

Conservación y Uso Sostenible del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM).

Consultoría Nacional en Contaminación Marina México

M en C. Teresa Alvarez Legorreta

1.- Introducción.

El Proyecto Sistema Arrecifal Mesoamericano forma parte de un programa a largo plazo para salvaguardar la integridad y asegurar la continuidad de la productividad de los ecosistemas marinos únicos y vulnerables que conforman el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), que se extiende desde la Isla Contoy al norte de la Península de Yucatán en México, hasta las islas de la Bahía de Honduras y comprende la segunda barrera de arrecifes de coral más grande del mundo.

Uno de los objetivos del Proyecto Sistema Arrecifal Mesoamericano se refiere al desarrollo e implementación de un Sistema Regional de Monitoreo e Información Ambiental, que proporcionará una visión sinóptica de la salud del SAM y facilitará la disseminación a través de la región de los resultados que se generen.

La presente Consultoría Nacional, se circunscribe en el marco de uno de los sub-componentes de éste objetivo, que se refiere al establecimiento de un Programa de Monitoreo Sinóptico (PMS) que servirá de apoyo a la Consultoría Internacional en Contaminación Marina.

2.- Objetivos de la Consultoría Nacional.

La información generada en la Consultoría Nacional para México se presenta a continuación, en el orden de los objetivos siguientes:

- a) Evaluar la capacidad de infraestructura analítica y humana de instituciones nacionales, para determinar las necesidades de entrenamiento y capacitación.

- b) Compilar información sobre contaminación marina proveniente de fuentes puntuales y no puntuales en el país, generalmente encontrada en la llamada *literatura gris*.
- c) Realizar un breve reporte de país, enfatizando las necesidades de información, vacíos en el programa de monitoreo, calidad de la información, capacidad e infraestructura de las instituciones para realizar el monitoreo.
- d) Proponer sitios de muestreo en el área del proyecto.

3.- Capacidad de Infraestructura Analítica y Humana.

Para dar cumplimiento a éste objetivo, primero se hizo una lista de las instituciones de investigación y de educación superior que se encuentran en los estados de Yucatán y Quintana Roo. Enseguida se seleccionaron las que contaban con laboratorios equipados con aparatos de cromatografía de gases y espectrofotometría de absorción atómica (por considerarse éstos como indispensables en un programa de monitoreo) y/o que contaban además con antecedentes en la realización de estudios sobre contaminación marina en las costas de la Península de Yucatán.

A continuación se presenta el análisis de las instituciones seleccionadas:

- **Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.**

Este centro de investigaciones localizado en la ciudad de Mérida, Yucatán, cuenta con dos laboratorios en los que se realiza investigación sobre contaminación marina principalmente en aguas costeras de Yucatán y norte del estado de Quintana Roo. A continuación se presentan las características de cada uno de ellos.

a) Laboratorio de Geoquímica Marina.-

El personal calificado con que cuenta el laboratorio está comprendido por dos investigadores el Dr. Gerardo Gold Bouchot quién es el responsable del laboratorio y el Dr. Omar Zapata Pérez, y los auxiliares de investigación Victor Ceja Moreno y Marcela del Río García.

Los equipos con los que cuentan son:

- Dos cromatógrafos de gases marca Hewlett Packard, con detectores FID y ECD.
- Dos espectrofotómetros de Absorción Atómica marca BUCK Scientific, equipados con horno de grafito y quemador de flama.
- Un espectrofluorómetro marca SHIMADZU
- Un HPLC con columna de exclusión marca ALLTECH.
- Nucleador de caja (box corer) de 40 x 40 cm, marca Hessler-Sandia MK-II
- Estufas (2)
- Hornos (2)
- muflas (3)
- Balanzas analítica (1) y granataria (1)
- Rotoevaporadores (2)
- Extractores Soxhlet (30 plazas)
- Centrífuga (1)
- Congeladores (2)
- Refrigerador (1).

Los principales parámetros que se determinan en agua, sedimentos y organismos son:

- hidrocarburos del petróleo
- plaguicidas organoclorados
- bifenilos policlorados (PCBs)
- metales pesados

Además de :

- metabolitos de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)
- cinéticas enzimáticas.

b) Laboratorio de Química Marina.-

El personal calificado con el que cuenta son: el responsable del laboratorio Dr. David Sergio Valdés Lozano, la Q. Elizabeth Real de Leon y la M.C. Silvia Guadalupe Granados Puerto.

Los equipos con los que cuenta el laboratorio son:

- Un espectrofotómetro UV/VIS, marca SHIMADZU 1200.
- Un cromatógrafo de gases SHIMADZU 14 A.
- Salinómetro de inducción Khalsico RS-9.
- Medidor de pH CORNING 1110

- Medidor de conductividad YSI 320
- Medidor de turbidez COLE PARMER 300
- Destilador de agua BARNSTEAD
- Desionizador de agua BARNSTEAD
- Balanza analítica OHAUS 3000 y balanza granataria OHAUS 1000
- Autoclave FELISA
- Horno FELISA
- Bomba de vacío FELISA
- Mufla, agitador magnético y refrigerador.

Los parámetros que se analizan son:

En agua:

- Nutrimientos: nitratos, nitritos, amonio, silicatos, fosfatos.
- Fisicoquímicos: pH, salinidad, potencial redox, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad y CO₂, dureza, turbidez y sólidos suspendidos.

En sedimentos:

- Materia orgánica, porosidad, agua intersticial, textura, potencial redox.
- Nutrimientos: nitrógeno y fósforo.

- El Colegio de la Frontera Sur:

Este centro de investigaciones localizado en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, cuenta con un laboratorio en el que se han realizado diversos estudios de contaminación principalmente en la Bahía de Chetumal y costa sur del estado de Quintana Roo.

Laboratorio de Química y Contaminación Ambiental.-

El personal calificado que lo conforman es: el responsable del laboratorio Dr. Rolf-Michael Wittich, la candidata a Doctora Ma. Concepción Ortíz Hernández, la M en C. Teresa Alvarez Legorreta y la I.B.A. Adriana Zavala Mendoza.

Los equipos con los que cuenta el laboratorio son:

- Cromatógrafo de gases marca Perkin Elmer modelo Autosystem con detectores FID, PID, ELCD y concentrador de purga y trampa para muestras líquidas, marca TEKMAR, modelo LSC 2000.
- Cromatógrafo de gases marca Hewlett Packard modelo 5890 con detectores FID y ECD.

- Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo 3110 equipado con quemador de flama y generador de hidruros modelo MHS-10.
- Espectrofotómetro UV/VIS portátil, marca HACH.
- Espectrofotómetro UV/VIS marca MILTON-ROY.
- Destilador de agua FELISA.
- Rotoevaporador BUCHI.
- Microdestilador Kjeldahl LABCONCO.
- Microdigestor Kjeldahl LABCONCO.
- Macrokjeldahl CRAF.
- Termobaños (2) FELISA y ELECSA.
- Extractores de fibra y de grasa LABCONCO.
- Estufa de secado CRAF y estufa de convección LAB-LINE
- Estufas de cultivo (2) RIOSSA.
- Muflas (2) FELISA.
- Incubadora para DBO, EQUATERM.
- Termoagitadores (8), FELISA.
- Extractores soxhlet (6 plazas), LAB-LINE.
- Autoclave MAN-PLAY.
- Refractómetro de mesa FISHER-SCIENTIFIC.
- Contador de colonias, SOLBAT.
- Centrífugas (3), marcas SOLBAT y EBA.
- Potenciómetros (4), marcas CONDUCTRONIC, FISHER-ACCUMET y CHEMCADET.
- Oxímetro de campo, YSI 59.
- Conductivímetro portátil, HACH.
- Bombas de vacío (3), FELISA.
- Balanzas analíticas (4) y granatarias (6), SARTORIUS y OHAUS.
- Liofilizadora LABCONCO.
- Ultracongelador REVCO.
- Refrigeradores (4).
- Campanas de extracción de flujo laminar (3), marca CRAF.

