis assimilis* and Pollution in Chetumal Bay, Mexico. *Journal of Helminthology*.

Vidal Martinez, V. M., Aguirre Macedo, M. L., Noreña Barroso, E., Gold-Bouchot, G., y Caballero Pinzon, P. I. 2002. *Los Metazoarios Parasitos del Bagre Ariopsis assimilis como Indicadores de Contaminación Química de la Bahía de Chetumal, México*. F. J. Rosado-May, R. Romero Mayo y A. De Jesús Navarrete (Eds.). Contribuciones de la Ciencia al Manejo Costero Integrado de la Bahía de Chetumal y su Área de Influencia. Universidad Autónoma de Quintana Roo, México. P. 149-160.

Villanueva, S. and Vazquez-Botello, A. 1998. Metal Pollution in Coastal Areas of México. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 157: 53-94.

Villanueva, S. and Vazquez-Botello, A. 1992. Metales Pesados en la Zona Costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una Revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 8(1): 47-61.

Villanueva, S., Vazquez-Botello, A. And Diaz, G. 1997. Petroleum Pollution in the Gulf of México and Caribbean Sea. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 153: 91-118.

Wing, S. R. and Wing, E. S. 2001. Prehistoric Fisheries in the Caribbean. *Coral Reefs*. 20(1): 1-8.

Wu, T. H., Rainwater, T. R. Platt, S. G., McMurry, S. T., and Anderson, T. A. 2000. Organochlorine Contaminants in Morelet's Crocodile (*Crocodylus moreletti*) Eggs from Belize. *Chemosphere*, 40(6): 671-678.

Watershed Reef Interconnectivity Scientific Study (WRIScS). 2001. An Investigation of the Impact on Reef Environments of Changing Land-Use in the Stann Creek District of Belize. Technical Report.

WWF Full Report. Belizean coast mangroves (NT 1405).
http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial/nt/nt1405_full.html>

Zapata-Pérez, O., R. Simá-Alvarez, E. Noreña-Barroso, J. Guemes, G. Gold-Bouchot, A. Ortega and A. Albores-Medina. 2000. Toxicity of sediments from Bahia de Chetumal, Mexico, as assessed by hepatic EROD induction and histology in Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Marine Environmental Research* 50(1-5): 477-483.