



Diagnóstico ambiental del Golfo de México

Margarita Caso, Irene Pisanty y
Exequiel Ezcurra (compiladores)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología
Instituto de Ecología, A.C.
Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL
del
GOLFO DE MÉXICO

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL
DEL GOLFO DE MÉXICO

*Margarita Caso, Irene Pisanty
y Exequiel Ezcurra
(Compiladores)*

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.
HARTE RESEARCH INSTITUTE FOR GULF OF MEXICO STUDIES

Primera edición: noviembre de 2004

D.R. © Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)
Periférico sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco,
C.P. 04530. México, D.F.
www.ine.gob.mx.

COORDINACIÓN EDITORIAL, DISEÑO DE INTERIORES
Y TIPOGRAFÍA: Raúl Marcó del Pont Lalli
DISEÑO DE LA PORTADA: Álvaro Figueroa
FOTO DE LA PORTADA: Pablo Cervantes
CORRECCIÓN DE ESTILO: Irene Pisant y Margarita Caso
con el apoyo de Eduardo Chagoya Medina

ISBN: 968-817-705-9

Impreso y hecho en México

ÍNDICE

Volumen 1

<i>Presentación</i>	13
<i>Resumen ejecutivo</i>	15
I. FÍSICO QUÍMICA DEL GOLFO DE MÉXICO	
La hidrodinámica del Golfo de México	47
<i>María Adela Monreal-Gómez, David Alberto Salas-de-León, Habacuc Velasco-Mendoza</i>	
Análisis descriptivo de las masas de agua oceánica que arriban al Golfo de México	69
<i>Alberto M. Vázquez de la Cerda</i>	
Características físicas y químicas del Golfo de México	105
<i>Guadalupe de Lanza Espino y Juan Carlos Gómez Rojas</i>	
II. LA BIOTA DEL GOLFO DE MÉXICO	
Mamíferos marinos del Golfo de México: estado actual del conocimiento y recomendaciones para su conservación	137
<i>Joel G. Ortega-Ortíz, Alberto Delgado-Estrella y Alejandro Ortega-Argueta</i>	

Ostrácodos bentónicos del sur del Golfo de México <i>Ma. Luisa Machain-Castillo y Raúl Gío-Argáez</i>	163
Las tortugas marinas del Golfo de México. Abundancia, distribución y protección <i>René Márquez-M.</i>	175
Estado del conocimiento de las comunidades bénticas en el Golfo de México <i>Elva Escobar Briones</i>	201
Biología, explotación y gestión de los meros (Serranidae, Epinephelinae, Epinephelini) y pargos (Lutjanidae, Lutjaninae, <i>Lutjanus</i>) del Golfo de México <i>Thierry Brulé, Teresa Colás-Marrufo, Esperanza Pérez-Díaz y Christian Déniel</i>	247
Las aves del Golfo de México y las áreas prioritarias para su conservación <i>Julio C. Gallardo del Ángel, Enriqueta Velarde González y Roberto Arreola Alemón</i>	301
Estado actual de los recursos malacológicos del Golfo de México <i>Erick Raúl Baqueiro Cárdenas</i>	323

III. LOS ECOSISTEMAS DEL GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México: pasado, presente y futuro. Una colaboración entre Estados Unidos de América, México y Cuba <i>John W. Tunnell Jr., Darryl L. Felder y Sylvia A. Earle</i>	361
Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos <i>Francisco Contreras E. y Ofelia Castañeda L.</i>	373
Impacto de la urbanización en zonas costeras. Caso de estudio: zona conurbada Altamira-Madero-Tampico, Tamaulipas, México <i>Sergio Jiménez, Wilver Salinas y Jesús Campos</i>	417

Interacciones ecológicas estuario-mar: marco conceptual para el manejo ambiental costero <i>Alejandro Yáñez-Arancibia, Ana Laura Lara-Domínguez, Patricia Sánchez-Gil y John W. Day</i>	431
Las playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual <i>Patricia Moreno-Casasola</i>	491
Flora y vegetación de los humedales de agua dulce en la zona costera del Golfo de México <i>Antonio Lot</i>	521
Arrecifes coralinos del Golfo de México: caracterización y diagnóstico <i>Eric Jordán-Dahlgren</i>	555
La geología ambiental de la zona litoral <i>Arturo Carranza-Edwards, Leticia Rosales-Hoz, Margarita Caso Chávez y Eduardo Morales de la Garza</i>	573
Los ecosistemas marinos de la región noroccidental de Cuba <i>Gaspar González-Sansón y Consuelo Aguilar-Betancourt</i>	603

Volumen 2

IV. MANEJO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO

Perspectivas de la conservación en el Golfo de México <i>Roberto de la Maza y Amaya Bernárdez</i>	637
Hidrocarburos en el sur del Golfo de México <i>Gerardo Gold Bouchot</i>	657
Distribución y contaminación de metales en el Golfo de Mexico <i>Alfonso Vázquez Botello, Susana Villanueva Fragoso y Leticia Rosales Hoz</i>	683
Aprovechamiento y conservación del recurso camarón <i>Adolfo Gracia</i>	713

La sustentabilidad de las pesquerías del Golfo de México <i>Antonio Díaz-de-León, José Ignacio Fernández, Porfirio Álvarez-Torres, Oscar Ramírez-Flores y Luis Gerardo López-Lemus</i>	727
La pesca en el Golfo de México. Hacia mayores biomásas en explotación <i>Virgilio Arenas Fuentes y Lourdes Jiménez Badillo</i>	757
Hipoxia en el Golfo de México <i>Nancy N. Rabalais</i>	773
La condición reproductiva del camarón blanco <i>Litopenaeus setiferus</i> (Crustacea; Penaeidae): evidencias de deterioro ambiental en el sur del Golfo de México <i>Carlos Rosas , Edwin L. Cooper, Cristina Pascual, Roberto Brito, Rolando Gelabert, Teresa Moreno, Gustavo Miranda y Ariadna Sánchez</i>	791
Eutrofización costera en la península de Yucatán <i>Jorge A. Herrera-Silveira, Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli Ghinaglia, Francisco A. Comín y Chris Madden</i>	823
El delta del Misisipi: funcionamiento del sistema, impactos ambientales, y manejo sustentable <i>John Day, Paul Templet, Jae-Young Ko, William Mitsch, G. Paul Kemp, James Johnston, Gregory Steyer, John Barras, Dubravko Justic, Ellis Clairain, Russell Theriot</i>	851
La observación de impactos en el Golfo de México mediante imágenes de satélite <i>Raúl Aguirre Gómez</i>	883
Lineamientos para el programa regional de manejo integrado de la zona costera del Golfo de México y Caribe <i>D. Zárate Lomelí, A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz Pérez, A. Lara Domínguez, C. Ojeda de la Fuente, L. J. Morales Arjona y S. Guevara Sada</i>	899

Entre la ciencia y la política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México 937
Alejandro Toledo

Los impactos de las actividades relacionadas con el petróleo y el gas en la disminución de los humedales costeros en el delta del Misisipi 961
Jae-Young Ko, John Day, John Barras, Robert Morton, James Johnston, Gregory Steyer, G. Paul Kemp, Ellis Clairain y Russell Theriot

V. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL GOLFO DE MÉXICO

Hacia un manejo integrado del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México 985
Antonio Díaz-de-León, Porfirio Alvarez-Torres, Roberto Mendoza-Alfaro, José Ignacio Fernández-Méndez y Oscar Manuel Ramírez

La normatividad de las zonas costeras y marinas 1007
Aquilino Vázquez García

Monitoreo y vigilancia de las zonas costeras. Marco legal de las inspecciones de PROFEPA 1033
José N. Iturriaga

Ambivalencias y asimetrías en el proceso de urbanización en el Golfo de México: presión ambiental y concentración demográfica 1043
Cuauhtémoc León e Hipólito Rodríguez

La invención del Golfo de México 1083
Sergio Guevara Sada

PRESENTACIÓN

*Margarita Caso, Irene Pisanty
y Exequiel Ezcurra*

La naturaleza es un sistema complejo cuyas interacciones son multidimensionales. Dado que el manejo y la gestión son formas de intervenir en la naturaleza, hacerlo de modo responsable y efectivo supone conocer estos mecanismos de interacción. Dentro de esta óptica, la misión fundamental del Instituto Nacional de Ecología es la generación de información científica y técnica sobre problemas ambientales, para informar a la sociedad, apoyar la toma de decisiones, impulsar la protección ambiental y promover el uso sustentable de los recursos naturales.

En la compleja problemática que involucra el uso y la protección de los recursos naturales, los que derivan del mar tienen características particulares. La amplitud e interconexión de los ecosistemas costeros y marinos, así como su inaccesibilidad, contribuyen a la dificultad para estudiarlos.

El Golfo de México es prácticamente un mar interior, parcialmente conectado con el Océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el Mar Caribe a través del canal de Yucatán. La masa de agua está bordeada al oeste, sur y sureste por 6 estados de México, al norte y noroeste por 5 de Estados Unidos y al Oeste por la isla de Cuba.

La zona recibe un importante aporte de agua dulce, ya que desembocan las descargas de los principales ríos de Norteamérica: la sección mexicana recibe el 60% de la descarga nacional de los ríos y tiene el 75% de la superficie de ambientes estuarinos (Botello et al. 1998); por parte de Estados Unidos, el Río Mississippi descarga un promedio de 580 km³ de agua dulce por año en el norte del Golfo de México y es responsable de cerca del 90 por ciento del influjo de agua dulce hacia el Golfo de México (Day et al. 2004, Rabalais 2004).

En la zona costera del Golfo de México se encuentra una gran diversidad de hábitats costeros de alta productividad que son sistemas interconectados, como bahías, deltas, lagunas costeras y estuarios, humedales, pastos marinos, y arrecifes de coral.

Los ambientes costeros son fuertemente afectados por el desarrollo de un gran número de actividades que con frecuencia son incompatibles entre sí. En la actualidad las actividades humanas son directa o indirectamente la principal causa de las modificaciones de la biodiversidad marina y cuyos efectos son, contrariamente a muchas de las perturbaciones naturales que han existido continuamente en el océano, casi siempre irreversibles (National Research Council 1995). La mayoría de las amenazas actuales y potenciales de la biodiversidad marina ocurren en la zona costera y son resultado directo de las tendencias demográficas de la población humana: se estima que casi el 70% de la población global vive en la costa, o a no más allá de 60 km de distancia de ésta, y el porcentaje sigue aumentando, por lo que el total de la población puede llegar a duplicarse en menos de 30 años (Norse 1994).

En respuesta a la compleja problemática de este ecosistema compartido por tres países, se requiere un tratamiento conjunto, transfronterizo e interdisciplinario que contribuya a prevenir, reducir y controlar la degradación del medio marino y costero, con el objeto de mantener e incluso mejorar sus capacidades productivas. Ante esta situación, surge la necesidad de realizar un diagnóstico ambiental del Golfo de México, que permita identificar problemas transfronterizos, áreas de atención prioritaria de manera integrada, revisar el conocimiento existente e identificar las amenazas que existen en el Golfo de México.

Mediante la realización del taller "Diagnóstico Ambiental del Golfo de México" realizado en la ciudad de Veracruz en agosto de 2003, hemos querido propiciar un encuentro entre varios expertos en diversos temas ambientales del Golfo de México fortaleciendo el intercambio académico entre investigadores de diferentes disciplinas e instituciones con amplio conocimiento de la zona y autoridades ambientales del gobierno Federal. El carácter internacional del evento permitió estrechar los lazos de colaboración entre tres países que comparten los recursos de tan importante región ecológica. La publicación de este libro es la culminación de dicho esfuerzo. Consideramos que este será un primer paso para establecer un plan de acción a mediano y largo plazo para estrechar los mecanismos de cooperación regional y avanzar hacia un desarrollo sostenible integrado del Golfo de México.

Primera parte
FÍSICO QUÍMICA DEL GOLFO DE MÉXICO

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO. RESUMEN EJECUTIVO*

*John W. Day, Antonio Díaz de León, Gaspar González Sansón,
Patricia Moreno-Casasola
Alejandro Yáñez-Arancibia (coordinador)*

RESUMEN

Esta síntesis ejecutiva resume los aportes de los 38 capítulos resultantes de la participación de 96 autores provenientes de 55 instituciones (federales o estatales, instituciones paraestatales del sector industrial, universidades y centros de investigación federales, estatales o privadas y organizaciones ambientalistas no gubernamentales), tanto de México como de Estados Unidos. En algunos capítulos participan profesionales de Cuba, España, Francia y Venezuela. La información se ha obtenido de los propios resúmenes de cada capítulo, o de la información complementaria que los autores de capítulos enviaron posteriormente. Para la presentación de la información, se ha seguido la metodología que utiliza la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO en sus informes o conclusiones de reuniones técnicas, enumerando correlativamente párrafos secuenciales, lo

* Este resumen ejecutivo es parte de los resultados del Taller internacional desarrollado en el Puerto de Veracruz, los días 20 a 22 de agosto de 2003, organizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) y el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL-CONACYT). El grupo de trabajo que elaboró esta resumen fue designado por el Instituto Nacional de Ecología.

cual evita información recurrente y otorga un sentido natural al enfoque de ecosistema. Ninguno de los párrafos tiene interpretación por parte del grupo de trabajo y se respetó el punto de vista y perspectivas que surge de todos y cada uno de los capítulos. En cada párrafo se ha omitido citar como referencia algún capítulo en específico, tanto porque en la mayoría de cada uno de ellos hay referencias cruzadas, como para otorgar a cada uno el aval de todos los capítulos y de todos los participantes en el libro.

La información se ha reunido en cuatro secciones: 1) escenario ambiental, 2) escenario socio económico, 3) normatividad y perspectivas de gestión y manejo y 4) identificación de problemas y áreas de atención prioritaria. Esto refleja los temas desarrollados en el taller de Veracruz, que fueron: a) físico química del Golfo, b) la biota del Golfo, c) los ecosistemas del Golfo, d) impactos y manejo de la zona costera, y e) aspectos socioeconómicos. Esos temas ofrecieron la información para cumplir con los objetivos del taller, que fueron: 1) realizar un diagnóstico ambiental transfronterizo, 2) generar la información interdisciplinaria útil en la toma de decisiones para prevenir, reducir y controlar la degradación del medio marino y costero, como forma de mantener y mejorar las condiciones y capacidades productivas, 3) identificar problemas y áreas en los que hace falta investigación científica y tecnológica, y 4) promover el manejo integrado y el desarrollo sostenible de las áreas costeras y el ambiente marino del Golfo de México. El grupo de trabajo agradece la distinción de la responsabilidad otorgada por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), así como el respaldo de los 80 autores involucrados en esta obra.

I. EL ESCENARIO AMBIENTAL

1. La superficie del Golfo de México, incluyendo el cuerpo de agua y los humedales costeros, de México y Estados Unidos, es *ca.* 1,942,500 km². Sólo el cuerpo de agua tiene una superficie aproximada de 1,507,639 km². La profundidad promedio del Golfo es *ca.* 1,615 m, y el volumen de agua es aproximadamente 2,434,000 km³.
2. La cuenca de drenaje total del Golfo de México es *ca.* 5,180,000 km², descargando más del 80% del agua dulce de los Estados Unidos a través de más del 60% de su geografía continental, y más del 62% del total nacional de México a través de más del 40% de su geografía continental. Los meses de abril-mayo constituyen el periodo de mayor descarga fluvial en las costas de Estados Unidos (después de los deshielos y lluvias

- continentales). Septiembre-octubre es la época de mayor descarga fluvial en las costas de México (después de las lluvias continentales).
3. En la costa mexicana del Golfo, la estacionalidad climática meteorológica se caracteriza por un periodo de secas de febrero a mayo, uno de lluvias de verano de junio a octubre con presencia de depresiones tropicales, y uno de frentes fríos anticiclónicos (nortes) de octubre a febrero. Estos tres periodos son constantes pero se traslapan de manera relativa, y su intensidad está variando por efectos del cambio climático global.
 4. La circulación oceánica en el Golfo de México se debe principalmente al viento y al transporte de masas a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de la Florida. El agua cálida y salina que llega por el Canal de Yucatán es llevada hacia el estrecho de la Florida siguiendo una trayectoria de lazo. A mesoescala, las principales características son la Corriente de Lazo, un gran giro anticiclónico frente a la costa de Tamaulipas, la corriente de frontera oeste, y la circulación ciclónica sobre la plataforma de Texas-Louisiana, de Florida, de la Bahía de Campeche y en la periferia de la Corriente de Lazo.
 5. En el Canal de Yucatán confluyen diferentes masas de agua; el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (ASSC), el Agua Intermedia Antártica y el Agua Profunda Noratlántica. Dentro del Golfo el ASSC puede transformarse debido a la mezcla convectiva y dar origen a dos masas de agua de menor salinidad; el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México y el Agua Común del Golfo.
 6. El flujo de masas a través del Canal de Yucatán varía estacionalmente, aunque en promedio en la capa superior a los 500 m se presenta un transporte de $14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{seg}$, con máximos en primavera y verano. La fricción de fondo que experimenta esta corriente al chocar contra el talud continental, se ha propuesto como el mecanismo que da origen a la surgencia noreste de Yucatán.
 7. El análisis de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes, en las masas de agua y su comportamiento, permite fundamentar la importancia de los giros en la distribución de esos parámetros, destacando los ciclónicos por el enriquecimiento que propician en aguas superficiales y subsuperficiales (según la intensidad del giro), y el enriquecimiento de nutrientes en los anticiclónicos.
 8. La productividad natural del Golfo de México depende de las interacciones de procesos terrestres y marinos que convergen en la zona costera, condicionado por los procesos climático meteorológicos e hidrológicos.

9. La distribución de la clorofila-*a* en aguas oceánicas sugiere que el Golfo de México es considerado como oligotrófico (en la capa superficial), no sólo por su concentración de nutrientes, sino por el contenido de este pigmento, aún en el área de surgencia; pero se registran valores más altos en las aguas costeras y en la nutriclina.
10. En Cuba, la información existente sobre los ecosistemas costero-marinos de la región noroccidental, es muy general y enfocada en buena medida a determinar variaciones espaciales en escala, principalmente de decenas de kilómetros. Las variaciones temporales han sido investigadas en forma limitada, considerando las variaciones estacionales. Particularmente notoria es la ausencia de investigaciones que analicen las variaciones interanuales en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costero-marinos.
11. En Cuba predomina la idea que los arrecifes de coral, los manglares y las praderas de pastos marinos tienen un buen estado de conservación; aunque existe una explotación excesiva de los peces con importancia comercial. Esta perspectiva se basa en el hecho de que la zona costera, en su mayor parte, está muy poco poblada; la actividad agrícola no es muy intensa y no hay un desarrollo industrial o turístico. Complementariamente, existe el criterio de que las aguas de la plataforma continental (por orientación, longitud y amplitud), se renuevan con gran eficiencia a partir de su interacción con el océano.
12. La zona costera del Golfo, tanto de México como de los Estados Unidos, contiene más de 200 sistemas lagunares-estuarinos. Más del 75 % del total nacional de humedales costeros, de ambas naciones se localiza en el Golfo de México.
13. Las lagunas costeras, estuarios y hábitats asociados en el Golfo de México sirven como protección, reproducción y áreas para la crianza de recursos pesqueros estuarino-dependientes. En Estados Unidos, estas pesquerías proveen aproximadamente el 72% de la pesquería de camarón, 66% de producción de ostiones, y 18% de capturas comerciales de peces. En México, corresponde al 45% de la pesquería de camarón, 90% de producción de ostiones y 40% de captura comercial de peces. Actualmente todo el Golfo de México aporta capturas pesqueras de más de 1×10^6 ton/año, sin considerar el descarte de la pesca incidental o acompañante del camarón.
14. El complejo deltáico Usumacinta-Grijalva marca claramente la frontera de sedimentos terrígenos costeros hacia el sur de Campeche, Tabasco y

Veracruz, y carbonatados (kársticos) hacia el norte de Campeche y Yucatán. Esta característica se refleja no sólo en la granulometría de las playas, sino también en ambientes sedimentarios de la plataforma continental nerítica. Se reconoce al sistema de Laguna de Términos como el centro de esta frontera sedimentaria.

15. La dinámica de las interacciones ecológicas estuario-mar en el Golfo de México depende de la fisiografía e hidrodinámica costera, condicionada por la geomorfología y los pulsos climático-meteorológicos.
16. La estructura funcional de los ecosistemas lagunares-estuarinos a lo largo del gradiente latitudinal desde el delta del río Bravo hasta la costa Caribe de México, sugiere tres regiones: a) una región distintiva desde la Laguna Madre de Texas/Tamaulipas hasta la Laguna de Tamiahua Veracruz, pudiéndose prolongar hasta el centro-norte del estado de Veracruz, b) otra región desde la Laguna de Alvarado y delta del Papa-loapan en Veracruz hasta la Laguna de Términos y los Pantanos de Centla delta Usumacinta/Grijalva en Tabasco y Campeche y c) la costa norte y oriental de la Península de Yucatán. Los niveles de productividad primaria acuática, presupuesto climático de agua, gradientes físico químicos y estructura trófica, se correlacionan con estas regiones.
17. Por el perfil de ecosistemas contrastante pero representativos de la zona costera del Golfo de México, se sugieren cuatro categorías: a) sistemas lagunares-estuarinos semiáridos (Laguna Madre de Texas/Tamaulipas, y Laguna Celestún en Yucatán), dominados por procesos marinos y limitado drenaje fluvial, b) sistemas intermedios no dominados por ríos (Laguna de Tamiahua en Veracruz), c) sistemas dominados por ríos (Laguna de Alvarado delta del Papaloapan en Veracruz, Pantanos de Centla delta Grijalva/Usumacinta en Tabasco, Laguna de Términos delta Usumacinta en Campeche), dominados por procesos costeros y gran aporte fluvial, expresando un delta progradante y amplia pluma estuarina sobre la plataforma continental y d) sistemas kársticos del litoral Caribe (Laguna arrecifal Puerto Morelos y Sistema lagunar de Sian Ka'an en Quintana Roo), dominados por procesos marinos y con aporte freático de agua dulce.
18. El presupuesto climático del agua, la descarga de ríos, el tiempo de residencia de la zona de mezcla, la concentración de nutrientes y fertilizantes y la eficiencia del entrampamiento de sedimentos, sugiere que los sistemas lagunares-estuarinos estudiados en la zona costera del Golfo

son altamente susceptibles a la eutrofización.

Hay suficiente información para entender que la productividad acuática de la plataforma continental nerítica, desde la Sonda del Misisipí hasta la Sonda de Campeche, está condicionada por procesos costeros (*i.e.*, descarga de ríos, circulación litoral, mareas, corrientes residuales, vientos, cobertura vegetal costera), correlacionada con la provincia sedimentaria terrígena, en dinámica interacción ecológica estuario-mar, como reflejo de importantes frentes de plumas estuarinas.

20. Las lagunas costeras y los estuarios, son importantes tanto por su biodiversidad, como por las actividades socioeconómicas que sostienen. Por tratarse de una zona de mezcla de aguas oceánicas y dulceacuícolas, el entendimiento de sus propiedades físico químicas es fundamental para la comprensión de su funcionamiento y las implicaciones para su manejo sustentable. El análisis de parámetros como: hidrología, nutrientes y productividad primaria, en escalas temporales y amplio rango latitudinal, permite proponer valores “promedio” que pueden ser útiles para entender una regionalización costera, y como valores de referencia para monitorear la salud de estos ecosistemas.
21. La Laguna Madre de Texas/Tamaulipas, Laguna de Tamiahua, Laguna de Alvarado y delta del Papaloapan, Pantanos de Centla y delta Usumacinta/Grijalva, Laguna de Términos y delta Usumacinta/Grijalva, Laguna Celestún, Sistema lagunar Sian Ka’an, y Laguna arrecifal Puerto Morelos son ecosistemas, contrastantes pero representativos, para comprender las interacciones ecológicas estuario-mar y la estructura funcional costera del Golfo de México y Caribe, en un gradiente latitudinal.
22. Las aguas protegidas mesohalinas y la plataforma continental marina interactúan y se conectan a través de bocas estuarinas. Las islas de barrera están interrumpidas por éstas, pero también el encuentro de los ríos y el mar constituye una boca estuarina. En este subsistema ocurre un activo intercambio de organismos, agua, contaminantes, nutrientes, materia orgánica y sedimentos. Esto involucra procesos de transporte y mezcla, movimientos migratorios, variaciones en diversidad y abundancia biótica, cambios ontogenéticos en ciclos biológicos, dinámica en la ecología trófica, además de cambios en los gradientes físico químicos y la productividad del ecosistema.
23. Hay suficiente información para comprender la importancia ambiental de la Laguna Madre en Tamaulipas y la Laguna de Términos en Campe-

che; la primera con grandes restricciones de aporte fluvial y la segunda con la mayor descarga de ríos en el Golfo. Aunque contrastantes, ambas están identificadas como regiones prioritarias costero-marinas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Se requiere establecer algún tipo de protección para el sistema de Laguna Madre y desarrollar acciones concretas en la Laguna de Términos para fortalecer su programa de manejo.