Los principales parámetros que se determinan son:

- Hidrocarburos del petróleo en sedimentos, organismos y agua.
- Plaguicidas organoclorados en sedimentos, organismos y agua.
- Metales pesados en sedimentos, organismos y agua (Mn, Fe, Hg, Pb, As, Li, Cr, Cu, Al, Zn, Cd y Co).

- Nutrimientos en agua y agua intersticial: nitratos, nitritos, amonio, silicatos, ortofosfatos y fósforo total.
- Fósforo total y nitrógeno total en tejidos vegetales.
- Parámetros de calidad del agua: oxígeno disuelto, alcalinidad total, dureza total, acidez total, carbonatos y bicarbonatos, cloruros, detergentes, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, sólidos totales en todas sus formas, sólidos disueltos en todas sus formas.
- Grasas y aceites.
- Humedad y cenizas totales.
- Análisis bromatológicos: carbohidratos, proteínas, humedad, fibra cruda, grasas y extracto libre de carbono.
- Cationes libres: Ca, Na, K, Mg, Si.
- Bacterias coliformes fecales y totales
- Materia orgánica y textura en sedimentos
- Fisicoquímicos: , pH, salinidad, temperatura, conductividad.

- **Universidad de Quintana Roo.**

Esta institución de educación superior ubicada en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, cuenta con un laboratorio adscrito al Departamento de Ingenierías en la carrera de Ingeniería Ambiental, en el que recién empiezan a realizarse estudios de contaminación acuática en la Bahía de Chetumal.

Laboratorio de Química Analítica Ambiental.-

El personal calificado con el que cuenta es: el responsable del laboratorio Q.F.B. José Luis González Bucio y el M en C. Alfonso Canche Uuh.

Los equipos con los que cuenta el laboratorio son:

- Un espectrofotómetro de absorción atómica marca VARIAN, modelo SpectrAA 220, con generador de hidruros, modelo VGA-77.
- Un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer, con horno de grafito (aún no instalado).
- Lámparas para medir: Na, K, Mg, Ca, Pb, Hg, Cd, Cr, Ag, Ni, Zn, Cu, As y Al.
- Un espectrofotómetro UV/VIS marca VARIAN, modelo CARY-50.

Además, en el Área de Ecología y Manejo de Recursos Naturales del Departamento de Ciencias dentro del Programa de Ordenamiento, cuyo responsable es el M en C. Héctor Gamboa Pérez se cuenta con equipo útil para el Programa de Monitoreo Sinóptico (PMS) del SAM, ya que tienen una

ecosonda para medir perfiles batimétricos, así como una sonda multiparamétrica modelo YSI 6600 con sensores para medir: oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, pH, profundidad, salinidad, nitratos, amonio, turbidez y clorofilas.

- **Secretaría de Marina - Armada de México.**

Esta institución federal cuenta con un laboratorio de calidad de agua en las instalaciones de la Armada en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, y una Estación Oceanográfica en Progreso, Yucatán. En el laboratorio de Chetumal se realizan los análisis de los parámetros físicoquímicos y biológicos que la Secretaría de Marina tiene establecidos en el programa de monitoreo de la Bahía de Chetumal, que se realiza desde 1988 a la fecha.

a) Laboratorio de Análisis de agua.-

El Tte. Nav. SCMA. Biol. Marino Roberto Flores Rodriguez es el responsable del laboratorio, sin embargo los análisis de los parámetros físicoquímicos para muestras de agua que mensualmente se colectan en la bahía de Chetumal, son realizados por personal de la estación oceanográfica de Progreso, Yucatán.

Los equipos con que cuenta el laboratorio son:

- Espectrofotómetro UV/VIS.
- Estufas incubadoras (2).
- Estufa de gas para preparar medios de cultivo.
- Conductímetro.
- Refractómetro.

Los parámetros que se analizan son:

- Nutrientes: nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos.
- Demanda bioquímica de oxígeno.
- Coliformes totales y fecales.
- Físicoquímicos: pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto.

b) Estación oceanográfica.-

El jefe de la estación es el Tte. Nav. Gildardo Alarcón. En la estación se inició éste año un programa de monitoreo bimensual de parámetros físicoquímicos en 40 puntos de las costas del Mar Caribe, con el que se esta alimentando una

base de datos para la elaboración de un "Atlas de áreas sensibles a la presencia de contaminantes".

4.- Información generada sobre contaminación marina.

Se presenta como anexo una lista de 86 referencias bibliográficas de la información que se ha generado como tesis de licenciatura y maestría (26), informes técnicos (21) y publicaciones (39), sobre aspectos de contaminación marina y parámetros físicoquímicos en las costas del Caribe Mexicano y norte de la Península de Yucatán. Esta lista se obtuvo a partir de una búsqueda de información bibliográfica en las bibliotecas de los centros de investigaciones de CINVESTAV y ECOSUR, en la Universidad de Quintana Roo, Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Marina de la Armada de México, además de una búsqueda por internet.

Entre los documentos que se presentan se encuentran dos revisiones bibliográficas sobre estudios de contaminación, una a escala nacional (SEMARNAP, 1998) en la que se recopilaron 379 publicaciones sobre estudios conteniendo datos de contaminantes en el ambiente marino de las costas de la República Mexicana para el período de 1990 a 1997, de los cuales sólo 13 correspondieron al Mar Caribe y de éstos sólo 8 cumplieron con los requisitos de calidad necesarios para ser incorporados a la base de datos que se generó; y la otra a escala regional sobre la Bahía de Chetumal y su área de influencia (Rosado-May et al., 2001), en el que se reportan 42 trabajos, de los cuales sólo cuatro de ellos aportan datos sobre niveles de contaminantes en la bahía.

5.- Análisis de la información existente para la Península de Yucatán:

En base a la información recopilada sobre los estudios desarrollados en las costas de la Península de Yucatán, se elaboró un cuadro sinóptico de los sitios y principales parámetros analizados en cada uno de ellos (Tabla 1).

Para llevar a cabo el análisis de la situación actual que guardan los estudios de contaminación para la zona de interés del Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM, se hace una división arbitraria de la región en cuatro zonas:

- 1) Plataforma Continental.- para los estudios que se reportan como realizados en la Plataforma Continental de la Península de Yucatán, Mar Caribe y Canal de Yucatán.

- 2) Zona Norte.- se consideran costas del estado de Yucatán y norte de Quintana Roo, por lo que los sitios considerados dentro de ésta zona en la tabla son: Laguna Celestún, Holbox, Cancún, Lagunas Bojorquez y Nuchupté, Punta Nizuc, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Cozumel, Xcacel, Xel-Ha y Tulum.
- 3) Zona Centro.- Bahías de la Ascención y del Espíritu Santo.
- 4) Zona Sur.- Banco Chinchorro, Mahahual, Xahuayxol, Xcalac, Bacalar Chico, Bahía de Chetumal y Río Hondo.



Fig. 1. - Mapa de la Península de Yucatán con la localización de los sitios en los que se tienen reportes de estudios sobre parámetros fisicoquímicos y contaminantes (ver Tabla 1). Los sitios marcados con número corresponden a: 1) Lagunas Bojórquez y Nichupté, 2) Puerto Morelos, 3) Playa del Carmen, 4) Xcacel, 5) Xel-Ha y 6) Xahuayxol.

De acuerdo con ésta división, se obtiene que en la zona sur es dónde se cuenta con más información generada, con 45 estudios del total de 86 trabajos de investigación recopilados y listados en la sección anterior; de los cuales 29

corresponden a la Bahía de Chetumal. Le sigue la zona norte con 20 trabajos, 13 de ellos en las aguas frente a la ciudad de Cancún. Y en tercer lugar se encuentra la zona de la Plataforma Continental con 8 estudios (Tabla 1, Fig. 1). Es importante resaltar que para la zona centro y más norteña de las costas de Quintana Roo que comprende ecosistemas importantes como las lagunas de Yalahau y Chakmochuk, así como las Islas de Contoy y Mujeres, no se encontraron estudios o reportes sobre contaminantes o parámetros fisicoquímicos.

En la misma tabla 1 se observa también que para toda la región los contaminantes más estudiados corresponden a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los plaguicidas organoclorados (OC) y los metales pesados (MP), así como los nutrientes NO_3 , PO_4 y NO_2 .

Tabla 1. - Cuadro sinóptico de los sitios en las costas de la Península de Yucatán dónde se tienen registros de valores de diversos contaminantes y parámetros fisicoquímicos, con sus referencias bibliográficas respectivas.

SITIO	No. Ref.	PO ₄	P Tot	NO ₃	NO ₂	NH ₄	SiO ₄	SST	CTyF	OC	HAPs	PCBs	MP	MO	OD	S‰	pH	T°C
Plataforma Continent	13										x							
Plataforma Continent	16										x							
Plataforma Continent	21										x							
Península Yucatán	11												x					
Mar Caribe	5							x										
Mar Caribe	7	x		x	x	x												
Mar Caribe	18												x					
Mar Caribe	84										x							
L. Celestún	12								x									
L. Celestún	25												x					
L. Celestún	26												x					
L. Celestún	60	x		x	x	x									x	x		x
Holbox	82	x	x	x	x	x	x							x	x	x	x	x
Cancún	72												x					
Cancún	38									x	x		x					
L. Bojórquez	33	x		x	x	x	x				x				x	x	x	x
L. Bojórquez	75	x		x	x	x	x											
L. Bojórquez	84									x	x							
L. Nichupté	33	x		x	x	x	x				x				x	x	x	x
L. Nichupté	75	x		x	x	x	x											
L. Nichupté	84									x	x							
Punta Nizuc	38									x	x		x					
Puerto Morelos	81	x		x	x	x	x								x	x	x	x
Playa del Carmen	40	x		x	x	x	x	x			x				x	x	x	x
Cozumel	38									x	x		x					
Xcabel y Xcabelito	45	x	x	x	x				x						x	x	x	x
Xel-Ha	38									x	x		x					
Tulum	38									x	x		x					
Banco Chinchorro	2	x		x	x	x									x			
Banco Chinchorro	20														x	x	x	x
Banco Chinchorro	31	x		x	x	x									x			
Banco Chinchorro	56														x	x		x
Mahahual	2	x		x	x	x									x			
Mahahual	26												x					
Mahahual	28	x		x	x					x	x				x		x	
Mahahual	44							x	x						x		x	
Xahuayxol	28	x		x	x					x	x							
Punta Gavilán	53														x	x		x
Xcalac	22	x		x	x								x		x	x	x	x
Bacalar Chico	51	x		x	x	x										x		
Bacalar Chico	55														x	x		x
Bahía Chetumal	4									x	x	x		x				
Bahía Chetumal	8												x					
Bahía Chetumal	9										x			x				
Bahía Chetumal	10									x	x	x		x				
Bahía Chetumal	14													x				
Bahía Chetumal	15								x									
Bahía Chetumal	17													x				
Bahía Chetumal	19									x								
Bahía Chetumal	22	x		x									x		x	x	x	x
Bahía Chetumal	23												x					
Bahía Chetumal	27									x	x		x					
Bahía Chetumal	29									x			x					
Bahía Chetumal	32	x		x	x			x	x						x	x	x	x
Bahía Chetumal	34								x						x	x	x	x
Bahía Chetumal	36								x						x	x		x
Bahía Chetumal	37								x									
Bahía Chetumal	39														x	x		x
Bahía Chetumal	42									x	x				x	x	x	x
Bahía Chetumal	47									x	x	x						
Bahía Chetumal	48															x		
Bahía Chetumal	54													x			x	x
Bahía Chetumal	59												x					
Bahía Chetumal	61	x		x	x	x	x											
Bahía Chetumal	73	x		x	x											x		
Bahía Chetumal	76									x	x							
Bahía Chetumal	77										x	x						
Bahía Chetumal	78	x		x	x													
Bahía Chetumal	79								x						x			
Bahía Chetumal	83		x	x						x					x			
Río Hondo	3							x	x								x	x
Río Hondo	35						x								x	x	x	x
Río Hondo	43									x								

SST = sólidos suspendidos totales, CTyF = Coliformes totales y fecales, OC = organoclorados, HAPs = Hidrocarburos aromáticos policíclicos, MP = Metales Pesados, PCBs = Bifenilos Policlorados, MO = Materia Orgánica, OD = Oxígeno Disuelto, S‰ = salinidad

En la Tabla 2 se observa que los estudios sobre evaluaciones de niveles de contaminantes a escala regional, se han llevado a cabo principalmente en muestras de agua, seguido de muestras de sedimentos y finalmente en organismos.

Tabla 2. - Número de estudios realizados sobre aspectos de contaminación por componente, en diferentes zonas de la costa de la Península de Yucatán.

ZONA	AGUA	SEDIMENTOS	ORGANISMOS
Plataforma Continental	3	3	2
Norte	16	4	4
Sur	23	18	13
TOTAL	42	25	19

En cuanto a las especies que han sido utilizadas como indicadores de exposición a contaminantes por su capacidad de bioacumulación o por los efectos tóxicos que sufren, se encontró que en la zona sur del estado se ha abarcado un mayor número de grupos de organismos acuáticos, tanto animales vertebrados e invertebrados como plantas acuáticas (Tabla 3).

Tabla 3. - Listado de especies por grupos de organismos, sobre las que se han realizado estudios de contaminación en diferentes zonas de la costa de la Península de Yucatán.