24. Los humedales se encuentran dentro de los ecosistemas más productivos del Golfo de México. Se establecen a lo largo de gradientes de inundación y de salinidad. En la frontera hacia el mar se encuentran las lagunas costeras y estuarios, cuya productividad depende, por una parte, de los procesos ecológicos que ocurren en los humedales de la planicie costera, y por otra, de los procesos marino-costeros en la plataforma continental adyacente.
25. Los humedales costeros son las zonas que reciben la recarga freática de las montañas y planicies tierra adentro. Su funcionamiento y conservación dependen de la situación ambiental y del manejo del agua en regiones muy alejadas. Localmente, los distintos humedales de México se han caracterizado por su composición florística y estructura, la cual es resultado en gran medida del hidroperiodo de los humedales.
26. Las playas y dunas son ambientes de sedimentación de gran importancia, formados por granos de arena que han sido transportados por ríos y escurrimientos hasta la costa, así como por corrientes litorales y vientos. Estos sedimentos circulan libremente dentro de sus respectivas celdas costeras bajo patrones estacionales de acumulación y erosión.
27. Los recursos pesqueros críticos (peces, crustáceos, moluscos) en la plataforma continental nerítica del Golfo de México dependen de la calidad de las aguas y hábitats (*i.e.*, descarga de ríos, superficie de lagunas costeras y estuarios, cobertura vegetal de humedales costeros, dinámica ecológica estuario-mar, turbidez, carga orgánica e inorgánica, entre otros). La sustentabilidad de las pesquerías depende de la integridad ecológica de los ecosistemas costeros.
28. Labiodiversidad y cobertura de la vegetación de los humedales costeros, son importantes indicadores de la salud y evolución de los humedales del Golfo de México. Reflejan el impacto antropogénico en una hidrología errática, la expansión de la frontera agropecuaria, el reemplazo de la vegetación acuática por comunidades monoespecíficas con

- características de malezas y exóticas. Pero la vegetación también refleja su vulnerabilidad frente al cambio climático global, por ser particularmente sensible al ascenso relativo del nivel medio del mar.
29. La combinación de los factores del impacto industrial en las costas de Luisiana ha incrementado el estrés sobre la cobertura vegetal natural y la muerte de las plantas, dando como resultado en una reducción significativa de formación de suelo orgánico e incremento sustancial del ascenso relativo del nivel medio del mar en la región noroccidental del Golfo de México.
 30. Los humedales costeros del Golfo de México son ricos en especies herbáceas y leñosas, y son un componente prioritario en la integridad ecológica de la estructura funcional de la zona costera.
 31. Las playas y dunas del Golfo de México son sumamente dinámicas y muy frágiles. La topografía favorece la presencia de: a) ambientes de dunas activas, b) ambientes de hondonadas húmedas e inundables y c) ambientes estabilizados, cada uno con diferentes microambientes y grupos florísticos distintivos.
 32. La vegetación de las playas y dunas está conformada estructuralmente por comunidades pioneras, pastizales, matorrales, selvas, humedales y ambientes acuáticos, que son clave en el funcionamiento del ecosistema. Este mosaico hace a las dunas costeras un sistema diverso y heterogéneo. Las especies presentan adaptaciones *sui generis* y para muchas de ellas todavía se conoce poco de su ecología y fisiología.
 33. La flora de playas y dunas tiene especies que le son características, y especies endémicas propias de esos ambientes. Para el Golfo de México se han registrado 429 especies y 89 familias y en el Caribe 456 y 78, respectivamente. Las mayores similitudes entre floras se dan entre el Golfo y Caribe y entre el Golfo y la flora del Pacífico tropical. En el Golfo de México se han identificado 9 especies endémicas y en la Península de Yucatán 32 especies endémicas.
 34. Estructuralmente, los arrecifes coralinos del Golfo de México, desde el Banco de Campeche hasta los litorales veracruzanos, están bien desarrollados, lo que refleja condiciones favorables para su crecimiento durante la mayor parte de la transgresión holocénica. Estas comunidades, que han formado los arrecifes del margen occidental del Golfo de México (desde Antón Lizardo hasta *Flower Gardens*), operan como un sistema semicerrado en escalas de tiempo ecológicas, debido al relativo aislamiento del Golfo, así como a la elevada influencia conti-

- mental, que limitan el aporte larval. Por ello la comunicación entre los arrecifes del Caribe mexicano y la Sonda de Campeche está restringida por efecto de la barrera temporal.
35. El ecosistema más característico de la región noroccidental de Cuba es el que se estructura en torno a los arrecifes de coral; que se correlacionan con manglares y fondos arenosos donde crecen fanerógamas submarinas (seibadales). Se reconoce una fuerte interacción ecológica entre manglar-seibadal-arrecife, lo cual es clave para la comprensión del ecosistema costero-marino de la región. Menos significativo son los pequeños estuarios asociados a bahías y desembocaduras de ríos.
 36. El Golfo de México es un área de gran diversidad de especies de aves y zona importante en las rutas migratorias del Este del continente americano. En el Golfo existen 228 especies de aves, de las cuales 50 (22.3%) son marinas, 112 (50%) acuáticas y 62 (27.7%) terrestres. Las marinas obtienen su alimento principalmente del mar, las terrestres se alimentan básicamente de recursos terrestres y las acuáticas son las acuáticas-playeras que obtienen su alimento del medio acuático en la zona costero-marina.
 37. De estas aves, 32 especies están catalogadas en la legislación mexicana (NOM-059-ECOL-2001). 18 se encuentran bajo protección especial, 9 amenazadas y 5 en peligro de extinción. Otras 7 están bajo alguna categoría de riesgo en la UICN (3 vulnerables, 2 con bajo riesgo y 2 en peligro de extinción). De éstas, 3 especies de aves marinas (6%), 28 especies acuáticas o playeras (25%) y 6 especies terrestres (9.7%) se encuentran en alguna de estas categorías. Esto constituye el 16% del total de las especies, con el 15% clasificadas por la NOM-059 y el 3% por la UICN. Se reporta una especie acuática probablemente extinta que migraba por las costas del Golfo, *Numenius borealis*.
 38. Entre las áreas importantes para la conservación de las aves del Golfo de México se encuentran: el delta del río Bravo, la Laguna Madre y los humedales del sur de Tamaulipas. Los humedales del norte de Veracruz, el estuario del río Tecolutla, los humedales de Laguna Tamiagua, Tuxpam, La Mancha y Alvarado con el delta del Papaloapan. En Tabasco, la Laguna Mecoacán y los Pantanos de Centla. En Campeche, la Laguna de Términos, Los Petenes y las islas en la Sonda de Campeche. Estos dos últimos estados con los humedales del delta Usumacinta/Grijalva. En Yucatán, Dzilam de Bravo, Ichká Ansijo, Ría Lagartos, Ría Celestún, Humedales costeros del norte de la Península de Yucatán, Arrecife Alacranes, e Isla Contoy.

39. En el Golfo de México se ha registrado la presencia de 29 especies de mamíferos marinos: 28 especies de cetáceos (ballenas y delfines) y una especie de sirenio (manatí). La foca monje del caribe *Monachus tropicalis* es el único pinnípedo que habitó el Golfo. Se extinguió a mediados del siglo XX a consecuencia de la cacería por poblaciones locales.
40. La mayoría de las especies de cetáceos del Golfo de México habitan aguas oceánicas con profundidades mayores a los 200 m. Sólo toninas y delfines moteados del Atlántico se encuentran comúnmente cerca de la costa, sobre la plataforma continental, variando su presencia estacional dependiendo de la época del año y de la disponibilidad del alimento en función de la productividad de los ecosistemas. Incluso las toninas pueden acercarse a lagunas costeras y estuarios. Algunas especies oceánicas, como el delfín tornillo y el delfín de dientes rugosos, han sido registradas en la plataforma nerítica de Yucatán y en el litoral de Tabasco.
41. Tanto el manatí *Trichechus manatus* como los delfines en las costas del Golfo de México, han reducido sus poblaciones considerablemente, por caza directa o incidental. En las cuencas del Usumacinta/Grijalva y del Papaloapan se encuentran los últimos remanentes de manatí en la costa mexicana del Golfo. Actividades urbanas, industriales y turísticas costeras, como la extracción de petróleo, el tráfico marítimo, las aguas residuales contaminantes, afectan drásticamente a las poblaciones de mamíferos marino-costeros. Todas las especies de mamíferos marinos mexicanos están incluidas en la NOM-059-ECOL-2001.
42. México se distingue por compartir el hábitat de 10 de las 11 variedades de tortugas marinas que existen en la actualidad. La única tortuga ausente es *Natator depressus* circunscrita a la región australiana. En el Golfo de México se presentan 5 especies, en orden de abundancia: blanca *Chelonia mydas*, caguama *Caretta c. caretta*, Carey *Eretmochelys i. imbricata*, lora *Lepidochelys kempfi* y laúd *Dermochelys c. coriacea*.
43. Debido a la sobreexplotación, todas las poblaciones de tortugas marinas fueron diezgadas, razón por la cual, se iniciaron actividades de protección a mediados de los años 1960, se redujeron los permisos de captura a partir de 1973. Para la tortuga lora se inició un programa binacional con Estados Unidos en 1978, y a partir de 1990 se decretó en México una veda total para todas las tortugas marinas, aún vigente. Para la tortuga lora se observa una sensible recuperación de sus poblaciones. La caguama se ha mantenido estable y la laúd en el periodo

histórico no se ha distinguido por ser una especie abundante en esta zona.

44. En las costas mexicanas del Golfo de México se han registrado al menos 586 especies de peces. Se considera que el 60% son especies relacionadas con sistemas lagunares-estuarinos, por actividades de alimentación en aguas protegidas o en áreas de influencia de la pluma estuarina, y por actividades de reproducción o protección de juveniles (la relación aumenta a 75 % para especies dominantes). La mayor abundancia se registra en las áreas de influencia de las plumas estuarinas desde la región del delta del Papaloapan hasta el delta del Usumacinta/Grijalva (costa del sur de Veracruz hasta Campeche) sobre la plataforma nerítica. Asociaciones ecológicas marcadas se diferencian, en función de la batimetría, tipo de sedimentos, disponibilidad de alimento, descarga de ríos y productividad acuática. Destaca la Laguna de Términos con registros extremos de 214 especies de peces.
45. Los meros y pargos del Golfo de México se caracterizan por tener una madurez sexual tardía, un periodo de reproducción estacional, una fecundidad alta, una estructura social compleja y por formar agregaciones de desove. Son especies longevas, de crecimiento lento, con tasas de mortalidad naturales bajas y constituyen un importante grupo de depredadores importantes en zonas de arrecifes, alimentándose de otros peces y macroinvertebrados.
46. El bentos del Golfo de México se ha estudiado ampliamente en la zona costera. Los hábitats mejor documentados incluyen la plataforma continental nerítica lodoso, arrecifes de coral o de ostiones, marismas salobres, raíces de manglar, pantanos y pastos marinos en lagunas costeras y estuarios, y en menor grado las playas y costas rocosas. Recientemente se ha iniciado la exploración de las comunidades bénticas del talud continental, asociados a los fondos con actividad quimiosintética, junto con las comunidades bénticas de cañones, escarpes y montes en la planicie abisal. De los resultados existentes se puede reconocer que existe una diversidad grande de ecosistemas, hábitats y especies. Esto permite sugerir que el Golfo de México tiene una biodiversidad potencial elevada, equivalente a la reconocida en *hotspots* terrestres de ambientes tropicales y subtropicales.
47. Las listas de especies bentónicas para vertebrados e invertebrados son extensas, y se han ubicado en 27 de los 28 phyla reconocidos para ambientes marinos, incluyendo 13 endémicos marinos. De estos phyla,

- 6 son frecuentes y abundantes en las comunidades bénticas del Golfo de México: gusanos poliquetos, crustáceos peracáridos y decápodos, equinodermos, moluscos, nemátodos e hidróides. La riqueza biológica depende de factores determinantes, como el tipo de sedimento, la concentración y calidad de materia orgánica en sedimento, la concentración de oxígeno disuelto en el agua de fondo y el transporte lateral y resuspensión por corrientes de fondo.
48. Entre las comunidades bénticas más complejas en el Golfo de México, se han reconocido las asociaciones de otros componentes bénticos sésiles, como son las de pastos marinos, de microalgas carbonatadas, de gusanos pogonóforos y de arrecifes de coral. La riqueza de especies en la planicie abisal es similar a la que se ha reconocido en la plataforma continental, pero la composición de especies es diferente, al igual que la talla de los organismos que tiende a disminuir con la profundidad.
 49. Actualmente se han registrado aproximadamente 300 especies de ostrácodos bentónicos, agrupados en 5 asociaciones faunísticas, en función del tipo de sustrato, la profundidad y la dinámica oceánica. Este grupo faunístico es muy abundante. Son importantes en las cadenas alimentarias bentónicas y son reconocidos indicadores ecológicos de la calidad de los fondos marinos.
 50. En las costas mexicanas del Golfo, al sur del paralelo 21°N, se han estudiado los ostrácodos, en un rango batimétrico entre 15 y 3,500 m. Entre 15 y 60 m de profundidad se encuentran 2 asociaciones: una en la parte occidental del Golfo, en sedimentos terrígenos influenciados por descargas fluviales, y marcados cambios estacionales en salinidad, concentración de materia orgánica, turbidez y estabilidad del ambiente; la segunda asociación se localiza en el Banco de Campeche, en sedimentos carbonatados, con poca o nula influencia fluvial, salinidad y temperatura estable y mucho menor contenido de materia orgánica. Entre ellas se encuentra una zona de transición frente a la Laguna de Términos.
 51. Las comunidades de ostrácodos en zonas arrecifales son distintas, incluyendo una alta diversidad de especies. También hay asociaciones diferentes en masas de aguas de elevada salinidad. En áreas de explotación petrolera, las especies no son diferentes, pero su abundancia es menor.
 52. El ciclo de vida del recurso pesquero del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* de la Florida es complejo, ya que pasa las etapas juveniles en la Bahía de la Florida, caracterizada por grandes cambios

hidrográficos y ambientales en escalas diurnas y estacionales. Los organismos incorporados a la población necesitan migrar de la bahía hacia *Dry Tortugas* para desovar y los huevos sufren advección de la corriente del Golfo hacia la Bahía de la Florida a través de complejos meandros formados por la contracorriente a lo largo de *Florida Keys*. Las corrientes de mareas y las condiciones del nivel del mar son fundamentales para los mecanismos de retención de las larvas que controlan el éxito del reclutamiento de las mismas.

53. La temperatura estacional, la salinidad y el viento, juegan papeles importantes en la dinámica de población de las larvas reclutadas y son variantes ambientales clave que controlan el reclutamiento exitoso para la industria pesquera de *Farfantepenaeus duorarum*. Los resultados se basan en más de 370 meses de análisis y evaluaciones del camarón rosado y del ambiente, que permiten modelar y pronosticar las reacciones dinámicas de esta especie frente a cambios ambientales a escalas variables en el Golfo de México.
54. El patrón estacional del reclutamiento del camarón rosado *F. duorarum* para la industria pesquera ha cambiado drásticamente por decenios. La temporada pico de reclutamiento para la industria pesquera era de septiembre a noviembre, pero desapareció durante la década de 1980, disminuyendo de *ca.* 10 millones de libras de desembarco por temporada a *ca.* de 5 millones de libras a partir de ese momento. Este cambio se puede explicar por la considerable alteración en el nivel del mar, que afectó el reclutamiento de larvas que generaba el reclutamiento pico para la industria pesquera dos meses después. Por otra parte, la segunda temporada anual de reclutamiento pico es determinada por las condiciones ambientales que prevalecen en el periodo de marzo a junio y que no están asociadas con los cambios en el nivel del mar.

II. EL ESCENARIO SOCIOECONÓMICO

55. El Golfo de México es una frontera internacional de México, los Estados Unidos y Cuba, hacia la región del Gran Caribe en la zona nor-occidental tropical, subtropical y templada del océano Atlántico.
56. Cinco entidades federativas de Estados Unidos bordean el Golfo (Florida, Alabama, Misisipi, Luisiana y Texas) lo que representa alrededor de 2,934 km de litoral de la Unión Americana. A su vez 5 estados mexicanos bordean el Golfo y uno en la costa Caribe (Tamaulipas,

- Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo) lo que representa cerca de 3,200 km de costa. La región de Cuba frente al Golfo se extiende entre los 21° 51' 40" y los 21° 8' 52" latitud norte y los 84° 57' 54" y 82° 21' 35" longitud oeste.
57. Entre México y los Estados Unidos, aproximadamente 55 millones de personas viven en los estados costeros del Golfo de México (40 millones en Estados Unidos y 15 millones en México).
 58. En los Estados Unidos, el 38% de todo el petróleo y 48% del gas natural, como reservas, se ubican en las costas del Golfo. En México más de su 80% del petróleo y más del 95% de su gas natural se produce en las costas del Golfo de México.
 59. En Estados Unidos *ca.* 45% del tonelaje de embarque pasa a través de los puertos del Golfo, y en México el 75% del tonelaje de embarque utiliza los puertos de esta zona.
 60. La historia regional del Golfo es una historia ambiental, donde el petróleo, el turismo, los puertos, las plantaciones, la ganadería, las pesquerías y la industria, constituyen las líneas que construyen los polígonos de más larga duración en la composición territorial del Golfo y sus procesos de urbanización.
 61. El Golfo de México es un recurso importante y mantener su productividad optimizará su utilidad social y económica, no sólo para los estados litorales de los Estados Unidos y México, sino para ambos países en su totalidad.
 62. Aunque los problemas ambientales del Golfo de México son regionales en lo particular, sus orígenes son nacionales por el contexto socioeconómico en que se presentan. En su mayoría, los problemas son comunes para los diferentes estados litorales y, en casos específicos, las soluciones pueden ser similares para todas las entidades federativas de México en el Golfo.
 63. Puesto que los ecosistemas no reconocen fronteras políticas, al observar el Golfo de México como un todo, se detectan diversos problemas que cruzan los estados, los litorales o las líneas de jurisdicción federal regional, así como también las fronteras internacionales.
 64. El Golfo de México es un ecosistema compartido y, por lo tanto, debe ser considerado una frontera política internacional sujeta a las mismas regulaciones que las fronteras terrestres.
 65. Las actividades que modulan la economía del Golfo de México son: la explotación de petróleo y gas, la industria petroquímica, el transporte

marítimo, los recursos pesqueros, la producción de energía eléctrica, la expansión urbana, el turismo, los usos agropecuarios y forestales en la llanura costera. En este marco, se debe promover la instrumentación de proyectos científicos y tecnológicos con perspectiva regional, orientados a resolver problemas prioritarios.

66. La zona costera sur del estado de Tamaulipas está bajo la influencia de una creciente zona metropolitana que integra a las ciudades de Tampico, Madero y Altamira (incorporando las localidades de Pueblo Viejo, Pánuco y Tampico Alto del estado de Veracruz). Esta región es uno de los polos de desarrollo urbano, industrial y portuario, de mayor importancia económica de la región costera del Golfo de México. El corredor industrial es muy extenso, con infraestructura comercial y de servicios para satisfacer las necesidades prioritarias de distintos sectores del desarrollo. El crecimiento poblacional, principalmente en el municipio de Altamira, para el periodo 1970- 2000 fue de más del 400%.
67. El turismo en el Golfo de México se ha desarrollado principalmente en las playas y dunas costeras. Además del beneficio económico, estos ecosistemas proporcionan importantes servicios ambientales para el desarrollo social y económico de las costas. Actúan como zona de amortiguamiento entre el mar, la tierra y la atmósfera, protegen la zona costera durante tormentas y huracanes, atrapan la arena, filtran el agua, proporcionan hábitats especializados para la flora y la fauna. Actualmente se encuentran entre los ecosistemas más afectados por la acción humana, como desarrollos turísticos lineales, transformación en potreros para ganadería extensiva, siembra de cocotales, lo cual ha modificado la geomorfología y eliminado la cubierta vegetal original.
68. En Cuba, en términos de desarrollo económico, se prevé a futuro tanto el desarrollo turístico costero, como la exploración de gas y petróleo en las aguas profundas de su zona económica exclusiva hacia el Golfo de México. Estas dos actividades podrían incrementar las amenazas de origen antrópico en la frontera oriental del Golfo.
69. En las costas de Luisiana, los impactos por la actividad de extracción de petróleo y gas, la producción de petroquímicos, y actividades industriales ligadas al súper puerto de Louisiana, son dramáticos y alarmantes. Estas actividades están directamente ligadas a la pérdida de humedales costeros en el Delta del Misisipí, subsidencia incrementada 2 o 3 veces por encima de la tasa normal promedio regional, canalización y/o relleno de humedales que han alterado la hidrología de la

- llanura costera hasta umbrales de irreversibilidad, aumento de la intrusión de la cuña salina tierra adentro, y reducción y derivación catastrófica del flujo natural del río y del aporte natural de sedimentos (ambos parámetros vinculados directamente a la productividad y persistencia de los humedales).
70. Los humedales del Golfo han sido extensamente utilizados por el hombre para incrementar la frontera agropecuaria y para ampliar los terrenos donde establecer asentamientos urbanos e industrias. Ello ha implicado la modificación del hidrociclo, la desecación y la tala. Los humedales perdieron su capacidad para generar bienes y servicios, desconociéndose la interconexión que mantienen con sistemas adyacentes, reduciéndose la productividad primaria y secundaria natural de la región.
 71. Los humedales cumplen servicios ambientales de gran importancia como el control de inundaciones, la protección de la zona costera, la conservación de los mantos freáticos costeros, la dilución de contaminantes y protección de la calidad del agua, la fertilización del suelo, la creación de hábitats de aves y vida silvestre. También proporcionan posibilidades de actividades acuáticas recreativas y deportivas, incrementan el valor de la propiedad por su alto valor estético y anímico, e implican otros valores de tipo socio cultural y ético. Al mismo tiempo, por su alta productividad, también juegan un papel importante en la captura de carbono.
 72. Muchos de los recursos pesqueros más importantes se encuentran excesivamente explotados y la tendencia de las capturas son descendentes. Los sistemas de explotación se encuentran sobre capitalizados y las regulaciones aplicadas no han detenido el deterioro de los recursos, sino que han agravado algunos conflictos sociales.
 73. El deterioro de las pesquerías comerciales de peces, crustáceos y moluscos, supera el promedio mundial, pero también se refleja en las poblaciones de tortugas y mamíferos marinos. La implicación socio-económica es evidente.
 74. Es urgente en el Golfo de México revisar la sobrecapitalización de la actividad pesquera, el esfuerzo de pesca excesivo, la sobre pesca biológica, la regulación inoperante, la destrucción de los ecosistemas costeros, la contaminación multifocal, la pesca hormiga ribereña, y los efectos del cambio climático global. Se requiere explorar la creación de artes de agregación de juveniles y arrecifes artificiales y orientar la

- obtención de datos de pesca, no para fines de estadísticas socioeconómicas sino para fines biológicos y ecológicos.
75. En el Golfo de México las mareas rojas y negras se han convertido en fenómenos regulares, con importantes pérdidas económicas y conflictos sociales agudos por el uso de recursos, haciendo la gobernabilidad local y regional más complicada y compleja.
 76. En el Golfo de México se observan 23 especies de mero de los género *Epinephelus*, *Myctoperca*, *Cephalopholis*, *Alphestes*, *Dermatolepis*, *Gonioplectrus* y *Paranthias*, así como 11 especies de pargo del género *Lutjanus*. Constituyen un recurso pesquero de alto valor económico y social, asociado con fondos duros de tipo coralino o rocoso, la mayoría a menos de 100 m de profundidad y varios de ellos distribuidos a lo largo de toda la costa del Golfo desde la Florida hasta el extremo oriental de la Península de Yucatán y Cuba.
 77. La gran diversidad de especies, hábitos y hábitats de los moluscos bivalvos y gasterópodos, ha permitido que se desarrollen pesquerías específicas a lo largo de la costa del Golfo de México. Puede afirmarse que los bivalvos son un recurso subexplotado en todo su litoral, mientras que los gasterópodos han sido sobreexplotados en todo el litoral de la Península de Yucatán, pero están subexplotados desde Tamaulipas hasta Tabasco. Para ambos grupos de moluscos se desconoce su potencial de captura para las costas del Golfo.