Mar Caribe	Zona Norte	Zona Sur
<ul style="list-style-type: none"> - Crustáceos: <i>Penaeus duorarum</i> <i>Penaeus brasiliensis</i> - Poliquetos - Corales escleractinios - Nemátodos bénticos 	<ul style="list-style-type: none"> - Crustáceos: <i>Callinectes sapidus</i> <i>Callinectes oractus</i> - Moluscos: <i>Melongena melongena</i> - Corales hermatípicos: <i>Montastrea annularis</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Mamíferos marinos: <i>Trichechus manatus manatus</i> - Peces: <i>Ariopsis assimilis</i> - Poliquetos: <i>Nereis sp.</i> <i>Laeonereis culveri</i> - Moluscos: <i>Mytilopsis sallei</i> <i>Brachidontes exustus</i> <i>Strombus gigas</i> - Crustáceos: <i>Eurypanopeus dissimilis</i> - Corales hermatípicos: <i>Montastrea annularis</i> <i>Montastrea faveolata</i> - Plantas acuáticas: <i>Thalassia testudinum</i> <i>Najas marina</i> <i>Batophora sp.</i> <i>Bostrichya sp.</i> - Bacterias enteropatógenas

6.- Fuentes y estado de la contaminación en la Península de Yucatán.

En lo relativo a las características de los datos sobre parámetros ambientales obtenidos en los documentos reportados arriba, se observó que existe una gran variabilidad en la calidad de los mismos, en los métodos de análisis utilizados, en la metodología de muestreo y en los objetivos por los que se generó la información; lo cual dificulta la posibilidad de realizar un análisis regional de las condiciones ambientales para la región del Mar Caribe. No obstante lo anterior, es posible hacer algunas anotaciones acerca del tipo de contaminantes, niveles y fuentes de contaminación para la zona costera de la Península de Yucatán.

Así, se tiene que por su capacidad de causar impactos negativos en las comunidades coralinas y por la diversidad de fuentes que los pueden generar, los contaminantes principales en la región son:

- a) los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs),
- b) los plaguicidas organoclorados y organofosforados, éstos últimos son los que están actualmente en uso y se desconocen sus niveles ambientales,
- c) Algunos metales pesados como Cd, Pb y Hg que no tienen ninguna función fisiológica en los seres vivos; y los formas organoestañosas que se desprenden de las pinturas antiincrustantes de barcos y embarcaciones menores, cuyo principal efecto tóxico es la inversión de sexos en algunas especies de gasteropodos marinos, y
- d) Detergentes, ortofosfatos y nitratos, que en cuerpos de agua poco profundos y cercanos a fuentes de descargas de aguas residuales, pueden generar problemas de eutrofización, lo cual podría ocurrir en las lagunas arrecifales que se encuentran a todo lo largo del Sistema Arrecifal Mesoamericano.
- e) Los sólidos suspendidos totales.

En cuanto a las fuentes principales de contaminación, se tiene que para la zona norte de la Península de Yucatán, estas se relacionan con las generadas por las actividades propias de los desarrollos turísticos masivos presentes, como son las descargas de aguas residuales, las actividades acuáticas con lanchas y vehículos con motor fuera de borda, y las aplicaciones de herbicidas en campos de golf y áreas verdes. Por el contrario, en la zona sur la actividad económica predominante es la agricultura por lo que las fuentes de contaminación principales se relacionan con la aplicación de plaguicidas y fertilizantes, y con

la descarga aguas residuales de los centros de población. En tanto que para la zona centro la presencia de contaminantes podría deberse principalmente a fuentes no puntuales, como el transporte atmosférico, los escurrimientos terrestres y las corrientes marinas.

En lo relativo al estado de la contaminación de las costas de la Península de Yucatán, se tiene que los niveles de hidrocarburos del petróleo tanto en agua como en sedimentos, son inferiores a los considerados como normales para el Golfo de México y Mar Caribe por la Comisión Intergubernamental de la UNESCO (10 $\mu\text{g/l}$ y 70 $\mu\text{g/g}$, respectivamente). Los metales pesados como Cd, Cu, Fe, Zn y Pb en sedimentos, se encuentran en el rango de concentración para áreas no contaminadas, según Anderlini et al (1982, en: Carbonell et al., 1998). Y los niveles de plaguicidas organoclorados son en algunos casos superiores a los reportados para lagunas costeras con fuerte actividad agrícola, tal es el caso del Río Hondo, Laguna Nichupté y Bahía de Chetumal.

En tanto que de acuerdo con una escala de nivel de impacto utilizada por la SEMARNAP (1998) en base a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89), la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 y el Reglamento para la prevención y control de la contaminación de las aguas (D.O.F. 29 de marzo de 1973); se tiene que el sistema lagunar Bojórquez-Nichupté y la Bahía de Chetumal, presentan impacto extremo (valor promedio del parámetro 5 veces mayor que la NOM, CECA y Reglamento) en los niveles de nitratos, ortofosfatos y sustancias activas al azul de metileno (las llamadas SAAM), e impacto severo (el valor promedio del parámetro es 4 veces mayor que la NOM, CECA y Reglamento) en la cantidad de sólidos suspendidos totales.

7.- Esfuerzos de Monitoreo en la Península de Yucatán.

Por otra parte, en lo relacionado a los antecedentes sobre esfuerzos de monitoreo para la región de la Península de Yucatán, se cuenta con cinco casos, dos de la Armada de México, uno del CINVESTAV, uno de ECOSUR y uno más de CARICOMP; cada uno de ellos realizado con diferentes objetivos de estudio, por lo que presentan diferente escala espacial, temporal y periodicidad en la colecta de datos. A continuación se hace una breve reseña de cada uno de ellos.

A) Como parte de las estrategias actuales de la Armada de México, se ha dado mayor énfasis a la reactivación de las funciones de investigación de las estaciones oceanográficas que la institución tiene distribuidas en todas las áreas costeras del país. Una de ellas, es la Estación Oceanográfica de Progreso, Yucatán, que cuenta con cinco áreas de investigación: Oceanografía, Hidrografía y Cartografía, Meteorología Marítima, Protección al Medio Ambiente Marino y Biología Marina. La Dirección de Oceanografía y Biología de la estación realiza investigación en aspectos importantes para el PMS, como son: a) Química (oxígeno disuelto, metales pesados y nutrimentos) ; b) Bacteriología (bacterias coliformes); Impacto Ambiental y Contaminación Marina.

Dentro de los estudios que se realizan en las estaciones oceanográficas, se tienen dos:

- 1) "Contaminación marina en el mar territorial y zona costera de la República Mexicana", cuyo objetivo es identificar fuentes y grado de contaminación, composición, zonas de depósito y tendencia de dispersión a nivel costero. Con estos estudios se pretende cubrir la extensión total de los litorales del Pacífico Mexicano y Golfo de México y se elabora un Atlas de Contaminación Costera, en el que no se menciona la región del Mar Caribe, sin embargo esta considerada ya que en éste año se inició el monitoreo bimensual de 40 sitios en las costas de Yucatán y Quintana Roo, para determinar niveles de nutrimentos (NO_3 , NO_2 y PO_4), los principales parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto) y metales pesados.
- 2) " Calidad del Agua", dentro del cual se realizan análisis de calidad del agua, monitoreo del estado de la contaminación marina de las bahías y puertos nacionales, simulacros de derrames de hidrocarburos y levantamientos topohidrográficos y batimétricos. Dentro de éste estudio se encuentra el monitoreo que se realiza desde 1988 a la fecha para la Bahía de Chetumal, el cual ha tenido variaciones en los sitios de colecta y periodicidad de muestreo; siendo los principales parámetros evaluados las bacterias coliformes, nitratos, nitritos, fósforo, DBO y oxígeno disuelto.