III. NORMATIVIDAD Y PERSPECTIVAS DE GESTIÓN Y MANEJO

78. En el sistema jurídico mexicano, la norma suprema establece en su artículo 27, párrafos tercero y cuarto, que la Nación tiene el dominio inalienable e imprescriptible de todos los recursos naturales del suelo, el subsuelo, la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas, los mares territoriales y patrimoniales, los ríos y lagos, las lagunas y los esteros y, en general, la propiedad originaria de todas las tierras y aguas en su espacio geográfico y legal.
79. Para la gestión ambiental del Golfo de México y su zona costera, la normatividad se basa en el siguiente marco jurídico, sus correspondientes reglamentos, dispositivos administrativos, y las normas oficiales mexicanas: la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales que regula todo lo relativo al uso y protección de las aguas en el territorio nacional, incluyendo diversos

- aspectos de su posible contaminación, la Ley General de Vida Silvestre que tiene por objeto la conservación y el aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitats, la Ley de Pesca aplicable a la extracción de los recursos pesqueros y la acuicultura, la Ley General de Bienes Nacionales que establece disposiciones para la administración y explotación de la Zona Federal Marítimo Terrestre y los terrenos ganados al mar y la nueva Ley General del Desarrollo Forestal Sustentable.
80. El Golfo de México, como “gran ecosistema marino”, requiere una atención modular de gobernabilidad para hacer frente con su desarrollo sustentable; por ejemplo: i) variabilidad y productividad del ecosistema, ii) recursos marinos y pesquerías, iii) salud del ecosistema y conservación de la biodiversidad, iv) aspectos económicos y sociales, y v) gobernabilidad, arreglos y modelos regionales viables para la sustentabilidad.
 81. La ciencia y la tecnología son fundamentales para fortalecer la toma de decisiones en el manejo del Golfo de México como “gran ecosistema marino” y atender cuestiones como por ejemplo: a) ¿Cuáles son los mecanismos de productividad natural?, b) ¿Cuál es la estacionalidad de los recursos pesqueros?, c) ¿Cómo asegurar la calidad del agua y de los hábitats ?, d) ¿Dónde están localizados los recursos no-vivos?, e) ¿Cuál es el umbral para la sustentabilidad del desarrollo económico?, f) ¿Cuál es el conocimiento necesario para mitigar el cambio climático global?, g) ¿Cuál es el desafío para las tecnologías ambientales?
 82. La geología ambiental de la zona litoral ayuda al diagnóstico del Golfo de México porque es una disciplina que analiza procesos terrestres, acuáticos y aéreos de manera integrada. De forma natural o antrópica, la porción terrestre es afectada por fenómenos erosivos o por asolves. Igualmente la porción acuática, es más susceptible aún a la contaminación del agua y los sedimentos, en ocasiones con daños irreversible a la biota. El viento y los procesos meteorológicos modelan dunas y playas, y en ocasiones condicionan la distribución de flora y fauna asociadas. La prevención de daños a la franja litoral es prioritaria dentro del contexto de la protección de recursos naturales y áreas críticas en la zona costera.
 83. Los diferentes programas de monitoreo que se sugieren, pueden ayudar a instituciones como la Semarnat, CFE, PEMEX y la Secretaría de Marina. Esto haría eficiente el uso de la información y respaldaría la toma de decisiones políticas.

84. Con el enfoque de ecología funcional, el manejo ambiental de la zona costera del Golfo de México y mar Caribe, tiene grandes desafíos: a) asegurar el funcionamiento de las interacciones ecológicas estuario-mar, b) preservar la hidrología y la cobertura vegetal de los humedales costeros, c) proteger los ambientes sedimentarios en las cuencas bajas de los ríos, dunas y playas, y d) mantener el suministro de agua dulce a los estuarios para asegurar la persistencia de la fertilidad acuática sobre la plataforma continental nerítica.
85. El uso de la tecnología satelital en la observación y el seguimiento de impactos en el Golfo de México ofrece innumerables ventajas. Por un lado, la cobertura y la resolución espacial que poseen las imágenes permiten tener una visión sinóptica y detallada de zonas costeras en las que sea necesaria una evaluación confiable de la magnitud de los impactos de cualquier índole que incidan en el Golfo. Por otro lado, la posibilidad de observar a largo plazo, la evolución temporal de algún tipo de evento, en escala diurna, semanal, mensual o estacional, sólo es posible mediante el uso de dichas imágenes. La relación costo/beneficio es siempre favorable cuando se evalúa la información proporcionada a través de su análisis e interpretación.
86. El Golfo de México es uno de los más importantes (ecológica y económicamente hablando) “grandes ecosistemas marinos” del planeta. La iniciativa *El Golfo de México pasado, presente y futuro*, recientemente impulsada por el Harte Research Institute for the Gulf of México Studies, es un nuevo esfuerzo de colaboración para atraer el enfoque, las preocupaciones y la atención, sobre este único pero a menudo subestimado recurso natural marino-costero. La mejor oportunidad para el uso y la conservación exitosa, sustentable y a largo plazo del Golfo se basa en el desarrollo de colaboración y alianzas entre científicos, administradores, tomadores de decisión política, y la participación pública en los Estados Unidos, México y Cuba. El Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) en México, se ha comprometido con este esfuerzo, reuniendo científicos líderes de los tres países, para integrar el conocimiento actual y priorizar tópicos para la agenda del Golfo de México.
87. La investigación orientada al manejo y desarrollo sustentable en la zona costera del Golfo de México incrementará la capacidad de respuesta de las instituciones y la eficiencia en la toma de decisiones. Es decir, se optimizará el costo-beneficio en el uso racional de los recursos

- naturales.
88. Afrontar la realidad regional a través de sus problemas y prioridades ambientales, contribuye a hacer pertinente y eficiente la investigación científica, a formar recursos humanos con una especialización apropiada, a fortalecer las instituciones académicas, a incrementar la capacidad de gestión del sector oficial, a robustecer los programas de manejo, y a atenuar la incertidumbre del desarrollo social y económico.
 89. Son numerosas las razones para concebir un *consorcio de instituciones académicas, normativas, y ONG*, como una iniciativa de protección regional e internacional del Golfo de México. Aspiración ya mencionada por la *Delta Assembly* de Estados Unidos en 1992; por la Conferencia de Gobernadores del Golfo de México Mex-EE.UU. en 1995 en su primera reunión técnica sobre ecología, salud y medio ambiente, efectuada en el Instituto de Ecología (INECOL A.C); por el Simposio *The Gulf of Mexico. A Large Marine Ecosystem*, NOAA, EE.UU. en 1995. Las instituciones mexicanas están preparadas para dar ese gran paso, tópico de agenda urgente en la presente década.
 90. La Semarnat y el Programa de Recursos Costeros del INECOL A. C., han definido términos de referencia para un Programa de manejo integrado de la zona costera del Golfo de México y mar Caribe (Programa MIZC-Golfo/Caribe), con los siguientes fundamentos: a) la importancia científica, económica, social y geopolítica de la región, b) los acuerdos de México en su agenda nacional e internacional, c) el conocimiento científico sobre vulnerabilidad, integridad ecológica y riesgo costero, e incertidumbre para el desarrollo sustentable, y d) el vínculo entre los sectores académico, social, económico y jurídico normativo, para las entidades federativas mexicanas en la zona costera del Golfo y el Caribe.
 91. Para la formulación, formalización, implementación, evaluación y definición de prioridades del Programa MIZC-Golfo/Caribe, la SEMARNAT y el Programa de Recursos Costeros del INECOL A.C., crearon el instrumento Panel, como una iniciativa regional cuyos talleres han definido la integración como la palabra clave, a través de seis niveles básicos de integración: a) entre sectores (actividades costa/tierra y costa/mar), b) entre el componente terrestre y el acuático de la zona costera, c) entre los tres niveles de gobierno, d) entre los estados y municipios costeros de la región, e) entre disciplinas sociales, económicas, políticas, legales, científicas y tecnológicas, y f) entre las agendas de México y Estados Unidos en el Golfo.

92. En el contexto de vínculo entre las cuencas hidrológicas y la zona costero-marina, son pocos los trabajos que abordan la complejidad ecosistémica que significa la comprensión estructural e impactos, en un espacio donde hay enormes recursos de uso común, que son apropiados como recursos colectivos en forma privada (o para fines públicos en forma excluyente respecto a otros usuarios). Se sugieren indicadores de análisis, así como un catálogo de áreas de intervención para investigaciones regionales más profundas, hacia una aproximación de gestión de recursos, que incorpore entidades federativas, cooperativas, comunidades rurales, empresas e inversiones.
93. En la zona costera del sur de Tamaulipas, los impactos ambientales tienen su principal origen en la falta de planificación del desarrollo bajo consideraciones ambientales, como la carencia de ordenamientos ecológicos del territorio. Las escasas proyecciones sobre la demanda de servicios urbanos y reservas territoriales con vocación para la urbanización, han generado enormes problemas, algunos de ellos muy críticos, como la disposición final de residuos sólidos. La zona ha perdido más del 60% de la cobertura vegetal original, entre ellas extensas zonas de manglar; ya no cuenta con más del 40% de sus marismas y la contaminación del agua y del suelo es actualmente alarmante. Consideramos que esta situación es extrapolable a los otros estados del Golfo de México, en mayor o menor grado.
94. En la zona costera sur de Tamaulipas, la elaboración de un ordenamiento ecológico del territorio, con perspectiva regional, puede ser el instrumento de planeación que apoye a la zona en la búsqueda de un esquema de desarrollo con criterios de sustentabilidad viable a corto, mediano y largo plazos.
95. No existe en la legislación ambiental de México ninguna normatividad para el manejo de playas y dunas costeras. En México apenas se inicia la evaluación del grado de erosión de las playas y lo que ello implica para la estabilidad de las dunas y los proyectos de desarrollo turístico costero. Estos sistemas son muy vulnerables al cambio climático global y al ascenso relativo del nivel medio del mar.
96. Debe ser una prioridad tomar medidas para conservar el funcionamiento de las playas y las dunas costeras, y la estructura funcional de su biodiversidad; crear nuevas áreas naturales protegidas; reglamentar su uso, conservación y manejo; redefinir la zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar, con base en criterios geomorfo-

- lógicos y ecológicos, en función de las diferentes regiones costeras del Golfo de México y su delimitación; identificar áreas vulnerables y de alto riesgo e impulsar los estudios de impacto ambiental específicos para dunas y playas con base a la conservación del funcionamiento y protección de su dinámica costera.
97. A excepción de los manglares, no existe en México una normatividad para el manejo y conservación de los humedales. Secretarías y dependencias gubernamentales de los distintos niveles, con un enfoque productivo, tienen la posibilidad de modificar la hidrología de los humedales, cambiar el uso del suelo, e impulsar programas de producción agrícola, pecuaria o pesquera.
 98. Para la pesca del Golfo de México, es particularmente relevante sustituir el concepto de manejo de pesquerías, por el de aprovechamiento de procesos ecológicos y de ecosistemas. Se requiere promover el aprovechamiento integral, disminuir el desperdicio de más del 30% de la captura, reducir la captura y crear mecanismos que aumenten el valor de la captura, explorar biotecnologías, e instrumentalizar la maricultura, particularmente de recursos tropicales.
 99. Para el recurso pesquero de meros y pargos, además de los métodos convencionales utilizados a la fecha para la protección de estas especies y el manejo de sus pesquerías, la implementación de un método no-convencional como la creación de áreas marinas protegidas (AMP), surge como una opción original, atractiva y prometedora, para asegurar una regulación efectiva de la conservación y aprovechamiento de estas pesquerías renovables.
 100. El colapso de la pesquería del camarón en el Golfo de México se explica por la reducción de la capacidad de pesca, la contaminación, la pérdida restrictiva de áreas de arrastre, las condiciones ambientales y deterioro de hábitats de crianza. A pesar de que estos factores pueden actuar en forma combinada, ejerciendo presión sobre las poblaciones de camarón, el factor pesquero es el determinante en la reducción de las existencias de camarón, lo que condiciona las estrategias futuras para la gestión y manejo de las pesquerías.
 101. Actualmente existe un enorme esfuerzo de gestión y manejo para la protección de las tortugas marinas, con la participación de las instituciones normativas, (la SEMARNAT, la Secretaría de Marina, el sector turismo), diversas organizaciones no gubernamentales y numerosos grupos ambientalistas. No obstante, todavía su accionar es poco eficaz,

normalmente descoordinado, y en ocasiones con gran desconocimiento del ciclo de vida de estos animales, lo que conlleva a que las crías protegidas sean liberadas en tiempos y lugares inadecuados, lo cual reduce sus posibilidades de supervivencia. También hay liberación de crías con fines turísticos y sin estacionalidad climática ni conexión biológica. Adicionalmente, el manejo artificial de los nidos y áreas de protección de crías se lleva a cabo con poca higiene y utilizando alimentación “balanceada”, propiciando que las tortugas liberadas pueda tener muchas limitaciones o ser portadoras de alguna infección inducida. Falta fortalecer prioritariamente el manejo integrado y la protección y conservación de las tortugas marinas.

102. La administración pesquera de bivalvos y gasterópodos es inadecuada en el Golfo de México, por tratarse de una actividad secundaria de la pesca ribereña artesanal y porque se le maneja como grupo faunístico, sin considerar que se trata de especies distintas, con estrategias de vida muy diferentes y requerimientos de hábitats muy diversos. Adicionalmente, son recursos de fácil acceso y muy vulnerables durante los periodos de agregación reproductora, además de altamente susceptibles a la contaminación costera y deterioro de hábitats por erosión y azolves.
103. Para Cuba, es una recomendación prioritaria promover la ejecución de un programa regional integrado, encaminado a la evaluación general del estado actual de la biodiversidad costero-marina de su región noroccidental para establecer la distribución de los hábitats principales, detectar las amenazas debidas al impacto de las actividades humanas, recomendar normas de uso y conservación de recursos naturales, y proteger y utilizar racionalmente especies de interés comercial actualmente utilizadas y amenazadas a futuro.
104. Históricamente, el manejo del río Misisipi y su delta ha tenido una orientación socioeconómica para la navegación y control de inundaciones, con múltiples regulaciones de agencias federales, estatales y locales, lo que ha dado como resultado una desorganización, desarticulación y manejo contradictorio e inefectivo.
105. Actualmente el manejo de la zona costera de Luisiana se está revertiendo, a partir de la legislación de 1990 (*Breaux Act*) *The Coastal Wetlands Planning, Protection and Restoration Act*. Conforme a este marco jurídico se están desarrollando diversos proyectos de restauración, siendo actualmente el más exitoso la recuperación de la deriva

- natural del río. Sin embargo, el éxito no estará asegurado si no se considera un manejo sustentable integrado, con los siguientes puntos: 1) modificar el enfoque inicial de navegación y control de inundaciones, incluyendo ahora la protección de los humedales con la misma prioridad, 2) derivar el cauce natural del río hacia los humedales deteriorados y el aporte de agua y sedimentos, lo que ayudará sustancialmente a la restauración, 3) utilizar las entradas naturales de energía al sistema (*i.e.*, cauce del río y mareas) para la restauración de humedales, y 4) diseñar arreglos institucionales comprensivos, para: i) incrementar el intercambio de información entre los diferentes sectores de usuarios (*i.e.*, propiedad privada de la tierra, pescadores, industriales) y las múltiples agencias gubernamentales, para fortalecer la comprensión del complejo funcionamiento del sistema costero y las consecuencias de las opciones de manejo alternativo, ii) favorecer los estudios holísticos, más que disciplinarios, sobre las causas de la pérdida de humedales, deterioro de la calidad del agua, y relación entre la dinámica natural del sistema y las actividades económicas, y iii) considerar los impactos acumulativos y a largo plazo, en las decisiones de manejo del delta del Misisipi.
106. Las áreas prioritarias costero-marinas del Golfo de México, para su gestión ambiental deben considerar programas de monitoreo de las comunidades plantónicas, bentónicas y nectónicas, su biodiversidad y estructura funcional en la salud del ecosistema.
 107. Se requiere identificar especies y técnicas que permitan el monitoreo rápido y permanente de ecosistemas, hábitats y poblaciones. Se pueden usar valores de los componentes sanguíneos como base para determinar los cambios en el estado nutricional y en el estado de salud de las poblaciones silvestres de camarones de la región. Esos resultados permiten proponer a *Litopenaeus setiferus* como una especie centinela, no controversial y de bajo costo para el monitoreo ambiental de los cambios potenciales que las actividades humanas pudieran ejercer en estos ecosistemas.
 108. Hay suficiente información sobre el recurso camarón para sostener que las diferentes especies poseen un potencial reproductivo que puede permitir su recuperación en el mediano plazo, siempre y cuando las estrategias de gestión y manejo sean adecuadas, y se considere el mantenimiento de la población reproductora a través de un balance de la mortalidad por pesca ejercida por los diferentes actores de la

pesquería, a lo largo del ciclo de vida del camarón, asegurando la viabilidad de la población.

IV. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y AREAS DE ATENCIÓN PRIORITARIA

109. De continuar la tendencia de cambio climático en el Golfo de México, humedales, planicies costeras, islas de barrera, bocas estuarinas, dunas y playas, entre otros hábitats críticos, mostrarán deterioro, erosión e inundaciones.
110. Los principales problemas a los que se enfrenta la gran cuenca del Golfo son: a) pérdida de hábitats críticos, b) contaminación de agua y sedimentos, c) aumento de turbidez y nutrientes, d) reducción en la descarga de agua dulce y su calidad a la llanura costera y al mar, e) alteración de la dinámica estuarina y sus bocas de conexión entre los humedales y el mar, f) erosión litoral, g) pérdida de biodiversidad, y h) deterioro a la salud pública.
111. La PROFEPA ha detectado como las principales afectaciones al medio ambiente costero-marino: a) modificación y destrucción del hábitat, por los grandes desarrollos inmobiliarios turísticos, que incluyen hoteles, condominios, fraccionamientos y campos de golf, b) destrucción de la línea de costa, dunas y ecosistemas adyacentes, por marinas, muelles, espigones, deportes acuáticos, cuatrimotos areneras, c) deforestación y tráfico ilegal de madera en ambientes costeros, d) captura y tráfico ilegal de especies marinas protegidas, como mamíferos y quelonios, e) tráfico ilegal de especies terrestres protegidas de fauna y flora, f) introducción de flora y fauna no nativa, g) colisiones de barcos o anclas contra arrecifes coralinos, h) descarga de contaminantes al mar y al subsuelo, i) emisiones contaminantes a la atmósfera, por calderas, chimeneas industriales, j) manejo inadecuado de combustible y residuos, por sistemas de contención de derrames, separación de residuos, sustancia para lavar cloro y k) elevado consumo de energía y agua.
112. Las mediciones permanentes del impacto ambiental por las actividades antropogénicas sobre la cuenca marino-costera del Golfo de México se realizan con bastante certeza y desde hace bastante tiempo. No obstante, hace apenas poco más de una década que se reconoce la importancia de las interrelaciones entre las causas originales de los impactos signifi-

- cativos, desde las cuencas hidrológicas y hasta la zona costero-marina.
113. En el caso de la región noroccidental de Cuba, la contaminación se circunscribe a porciones limitadas de la costa; sin embargo, puede llegar a ser muy severa. Es notorio el impacto de una ciudad grande y diversos desarrollos industriales en el caso de Bahía de La Habana con el puerto más importante del país. El impacto de las aguas de la bahía está bien documentado en estudios sobre la fauna marina. Existe un programa gubernamental para el saneamiento de esta zona pero se requiere fortalecer un programa de monitoreo ambiental. Varios ríos de la región se encuentran contaminados, principalmente los que atraviesan la ciudad de La Habana y zonas adyacentes.
 114. Las presiones ambientales en la zona costera de Luisiana se atribuyen principalmente al impacto de actividades humanas, como: 1) construcción de bordos a lo largo del curso del río Misisipí, evitando el derrame natural del río sobre los humedales asociados, 2) alteración hidrológica masiva dentro del delta debido a la navegación, drenaje y construcción de infraestructura relacionada al desarrollo energético, incluyendo construcción de canales y provocando intrusión salina, erosión costera y exposición de la línea de costa, y 3) represas para actividades económicas humanas
 115. El delta del Misisipí ha estado sujeto a múltiples presiones ambientales (*stress*), incluyendo: 1) alta tasa de ascenso relativo del nivel medio del mar (más de 10 mm/año), 2) alta tasa de pérdida de humedales (más de 100 km²/año), 3) deterioro de la calidad del agua (altos niveles de contaminación orgánica e inorgánica) y 4) hipoxia sobre la plataforma continental nerítica (18 a 20,000 km² de “zona muerta”).
 116. La erosión o el asolve de las playas en el Golfo de México (por factores naturales o antrópicos) es un problema muy importante relacionado con el suministro de sedimentos, el relieve de las playas, el ascenso relativo del nivel del mar debido al cambio climático global, y cambios en las variaciones de energía relacionados con el movimiento de los sedimentos.
 117. En términos de circulación oceánica y costera, la presencia de huracanes y los vientos del norte, producen en verano e invierno un intenso oleaje en el norte de la Península de Yucatán, condicionando una pérdida de sedimentos litorales, vulnerando las playas de la región. Por otra parte, a lo largo de todo el litoral del Golfo, se requiere de estudios profundos de oleaje y de estructura vertical de las corrientes y su efecto sobre la resuspensión y el transporte de sedimentos.

118. La contaminación, especialmente la de fuentes terrestres se ha incrementado generando regiones desérticas y anóxicas en la zona costera del Golfo de México.
119. La eutrofización se liga directamente con el incremento de hipoxia y el florecimiento de algas tóxicas, así como un incremento de bioacumulación de compuestos orgánicos e inorgánicos nocivos en los niveles tróficos superiores de la trama trófica costera. Por la magnitud de las interacciones ecológicas estuario-mar, la superficie de la cuenca de drenaje, el uso de agroquímicos en la llanura costera, la extensión de la pluma estuarina, la circulación litoral, la profundidad de la plataforma continental nerítica, y los ambientes sedimentarios terrígenos, *hipotéticamente* en la región que va desde la Laguna de Alvarado y el delta del Papaloapan hasta los Pantanos de Centla y la Laguna de Términos y el delta del Grijalva/Usumacinta, se encuentra la plataforma continental nerítica con mayor potencial a presentar hipoxia importante en el corto plazo. Urge su estudio.
120. Los síntomas del proceso de eutrofización se reflejan en el aumento de concentración de clorofila-*a*, disminución en la concentración del oxígeno disuelto, florecimiento de algas nocivas, y reducción de la cobertura de vegetación acuática sumergida, entre otros. Existe evidencia de esto para la zona costera en la Península de Yucatán, con registros de mareas rojas, pérdida de pastos marinos, intoxicaciones humanas por consumo de productos del mar, e incluso el cierre de playas a la actividad turística. Los resultados indican que los síntomas del proceso de eutrofización se reflejan a diferentes escalas espaciales y temporales, y es fundamental definir los indicadores, tanto para los diferentes componentes bióticos del ecosistema, como para los distintos tipos de ecosistemas costeros.
121. Debe ser una prioridad la investigación básica de los factores que favorecen la eutrofización en cada tipo de ecosistema costero del Golfo de México, complementado con un vigoroso programa de monitoreo de los principales indicadores de este proceso, con el propósito de dar seguimiento al diagnóstico obtenido y sugerir medidas de mitigación.
122. Dada, por una parte, la relativa frecuencia y regularidad de los giros oceánicos (ciclónicos fríos y con mayor contenido de nutrientes de Yucatán; y ciclónicos-anticiclónicos, este último caliente y con menor contenido de nutrientes, frente a Laguna Madre de Tamaulipas, respectivamente), y por otra, el efecto de afloramiento dinámico en la

- Península de Yucatán con mayor contenido de nutrientes, representa una prioridad establecer programas de monitoreo físico químico, circulación, temperatura, nutrientes y carga orgánica, así como hidrocarburos, pesticidas y bacterias, frente a las descargas fluviales, lo cual permite entender la circulación litoral y registrar cambios en la calidad del agua.
123. Los niveles de metales, como Pb, Cr, Cd y Ni, muestran tendencia a aumentar de forma considerable, originando diversos problemas de contaminación en los litorales del Golfo de México, principalmente en cuerpos de aguas semicerrados como bahías, estuarios y lagunas costeras. Las concentraciones de Cd Pb y Cr se han incrementado hasta en dos órdenes de magnitud, con respecto a los niveles reportados en las dos últimas décadas. Estas concentraciones son mayores a las dadas a conocer por otros autores como tóxicas para los organismos, y ocasionan daños a las pesquerías importantes en la zona costera, como el ostión *Crassostrea virginica* en lagunas costeras de Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas.
 124. El deterioro de las pesquerías de *Crassostrea virginica*, contaminadas por metales como Pb, Cr, Cd y Ni, ocasiona enormes daños a la economía de núcleos de pobladores ribereños dedicados a la producción y captura de estos recursos pesqueros. Esto es consecuencia de la ausencia de programas efectivos de vigilancia de la contaminación y control de calidad sanitaria, y sobre todo por la carencia de normas mexicanas que regulen las concentraciones permisibles de metales en agua, sedimentos y organismos.
 125. Hay muy poca información científica publicada sobre el efecto de la presencia de hidrocarburos en los organismos marinos, o la salud de los ecosistemas; pero paradójicamente, hay mucha información contenida en informes técnicos de proyectos auspiciados por PEMEX y realizados por distintas instituciones. Algunas de las concentraciones reportadas de los hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos de lagunas costeras sobrepasan los valores considerados como altos para el norte del Golfo de México, e incluso rebasan la concentración "criterio" de la NOAA. Pero en la Sonda de Campeche las concentraciones reportadas son bajas. La información disponible sugiere que en algunos casos las concentraciones de hidrocarburos son altas, pero no existe suficiente información para determinar si hay efectos nocivos sobre el ambiente o la salud humana.
 126. Aún cuando desde los años 1970 ha disminuido la producción de

petróleo y gas en humedales y aguas protegidas de la zona costera de Luisiana, paradójicamente se ha incrementado el volumen de petróleo y gas transportado a través de los humedales y desde la plataforma continental, hacia el Súper Puerto de Luisiana. Por lo tanto, los impactos ambientales negativos sobre los humedales costeros (por actividades relacionadas con la energía), continúan aún cuando ha disminuido la producción de petróleo y gas.