Por otra parte, la Secretaría de Marina cuenta con un Sistema de Información Oceanográfica (SIO), cuyas bases de datos contienen entre otras cosas: parámetros fisicoquímicos, batitermográficos, corrientes superficiales y datos de contaminación sobre calidad de agua y metales en organismos, sedimentos y

agua marina. Además de un "Atlas de Áreas Sensibles a la Presencia de Contaminantes" que se está elaborando en la Dirección de Protección al Medio Ambiente Marítimo, dentro del "Programa permanente de protección ecológica a estados costeros"; que permitirá conocer los recursos marinos o costeros de alto valor comercial, ecológico y turístico, sensibles a la presencia de hidrocarburos u otras sustancias, con la finalidad de adoptar medidas de prevención para disminuir los efectos de un derrame en el mar.

B) CINVESTAV realiza desde 1989 a la fecha un monitoreo en una dársena situada a 8.7 km al sur de Playa del Carmen, Q. Roo, en dónde la empresa CALICA realiza una explotación de materiales calizos. El objetivo del estudio es mantener actualizada una base de información sobre las características físicas, hidroquímicas y bióticas de la zona de influencia de la dársena, mediante un programa de monitoreo que permita detectar cambios significativos en las variables ambientales y biológicas, ocasionadas por las actividades propias de la empresa. Los parámetros monitoreados son: temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales inorgánicos y orgánicos, amonio, nitratos, nitritos, ortofosfatos, silicatos e hidrocarburos petrogénicos disueltos/dispersos.

C) ECOSUR realizó de 1996 a 1999 un monitoreo de nutrimentos (NO_3 , NO_2 , PO_4) en agua, de plaguicidas organoclorados en sedimentos, e hidrocarburos del petróleo en sedimentos y tejido del pasto marino *Thalassia testudinum*, así como de presencia de comunidades bénticas, en las localidades de Mahahual y Xahuayxol en la costa sur de Quintana Roo. El objetivo principal del estudio fue contar con una línea de base para estudios a largo plazo del impacto crónico de cambios en la conformación del paisaje sobre la estructura y función del bentos costero del sur del Caribe Mexicano y determinar especies indicadoras o biomonitoras. Todo esto mediante la determinación de los niveles de línea de base de nutrimentos, plaguicidas e hidrocarburos en agua, sedimentos y organismos, con el fin de monitorear los cambios que pudieran presentarse en las variables ambientales y bióticas, como resultado del desarrollo turístico planeado para la zona, que entre otras cosas comprende la construcción de un muelle para cruceros turísticos y una zona habitacional para los prestadores de servicios, ambos ya en operación.

D) CARICOMP es por sus siglas en inglés la Red Caribeña de Laboratorios, Parques y Reservas Marinas para el Monitoreo Costero y la Colaboración

Científica. Es un programa que se enfoca al entendimiento y comparación de la estructura y función de los tres principales ecosistemas costeros de la región del amplio Caribe: manglares, pastos marinos y arrecifes de coral. Tiene como metas principales: 1) determinar las influencias dominantes sobre la productividad costera, 2) monitorear cambios en los tres tipos de ecosistemas, y 3) distinguir los disturbios humanos de las variaciones naturales a largo plazo en los ecosistemas costeros en el rango de su distribución.

La red se creó en 1990 y está conformada por 27 instituciones en 17 países, uno de ellos es México que cuenta con la participación del CINVESTAV en la laguna de Celestún y del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en la laguna arrecifal de Puerto Morelos.

El aspecto valioso de la red es el uso de metodología estandarizada para realizar mediciones oceanográficas, meteorológicas y biológicas en éstos tres tipos de ecosistemas, en áreas no impactadas. Entre los parámetros oceanográficos monitoreados se encuentran: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos y silicatos.

Por otra parte, dentro de los programas de manejo de las 12 áreas naturales protegidas (ANP) marinas existentes en las costas de Yucatán y Quintana Roo, está contemplado un componente de monitoreo ambiental, que en algunos casos se refiere exclusivamente al monitoreo biológico de las especies de importancia ecológica de la ANP, y en otros (que son la mayoría) se considera el estudio de la calidad del agua; sin embargo en todos los casos se queda en el planteamiento de dos objetivos fundamentales: a) diseñar e implementar un programa de monitoreo y b) determinar los indicadores y metodologías para detectar cambios en tiempo y espacio.

8.- Aspectos a considerar en la implementación del PMS.

De acuerdo con lo anterior, es importante resaltar que los vacíos que deberán llenarse con la implementación del Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM, son fundamentalmente:

- 1) Determinar los parámetros y/o especies indicadores que en materia de contaminación sean relevantes para los principales ecosistemas de la región.

- 2) Seleccionar sitios con antecedentes de fuerte impacto antropogénico y sitios sin impactos, como referentes de las condiciones naturales en la región del Mar Caribe.
- 3) Proponer métodos estandarizadas para cada parámetro, con el fin de poder hacer comparaciones entre sitios de monitoreo.
- 4) Establecer la periodicidad con la que deberá realizarse el programa de monitoreo, de tal manera que permita detectar cambios espaciales y temporales y distinguir entre cambios inducidos por actividades antropogénicas y cambios relacionados con variaciones naturales.
- 5) Estandarizar mediante la capacitación, a los recursos humanos participantes en el programa, en aspectos de muestreo, manejo de equipos especializados y técnicas de análisis químicos, así como en el procesamiento e interpretación de resultados.
- 6) Establecer cual será la normatividad o legislación relativa a la calidad del agua, que se considerará para comparar los valores de referencia de ésta, con los valores obtenidos en el programa de monitoreo.
- 7) En el caso de considerar el monitoreo de comunidades bénticas, sería recomendable seleccionar sitios de playas arenosas ya que presentan menor diversidad de especies, lo cual ayudaría a que además de cumplir con el objetivo de generar información relevante, el monitoreo se realice de forma práctica y rápida.

9.- Sitios de monitoreo propuestos:

Por último, se presenta un mapa (Fig. 2) con los sitios propuestos para el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM. Y enseguida se presentan los sitios y los criterios considerados para su selección.



Fig. 2.- Mapa de la Península de Yucatán con la ubicación de los sitios que se proponen para el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM.

- 1.- Laguna Chakmochuk. - sitio sin impacto humano para usarlo como referencia de variaciones naturales en niveles de los parámetros que se seleccionen.
- 2.- Nizuc y Cozumel.- sitios con fuerte presencia de población humana. En el caso de Nizuc el sitio de monitoreo quedaría localizado dentro del polígono del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc.
- 3.- Puerto Morelos.- sitio con menor presencia de población humana en relación a Cancún, Playa del Carmen y Cozumel, pero con fuerte influencia de éstos por su cercanía geográfica.
- 4.- Punta Allen y Punta Herrero.- sitios sobre los que existe un vacío de información y que representan la parte central de las costas de Quintana Roo.
- 5.- Mahahual.- sitio poco poblado que representa la costa sur de Quintana Roo, en el que se podrán apreciar cambios en variables ambientales y biológicas por el desarrollo turístico que se esta gestando.