127. La vulnerabilidad de los sistemas arrecifales del Golfo de México determina recomendar: a) que no aumente la intensidad de los impactos directos e indirectos de origen local, que actualmente afectan la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina, b) reducir la magnitud de esos impactos a través de la aplicación estricta de las regulaciones existentes, y c) impedir efectivamente la generación de nuevos impactos o nuevos efectos de antiguos impactos que, potencialmente o efectivamente, puedan afectar la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina que habita la plataforma continental nerítica del Golfo.
128. La vulnerabilidad de las comunidades bentónicas se asocia con frecuencia a los ciclones de verano, fragmentación de hábitats y perturbación de la heterogeneidad espacial. Normalmente, la recuperación de la comunidad se da en escala decadal. Otras perturbaciones por fenómenos naturales como los frentes fríos anticiclónicos, eventos como El Niño, La Niña, o la Oscilación del Atlántico están siendo apenas exploradas. Las perturbaciones de fuentes antrópicas son: exceso de nutrientes por ríos y su relación con hipoxia y anoxia en la zona costera, reducción de sedimentos por presas, destrucción de manglares y pastos marinos, bioacumulación de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, dragado de sedimentos y relleno de humedales costeros. La recuperación de las comunidades es todavía más lenta.
129. Debido a sus características biológicas complejas, las especies de meros y pargos son muy sensibles a los altos niveles de presión pesquera y resultan particularmente susceptibles de alcanzar niveles de sobre explotación actual en la zona costera del Golfo de México. Desde Estados Unidos hasta el sur del Golfo de México se les considera como sobreexplotados y aprovechados al máximo sustentable. Son un recurso multiespecífico en alto riesgo.
130. En el Golfo de México la pesca se realiza en todos los ámbitos y ecosistemas prácticamente sin una regulación adecuada. Persiste el concepto de que la pesca es inacabable, que se requiere invertir y que la

pesca artesanal es sobre partes insignificantes de la población explotable. Falta conocimiento sobre la genética de poblaciones y se subvalora la estructura poblacional en las lagunas costeras como parte de la interconectividad ecológica entre las aguas protegidas y el mar.

131. El recurso camarón del Golfo de México se encuentra en riesgo. El incremento descontrolado del esfuerzo pesquero, particularmente en las pesquerías artesanales, está ocasionando una sobrepesca del crecimiento y sobrepesca del reclutamiento del camarón blanco *Litopenaeus setiferus* y el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum*, con un colapso de estas poblaciones en Campeche. El camarón café *Farfantepenaeus aztecus*, aún cuando tiene poblaciones en mejores condiciones, también muestra una tendencia sostenida de disminución de la captura total anual.
132. En sus áreas de distribución, desde Nueva York hasta la plataforma continental nerítica frente a Laguna de Términos, el camarón blanco *Litopenaeus setiferus*, está expuesto a diferentes presiones ambientales (*i.e.*, pesca excesiva, contaminación por pesticidas y efectos diversos de la industria petrolera), las cuales son intensas en la zona sur de su distribución en la Sonda de Campeche. Indicadores sanguíneos en estas poblaciones reflejan el estado nutricional, fisiológico e inmunológico en el sur del Golfo de México.
133. La introducción de especies exóticas es poco controlada y sus efectos están débilmente documentados en el Golfo de México.

LA HIDRODINÁMICA DEL GOLFO DE MÉXICO

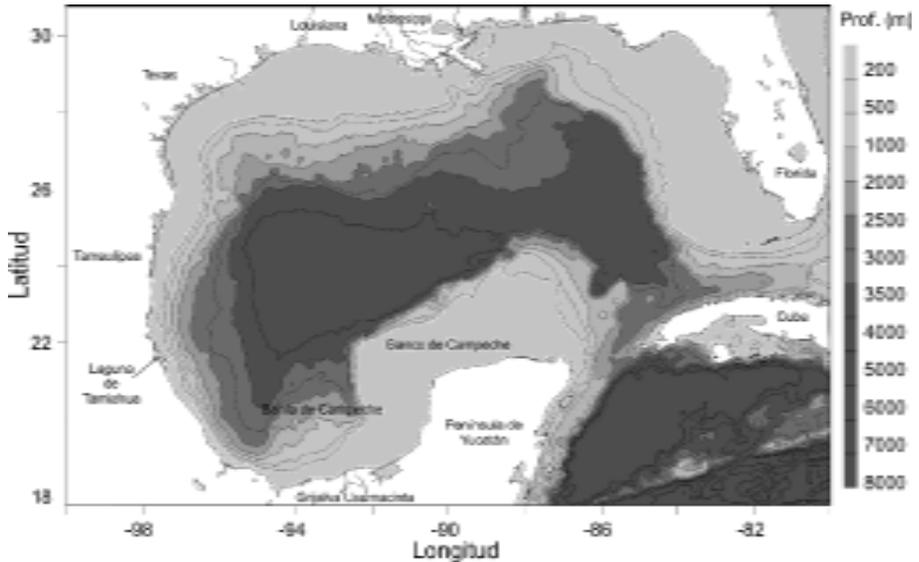
*María Adela Monreal-Gómez, David Alberto Salas-de-León
y Habacuc Velasco-Mendoza*

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México, ubicado en la zona subtropical, es una cuenca semi-cerrada que se comunica con el mar Caribe y el Océano Atlántico a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de Florida, respectivamente. El Golfo presenta una batimetría muy variable (figura 1): el Canal de Yucatán en su parte occidental tiene una plataforma continental angosta de apenas 2 km mientras que al norte de la Península de Yucatán presenta un ancho de 250 km. El Banco de Campeche, definido desde la parte oriental de la Laguna de Términos hasta Isla Mujeres, es muy extenso y tiene un fondo con una pendiente muy suave, el talud es pronunciado y aproximadamente uniforme, excepto en la zona del Cañón de Campeche. La plataforma frente a Veracruz y Tamaulipas es muy estrecha, y se ensancha frente a Texas-Luisiana continuando hasta Florida. En el centro del Golfo la profundidad es cercana a los 3,600 m.

Debido a su ubicación, durante el invierno el Golfo es influenciado por las masas de aire frío y seco que provienen del continente (Canadá, Estados Unidos de América y México) las cuales al encontrarse con las masas de aire propias del Golfo, de origen marítimo y tropical, provocan fuerte frontogénesis o frentes fríos principalmente de octubre a abril (Tapánes y González-Coya 1980: 337). La presencia de un frente frío en el Golfo produ-

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN Y BATIMETRÍA (M) DEL GOLFO DE MÉXICO



ce vientos que soplan de norte a sur, conocidos localmente como Nortes, que alcanzan los 30 m s^{-1} . El frente frío genera vientos intensos y descenso de temperatura del aire que al encontrarse con las masas de aire cálido y húmedo forman nubes que pueden provocar lluvias invernales. La extensión de los Nortes varía de un año a otro, principalmente entre años “normales” y años con presencia del fenómeno de El Niño. Durante los años que se hace presente dicho fenómeno, los Nortes son menos frecuentes, más intensos y llegan más al sur. En el verano el Golfo es influenciado por tormentas tropicales, de las cuales el 60% alcanza intensidad de huracán. En general, septiembre es el mes que presenta el mayor número de tormentas.

Estas características meteorológicas sobre el Golfo de México influyen no solamente la zona costera, debido a la descarga de agua dulce, sino que modifican también la posición de la termoclina haciéndola más profunda e influyen en la circulación en general.

Las técnicas que se han empleado para detectar las principales características de la circulación en el Golfo han sido muy diversas, entre otras se

pueden mencionar la utilización de datos hidrográficos *in situ*, de modelos numéricos y de imágenes de satélites de altimetría y de temperatura superficial del océano.

MASAS DE AGUA

En el Canal de Yucatán confluyen diferentes masas de agua, las cuales entran al Golfo de México a diferentes profundidades: el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe ($AS_{t_s}C$) se encuentra en la capa superior, a mayor profundidad llega el Agua Intermedia Antártica (AIA) y en la capa de fondo se presenta el Agua Profunda Noratlántica (APNA). Sin embargo, dentro del Golfo se ha reportado un número mayor de masas de agua (figura 2); ya que una vez que el $AS_{t_s}C$ se encuentra en el Golfo, esta puede transformarse debido a la mezcla convectiva y dar origen a dos nuevas masas de agua; el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México ($AS_{t_s}GM$) y el Agua Común del Golfo (ACGM).

El $AS_{t_s}C$ es cálida y salina con valores de temperatura y salinidad alrededor de 22.50 °C y 36.60 UPS, respectivamente (figura 2). Al llegar al Golfo de México a través del Canal de Yucatán, forma la Corriente de Lazo que frecuentemente encierra un giro anticiclónico, que fluye en dirección de las manecillas del reloj.

El $AS_{t_s}GM$ se forma adentro del Golfo durante el invierno, cuando el paso de los frentes fríos atmosféricos produce una mezcla convectiva en la capa de los 200 m, lo que provoca la disminución de salinidad y pérdida de calor sensible y latente, transformando el agua del núcleo de los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo en agua de menor temperatura y salinidad, con valores alrededor de 22 °C y 36.40 UPS.

El ACGM, también se forma dentro del Golfo mediante dos mecanismos principales; cuya característica común, es el iniciar con $AS_{t_s}C$. Durante los meses de invierno se produce un enfriamiento y consecuentemente una mezcla convectiva (Elliott 1982: 1301), formando así el ACGM. Sin embargo, esta mezcla sólo afecta la capa superior, por lo que el mecanismo más importante en la formación de esta masa de agua es la colisión del giro anticiclónico con el talud y la plataforma continental de Tamaulipas (Vidal *et al.* 1992: 2155; Vidal *et al.* 1994a: 571). Este choque del giro anticiclónico en el talud y en la plataforma origina una zona de divergencia y convergencia horizontal, donde se produce una dilución del agua subtropical con agua de salinidad menor a 36.30 UPS, la cual se localiza arriba de la termoclina

principal. El ACGM tiene salinidad y temperatura alrededor de 36.40 UPS y 22.5 °C respectivamente, y conforma el 4.83% del agua que se encuentra en el Golfo de México.

El AIA tiene su origen en el límite ente los frentes polares antárticos; después de formarse viaja hacia el norte cerca del talud continental del Atlántico occidental, y en su trayecto va cambiando levemente sus características y su extensión. En la parte oriental del mar Caribe, esta agua se encuentra entre 700 y 900 m, con salinidad de 34.75 UPS, en el Caribe central se distribuye entre 650 y 850 m, con salinidades mayores a 34.80 UPS. Al llegar al Canal de Yucatán presenta temperatura de 6.3 °C y una salinidad alrededor de 34.86 UPS, y se localiza entre 700 y 950 m. En el centro del Golfo de México esta agua se caracteriza por tener un valor de salinidad de 34.88 y se encuentra entre 700 y 850 m. Esta masa de agua se identifica por el mínimo de salinidad en el Golfo, con temperaturas de 6.1-6.3 °C y salinidades entre 34.86 y 34.89 UPS.

El giro anticiclónico que se desprende de la Corriente de Lazo mueve el remanente del AIA hacia las costas de Tamaulipas; esto ocurre a una profundidad entre 700 y 1,100 m; esta agua sale en pequeñas cantidades a través del Estrecho de Florida. El volumen del AIA representa el 73.71% del agua del Golfo de México.

La formación del APNA tiene lugar principalmente en latitudes altas, donde el agua de alta densidad se hunde y llena el fondo de las cuencas con aguas frías.

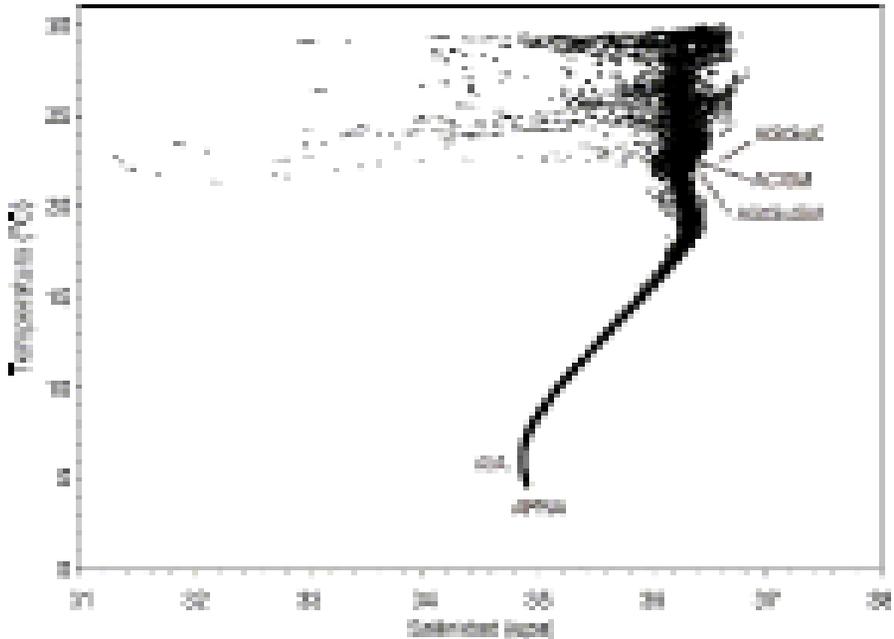
La figura 2 muestra un diagrama T-S de mediciones que se llevaron a cabo en la Bahía de Campeche en verano de 1996 y en primavera y verano de 1997. Los registros se realizaron en la capa de 1,000 m. Las bajas salinidades se registraron frente al sistema Grijalva-Usumacinta, donde la variación de la temperatura entre las diferentes épocas es considerable.

La distribución vertical de estas masas de agua es tal, que el agua Subtropical Subsuperficial y el Agua Común del Golfo se encuentran en la capa superior de los 250 m. En la capa intermedia se encuentra el remanente del Agua Intermedia Antártica, y a mayores profundidades el Golfo es ocupado por Agua Profunda Noratlántica.

CIRCULACIÓN

El sistema de corrientes en el Golfo de México se origina en el Mar Caribe. La circulación de mayor escala en el Golfo es dominada por la Corriente de Lazo que une la Corriente de Yucatán con la Corriente de Florida, por un

FIGURA 2. MASAS DE AGUA EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO.
 AGUA SUBTROPICAL SUBSUPERFICIAL DEL CARIBE ($AS_{1S}C$), AGUA SUBTROPICAL SUBSUPERFICIAL
 DEL GOLFO DE MÉXICO ($AS_{1S}GM$), AGUA COMÚN DEL GOLFO (ACGM), AGUA INTERMEDIA
 ANTÁRTICA (AIA), AGUA PROFUNDA NORATLÁNTICA (APNA)



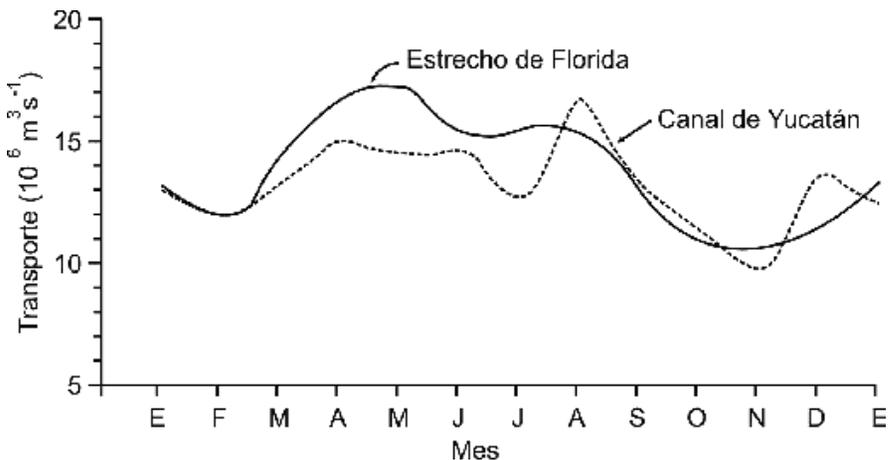
gran giro anticiclónico que se desprende de la corriente de Lazo y viaja hacia el oeste como una onda de Rossby y la corriente de frontera oeste. Además de esas características cuasi permanentes, existen grandes zonas con circulación ciclónica, como la plataforma continental de Texas-Luisiana (Cochrane y Kelly 1986: 10655, Hamilton 1992: 2193), la plataforma oeste de Florida y en la Bahía de Campeche (Monreal-Gómez y Salas-de-León 1990: 102).

Existen rasgos hidrográficos de menor escala pero de gran importancia para el Golfo, como la surgencia topográfica estacional en el margen oriental de la plataforma de Yucatán y el frente halino debido a la descarga del sistema Grijalva-Usumacinta, entre otros.

Se han elaborado varias hipótesis para explicar cada una de las características de la circulación en el Golfo. Sin embargo, la mayoría de los estudios coinciden en que el flujo que entra a través del Canal de Yucatán y que sale a través del Estrecho de Florida es el principal mecanismo de forzamiento de la circulación.

El flujo que entra a través del Canal de Yucatán varía a lo largo del año, teniendo sus máximos en primavera y verano (figura 3). Si bien en la capa superior de los 500 m se ha reportado un flujo promedio de $14 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, el flujo total en las fronteras abiertas se ha estimado en $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Schmitz y Richardson 1968: 692). La primera respuesta de la circulación a la variación temporal del flujo que pasa a través del Canal de Yucatán se manifiesta como la variación en la intensidad, dirección y extensión de la corriente de Yucatán, en la penetración de la Corriente de Lazo y en la formación de giros anticiclónicos y ciclónicos.

FIGURA 3. TRANSPORTE GEOSTRÓFICO A TRAVÉS DEL CANAL DE YUCATÁN Y DEL ESTRECHO DE FLORIDA EN LA CAPA SUPERIOR DE LOS 500 M



Fuente: según Molinari *et al.* 1978: 994.

LA CORRIENTE DE LAZO

El Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (ASSC) con alto contenido de sal y calor, entra al Golfo a través del Canal de Yucatán y se mueve en el sentido de las manecillas del reloj (anticiclónicamente), observándose una corriente en forma de lazo hasta el Estrecho de Florida (figura 4).

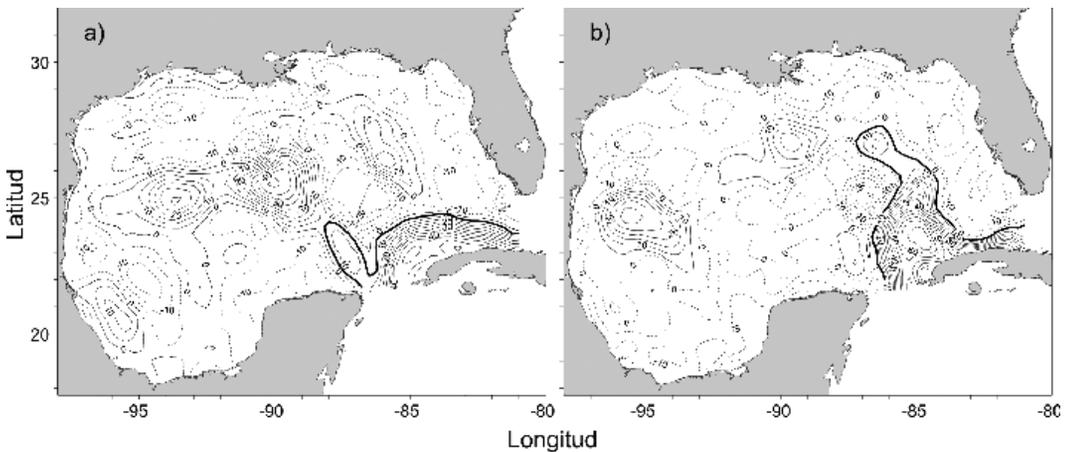
Las variaciones en el transporte a través de las fronteras abiertas, conjuntamente con la variación del ángulo de incidencia de la corriente de Yucatán han sido consideradas como responsables de la trayectoria y extensión de la Corriente de Lazo, la cual presenta la intrusión máxima en verano y la mínima en invierno (Leipper 1970: 648, Molinari y Morrison 1988: 10,651). Lo anterior es un promedio del comportamiento de la Corriente de Lazo ya que su trayectoria e intensidad tienen una gran variabilidad estacional y anual.

Las imágenes de altimetría que muestran la anomalía de la superficie del mar (*Sea Surface Height*, o SSH), revelan la extensión de la Corriente de Lazo el 15 de abril (figura 4a) y el 15 de agosto (figura 4b) de 2002. Las isolíneas con valores positivos de SSH representan una circulación anticiclónica, mientras que los valores negativos se encuentran en zonas de circulación ciclónica (en sentido contrario de las manecillas del reloj). En la figura correspondiente a abril se puede observar que se desprendió un giro anticiclónico, quedando la Corriente de Lazo confinada a la región próxima a Cuba. Entre la corriente de Lazo, el giro anticiclónico y la plataforma de Florida existe un giro ciclónico y un giro anticiclónico de forma elíptica. En la plataforma de Yucatán se observa una corriente de tipo ciclónica. En agosto la penetración de la Corriente de Lazo llegó hasta los 27 °N, el gran giro anticiclónico se encuentra frente a la plataforma de Tamaulipas. Al oeste de la Corriente de Lazo es notable un giro ciclónico intenso, al igual que en la Bahía de Campeche y en las Plataformas de Florida y de Texas-Luisiana. Es interesante notar que en agosto la mayoría del Golfo tiene SSH negativas debido a que en los meses anteriores se presenta un menor flujo que entra a través del Canal de Yucatán (figura 3); en agosto se tiene el máximo del flujo de entrada generando una Corriente de Lazo intensa; sin embargo, este efecto aún no se nota en el resto del Golfo. En abril se observan más áreas con circulación anticiclónica, probablemente debido a que de febrero a abril se presenta un incremento en el flujo de masa que entra a través del canal de Yucatán, llegando al máximo secundario en abril

(figura 3); este incremento paulatino permite el “llenado” del Golfo y la gran cantidad de regiones positivas de SSH (figura 4a).

La variabilidad de la Corriente de Lazo depende de diversos factores, entre otros se puede mencionar la variación del parámetro de Coriolis con la latitud (efecto- β) (Hurlburt y Thompson 1980: 1,618), la inestabilidad barotrópica, la estratificación y la inestabilidad baroclínica, variaciones del flujo a través de las fronteras abiertas y variaciones en el ángulo de incidencia de la Corriente de Yucatán.

FIGURA 4. ALTURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR (CM) TOPEX/ERS-2.
A) 15 DE ABRIL, B) 15 DE AGOSTO DE 2002



La intrusión de la Corriente de Lazo en latitudes mayores a los 27 °N y la presencia de meandros a ambos lados del lazo favorecen el estrangulamiento de esta corriente y el desprendimiento de núcleos cálidos de alta salinidad (Elliott 1982: 1295).

CORRIENTE DE FRONTERA OESTE, GIROS CICLÓNICOS Y ANTICICLÓNICOS

Existe una corriente muy intensa hacia el norte en la costa oeste del Golfo de México, la cual es una respuesta de la circulación a la variación del parámetro de Coriolis con la latitud (Monreal-Gómez 1986: 121). A este tipo de corriente se le denomina *corriente de frontera oeste*. Sturges y Blaha (1976: 369) propusieron para esta corriente el nombre de Corriente mexicana y mencionaron que es similar y casi tan importante como la Corriente del Golfo (*Gulf Stream*). Estos autores consideran que los vientos son favorables a esta corriente y que la extensión del Golfo no es una limitante para que exista. Sin embargo, no es solamente el viento el mecanismo de formación de dicha corriente, también el flujo a través del Canal de Yucatán contribuye a su formación (Monreal-Gómez 1986: 161).

El desprendimiento del giro anticiclónico a partir de la Corriente de Lazo se ha asociado a la variación del flujo a través del Canal de Yucatán, en particular al máximo de la intrusión de la corriente de Lazo. Estos eventos se presentan con intervalos entre 3 y 25 meses, por lo que no es posible hablar de un período promedio y debe admitirse su alta variabilidad, lo que le confiere una característica de un proceso recurrente pero aperiódico.

Una vez que se desprende el giro anticiclónico de la Corriente de Lazo se propaga hacia el oeste (Hurlburt y Thompson 1980: 1646) con una velocidad de traslación que va de 2.1 a 4 km día⁻¹ (Johnson *et al.* 1992: 2,212), alcanzando la frontera oeste del Golfo al cabo de varios meses. En su desplazamiento hacia el oeste los anticiclones sufren cambios en tamaño y forma disminuyendo su radio y excentricidad debido a la disipación y dispersión de energía, por lo que el giro anticiclónico en el oeste es considerado como un remanente de aquel que se desprende de la Corriente de Lazo. El talud continental produce la desintegración del anticiclón dando origen a la formación de giros más pequeños o secundarios (Lewis *et al.* 1989: 8,166), los cuales son ciclónicos y anticiclónicos. El choque del anticiclón con el talud continental da origen a la masa de Agua Común del Golfo.

Los giros anticiclónicos que viajan hacia el oeste encierran agua cálida y salina y transportan energía de este a oeste del Golfo, son muy energéticos y en el oeste se localizan en la banda entre 22 y 27°N con un diámetro promedio de 300 km.

En ambos lados de la Corriente de Lazo, entre el Banco de Campeche y la plataforma oeste de Florida, se forman meandros que llegan a generar cir-

culación ciclónica que más tarde se transforma en pequeños giros ciclónicos, y cuando estos llegan a unirse provocan el estrangulamiento de la Corriente de Lazo y el desprendimiento de los giros anticiclónicos.

Las plataformas continentales de Texas-Luisiana y del oeste de Florida así como de la Bahía de Campeche son zonas donde frecuentemente se presentan giros ciclónicos con diámetros de aproximadamente 150 km. Se han propuesto varios mecanismos de formación de dichos giros, entre otros, el rotacional ciclónico del esfuerzo del viento (Vázquez de la Cerda 1993: 54), el encuentro de los giros anticiclónicos con el talud continental en el oeste del Golfo (Smith 1986: 1,262, Vidal *et al.* 1994b: 7,594), la formación del gran giro anticiclónico y la geometría de la costa.

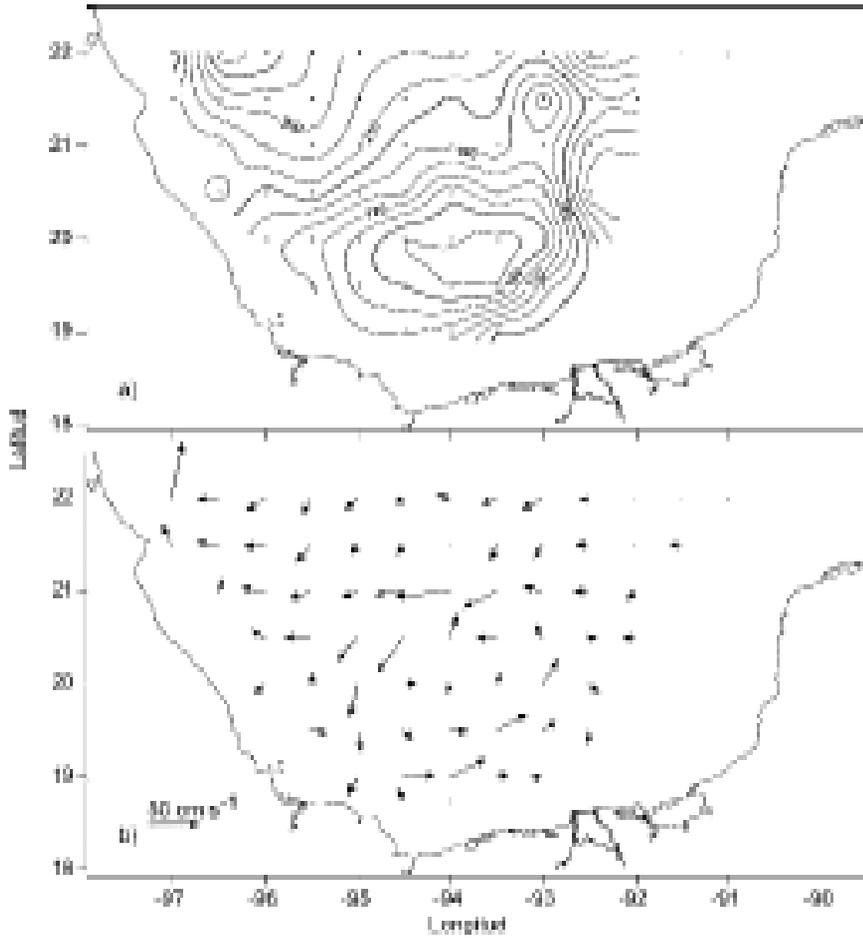
El gran giro anticiclónico que viaja hacia el oeste se encuentra con el talud continental, cede aproximadamente un tercio de su masa y transfiere momento angular, dando origen a dos giros ciclónicos, uno al norte y otro al sur del gran anticiclón. Se ha observado que la velocidad tangencial del anticiclón es de 30 cm s^{-1} y de 60 cm s^{-1} para los ciclónicos (Vidal *et al.* 1994b: 7,573).

Hamilton (1992: 2197) estudió los giros al norte del gran giro anticiclónico próximos a los 92°W , y encontró que tienen diámetros entre 100 y 150 km y velocidades de 30 y 50 cm s^{-1} .

El análisis de la topografía de altura dinámica realizados por Nowlin (1972: 7) puso en evidencia el carácter ciclónico de la circulación en la Bahía de Campeche, que se ha asociado con el rotacional ciclónico del esfuerzo de viento (Vázquez de la Cerda 1993: 54). Así mismo, el patrón de circulación simulado mediante un modelo de gravedad reducida muestra la formación del giro ciclónico y su traslación hacia el oeste como resultado de la topografía en la bahía, y de la variación en la intensidad de la Corriente de Yucatán (Monreal-Gómez y Salas de León 1990: 109); esta circulación también se refleja en la distribución de la anomalía de la picnoclina, con un afloramiento de ésta en el centro del giro (Monreal-Gómez 1986: 122).

Durante la campaña oceanográfica que se llevó a cabo del 14 de agosto al 1 de septiembre de 1996 en la Bahía de Campeche, se observó un giro ciclónico de mesoescala, el cual se evidencia mediante la forma de la topografía de la isoterma de 15°C (figura 5a) y la circulación geostrófica (figura 5b). Se observa un afloramiento de la isoterma al sur de los 20.5°N y un hundimiento en la región noroeste de la bahía; esta superficie isoterma va desde los 140 hasta 260 m. El patrón de circulación geostrófica muestra el giro ciclónico con velocidades próximas a 40 cm s^{-1} en la periferia, y la parte sur del gran giro anticiclónico en la zona noroeste de la bahía, con velocidades de aproximadamente 30 cm s^{-1} .

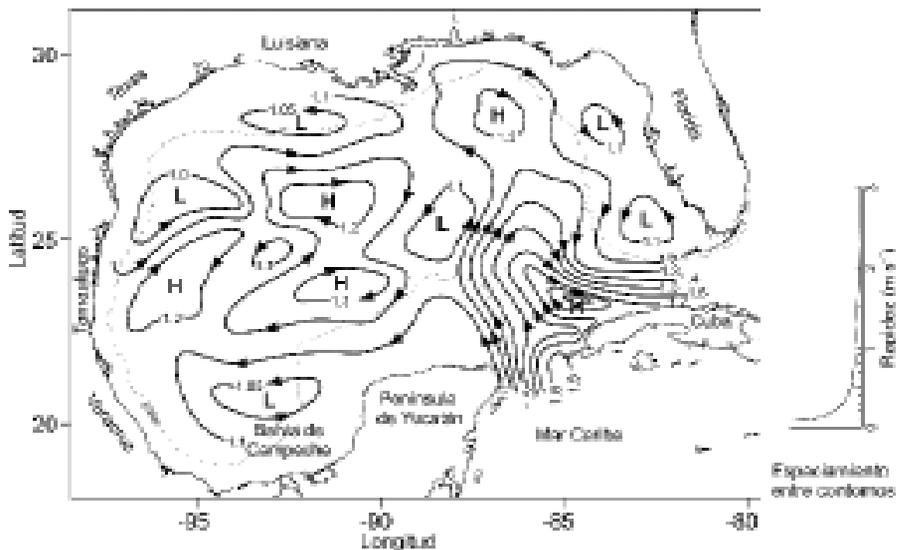
FIGURA 5. CIRCULACIÓN EN LA BAHÍA DE CAMPECHE A FINES DEL VERANO DE 1996. A) TOPOGRAFÍA DE LOS 15 °C, B) VELOCIDAD GEOSTRÓFICA A 20 M DE PROFUNDIDAD RELATIVA A 1,000 DB



La circulación general en el Golfo de México es ilustrada mediante la topografía dinámica de la superficie del mar relativa a 1,000 db. En el este del Golfo, en la zona más profunda, la circulación es dominada por la Corriente de Lazo, en la plataforma oeste de Florida por una circulación ciclónica. En el centro y oeste del Golfo se encuentran los giros anticiclónicos que se desprendieron de la Corriente de Lazo. En la plataforma de Texas-Luisiana y la Bahía de Campeche se presentan giros ciclónicos (figura 6).

Los frentes oceánicos son otros rasgos de la circulación del Golfo, los cuales se identifican generalmente por un fuerte cambio de la temperatura superficial (Monreal-Gómez y Salas de León 1997: 194). Estos frentes se presentan en las fronteras entre núcleos fríos y núcleos cálidos; es decir, entre giros ciclónicos y anticiclónicos, así como entre la corriente de Lazo y los giros fríos que se forman en su periferia.

FIGURA 6. CIRCULACIÓN INFERIDA DE LA TOPOGRAFÍA DINÁMICA (M DIN) DE LA SUPERFICIE DEL MAR RELATIVA A 1,000 DB



Fuente: Austin 1955 citado en Nowlin 1972: 7.

SURGENCIA DE YUCATÁN

La surgencia estacional en el margen oriental de la plataforma de Yucatán es topográfica. La fricción del fondo que experimenta la corriente de Yucatán al chocar contra el talud continental se ha propuesto como el mecanismo que da origen a esta surgencia (Cochrane 1968: 19, Merino 1997: 118). Otro mecanismo propuesto es la acción conjunta de la corriente de Yucatán y la contracorriente subsuperficial (García 1990: 13) que se localiza entre 150 y 250 m de profundidad, a lo largo del talud continental.

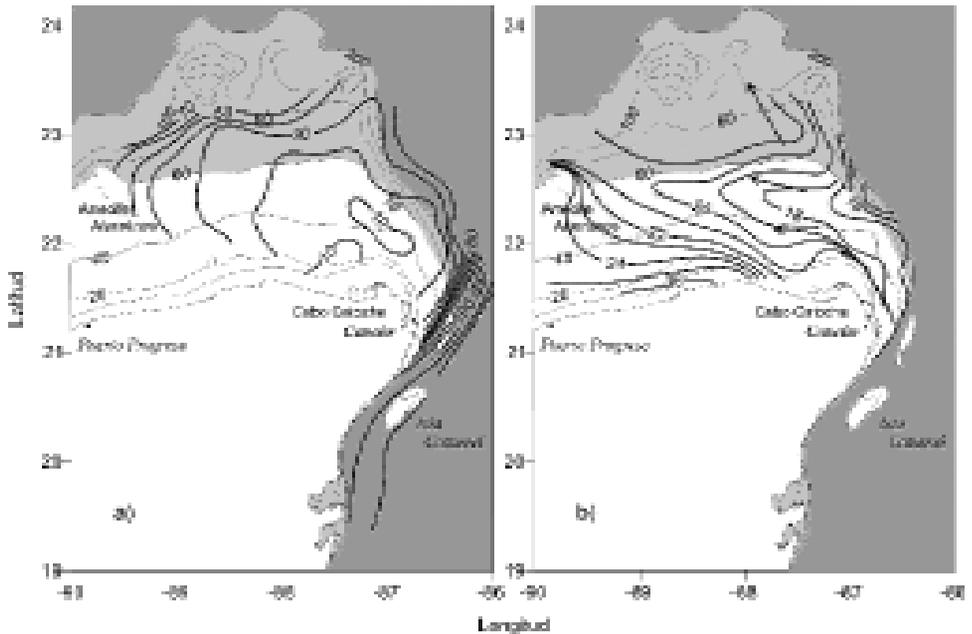
Para comparar este fenómeno con las surgencias eólicas clásicas se han analizado los vientos en esta región a lo largo del año, los cuales soplan del este, excepto en invierno cuando ocurren los vientos del norte. Debido a que el patrón de vientos en primavera y otoño es similar, y a la presencia de la surgencia en primavera y a su ausencia en otoño, esta surgencia se ha atribuido a la fricción del fondo que sufre la Corriente de Yucatán, ya que existe una relación directa entre la intensidad de la surgencia y el estrangulamiento de dicha corriente (Merino, 1992: 229).

La surgencia se manifiesta en primavera y verano cuando la corriente de Yucatán es más intensa. El afloramiento se evidencia con el levantamiento de la isoterma de 22.5 °C de una profundidad entre 220 y 250 m (figura 7a) en el oeste del Canal de Yucatán, hasta una profundidad entre 10 y 70 m sobre la plataforma continental del norte de la Península de Yucatán (Merino 1997: 104), mostrando un domo de agua fría en cabo Catoche (Cochrane 1968: 25).

El agua de la surgencia se desplaza hacia el oeste y se separa de la plataforma continental cerca del arrecife Alacranes, con velocidades de alrededor de 10 cm s⁻¹ cerca de la costa, y de 23 cm s⁻¹ en la región más alejada de ésta. Considerando estas velocidades se estima que el agua fría puede cruzar la plataforma entre 17 y 40 días (Merino 1997: 106). La temperatura en el fondo es menor en la región oriental (14 °C) y aumenta hasta los 26 °C frente a la costa norte de la península entre 88 y 89 °W (figura 7b).

Durante la época de surgencias se presenta el domo de agua fría sobre la plataforma, mientras que en otoño e invierno, la mayoría de la plataforma se encuentra cubierta por agua con temperatura mayor a 22.5 °C; en el fondo las isotermas siguen las isobatas. En cuanto a la salinidad en invierno antes de que se desarrolle la surgencia, el máximo de salinidad característico del AS₅C se separa del talud y está ausente durante la época de surgencia. Lo anterior explica la estructura de dos capas en la plataforma. Esta estratificación en la plataforma de Yucatán durante primavera y verano no se

FIGURA 7. SURGENCIA TOPOGRÁFICA EN PRIMAVERA, A) TOPOGRAFÍA (M) DE LA ISOTERMA DE 22.50 °C, B) TEMPERATURA EN EL FONDO Y CIRCULACIÓN ESTIMADA DE BOYAS DE DERIVA



Fuente: modificada de Merino 1997: 105.

debe al calentamiento del agua en la superficie sino a la intrusión del agua fría de la surgencia que baña la plataforma.

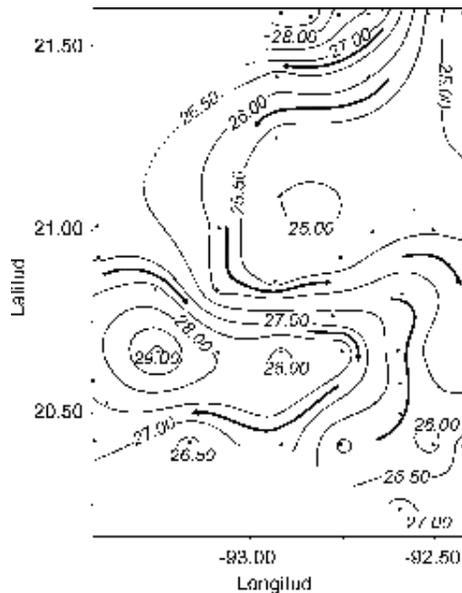
La geometría de la plataforma de Yucatán juega un papel muy importante en la formación y extensión de la surgencia, permitiendo que el agua de la surgencia permanezca sobre la plataforma en la zona eufótica por varios días, aumentando la fertilidad de las aguas.

CAÑÓN DE CAMPECHE Y SONDA DE CAMPECHE

El Cañón de Campeche, de origen tectónico, se localiza en el lado oeste de la plataforma de Yucatán, y es una región topográficamente compleja. Esta

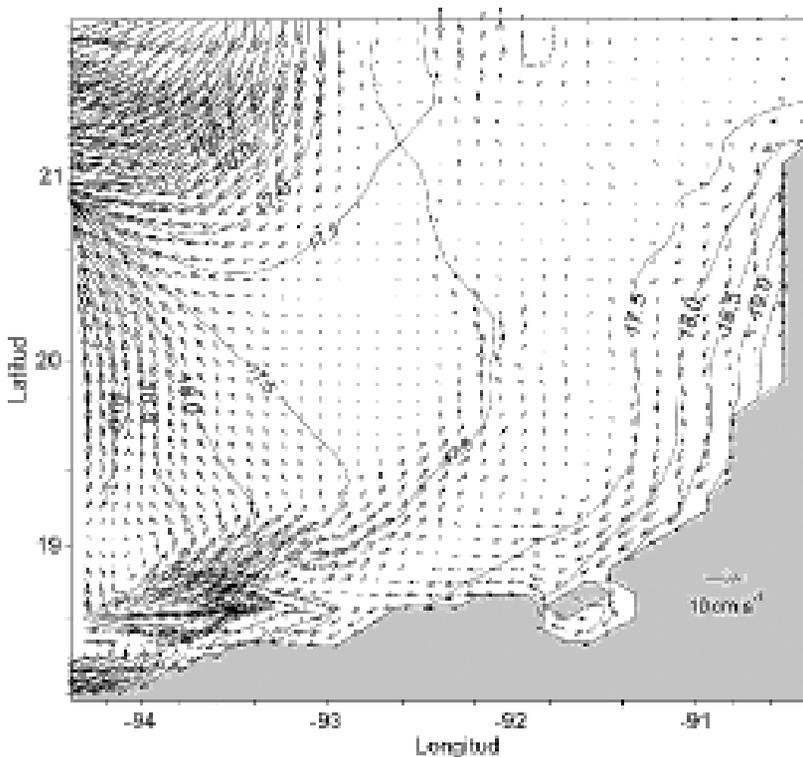
zona es influenciada por una corriente de intrusión (Vázquez de la Cerda 1979: 18) que se dirige hacia el sur. El agua cerca de un cañón puede moverse en la vertical a lo largo de su eje, favoreciendo la formación de giros (Arduin *et al.* 1999: 11,123). En el verano de 1999 un estudio hidrográfico observó temperaturas superficiales cercanas a los 30 °C y una capa de mezcla de 40 m de espesor; bajo esta capa se detectó un núcleo cálido de 29 °C con un diámetro de 70 km y otro núcleo frío con temperatura de 25 °C aproximadamente a 21°N (figura 8). La circulación baroclínica muestra estos núcleos los cuales están asociados a la presencia de un par anticiclón-ciclón muy bien definido desde los 40 hasta los 300 m de profundidad. Entre ambos núcleos se forma un frente térmico que puede inducir alta productividad. Se ha propuesto que este giro anticiclónico es de origen local y que la circulación geostrofica tiene una corriente hacia el sur en el talud, la cual va disminuyendo con la distancia hacia el oeste, produciendo un gradiente en la velocidad y dando origen al giro anticiclónico.

FIGURA 8. CAÑÓN DE CAMPECHE: TEMPERATURA (°C)
A 40 M DE PROFUNDIDAD Y PATRÓN DE CIRCULACIÓN



En la Sonda de Campeche los resultados de la simulación de la circulación producida por un viento dominante del este con magnitud de 3 m s^{-1} y por el intercambio de masa en las fronteras norte y oeste de la Sonda muestran una corriente hacia el sur sobre la plataforma continental. A la altura de los 92°W se desvía hacia el norte debido al efecto de la corriente costera que va en dirección noreste y que forma parte del giro ciclónico de mesoescala que se ha observado en la bahía; en esta región se presenta el mínimo valor de la elevación de la superficie libre. Además se presenta una zona de convergencia cerca de 21°N donde se unen la circulación ciclónica y la anticiclónica en el norte (figura 9).

FIGURA 9. SIMULACIÓN DE LA CIRCULACIÓN EN LA SONDA DE CAMPECHE PRODUCIDA POR VIENTO DEL ESTE Y FLUJO GEOSTRÓFICO EN LAS FRONTERAS NORTE Y OESTE DE LA ZONA



SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA

La zona costera donde desemboca el sistema Grijalva-Usumacinta es influenciada por la descarga fluvial, modificando la salinidad y la temperatura, teniendo como consecuencia un cambio en la densidad. Lo anterior provoca frentes halinos o termohalinos. Los frentes más frecuentes son halinos producto de la diferencia entre la salinidad del agua del sistema fluvial y la del agua de mar. Estos frentes se ponen en evidencia mediante la distribución superficial de temperatura, salinidad y densidad.

El sistema Grijalva-Usumacinta ocupa el segundo lugar en cuanto a descarga hacia el Golfo de México, siendo el río Misisipí el de mayor descarga. La magnitud de la descarga de agua del sistema Grijalva-Usumacinta, depende de las condiciones meteorológicas que se presentan en la zona, teniendo como consecuencia que el volumen descargado varíe a lo largo del año. Se observan fuertes precipitaciones en la temporada de huracanes y menores precipitaciones durante el paso de frentes fríos atmosféricos. La Secretaría de Recursos Hidráulicos, como resultado de estudios durante un promedio de 10 años, reportó que las descargas mínimas ocurren en mayo y las máximas en octubre (Czitrom *et al.* 1986: 309). Recientemente se ha reportado un valor climático (promedio entre 1948-1999) de $2,154 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Generalmente en la zona costera la densidad es dominada por la salinidad, mientras que en el mar abierto la densidad es dominada por la temperatura. En la zona costera la entrada de agua de río produce una región de baja salinidad que fluye mar adentro y que al encontrarse con el agua de mar de diferentes características genera fuertes gradientes horizontales de salinidad y densidad (figura 10). Generalmente se observa un sistema de dos capas, la capa superior es ocupada por agua del sistema fluvial, mientras que en la inferior se encuentra el agua de mar. Sin embargo, el viento y las corrientes de marea en la región próxima a la costa causan una mezcla vertical entre ambas capas reduciendo la diferencia de salinidad.

El frente halino superficial del Sistema Grijalva-Usumacinta ha sido monitoreado en diferentes épocas: en abril de 1984 (Czitrom *et al.* 1986: 302), a finales de otoño de 1987 (Monreal-Gómez *et al.* 1992: 132) y de manera periódica desde 1999 (PROMEBIO 1999). Inicialmente se postuló que este frente se formaba cuando existían las descargas fluviales máximas y que al presentarse vientos intensos del norte se produciría la mezcla y el frente desaparecería, sugiriendo así el carácter estacional del frente. Sin embargo,

el frente se ha observado aun después del paso de Nortes intensos (Alatorre *et al.* 1989: 193) y con bajas descargas fluviales, por lo que se considera que este frente es permanente, y su extensión e intensidad dependen de la magnitud de la descarga, de las corrientes costeras (Monreal-Gómez *et al.* 1992: 132) y del viento.

De los resultados del muestreo efectuado a finales del otoño de 1987 se observa que las isolíneas de la temperatura superficial se encuentran perpendiculares a la costa y que varían entre 25.25 y 25.75 °C (figura 10a) por lo que no se observa un gradiente térmico importante. Por su parte la salinidad varía de 33.50 a 37 UPS (figura 10b) y muestra un fuerte gradiente horizontal, el cual se refleja en la distribución de la densidad (figura 10c). Los valores más bajos se encuentran frente a la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta, mientras que los más altos se localizan al este, frente a la Laguna de Términos región que se caracteriza por ser una zona de alta evaporación. La influencia del agua dulce en la vertical se registró hasta 15 m de profundidad y su extensión hacia mar adentro fue de 50 km. La estratificación es del mismo orden de magnitud que lo obtenido en abril de 1984 por Czitrom *et al.* (1986: 306). En otoño, el eje principal del frente halino se encuentra corrido hacia el oeste de la desembocadura, lo que sugiere que existe una corriente costera en esa dirección.