6.- Bahía Chetumal.- en un punto cercano a la desembocadura del Río Hondo considerado como una fuente importante de descarga de contaminantes hacia la bahía.

7.- Bacalar Chico.- punto limítrofe entre el continuo de la barrera de arrecifes de México y Belice, que al ser un canal que comunica a la Bahía de Chetumal con el mar Caribe podría servir como indicador de la influencia de las aguas de la bahía en la laguna arrecifal.

ANEXO

LISTA BIBLIOGRÁFICA

Tesis de Maestría:

1. Cabanillas-López, Miriam Judith. 1996. Identificación y evaluación de alternativas para el saneamiento de la laguna de Bojorquez, Cancun, Quintana Roo. 57 p. UNAM.
2. Cruz-Piñón, G. 2002. Tasas mensuales de extensión esquelética de los corales hermatípicos *Montastrea annularis* y *Montastrea faveolata* en el Caribe Mexicano: controles biológicos y ambientales. ECOSUR. 61 p. (Biblioteca ECOSUR).
3. Magnon-Basnier, C. 1996. Diagnóstico para el manejo y preservación de la cuenca hidrográfica del río Hondo. ECOSUR. 52 p. (Biblioteca ECOSUR).
4. Noreña-Barroso, E. 1998. Contaminantes orgánicos y sus efectos a nivel histológico en bagres *Ariopsis assimilis* de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. CINVESTAV. 125 p. (Biblioteca CINVESTAV).
5. Razo-Amoroz, I. 1999. El sedimento como factor de mortalidad en corales escleractinios de un macizo arrecifal de la costa de Quintana Roo. CINVESTAV. 69 p.
6. Reyes-Gómez, Enrique. 1988. Evaluación de la productividad primaria de la laguna Bojórquez, Cancun, Quintana Roo, México. 50 p. UNAM.
7. Rivero Rodríguez, José Martín. 1989. Estudio de la distribución de nutrientes inorgánicos disueltos en el Golfo de California y Caribe Mexicano, mediante un nuevo analizador capilar automático. 131 p. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.
8. Rojas, M.A. 1997. Concentration of metals in bone and blood of manatees (*Trichechus manatus manatus*) from Chetumal Bay, Quintana Roo, México. ECOSUR. 16 p. (Biblioteca ECOSUR).

9. Sáenz-Morales, J.R. 2001. Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales de la Bahía de Chetumal, México. ECOSUR. 40 p. (Biblioteca ECOSUR).
10. Salazar-Silva, P. 1998. Cambios en la estructura de la comunidad del macrobentos y su relación a contaminantes orgánicos de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. CINVESTAV. 115 p. (Biblioteca CINVESTAV).

Tesis de Licenciatura:

11. Amábilis-Marín, M.M. 1990. Impacto del huracán Gilberto sobre las concentraciones de metales pesados en sedimentos de tres sistemas lagunares de la Península de Yucatán. 80 p. Universidad de Yucatán. (Biblioteca CINVESTAV).
12. Ayala-Méndez, Edgar Javier. 1983. Estudio de la contaminación por coliformes fecales en el estero Celestún, Yucatán, previo al inicio de un cultivo ostrícola. Universidad de Yucatán. Facultad de Química. (Biblioteca CINVESTAV).
13. Bacelis-Alcocer, D.D. 1993. Evaluación preliminar de los niveles de acumulación de hidrocarburos (alifáticos y aromáticos) en las especies comerciales de camarón (*Penaeus duorarum* y *Penaeus brasiliensis*), en la plataforma continental de la Península de Yucatán. Instituto Tecnológico de Chetumal. 56 p. (Biblioteca CINVESTAV).
14. González-Escalante, L.E. 2001. Evaluación de los poliquetos Neréididos *Nereis sp* y *Laeonereis culveri* (Webster, 1879), como bioindicadores del contenido de materia orgánica en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. 81 p. (Biblioteca ECOSUR).
15. Hernández-Hernández, Esther Victoria. 1988. Estudio de los niveles de contaminación bacteriológica y la incidencia de enteropatógenos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. Universidad Veracruzana. (Biblioteca CINVESTAV).

16. Herrera-Rodríguez, M. 1992. Evaluación de los efectos de los hidrocarburos sobre la comunidad de nemátodos bénticos de vida libre de la plataforma continental de la Península de Yucatán. CINVESTAV. 161 p.
17. LLanes-Baeza, C.A. (2002). Variación espacial y temporal de los mejillones *Mytilopsis sallei* (Récluz, 1849) y *Brachidontes exustus* (Linné, 1758) y su utilidad como indicadores de contaminación orgánica en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. (ECOSUR).
18. León y Peña Najera, Olga. 1987. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes de dos sistemas costeros del Caribe Mexicano. 68 p. Facultad de Ciencias. UNAM.
19. Martín-Medina, D. 2002. *Mytilopsis sallei* y *Brachydonates exustus* como bioindicadores de contaminación por plaguicidas organoclorados en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. Instituto Tecnológico de Chetumal. 66 p. (Biblioteca ECOSUR).
20. Ordoñez Resendiz, M. Magdalena. 1988. Comparación de parámetros hidrológicos y fisicoquímicos de tres ecosistemas costeros diferentes; lago de Zempoala, Estado de México, Sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, y Banco Chinchorro, Quintana Roo. 88 p. UNAM.
21. Ortiz-Hernández, M.C. 1990. Los poliquetos de la sonda de Campeche y Canal de Yucatán, y su relación con los hidrocarburos. CINVESTAV. 99 p. (Biblioteca CINVESTAV).
22. Pérez-Acosta, G.R. 1999. Estudio y análisis de la polución marina en la Bahía de Chetumal, por medio de la evaluación de técnicas para la determinación de ortofosfatos. UQROO. 147 p.
23. Sánchez-Pool, N.E. (en proceso). Determinación de metales pesados (Cu, Cd, Pb, Fe y Zn) en agua, sedimentos y algas de los géneros *Batophora sp* y *Bostrichya sp*, en la Bahía de Chetumal. Universidad de Quintana Roo. (ECOSUR).

24. Sánchez-Reyes, Malinali. 1998. Variación temporal de las comunidades bacterianas y fitoplanctónicas en cinco sistemas carsticos del NE de Quintana Roo, México. 49 p. UNAM-Iztacala.
25. Vega-Merino, M. E. 1999. Determinación de metales pesados en dos especies de jaiba (*Callinectes sapidus* y *Callinectes ornatus*) de la laguna Celestún, Yucatán, México. Universidad de Yucatán. 48 p. (Biblioteca CINVESTAV).
26. Zavala-Mendoza, A. 1988. Concentraciones de metales pesados en las principales especies comerciales de caracol marino en la Península de Yucatán. 91 p. Instituto Tecnológico de Mérida. (Biblioteca CINVESTAV).