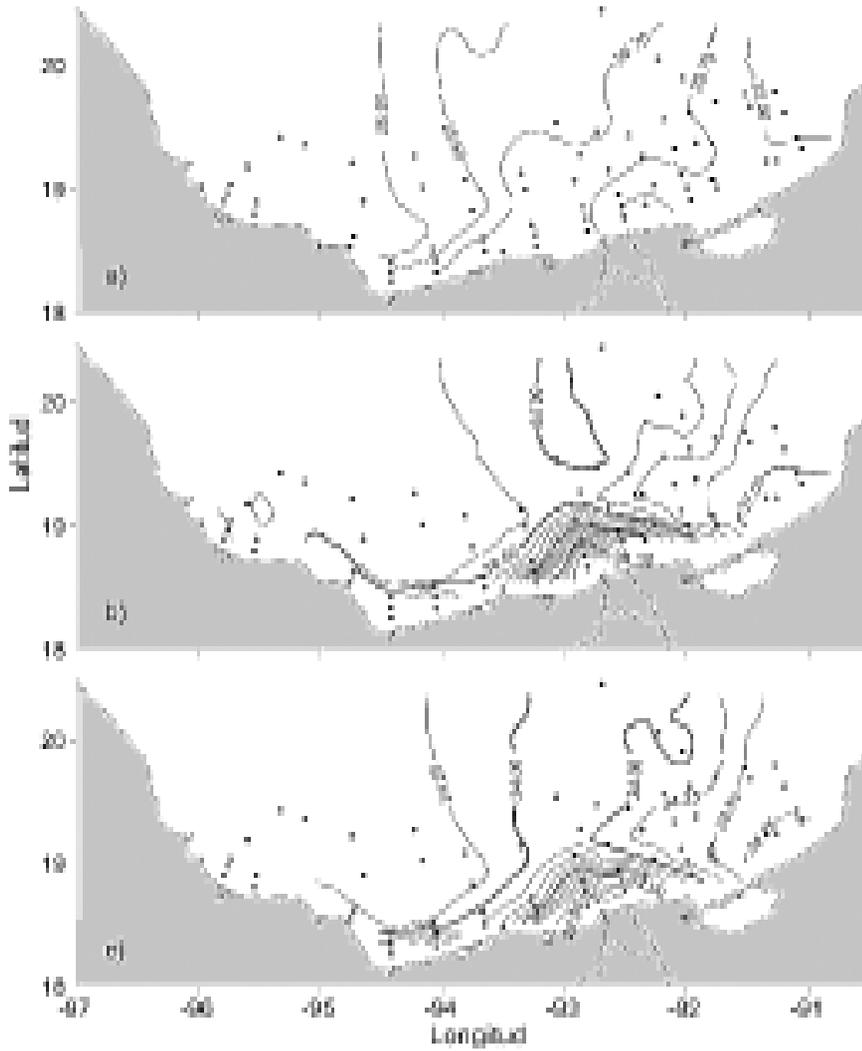
En agosto de 1999 se realizó un estudio hidrográfico que muestra la presencia de un gradiente halino y un gradiente térmico. Sin embargo, el efecto entre ambos se contrarresta en la densidad pues el agua de río es de menor salinidad y temperatura que el agua de mar.

Los frentes costeros como el generado por la descarga fluvial en el sur del Golfo de México juegan un papel muy importante desde el punto de vista ecológico. Los organismos tienden a aglomerarse cerca de esos frentes, la distribución de desechos y contaminantes pueden ser afectados por la presencia de estos (Klemas 1980: 11). Específicamente durante el derrame del Ixtoc-I en 1978, el frente fungió como una barrera evitando que los hidrocarburos llegaran a la costa de Campeche.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patrente su agradecimiento a A.J. Castro por el apoyo en la elaboración de los gráficos.

FIGURA 10. FRENTE HALINO EN EL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA, DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DE: A) TEMPERATURA (°C), B) SALINIDAD (UPS), C) DENSIDAD (KG M⁻³) CON INTERVALO DE CONTORNO DE 0.25



Fuente: Monreal-Gómez *et al.* 1992: 120.

BIBLIOGRAFÍA

- Austin, G.B., Jr. 1955. Some recent oceanographic surveys of the Gulf of Mexico. *Transaction. American. Geophysical*, 36: 885-892. Washington, D.C.
- Alatorre, M.A., F. Ruiz y D. Salas 1989. *Efectos del paso de frentes fríos atmosféricos sobre la Bahía de Campeche*. Memoria Reunión Anual, 1987. Unión Geofísica Mexicana. J. González, F. Medina, M. Romo y M. Martínez (Eds.) pp. 186-193. Ensenada, B.C.
- Ardhuin, F., J.M. Pinot y J. Tintoré 1999. Numerical study of the circulation in a steep canyon off the Catalan coast [western Mediterranean], *Journal of Geophysical Research*, 104, 11115-11135. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Cochrane, J.D. 1968. *Currents and waters of the eastern Gulf of Mexico and western Caribbean, of the western tropical Atlantic Ocean, and of the eastern tropical Pacific Ocean*. Department. of Oceanography and Meteorology., Texas A&M Univ. Ref. 68-8T, 19-28. College Station, Tx.
- Cochrane, J.D. y F.J. Kelly 1986. Low frequency circulation on the Texas-Louisiana continental shelf. *Journal of Geophysical Research*, 91: 10645-10659. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Czitrom, S.P.R., F. Ruiz, M.A. Alatorre y A.R. Padilla 1986. Preliminary study of a front in the Bay of Campeche, México. En: J.C.J. Nihoul (ed.). *Marine Interfaces Ecohydrodynamics*. Elsevier Oceanography Series, pp. 301-311. Amsterdam, N.L.
- Elliott, B.A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 12: 1292-1309. American Meteorological Society. Washington, D.C.
- García, C. 1990. Influencia del campo de presiones en la circulación del Estrecho de Yucatán. Chapman Conference: Physics of the Gulf of Mexico, American Geophysical Union. June 4-7, 1989. St. Petersburg, Fl.
- Hamilton, P. 1992. Lower continental slope cyclonic eddies in the Central Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97: 2185-2200. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Hurlburt, H.E. y J.D. Thompson 1980. A numerical study of loop current intrusions and eddy shedding. *Journal of Geophysical Research*, 10: 1611-1651. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Johnson, D.R., J.D. Thompson y J.D. Hawkins 1992. Circulation in the Gulf of Mexico from Geosat Altimetry during 1985-1986. *Journal of Geophysical Research*, 97: 2201-2214. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Klemas, V. 1980. Remote sensing of coastal fronts and their effects on oil dispersion. *International Journal of Remote Sensing*, 1:11-28. American Geophysical Union. Washington, D.C.

- Lewis, J.K., A.D. Kirwan, Jr. y G.Z. Forristall 1989. Evolution of a warm-core ring in the Gulf of Mexico, Lagrangian observations. *Journal of Geophysical Research*, 94: 8163-8178. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Liepper, D.F. 1970. A sequence of current patterns in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 75: 637-657. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Merino, M. 1992. Afloramiento en la plataforma de Yucatán: estructura y fertilización. Tesis Doctoral UACPyP-CCH. UNAM 285 pp. México, D. F.
- 1997. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine System*, 13: 101-121. Elsevier, Amsterdam, N.L.
- Molinari, R.L. y J. Morrison 1988. The separation of the Yucatan Current from the Campeche Bank and the intrusion of the loop current into the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 93: 10645-10654. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Molinari, R.L., J. Festa y D.W. Behringer 1978. The circulation in the Gulf of Mexico derived from estimated dynamic height fields. *Journal of Physical Oceanography*, 8: 987-996.
- Monreal-Gómez, M.A. 1986. *Modelisation du mode barotrope et du premier mode barocline dans le Golfe du Mexique*. Tesis de doctorado. Faculté des Sciences. Universidad de Lieja, Bélgica. 171 pp. Liège, Bélgica.
- Monreal-Gómez M.A. y D.A. Salas de León 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: M. F. Lavín (ed.). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, pp183-199. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. México, D. F.
- Monreal-Gómez, M. A. y D.A. Salas de León 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29: 101-111. Unión Geofísica Mexicana. México, D.F.
- Monreal-Gómez, M.A., D.A. Salas de León, A.R. Padilla-Pilotze y M.A. Alatorre Mendieta 1992. Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas*, 18: 115-133. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B. C.
- Nowlin, W.D. Jr. 1972. *Winter circulation patterns and property distributions*. Texas A&M University Studies, (2), L.R.A. Capurro, y J.L. Reid, Eds., Gulf Publ. Co., 3-53. Houston, Tx.
- Schmitz, W. J. y W.S. Richardson 1968. On the transport of the Florida current. *Deep-Sea Research*, 15: 679-693. Elsevier, Amsterdam, N.L.
- Smith, D.C. IV. 1986. A numerical study of loop current eddy interactions with topography in the Western Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 16: 1,260-1,272. American Meteorological Society. Washington, D.C.
- Sturges, W. y J.P. Blaha 1976, A western boundary current in the Gulf of Mexico. *Science*, 192: 367-369. American Association for the Advancement of Science, Stanford.

- Tapánes J.J. y F. González-Coya 1980. Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geofísica Internacional*, 19: 335-354. Unión Geofísica Mexicana. México, D.F.
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1979. *Circulación del agua en el suroeste del Golfo de México*. Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina. México. 26 pp. México, D.F.
- 1993. Bay of Campeche cyclone. Tesis de doctorado. Texas A&M University, 91 pp. College Station.
- Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, J.M. Pérez-Molero 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97: 2155-2172. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, A.F. Hernández, E. Meza, L. Zambrano 1994a. Winter water mass distributions in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring, *Journal of Oceanography, Tokyo* 50: 559-588. University of Tokyo. Tokyo.
- Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, A.F. Hernández, E. Meza, J.M. Pérez-Molero 1994b. Baroclinic flows, transports, and kinematic properties in a cyclonic-anticyclonic-cyclonic ring triad in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 99: 7571-7597. American Geophysical Union. Washington, D.C.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS MASAS DE AGUA OCEÁNICA QUE ARRIBAN AL GOLFO DE MÉXICO

Alberto Mariano Vázquez de la Cerda

INTRODUCCIÓN

El océano está compuesto por diferentes masas de agua, las cuales normalmente se presentan en capas de menor densidad en la superficie hasta llegar a las de mayor densidad en el fondo. Las masas de agua se forman en la superficie debido a la disminución de temperatura y/o al aumento de salinidad, por lo tanto se hunden hasta encontrar su nivel de equilibrio. La disminución de temperatura del mar se debe generalmente al paso de frentes fríos en la atmósfera, los cuales sustraen calor a la superficie, el aumento de salinidad resulta de la evaporación, principalmente en latitudes medias, área de la Tierra donde existen zonas climáticas de alta presión atmosférica; al no evaporarse las sales disueltas, aumenta la salinidad del agua. En ambos casos, tanto la disminución de temperatura o el aumento de la salinidad provocan incrementos en la densidad del agua de mar dando lugar a su hundimiento.

Los oceanógrafos físicos utilizan el diagrama T-S (temperatura *versus* salinidad) para conocer las características y densidad del agua de mar (ρ). En dicho diagrama, un punto indica un *tipo de agua*, una línea corresponde a una *masa de agua*. El oceanógrafo detecta las masas de agua más prominentes por los máximos o mínimos en los valores de temperatura o salinidad. Algunos parámetros, como son oxígeno disuelto y nutrientes (no incluidos

en el diagrama T-S), principalmente silicatos y fosfatos, también sirven como indicadores de masas de agua.

En el océano Atlántico existen seis regiones donde se forman masas de agua:

- A. en el mar de Labrador, al noreste de Canadá y suroeste de Groenlandia.
- B. en el mar de Groenlandia y mar de Noruega, entre Islandia, Groenlandia y Noruega.
- C. al oeste del mar de los Sargazos y el sureste de la Corriente del Golfo, en el Atlántico norte.
- D. al sureste de Brasil, en el Atlántico sur.
- E. en la parte meridional del Atlántico sur, entre los frentes polares.
- F. y por último, en el mar de Weddell, en el Continente Antártico.

En las regiones A, B y F se forman las aguas profundas del océano Atlántico; en la región C se forma la masa de agua llamada de 18°C ; en la región D la masa de agua llamada *Agua Subtropical del Sur* (ASS); y finalmente, en la región E se forma la masa de agua llamada *Agua Intermedia Antártica* (AIA). Las tres últimas arriban a lo largo de su travesía por el océano Atlántico al Golfo de México (figura 1).

AGUA DE 18° CELSIUS (A 18°C)

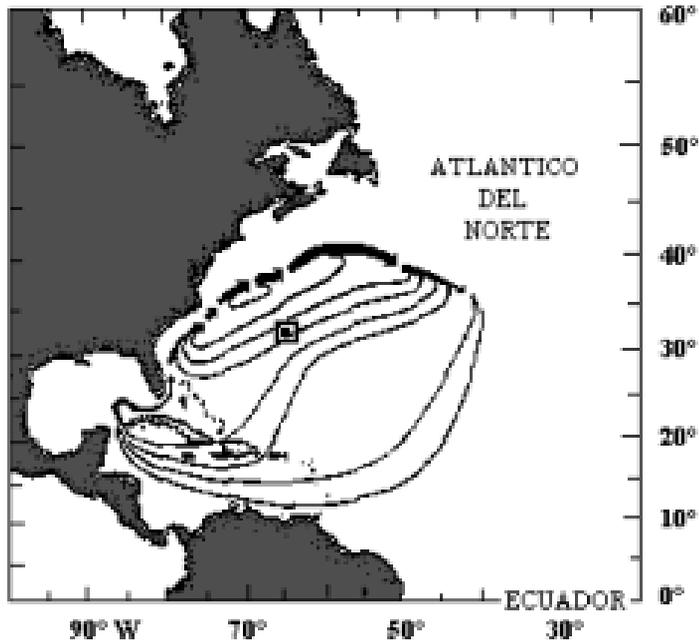
Los cambios en las características del Agua de 18°C son parte de los cambios climáticos en el Atlántico norte. La temperatura en la superficie del mar en toda la parte septentrional del Atlántico, es también un indicador del cambio climático y varía en periodos largos, como lo demostraron Bjerknes (1964) y Colebrook y Taylor (1979).

En 1959, Worthington sugirió que la masa de agua de 18°C , formada en el oeste del océano Atlántico norte e inmediatamente al sur de la Corriente del Golfo (figura 2), es producida de manera similar al agua de fondo en altas latitudes. Es decir, en la época que se extiende de otoño e invierno, al paso de los frentes fríos en la atmósfera, la superficie del mar disminuye su temperatura, aumentando la densidad del agua, lo que trae como consecuencia el hundimiento de las masas de agua superficiales hasta que encuentran su nivel de equilibrio, quedando entre aguas más densas por debajo y aguas menos densas por encima. La masa de agua se enfría en cantidades excesivas y se hunde, empezando a fluir hacia el sur; aguas más calientes, por

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LAS REGIONES EN EL OCÉANO ATLÁNTICO DONDE SE FORMAN MASAS DE AGUA; TRES DE ELLAS (C, D Y E) ARRIBAN AL GOLFO DE MÉXICO. A) MAR DEL LABRADOR; B) MAR DE GROENLANDIA Y MAR DE NORUEGA; C) OESTE DEL MAR DE LOS SARGAZOS; D) SURESTE DE LAS COSTAS DE BRASIL; E) ZONA ENTRE LOS FRENTE POLARES; F) MAR DE WEDDELL. EL TRANSECTO (C) DE SALINIDAD SE ENCUENTRA EN LA FIGURA 3. LOS TRANSECTOS (A), (B), (C), SE ENCUENTRAN EN LA FIGURA 13.



FIGURA 2. CIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE ($> 17^{\circ}\text{C}$) EN EL ATLÁNTICO NORTE DE WORTHINGTON 1976. EL CUADRO NEGRO INDICA LA POSICIÓN DE LA ESTACIÓN PANULIRUS ($32^{\circ} 10' \text{N}, 64^{\circ} 30' \text{W}$)

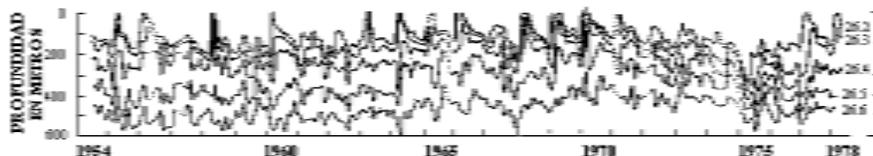


Fuente: de acuerdo con Tally y Raymer 1982.

advección fluyen hacia el norte para ocupar el lugar del agua que se hundió. En el caso del Agua de 18°C , la termoclina principal es análoga a lo que sería el fondo marino en las altas latitudes.

En el Atlántico norte, existen dos masas de agua formadas por convección en invierno, una es el Agua de 18°C (figura 2) en el oeste del Atlántico norte (Worthington, 1959), y la otra es el agua del *modo sub-polar* o *Agua Profunda del Atlántico norte* (figura 3). Ambas son características de su homogeneidad vertical durante todo el año, debido a su origen convectivo. El Agua de 18°C se forma en el sureste de la Corriente del Golfo y se encuentra en el centro del remolino subtropical en el oeste del Atlántico norte.

FIGURA 3. OCEANO ATLÁNTICO. SECCIÓN VERTICAL NORTE-SUR DE LA SALINIDAD (UPS)
EN EL LADO OESTE



Fuente: de acuerdo con Wüst 1935.

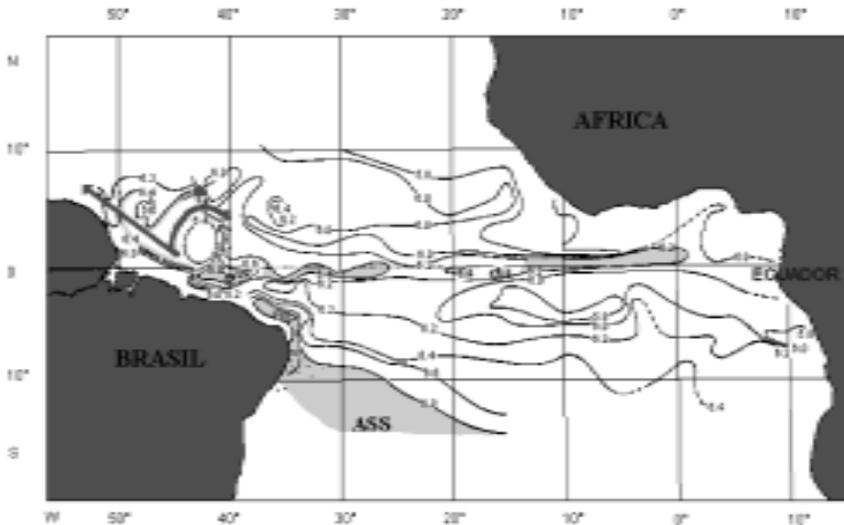
La figura 4 muestra la salinidad superficial y marca claramente el núcleo del remolino oceánico con máximas salinidades en el Atlántico norte, con valores mayores a 37.25 UPS. La masa de Agua de 18 °C, cuya formación está localizada entre la parte sureste de la Corriente del Golfo y el extremo norte del núcleo de alta salinidad, tiene un espesor cercano a los 200 m debido a su origen convectivo. Su identificación se basa en el método desarrollado por Talley y Raymer (1982). Worthington (1959) la definió como Agua de 18° Celsius con una temperatura igual a $17.9^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$, $S = 36.50 \text{ UPS} \pm 0.10 \text{ UPS}$ y $s_t \sim 26.4 \text{ mg cm}^{-3}$ (figuras 5 y 13b).

La mayor profundidad de la termoclina principal, al sur de la Corriente del Golfo, se encuentra *siempre* por debajo de la parte más profunda de la capa de mezcla del Agua de 18 °C. Esta profundidad máxima de la termoclina representa el centro del remolino oceánico anticiclónico en el Atlántico norte.

Bjerknes (1964) mostró que el enfriamiento en un periodo de 20 años, a comienzo del siglo XX, seguido por un periodo de calentamiento en los años 30 estuvo directamente relacionado con los cambios de viento. Dicho autor mostró que los vientos alisios fuertes estaban correlacionados con una disminución en la temperatura superficial en el mar de los Sargazos, y un incremento en las temperaturas superficiales del Agua del Talud. Colebrook y Taylor (1979) continuaron la investigación de Bjerknes y encontraron el enfriamiento de la superficie del mar en el Atlántico norte entre 1948 y 1974.

Cuando *no* se han seguido las mediciones hidrográficas estándar convencionales, el mínimo de vorticidad potencial (f/r) ($\partial r / \partial z$), es un excelente trazador para el Agua de 18°C (una asociación con el oxígeno máximo es débil, debido a que la masa de agua está muy cerca de la superficie).

FIGURA 4. SALINIDAD SUPERFICIAL (UPS) EN EL OCEANO ATLÁNTICO

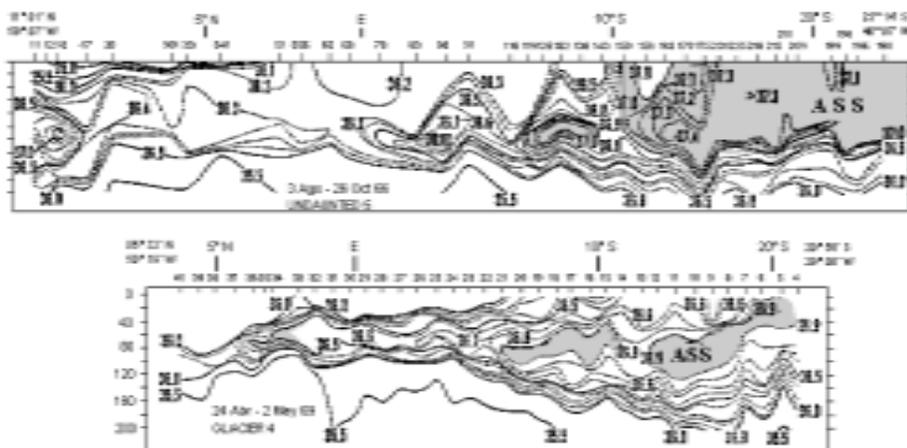


Estudios realizados por Jenkins (1982), con mediciones de oxígeno, salinidad y de ^3H - ^3He han tenido éxito para identificar el agua de 18 °C; estas mediciones hechas de 1974-1975 y en 1977-1978 muestran claramente el cambio del agua de 18 °C; la razón de renovación es consistente con la información obtenida de los datos hidrográficos de la estación *Panulirus* (~ Lat. 32°10' N Long. 064°30' W) (figuras 2 y 5).

De 1954 a 1978 hay cuatro periodos que fueron la evidencia para conocer plenamente el agua de 18°C, en las variables de salinidad, temperatura, vorticidad potencial, flujo de calor.

1. El Agua de 18 °C, “clásica” entre 1954 y 1964, que básicamente concuerda con la descripción de Worthington (1959), con pequeñas variaciones.
2. El Agua de 18 °C, que progresivamente fue más densa y más fría desde 1964 a 1972; su temperatura y densidad alcanzaron valores de 17.1 °C y 26.6 mg cm⁻³ para 1972. Los ciclos anuales de densidad de 26.2 a 26.6 mg cm⁻³ fueron muy pronunciados en estos años en la estación Panulirus.

FIGURA 5. LA DENSIDAD POTENCIAL (σ_t) EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA ESTACIÓN PANULIRUS



3. No hubo una formación fuerte de Agua de 18 °C de 1972 a 1975; Talley y Raymer (1982) concluyeron que la formación del Agua de 18 °C dejó de producirse en esos años; fue observada solamente el Agua de 18 °C como un remanente del agua de 1971.
4. De 1975 a 1976 el Agua de 18 °C volvió a incrementarse a una temperatura relativamente alta y baja densidad (Leetmaa 1976, Worthington 1977). Para 1978 el Agua de 18 °C tenía las mismas características que la de 1954 a 1974.

En el mar Caribe, la entrada de la masa de Agua de 18 °C se da por varios estrechos:

- a) entre las islas de Cuba y la Española, conocido como Paso de los Vientos,
- b) entre las islas de la Española y Puerto Rico, conocido como Paso Mona
- c) en las islas Vírgenes, específicamente entre la isla de San Thomas y la isla de Santa Cruz, conocido como el Paso de Anegada-Jüngfern, y
- d) en menor cantidad entre los pasos de las islas de las Antillas menores.

AGUA SUBTROPICAL DEL SUR (ASS)

Desde la expedición del buque oceanográfico alemán *Meteor*, de 1925-1927, (Wüst 1935, 1957), se sabe de la existencia de una capa de alta salinidad (36.3 a 37.3 UPS) en la parte superficial del océano Atlántico tropical, con un espesor menor a 150 m; así mismo, el área de su formación se ubica en la parte central de los grandes remolinos. Defant (1961) describió las capas oceánicas en general, y designó las zonas de convergencia subtropical del Atlántico norte y del Atlántico sur como las fuentes del agua de alta salinidad (figura 4).

ATLÁNTICO SUR

Durante los meses invernales en el hemisferio sur, una celda grande y estable de alta presión de aire tropical marino ocupa la mayor parte del Atlántico sur, entre los 15° y los 30° S; la precipitación disminuye y el promedio de temperaturas del aire superficial desciende entre 20 y 22 °C, en las cercanías de la capa superficial de alta salinidad (Cartas de Haurwitz y Austin 1944). Estas condiciones invernales conducen a un incremento neto de la evaporación y a una mayor salinidad en la superficie del mar.

SUBCORRIENTE ECUATORIAL

Investigaciones realizadas posteriormente, sugirieron que la capa superficial de alta salinidad en la parte tropical occidental del Atlántico sur, es la fuente de agua de alta salinidad de la Subcorriente Ecuatorial (Metcalf *et al.* 1962, Cochrane 1963, 1965; Metcalf y Stalcup 1967, Cochrane 1978) (figura 6). La Subcorriente al cruzar el Ecuador procedente del Sur, en parte gira en forma anticiclónica, es decir, en sentido de las manecillas del reloj, cerca de 2°- 5°N, 45°- 50°W (frente a las costas de Brasil, próxima a la desembocadura del río Amazonas) (figura 7), y fluye hacia el sureste dando origen a la Subcorriente Ecuatorial (Cochrane 1963, Goulet e Inghman 1971, Vázquez de la Cerda 1988, 1992).

Goulet e Inghman (1971) observaron en los cruceros realizados a bordo del R/V *Undaunted* y el R/V *Glacier* en 1966 y 1969, respectivamente, que los cálculos dinámicos a 105 m relativos a 495 m mostraban velocidades $>95 \text{ cm seg}^{-1}$; generalmente las direcciones fueron hacia el norte y más fuertes en las zonas de alta salinidad ($>37.3 \text{ UPS}$) (figura 8). El transporte en la latitud de 7°S fue de 6.9 Sverdrups (Sv).

FIGURA 6. SALINIDAD EN LA CAPA DE MÁXIMA SALINIDAD EN EL ATLÁNTICO ECUATORIAL.
EQUALANT I (SALINIDAD EN UPS MENOS 30 UNIDADES)

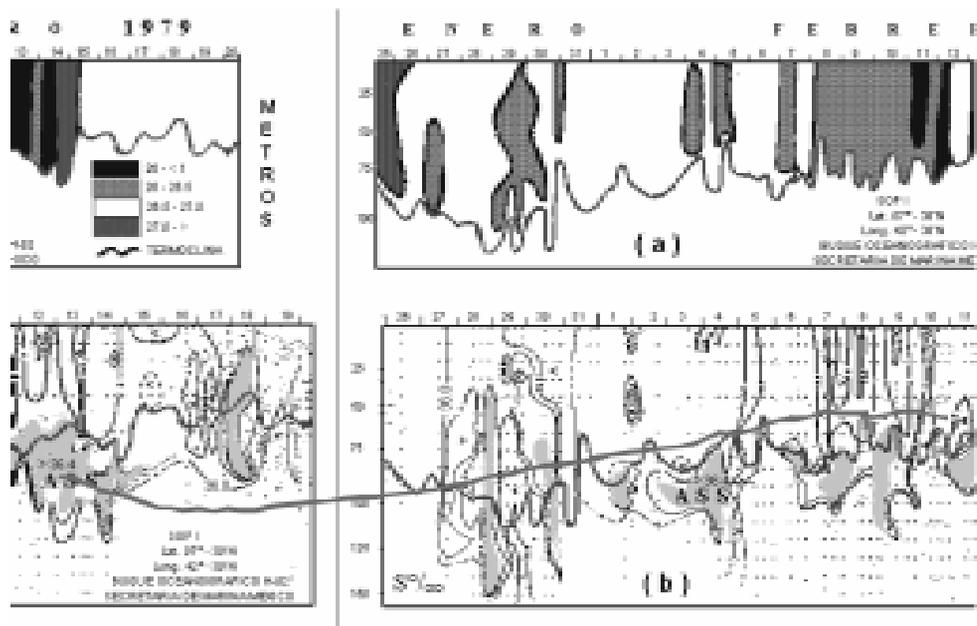
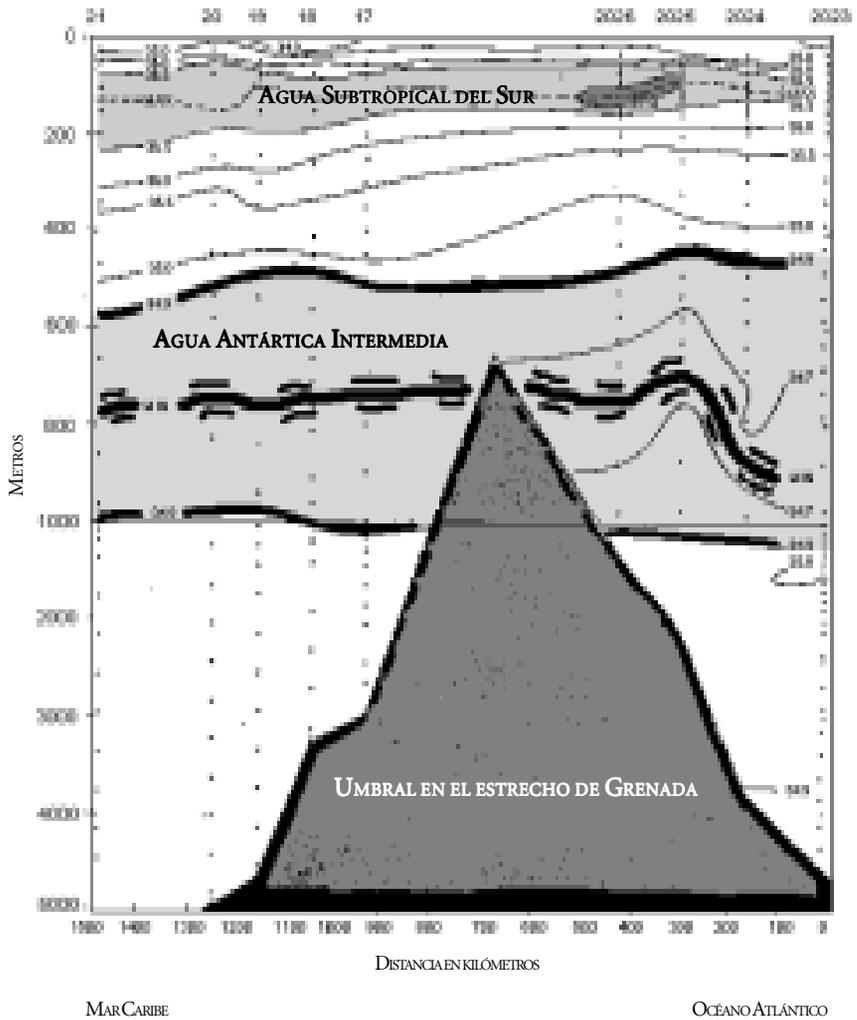
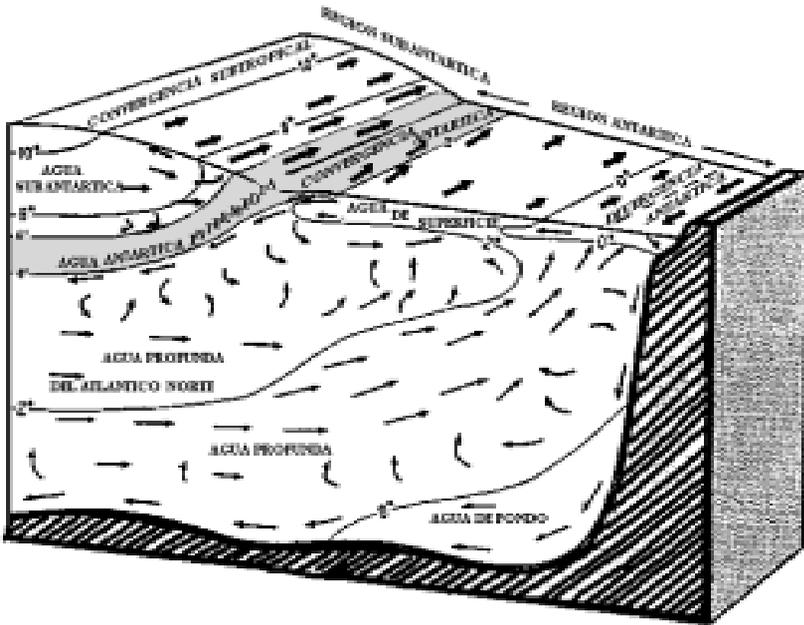


FIGURA 7. SALINIDAD EN LA SUPERFICIE DE ANOMALÍA DE VOLUMEN ESPECÍFICO (D) A $240 \times 10^{-8} \text{ M}^3 \text{ KG}^{-1}$



Fuente: de acuerdo con Cochrane 1965, modificado por Vázquez de la Cerda 1992.

FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LA SALINIDAD(UPS) A LO LARGO DE LA COSTA DE AMÉRICA DEL SUR; SUPERIOR, CRUCERO DEL R/V UNDAUNTED, DEL 3 DE AGOSTO AL 26 DE OCTUBRE 1966; INFERIOR, CRUCERO 4-69 DEL GLACIER, DEL 24 DE ABRIL AL 2 DE MAYO DE 1969



Fuente: de acuerdo con Goulet e Inghman 1971.

detectó el traslado de un remolino anticiclónico hacia el noroeste y la fluctuaciones de la alta salinidad (Vázquez de la Cerda, 1978); esto es una justificación importante al trabajo de Yi Chao (1998), al mencionar el desplazamiento de los remolinos anticiclónicos desde el Atlántico ecuatorial hasta el mar Caribe.

Durante la operación FGGE del año 1979 del Primer Experimento Global GARP (First Global GARP Experiment, conocido internacionalmente por las siglas en inglés FGGE), México participó con el buque oceanográfico H-02 de la Secretaría de Marina y la Dirección General de Oceanografía Naval, junto con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica (Vázquez de la Cerda 1988). La posición geográfica

del buque fue $7^{\circ}30'$ N de latitud y $42^{\circ}30'$ W de longitud durante las observaciones intensas (figuras 6, 7 y 9).

La serie de estaciones oceanográficas fue realizada cada 4 horas desde el 26 de enero hasta el 20 de febrero de 1979 en la situación geográfica Lat. $07^{\circ}30'$ N Long. $42^{\circ}30'$ W. Durante el Periodo especial de observación I (figura 9), del 25 de enero al 19 de febrero de 1979, la profundidad donde se encontraron los máximos valores de salinidad, >36.4 UPS, siempre estuvieron por debajo de la capa de mezcla. Los valores más profundos se hallaron cerca de los 140 m el 28 de enero y los más cercanos a la superficie del mar fueron a 50 m, el 18 de febrero, los cuales corresponden a una onda larga vertical de estructura térmica en las aguas oceánicas; esta onda da valores muy cercanos a las variaciones de marea en luna llena o luna nueva, es decir quincenal (figura 10). Los valores de salinidad más altos se notaron cada 3 ó 4 días. La máxima salinidad correspondió con velocidades mayores a los 40 cm s^{-1} . Los valores más altos de salinidad, >36.6 UPS, tuvieron velocidades de $\sim 60 \text{ cm s}^{-1}$. Durante el periodo de observaciones el grupo de masas de agua intermitente de alta salinidad, tuvo un transporte que fluctuó desde 1.9 a 5.6 Sv, valores menores a los encontrados en la latitud 7°S , se considera que la otra parte había girado hacia el Este en la Subcorriente Ecuatorial. Las estimaciones del transporte de la Subcorriente deben interpretarse con alguna precaución debido a la gran variabilidad encontrada durante cortos períodos de tiempo.

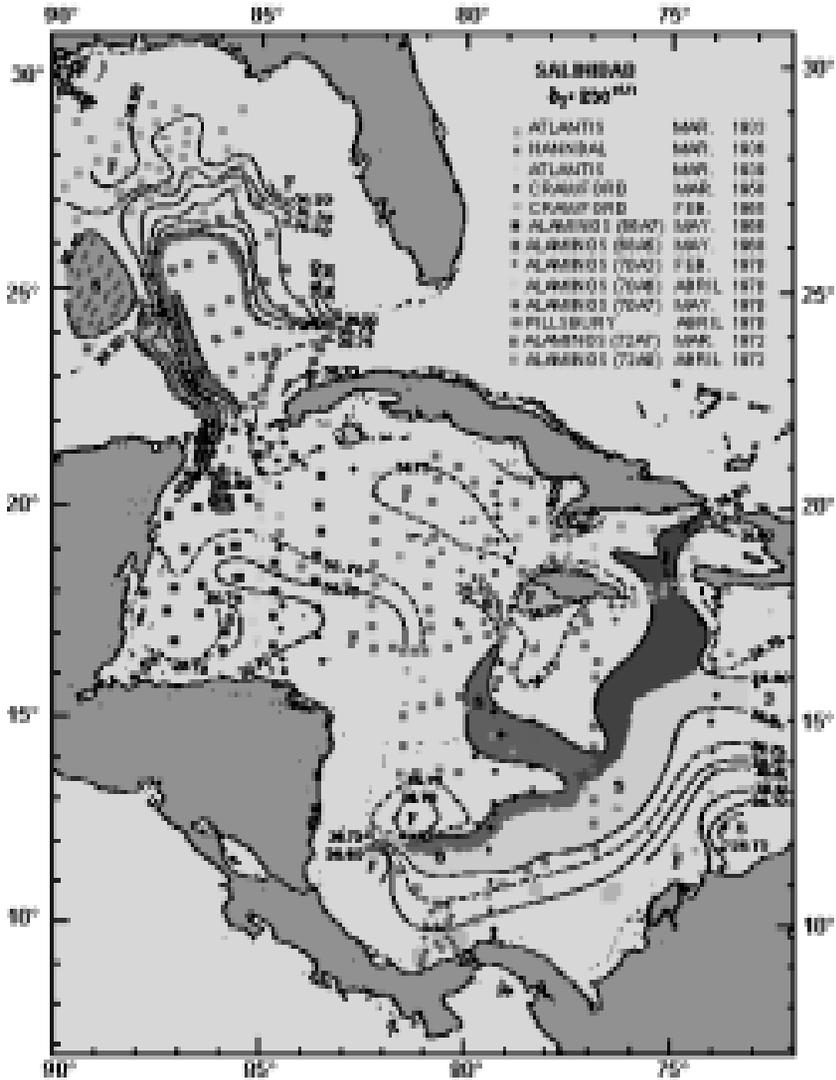
En el Estrecho de Grenada, Morrison y Nowlin (1982) durante el otoño de 1973 en el crucero Caro-I y las estaciones 2023-2026 del crucero *Atlantis* II-078, encontraron una celda de alta salinidad con un valor estimado de 1.5 Sv, un valor de transporte de aproximadamente una cuarta parte al observado frente a las costas de Brasil (figura 11).

AGUA ANTÁRTICA INTERMEDIA (AIA)

DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN

Svedrup, en su libro *The Oceans* (1942), dividió la parte sur de todos los océanos en diferentes regiones, dándole una nomenclatura determinada (figura 12). Aquí haremos referencia también a la nomenclatura elaborada por Whitworth (1980).

FIGURA 9. A) TEMPERATURA °C DESDE LA SUPERFICIE HASTA 120 M. B) SALINIDAD (UPS) DESDE LA SUPERFICIE HASTA 160 M DE PROFUNDIDAD PROGRAMA DE MÉXICO EN FGGE AÑO DE 1979



Fuente: de acuerdo con Vázquez de la Cerda 1988.

FIGURA 10. VARIACIÓN DE LA PROFUNDIDAD EN METROS DEL INICIO DE LA TERMÓCLINA. LA ONDA LARGA CORRESPONDE A LA MAREA QUINCENAL PROVOCADA EN LA LUNA NUEVA Y LA LUNA LLENA

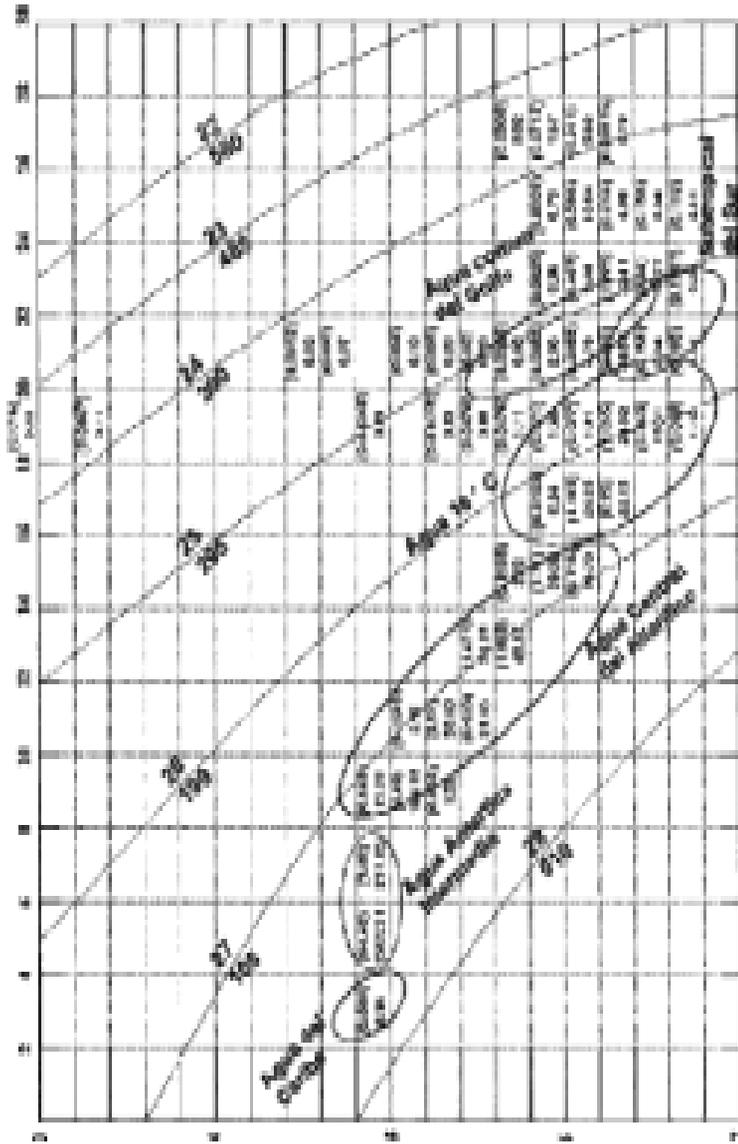
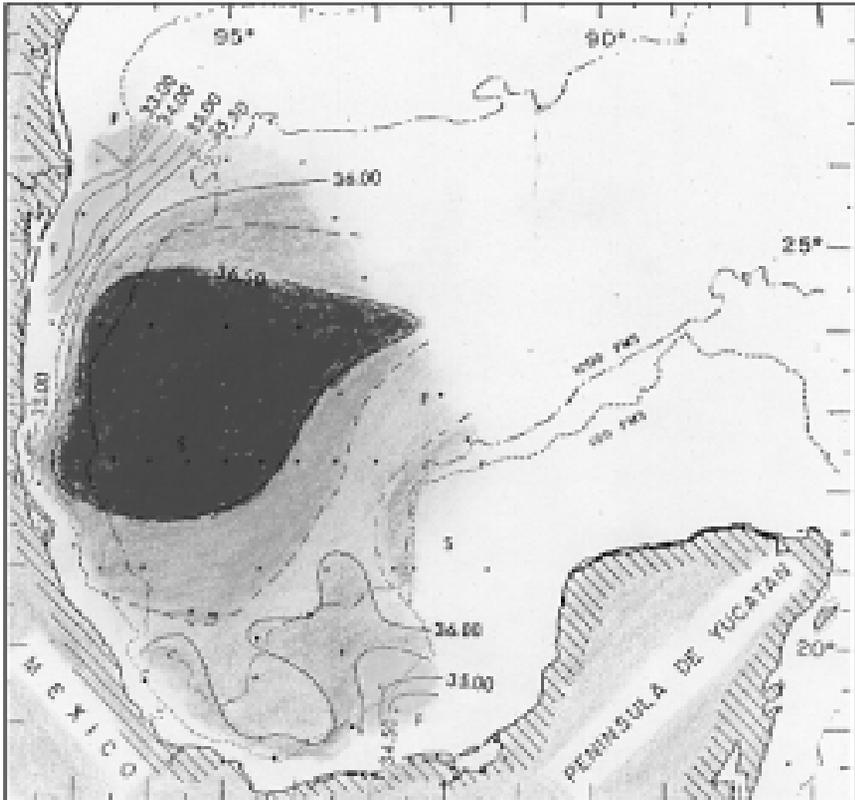


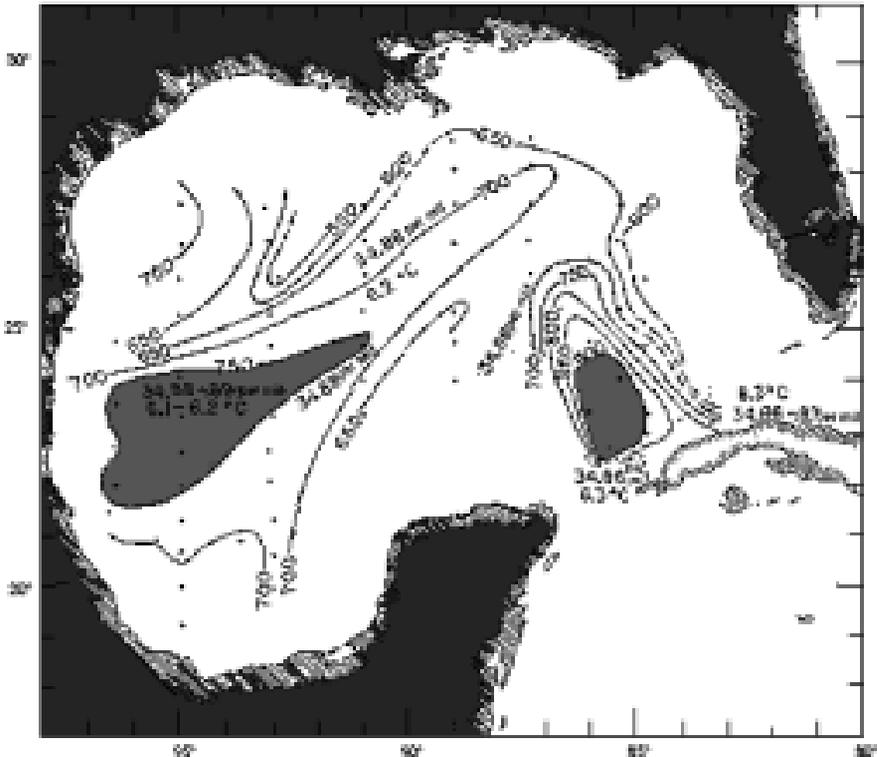
FIGURA 11. SECCIÓN VERTICAL DE SALINIDAD (UPS)
A TRAVÉS DEL PASO DE GRENADA DURANTE EL OTOÑO DE 1973



Fuente: de acuerdo con Morrison y Nowlin 1982.

Cerca del Continente Antártico la temperatura de la superficie del mar fluctúa entre 1.0 y 1.5 °C bajo cero, razón por lo que el agua continua siendo líquida es su salinidad, pero al alejarse a mayor distancia de la costa, la temperatura aumenta ligeramente hasta llegar a una región donde se incrementa en dos o tres grados Celsius en un espacio relativamente corto. Esta región, con un incremento repentino de temperatura, es llamada *Frente polar (FP)* o *Convergencia antártica*; es el lugar donde el agua se hunde, y

FIGURA 12. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS CORRIENTES Y MASAS DE AGUA EN LA REGIÓN ANTÁRTICA Y LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA (°C)



Fuente: de acuerdo con Sverdrup *et al.* 1942.

fue establecida de 1932 a 1933 por las investigaciones realizadas a bordo del Discovery (Deacon 1937). Al continuar en dirección hacia el norte, la temperatura superficial del agua continua aumentando levemente, hasta encontrar una segunda región con un incremento rápido, llamado *Convergencia Subtropical* cerca de la latitud 40° S, alrededor del hemisferio sur; la frontera de la convergencia Subtropical es en forma continua, excepto en la parte este del océano Pacífico sur donde no está bien determinada. El área

que se extiende desde el Continente Antártico hasta FP, se conoce como la *Región Antártica* o *Zona Antártica* (ZAA), y el área entre los frentes recibe el nombre de la *Región Sub-Antártica* o *Zona Sub-Antártica* (ZBA).

Expediciones en la década de los 70 hicieron posible definir mejor las diferentes regiones antes expuestas (Sievers y Nowlin 1984), donde la Zona Sub-Antártica y la Zona Frontal Polar finalmente recibieron el nombre de *Frente Sub-Antártico* (FSA).

PRIMERAS DEFINICIONES Y MÉTODOS

En 1935, Wüst demostró, usando el Método de núcleo en la parte del Frente Polar (FP), que dicho núcleo estaba formado por agua de baja salinidad relativa que se esparce hacia el norte a lo largo del mínimo de salinidad. La llamó *Agua Sub-Antártica Intermedia*, pero posteriormente ha sido más aceptado el nombre *Agua Intermedia Antártica* (AIA) (figuras 3, 11, 12 y 13a). Aunque los procesos que conducen a su formación no han sido comprendidos claramente en detalle, Wüst explicó que el AIA desciende a capas profundas y se esparce hacia el norte. El Método de núcleo se define como una región donde un parámetro en el agua alcanza valores máximos o mínimos a lo largo de su distribución.

El AIA incluye agua de la superficie desde la ZAA y está formada con una mezcla de aguas del FP; su recorrido es hacia el norte. El Agua Intermedia Antártica al hundirse tiene un espesor de aproximadamente 300 metros, con valores de temperatura de 2 a 3 °C y una salinidad de 34.2 UPS. Para encontrar su equilibrio al viajar hacia el norte, el AIA se hunde debido a su densidad (σ_t) de 27.4, donde aguas de menor densidad están en la parte superior de ella y aguas de mayor densidad se encuentran a mayores profundidades. Así mismo, el AIA tiene valores de oxígeno disuelto relativamente altos, 5 a 7 ml l⁻¹, como resultado de haber dejado la superficie del mar recientemente (figura 13c).