Informes Técnicos:

27. Alvarez-Legorreta, T. y Sáenz-Morales, R. 1999. Plaguicidas organoclorados, hidrocarburos y metales pesados en sedimentos de la Bahía de Chetumal. p. 531-535. In: Correa, J. y C. Dachary (Coord.). Programa de Manejo de la zona sujeta a conservación ecológica. Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal. ECOSUR-UQROO-Gobierno del Estado de Quintana Roo.
28. Alvarez-Legorreta, T. y R.M. Sáenz. 2000. Estudio de línea base de plaguicidas, hidrocarburos y nutrimentos en agua, sedimentos y pastos marinos (*Thalassia testudinum*) en la costa sur de Quintana Roo. En: S. Salazar-Vallejo (Coord.). Bentos costero del sur de Quintana Roo: Línea de base para estudios a largo plazo. ECOSUR-CONACYT.
29. Alvarez-Legorreta, T., D. Medina-Martín y A. Zavala-Mendoza. 2000. Plaguicidas organoclorados y metales pesados en sedimentos y organismos bénticos de la Bahía de Chetumal. p. 82-109. In: Salazar-Vallejo, S.I. (Coord.). Bioindicadores bénticos de la Bahía de Chetumal. Informe Técnico. ECOSUR-SEMARNAP.

30. Anónimo. 1997. *Calidad del Agua e Impacto Ambiental (Capítulo 5)*, p. 1-103. Diagnóstico Región XII Península de Yucatán. Sistemas Hidráulicos y Ambientales, S.A. de C.V. Comisión Nacional del Agua. (CNA).
31. Carricart-Ganivet, J.P., E. Arias-González, G. García-Gil, G. Acosta-González, A.U. Beltrán-Torres, J.M. Castro-Pérez, N. Membrillo-Venegas, J.A. Padilla-Saldivar. 2002. Manejo integral de Banco Chinchorro: levantamiento geográfico y caracterización geomorfológica del arrecife, con especial énfasis en las comunidades coralina e íctica. ECOSUR-CINVESTAV-SISIERRA-Reserva de la Biósfera Banco Chinchorro.
32. Chavira-Martínez, D. 1997. Informe preventivo, "Formación de playas en el litoral de la Bahía de Chetumal", Quintana Roo. 54 p. y anexos. (Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología, Municipio de Othón P. Blanco).
33. de la Cruz, G., G. Gold-Bouchot, J.A. Herrera-Silveira, D. Valdes-Lozano, O. Zapata-Pérez, y D. Torruco. 1992. Monitoreo del ambiente acuático circunvecino al lote 18A, Cancún, Quintana Roo.
34. Flores-Rodríguez, J.R. y G. Cano-Ibarra. 1990. Determinación y análisis de parámetros fisicoquímicos, así como algunos aspectos de contaminación en la bahía de Chetumal, Q. Roo. Segunda Fase. Armada de México, SEDUE y CET. del Mar. 22 p. y anexos.
35. Flores-Rodríguez, J.R. y G. Cano-Ibarra. 1992. Características ambientales del Río Hondo, Quintana Roo. Armada de México. 35 p. y anexos.
36. Flores-Rodríguez, J.R., G. Cano-Ibarra y T. Martín-Escobar. 1994. Calidad bacteriológica de los principales balnearios de la bahía de Chetumal, Quintana Roo. Armada de México. Quinta Región Naval. 11ª. Zona Naval Militar. 41 p.
37. Flores-Rodríguez, J.R. y J.J. García-Domínguez. 2001. Resumen de los estudios de la calidad del agua de la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. 1988-2000. Secretaría de Marina Armada de México. Quinta Región Naval Militar. Sector Naval de Chetumal. 15 p.

38. Gold-Bouchot, G. y O. Zapata-Pérez. 1994. Análisis de resultados del programa: Evaluación de la contaminación del agua de los litorales del Golfo y Mar Caribe de México. CINVESTAV-SEDESOL. 40 p.
39. Morales-Vela, B., D. Olivera-Gómez y P. Ramirez-García. 1996. Conservación de los manatíes en la región del Caribe de México y Belice. ECOSUR-CONACYT. 127 p.
40. Olvera-Novoa, M., E. Arias, D. Torruco, Valdez-Lozano, D., G. Gold-Bouchot y J.A. Herrera-Silveira. 2002. Análisis de calidad del agua y monitoreo biológico del sitio CALICA, Quintana Roo. Noveno Informe. 92 p. CINVESTAV.
41. Ortiz-Hernández, M.C. y J.R. Sáenz-Morales. 1995. Monitoreo de la contaminación de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. CIQRO-CONACYT. 50 p. y Anexos.
42. Ortiz, M.C., R.M. Sáenz y A. M. Zavala. 1997. Plaguicidas organoclorados e hidrocarburos aromáticos. En: M.C. Ortiz (Coord.). Estudio emergente sobre la mortandad de bagres en la Bahía de Chetumal. ECOSUR- Gob. del Estado de Quintana Roo. p. 22-34.
43. Ortiz-Hernández, M.C., J.R. Sáenz-Morales, A. Vásquez-Botello, G. Díaz-González y B. Jasso-Méndez. 1997. Presencia de plaguicidas en la población rural y su impacto ecológico en el Río Hondo, Quintana Roo, México. ECOSUR-CONACYT. 35 p.
44. Rosado-May, F.J., F. Duch-Gaves, I. Zaragoza-Angeles, B. Prezas-Hernández, I.A. Pelayo, A.Y. Olivera-Gómez, H. Ventura-Hernández, E. Mendoza-Gómez, H. Gamboa-Pérez, B.i. Campos-Cámara, J.A. Rodríguez-Garza. 1998. Programa de ordenamiento territorial de la región Costa Maya. Tomo III. Cap. VI.- Diagnóstico. p. 1-97. UQROO.
45. Rosado-May, F.J., B. Prezas-Hernández, L. Cobá-Cetina, E. Mendoza-Gómez, A. Caballero-Vázquez, V.H., Delgado-Blas, J.A. Rodríguez-Garza, L.G. Gorocica-Coral, A. Canché-Uuh, J.L. González-Bucio y M.M. Maldonado-Cervera. 1999. Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Conservación

Ecología Santuario de la Tortuga Marina Xcacel y Xcacelito. Capítulo III.- Diagnóstico.

46. Sheinbaum, J., J. Candela, A. Badán, J.L. Ochoa y R. Iglesias. 2001. Estudio de la circulación en el Caribe Mexicano. Protocolo de proyecto de grupo DG/2001-575, 17 p.
47. Vidal-Martínez, V., G. Gold-Bouchot y O. Zapata-Pérez. 1997. Mortandad de bagres en la Bahía de Chetumal. (CINVESTAV- Gob. del Estado de Quintana Roo)

Documentos publicados:

48. Alvarez-Legorreta, T. 1999. Bahía de Chetumal, Quintana Roo, p. 16-18. In: Smith, S.V., J.I. Marshall Crossland & C.J. Crossland (Eds.). Mexican and Central American coastal lagoon systems: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes (Regional Workshop II). LOICZ Report & Studies No.13. LOICZ IPO, Texel, The Netherlands.
49. Alvarez-Legorreta, T. 2001. Estudios sobre contaminación en la bahía de Chetumal realizadas por CIQROO y El Colegio de la Frontera Sur, 1993-2000. *AvaCient*. 30: 30-38.
50. Alvarez-Legorreta, T. 2002. Plaguicidas organoclorados en sedimentos de la Bahía de Chetumal y del Río 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 171-178.
51. Alvarez-Legorreta, T., G. Cruz-Piñón, J. Espinoza-Avalos, C.Y. López, E. Orihuela-Belmonte, L.I. Quan-Young, C. Tovilla-Hernández, M. Valdez-Hernández, B.I. van Tussenbroek. (enviado). *Macroalgae, the seagrass *Thalassia testudinum*, and mangroves from the boundary between two National Parks of Mexico and Belize*. *Aquatic Botany*.

52. Chavira, D., J. Briseño, A. Negroe, J. Pérez, T. Sánchez y R. Hoil. 1992. Diagnóstico de la calidad del agua en la bahía de Chetumal, Quintana Roo. *AvaCient*. 3: 16-31.
53. De Jesús-Navarrete y J.J. Oliva-Rivera. 1997. Densidad, crecimiento y reclutamiento del caracol rosado *Strombus gigas* L. (Gasteropoda: Strombidae) en Quintana Roo, México. *Rev. Biol. Trop.* 45 (2): 797-801.
54. De Jesús-Navarrete, A., J.J. Oliva-Rivera, V. Valencia-Beltrán y N. Quintero López. 2000. Distribución de los sedimentos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*. 10 (1): 61-67.
55. De Jesús-Navarrete, A. & J.J. Oliva-Rivera. (aceptado). Litter production of *Rhizophora mangle* at Bacalar Chico, southern Quintana Roo, México. *Rev. Universidad y Ciencia, UJAT. Tabasco, México*.
56. De Jesús-Navarrete, A. (aceptado). Physical characterization of the reef lagoon at Banco Chinchorro, Mexico: an overview. *Bulletin of Marine Science*.
57. Diario Oficial de la Federación. 2000. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de Parque Nacional, la región conocida como Arrecifes de X'calak. Tomo DLXVI, No. 18, p. 67, sección 1. México, D.F. Lunes 27 de noviembre de 2000.
58. Eúan-Ávila, J.I., A. Liceaga-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 potencia 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 197-204.
59. García-Ríos, V.Y. y G. Gold-Bouchot. 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 143-148.
60. Herrera-Silveira, J.A. & J. Ramírez-Ramírez. 2001. Laguna de Celestún, Yucatán, México. environment and development in coastal regions and in small islands. Coastal region and small island papers 3. UNESCO. 12 p. <http://www.unesco.org/csi/pub/papers/herrera.htm>
61. Herrera-Silveira, J.A., A. Jiménez-Zaldivar, 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 185-196.
62. INE-SEMARNAP. 1996. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. 80 p.
63. INE-SEMARNAP. 1997. Programa de manejo del Parque Nacional Isla Contoy. 128 p.
64. INE-SEMARNAP. 1998. Programa de manejo del Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancun y Punta Nizuc. 159 p.
65. INE-SEMARNAP. 1998. Programa de manejo del Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel, Quintana Roo, México. 164 p.
66. INE-SEMARNAP. 1998. La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion.html>
67. INE-SEMARNAP. 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos. 162 p.
68. INE-SEMARNAP. 2000. Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Banco Chinchorro. 189 p.

69. INE-SEMARNAP. 2000. Programa de manejo Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos. 224 p.
70. Kjerfve, B., J.C. Ogden, J. Garzón-Ferreira, E. Jordán-Dahlgren, K. De Meyer, P. Penchaszadeh, W.J. Wiebe, J.D. Woodley and J.C. Zieman. 2001. CARICOMP: A Caribbean network of marine laboratories, parks, and reserves for coastal monitoring and scientific collaboration. Environment and development in coastal regions and in small islands. Coastal region and small islands papers 3. UNESCO. 16 p.
<http://www.unesco.org/csi/pub/papers/kjerfve.htm>
71. Mandujano-Sánchez, P. 2002. Análisis del impacto ambiental del relleno sanitario sobre 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 211-218.
72. Medina-Elizalde, M., G. Gold-Bouchot, V. Ceja-Moreno. 2002. Lead contamination in the Mexican Caribbean recorded by the coral *Montastrea annularis* (Ellis and Solander). Marine Pollution Bulletin. 44: 421-431.
73. Medina-Gómez, I., J.A. Herrera-silveira, A. Jiménez, M. Aguayo, J. Trejo, I. Medina y F. Tapia. 2002. Metabolismo de la Bahía de Chetumal basado en el balance estequiométrico de nutrientes. 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 33-42.
74. Merino, M., S. Czitrom, E. Jordán, E. Martin, P. Thomé and O. Moreno. 1990. Hydrology and rain flushing of the Nichupté lagoon system, Cancún, México. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 30: 223-237.
75. Merino, M., A. González, E. Reyes, M. Gallegos and S. Czitrom. 1992. Eutrophication in the lagoons of Cancún, México. Science of the Total Environment, Supplement. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. p. 861-870.

76. Noreña-Barroso, E., O. Zapata-Pérez, V. Ceja-Moreno y G. Gold-Bouchot. 1998. Hydrocarbon and organochlorine residue concentrations in sediments from Bay of Chetumal, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 61 (1): 81-87.
77. Noreña-Barroso, E., R. Simá-Alvarez, G. Gold-Bouchot y J. Güemes-Ricalde. 2002. Biomarcadores de exposición y efecto por contaminantes orgánicos en el bagre maya *Ariopsis assimilis* de 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 161-170.
78. Ortiz-Hernández, M.C. & Sáenz-Morales, R. 1997. Detergents and orthophosphates inputs from urban discharges to Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59: 486-491.
79. Ortiz-Hernández, M.C. & Sáenz-Morales, R. 1999. Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Environmental Monit. and Assess.* 55: 423-434.
80. Rosado-May, F.J., R. Romero-Mayo y Y. Medina-Gómez. 2001. Retos y perspectivas de la Bahía de Chetumal y sus alrededores: un análisis de la bibliografía publicada. UQROO-Coastal Resources Center-USAID. Serie Bahía de Chetumal No. 1. 83 p.
81. Ruíz-Rentería, F., B.I. van Tussenbroek and E. Jordán-Dahlgren. 2001. Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Environment and development in coastal regions and in small islands. Coastal region and small island papers 3. UNESCO. 9 p. <http://www.unesco.org/csi/pub/papers/ruiz.htm>
82. Tan, K.C., D. Valdes & J. Euan. 2002. Coastal pollution study in Holbox, Mexico. *The Journal of Policy Studies*, 12: 45-54.
83. Valero-Gamboa, M.E. 2002. Calidad del agua de 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 179-184.

84. Vázquez-Botello, A., G. Ponce-Vélez, S. Villanueva-Fragoso y L. Rueda-Quintana. 1994. Contaminación. p. 445-470. En: De la Lanza-Espino, G. y C. Cáceres-Martínez (Eds.). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
85. Vidal-Martínez, V.M., M.L. Aguirre-Macedo, E. Noreña-Barroso, G. Gold-Bouchot y P.I. Caballero-Pinzón. 2002. Los metazoarios parásitos del bagre *Ariopsis assimilis* como indicadores de contaminación química de la Bahía de Chetumal, México. 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 de Quintana Roo, Chetumal, Q. Roo, México, p. 149-160.
86. Zapata-Pérez, O., R. Simá-Alvarez, E. Noreña-Barroso, J. Güemez, G. Gold-Bouchot, A. Ortega & A. Albores-Medina. 2000. Toxicity of sediments from Bahía de Chetumal, México, as assessed by hepatic EROD induction and histology in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Marine Environmental Research*. 50: 385-391.