Durante su viaje hacia el norte en el océano Atlántico, el AIA aumenta su salinidad debido a la mezcla y difusión con las aguas adyacentes. Los valores de salinidad que se encuentran a lo largo de su viaje son en promedio:

Wüst (1964), considera que menos del 5% del Agua Antártica Intermedia llega al Golfo de México. Los datos climáticos de varias décadas y distintos cruceros confirman lo anterior. Sólo pequeñas trazas de AIA salen del Golfo de México por el Estrecho de Florida hacia el Atlántico del Norte en el fondo de la Corriente del Golfo. Por otro lado, el remanente de la AIA

MAR CARIBE

El mar Caribe se ubica en la parte oeste del océano Atlántico, limita al sur con América Central, Colombia y Venezuela; al oeste con México, al norte con el Golfo de México y las Antillas mayores y al este con las Antillas menores. Este mar tiene una personalidad propia al ser la parte del océano por donde pasa gran parte de la Corriente Ecuatorial del Norte junto con un porcentaje de masas de agua de la Corriente Ecuatorial del Sur.

CUADRO I. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE DIFERENTES VALORES DEL AGUA ANTÁRTICA INTERMEDIA, DESDE EL OCEANO ANTÁRTICO HASTA EL GOLFO DE MÉXICO

LUGAR	SALINIDAD	PROFUNDIDAD
Cuenca de Argentina	34.2 UPS	Superficie del mar, a más de 700 metros
Cuenca de Brasil	34.4 UPS	Entre 700 y 1,000 metros
Ecuador (0° de Latitud)	34.5 UPS	Entre 700 y 1,000 metros
Este de las Antillas menores	34.7 UPS	Entre 700 y 900 metros
Este del mar Caribe	34.75 UPS	Entre 700 y 900 metros
Mar Caribe central	>34.80 UPS	Entre 650 y 850 metros
Canal de Yucatán	>34.86 UPS	Entre 700 y 900 metros.
Golfo de México, Central	~34.88 UPS	Entre 700 y 850 metros

Así mismo, el mar Caribe recibe masas de agua procedentes del Atlántico del Norte a través de los principales estrechos (figura 2), como se explica en este documento al referirse al Agua de 18° Celsius.

El desarrollo de tormentas tropicales, que en gran parte se convierten en ciclones atmosféricos, la mayoría de las veces se producen en la parte Este del mar Caribe; con ello la energía y las masas de agua en el mar se ven alteradas al seguir el meteoro su trayectoria hacia el Oeste.

Cochrane (1968), al hacer un análisis y combinar los datos de 13 cruces durante el periodo 1933 a 1972, muestra un aspecto climático oceánico en el Este del Golfo de México y al Oeste del mar Caribe. La Anomalía de

Volumen Especifico de 250 cl ton^{-1} se muestra en la figura 14, cuya superficie corresponde, aproximadamente, a 25.47 kg m^{-3} en densidad (ver cuadro 2). Dicho cuadro indica el Agua Subtropical del Sur dentro de los “anillos” o remolinos y el Agua Común del Golfo fuera de los “anillos nuevos” o remolinos, ambas tienen como característica principal alta salinidad. Sin embargo, en esta superficie de 250 cl ton^{-1} puede considerarse también la parte superior, más cerca a la superficie del mar del Agua de 18°C , la cual está indicada con mayor densidad, 26.50 kg m^{-3} (Morrison y Merrell 1983).

El análisis de Cochrane (1968), muestra claramente la entrada del Agua de 18°C a través del paso de los vientos, entre la isla de Cuba y la Española, así como por los otros estrechos de las Antillas. Resulta muy marcado en la figura 14 el encuentro entre las diferentes masas de agua, sobre todo la más salina en la parte sureste, cerca de las costas de Colombia. El encuentro de estas dos masas de agua, las más salada y caliente, Agua Subtropical del Sur procedente del Atlántico sur y el Agua menos salada (relativa con la anterior) y más fría procedente del Atlántico del Norte y llamada Agua de 18°C , trae como consecuencia un porcentaje de la *difusión doble* en la parte central del mar Caribe (ver anexo sobre difusión doble en este mismo artículo). Al llegar estas masas de agua a la Corriente de Lazo, por el canal de Yucatán en la parte oriental del Golfo de México, conservan de una manera muy sutil su identidad, como lo muestran los perfiles de salinidad-profundidad en todo el Golfo de México, al mostrar dos máximos de salinidad muy cerca uno del otro y con una muy pequeña diferencia (Vázquez de la Cerda y Kelly 1998).

Los valores de r y s_r , densidad relativa y diferencia de densidad relativa respectivamente, al igual que la Anomalía de Volumen Especifico, d , son parámetros adimensionales. Sin embargo, en las fórmulas debemos tratar las dos primeras como si tuvieran las unidades kg m^{-3} , y la última $10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (antiguamente se utilizaba centilitros por tonelada, cl/ton , para evitar el factor 10^{-8}).

La salinidad actualmente se expresa en Unidades Prácticas de Salinidad (UPS), que corresponden exactamente al mismo valor de partes por mil (‰), es decir, gramos de sales disueltas por kilogramo de agua de mar.

DIAGRAMA T-S-V DEL GOLFO DE MÉXICO

En la figura 15 aparecen las masas de agua en el diagrama T-S-V. (temperatura-salinidad-volumen) del Golfo de México para febrero-marzo de 1962; de temperatura potencial vs. salinidad (Wilson 1967). En investigaciones de

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS DE AGUA DEL GOLFO DE MÉXICO

MASA DE AGUA	CARACTERÍSTICA	CONCENTRACIÓN	DENSIDAD DEL NIVEL S_0 ($KG M^{-3}$)	ANOMALÍA VOLUMEN ESPECÍFICO $\delta 10^{-8}$ ($M^3 KG^{-1}$)	PROFUNDIDAD APROXIMADA (METROS)
<i>Encontrado en la Corriente de Lazo y dentro de los remolinos nuevos</i>					
Subtropical del Sur	Salinidad máxima	36.7-36.8 UPS	25.40	256	150 a 250
Agua 18°C Mar de los Sargazos	Oxígeno máximo	3.6-3.8 ml L ⁻¹	26.50	150	200 a 400
<i>Encontrados en el lado externo de la Corriente de Lazo y fuera de los remolinos nuevos</i>					
Agua común del Golfo Máxima	Salinidad máxima	36.4-36.5 UPS	25.40	256	0 a 250
<i>Golfo de México en extenso</i>					
<i>Tropical</i> Agua central	Oxígeno mínimo	2.5- 3.3 ml L ^{-1*}	27.15	90	300 a 500
Del Atlántico	Nitrato mínimo	29- 25 mg-at L ^{-1**}	27.30	77	500 a 700
<i>Antártica</i>					
Agua Intermedia	Fosfato máximo	1.7-2.5 mg-at L ⁻¹	27.40	67	600 a 800
	Salinidad mínima	34.88-34.89 UPS	27.50	58	700 a 1000
Agua del Caribe	Silicato máximo	23-28 mg-at L ⁻¹	27.70	39	1000 a 1200

* La unidad ml L⁻¹, corresponde a mililitros por litro; (ml = 10-3 litro).

** La unidad mg-at L⁻¹, corresponde a microgramos-átomo por litro; (mg = 10-6 gramos).

Fuente: Morrison y Merrell 1983, modificado por Vázquez de la Cerda 1988.

las décadas de 1970 y 1980, las masas de agua se comportaron con una distribución similar. Los números en el cuerpo del diagrama se multiplican por 1,000 km³ y representan el volumen de cada masa de agua en la clase de 2 °C x 0.2 en UPS. La suma en la parte inferior es la distribución de temperatura potencial y al lado derecho es la salinidad; los números entre paréntesis indican el porcentaje del total. Las cifras en el margen izquierdo representan la salinidad de 33 hasta 37 UPS. Y las del margen superior son temperaturas en grados Celsius.

La figura 15 muestra el diagrama T-S-V, además de las curvas de igual densidad con valores en el nivel σ_t (kg. m⁻³) en la parte superior, y sobre la mismas líneas, en la parte inferior, la Anomalía de Volumen Específico, d (10⁻⁸ m³ kg⁻¹). Así mismo, hay seis elipses que se considera delimitan de una manera aproximada las diferentes masas de agua. De los valores entre paréntesis dentro de cada elipse se obtiene el cuadro 3, que indica únicamente porcentajes de masas de agua en el Golfo de México.

Las masas de agua que proceden del océano Atlántico, de la parte norte, la llamada de 18 °C, y de la parte sur, la Subtropical del Sur, tienen como característica principal la máxima salinidad. Cochrane (1968), en su análisis del mar Caribe en la Anomalía de Volumen Específico de $d = 250 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, marca claramente el encuentro entre las dos masas de agua en la parte central de dicho mar (figura 14), cuya profundidad varía de 150 a 250 m, y es donde se localiza la máxima salinidad. En esta región donde se unen las masas de agua debe haber una *difusión doble*, antes de que ellas entren al Golfo de México (ver anexo en este mismo artículo).

La Masa de Agua de 18 °C y la Masa de Agua Subtropical del Sur tienen valores aproximados y similares; es muy probable que el fenómeno de difusión doble llamado “dedos de sal” exista en la parte central del mar Caribe, aunque hasta ahora no se ha reportado dicho fenómeno. Además, en los perfiles de profundidad-salinidad dentro del Golfo de México, existen en muchas estaciones oceanográficas dos máximos de salinidad, muy cerca uno del otro y con una variación muy pequeña entre ellos.

CARACTERÍSTICAS OCEÁNICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO

De la Corriente de Lazo se desprenden Remolinos Oceánicos Anticiclónicos (ROA) con un intervalo de seis a diecisiete meses (Ichiye 1962, Cochrane 1972, Behringer *et al.* 1977, Elliott 1982, Vukovich y Crissman 1986). Ellos se desplazan hacia el oeste por la parte profunda del Golfo de México a una

CUADRO 3. PORCENTAJE DE LAS MASAS DE AGUA EN EL GOLFO DE MÉXICO

Agua Subtropical del Sur	1.24 %
Agua Común del Golfo	4.83 %
Agua de 18 °C	3.72 %
Agua Central del Atlántico	14.58 %
Agua Antártica Intermedia	73.71 %
Agua del Caribe	0.38 %
Total	98.46 %

velocidad de translación de 1 a 4 km/día (Elliott 1982, Vukovich y Crissman 1986), su diámetro aproximado es de 300 km, su traslado afecta la dinámica de las masas de agua a profundidades mayores a los 3,000 m (Kelly *et al.* 1987); como su nombre lo indica tienen una rotación en sentido de las manecillas del reloj. Las masas de agua superiores en su parte central son relativamente más calientes y saladas, con valores superiores a 36.5 UPS, (Nowlin 1972 Vázquez De la Cerda 1975), y su transporte de agua es 10 a 12 Sv (Vázquez de la Cerda 1975). Durante su traslado hacia el oeste del Golfo los ROA van generando Remolinos Oceánicos Ciclónicos (ROC) y transfiriendo energía potencial y cinética (Reid comunicación personal, Merrell y Morrison 1981, Merrell y Vázquez 1983). Los dos ROC más notables son el que se encuentra sobre la plataforma continental de Texas (Cochrane y Kelly 1986) y el que abarca la parte oeste de la bahía de Campeche, al suroeste del Golfo de México (Nowlin 1972, Vázquez de la Cerda 1975, 1993). Otro de menor tamaño y recurrente es el que se localiza al noreste de la Laguna de Tamiahua (Vázquez de la Cerda 1975, Vidal *et al.* 1992). Las características de los ROC son: diámetro no mayor a los 200 km, su influencia no abarca más de los 1,000 m de profundidad; sus masas de agua superiores en la parte central son relativamente más frías, debido a la surgencia que ocasiona su giro en sentido contrario a las manecillas del reloj y algunas veces ventilación de las capas isotérmicas más profundas.

El ROA, al trasladarse hacia el oeste, además de transferir energía, forma extensiones debido a la topografía submarina; el caso más notable se encuentra en el Cañón de Campeche, en el límite profundo de la plataforma continental oeste en la Sonda de Campeche. La extensión sobre el Cañón del Campeche recibe el nombre de Corriente de Intrusión (CI) (Vázquez de la

Cerda, 1975); esta corriente en algunas ocasiones llega hasta las costas frente a los Tuxtles, Veracruz y en época de los frentes fríos, llamados Nortes, forman un doble Mar de Fondo ortogonal que hace muy peligrosa la navegación en ese lugar.

El ROC de la Bahía de Campeche tiene un transporte de agua de 3.3 ± 1.8 Sv (Vázquez de la Cerda 1993). Su variabilidad depende mucho de los efectos producidos por los frentes fríos durante el otoño y el invierno (Blaha y Sturges, 1981), además la correlación con la CI es muy alta.

La relación entre la CI y el ROC es inversamente proporcional: cuando la CI es extensa y profunda, el ROC es pequeño; cuando el ROC cubre casi toda la Bahía de Campeche, la CI es pequeña (Vázquez De la Cerda 1993) como se desprende del análisis de 20 cruceros en 40 años en el suroeste del Golfo de México.

El análisis de circulación sobre el talud de Texas–Lusiana basado en la elevación de la superficie del mar y los campos de velocidad, utilizando la Anomalía de Geopotencial (GA, por sus siglas en inglés) y la Anomalía de la Altura de la Superficie del Mar (SSHA, por sus siglas en inglés) muestran la variabilidad de los remolinos anticiclónicos y ciclónicos en la parte del noroeste del Golfo de México durante los años de 1992 hasta 1994 (Jochens 1997), siendo este lugar el inicio de la disipación de energía y deformación de los ROA.

Cuando los ROA en el oeste del Golfo de México se encuentran frente a las costas del estado de Tamaulipas, empezarán a elongarse en forma de elipses y a disiparse para formar remolinos ciclónicos (Merrell y Morrison 1981, Merrell y Vázquez 1983). La figura 16 muestra la salinidad en la superficie del mar del ROA en esta región (Vázquez de la Cerda, 1975) según datos obtenidos por el crucero Cosma 7122. La parte central del remolino tiene el remanente de los valores máximos de salinidad del Atlántico, el Agua de 18 °C proveniente del norte y el Agua Subtropical del Sur proveniente del sur. Es muy probable que la cantidad del Agua Subtropical del Sur sea muy pequeña.

La distribución del Agua Antártica Intermedia en el Golfo de México se muestra en la figura 17, en la Corriente de Lazo al este del Golfo, con profundidades mayores de 850 m y con valores que fluctúan de 34.86 UPS a valores mas altos; en la parte oeste del Golfo se encuentra a profundidades a partir de los 750 m, con valores de 34.88 a 34.89 UPS (Nowlin 1972).

El transecto A-B en la figura 18, entre la plataforma continental frente a Puerto de Tampico y la plataforma continental frente a Campeche, sobre la Latitud de 22°20'N en el crucero Cosma 71-10 de mayo-junio de 1971, ha proporcionado una vista excelente de un corte vertical de un remolino

anticiclónico, y aunque se han realizado muchos cruceros posteriores a éste el transecto A-B muestra claramente el corte de un remolino anticiclónico con todas las características de las diferentes masas de agua, la estructura térmica y la salina. En los primeros 100 m de profundidad se encuentran las masas de Agua de 18 °C y Subtropical del Sur, con una cantidad de 15,760 km³, es decir, un 17.2%. Después, entre 100 y 550 m de profundidad, se encuentra la masa de Agua Central del Atlántico, en forma de cono invertido, con una cantidad de 20,800 km³, un porcentaje de 22.7%. Finalmente, el Agua Antártica Intermedia, dividida en dos partes, entre 550 y 850 m de profundidad, que corresponde a Fosfato Máximo en forma de hongo invertido, y la mas profunda, entre 850 y 1,200 m de profundidad, la de salinidad mínima en una forma casi circular. Por la diferencia de escalas, la vertical y la horizontal, realmente son como elipsoides de revolución muy extendidas; el volumen total de la AIA es de 55,000 km³, o sea un 60%. Aunque los valores son aproximados, resultan consistentes con los valores de porcentaje dados por Wilson (1967), tomando en cuenta que él los refiere a todo el Golfo de México.

El AIA, además de tener el mayor porcentaje en el diagrama presentado por Wilson (1967) y el transecto mencionado en el párrafo anterior, cuenta con valores de salinidad de 34.82 UPS en el núcleo de la masa de agua, que deberían corresponder a los encontrados normalmente al este del mar Caribe (ver cuadro 1). Si estas dos características, mayor porcentaje y valores menores en el núcleo, son siempre consistentes, debe considerarse que el AIA será el factor más importante que provoque el desprendimiento de los remolinos anticiclónicos en la Corriente de Lazo. No se han podido comprobar los valores menores en el núcleo nuevamente en otro remolino anticiclónico.

El umbral del Estrecho de Yucatán es de 2,040 m y para el Estrecho de Florida es ligeramente mayor a 900 m. Por tal motivo, el AIA puede penetrar al Golfo de México sin dificultad, pero su salida es mínima y se debe únicamente al arrastre de las masas de agua superiores. Es decir, el AIA se va acumulando a la entrada del Golfo de México y consideramos que es en gran parte el motivo de la extensión de la Corriente de Lazo. El desprendimiento posterior de los Remolinos Anticiclónicos se produce cuando el volumen de agua del núcleo del AIA ha aumentado considerablemente y rompe el equilibrio dinámico de toda la columna de agua, provocando la extensión de los meandros ciclónicos desde la plataforma continental de Yucatán y de Florida, como fue explicado detalladamente por Cochrane (1972).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Actualmente se han intensificado las investigaciones sobre el Golfo de México en el área de las aguas profundas, para obtener más datos y mejorar los modelos matemáticos existentes.

Se conoce bien la parte cualitativa de la formación de los remolinos anticiclónicos en la Corriente de Lazo al este del Golfo de México. Así mismo, la localización de los remolinos ciclónicos casi permanentes en el Golfo, el primero en su extremo este, frente a la costa oeste de la península de Florida; el segundo remolino ciclónico frente a las costas de Texas, abarca toda la plataforma continental. El tercer remolino ciclónico se presenta en la bahía de Campeche y el cuarto remolino recurrente al nordeste de la Laguna de Tamiahua, al norte del estado de Veracruz

El fenómeno más importante en el Golfo de México es la formación de los remolinos anticiclónicos que se desprenden de la corriente del Lazo; el intervalo de desprendimiento varía de meses hasta más de un año, con un valor promedio de 10 meses (Sturges y Leben 2000). Estos remolinos se desplazan hacia el oeste por la parte profunda. El Remolino Oceánico Anticiclónico desprendido de la Corriente de Lazo, además de llevar la masa de agua que proviene de las diferentes regiones del océano Atlántico, la masa de Agua de 18 °C del Atlántico del Norte, el Agua Subtropical del Sur del Atlántico sur y el Agua Antártica Intermedia del océano Antártico, será una región con gran cantidad de calor y salinidad; su geopotencial se irá transfiriendo a los remolinos ciclónicos antes mencionados y por la mezcla y difusión, formará el Agua Común del Golfo.

La formación de las tres masas de agua, en las diferentes regiones en el océano Atlántico, se debe principalmente al enfriamiento de la superficie del mar que ocasiona el paso de los frentes fríos de la atmósfera, que como consecuencia aumentan la densidad del agua y su hundimiento hasta encontrar su nivel de equilibrio. Más salada y con menor profundidad es el Agua Subtropical del Sur en el Atlántico sur; le sigue el Agua de 18 °C en el Atlántico norte, un poco más profunda y menos salada. Al encontrarse ambas en la parte central del mar Caribe, producirán una *difusión doble*; posteriormente, serán la parte superior de la Corriente de Lazo, a la entrada del Golfo de México. Por último, el Agua Antártica Intermedia, formada entre los frentes polares en la Antártida, es la más profunda y la que mayor cantidad de volumen proporciona a la formación de la Corriente de Lazo. Las tres masas de agua proporcionan sus respectivos volúmenes en forma de

pulsaciones intermitentes.

La formación de los remolinos anticiclónicos en la parte ecuatorial y su traslado hacia el noroeste junto con la Corriente Ecuatorial del Norte, trae consigo las masas de agua procedentes del hemisferio sur; estos remolinos, al trasladarse a través del mar Caribe, iniciarán en parte la formación de la Corriente de Lazo.

Consideramos que en la formación de la Corriente de Lazo el traslado de los remolinos y el movimiento de las tres masas de agua, siendo la más importante el Agua Antártica Intermedia, al no salir del Golfo de México y provocar un desequilibrio dinámico al iniciar un giro anticiclónico a su profundidad en la extensión de la Corriente de Lazo, provoca la formación de los Remolinos Anticiclónicos en el este del Golfo de México.

DEDICATORIA

Dedicado el presente trabajo al Prof. John D. Cochran y al Dr. Takashi Ichiye, mis asesores y maestros durante mi maestría en Texas A&M University, College Station (1973-1975), a los almirantes Antonio Vázquez del Mercado y Gilberto López Lira de la Secretaría de Marina, científicos y marinos que supieron impulsar y contribuir grandemente el conocimiento oceánico del Golfo de México. Su recuerdo será un gran aliento para continuar investigando los mares.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. George L. Huebner y al Prof. Robert O. Reid de Texas A&M University por su gran paciencia y guía durante mi doctorado y formación científica. Al Dr. Ingvar Emilsson, gran maestro, amigo y pionero de la oceanografía física en México. Al Dr. Bonifacio A. Peña Pardo del Instituto de Ingeniería, y a la Universidad Veracruzana por su gran apoyo. Al Ing. Juan Carlos Gutiérrez Quevedo por su ayuda para elaborar y terminar este documento. Financiamiento parcial en el proyecto No. R 272106, de la Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

- Blaha, J.P. y W.A. Sturges 1981. Evidence for wind-forced circulation in the Gulf of Mexico. *J. Mar. Research* 39: 711-734.
- Behringer, D.W., R.L. Molinari y J.F. Festa 1977. The variability of anticyclonic current patterns in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Research* 82: 5469-5476.

- Bjerknes, J. 1964. Atlantic air-sea interaction. *Adv. In Geophysics* 10: 1-82.
- Cochrane, J.D. 1963. Equatorial Undercurrent and related currents off Brazil in March and April 1963. *Science*, 142 (3593): 669-671.
- 1965. Equatorial currents of the western Atlantic. *Technical Report*, Texas A&M University, No. 65-17T: 6-19.
- 1968. Currents and waters of the eastern Gulf of Mexico and western Caribbean, of the western tropical Atlantic Ocean, and of the eastern tropical Pacific Ocean. Tech Rep. Texas A&M University, No. 68-8T: 19-28.
- 1972. Separation of an anticyclone and subsequent development in the Loop Current during 1969. En: *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico*. L.R.A. Capurro and J.L. Reid, Eds. Gulf Publishing Co., Houston, pp. 91-106.
- 1978. The North Equatorial Countercurrent system west of 40°W. Lecture presented at the *GATE Symposium on Oceanography*, Kiel, FRG.
- Cochrane, J.D. y F.J. Kelly 1986. Low-Frequency Circulation on the Texas-Louisiana Continental Shelf. *Journal of Geophysical Research*, vol.No.C9: 10,645-10,659.
- Colebrook, J. M. y A. H. Taylor 1979. Year-to-year changes in sea-surface temperatures, North Atlantic and North Sea 1948 to 1974. *Deep-Sea Research* 26A.
- Deacon G. E.R. 1937. The hydrology of the Southern Ocean. *Discovery Reports*, 15, 1-124.
- Defant, A. 1961. Physical Oceanography. Pergamon Press, p 1319. *An advanced-level text*. Volume 1, Pt. I, is descriptive while Pt.2 and all of Vol.2 are dynamical.
- Elliott B.A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *J. Physical. Oceanography* 12: 292-1309.
- Goulet, J. R., Jr, y M.C. Ingham 1971. The shallow layer of high salinity in the southwestern Tropical Atlantic Ocean. *Bulletin Marine Science*. 21 (3): 716-732
- Haurwitz, B. y J. M. Austin 1944. *Climatology*. McGraw-Hill, New York, EE.UU.
- Ichiye, T. 1962. Circulation and water mass distribution in the Gulf of Mexico. *Geofisica. Internacional* 2: 47-76.
- Jenkins, W. J. 1982. On the climate of a subtropical gyre: decade time scale variations in water mass renewal in the Sargasso Sea. *Journal Marine Research*, 40.
- Jochens, A.E. 1997. Circulation over the Texas-Louisiana slope based on sea surface elevation and current velocity fields. Doctoral Dissertation Texas A&M University., 145 pp
- Kelly, F. J., A. M. Vázquez y D. A. Brooks. 1987. El origen de los remolinos oceánicos en la frontera entre U.S.A. y México. Proc. 2nd Reunión indicativa de actividades regionales relacionadas con la oceanografía. Comisión Intersecretarial de investigación Oceanográfica. Noviembre de 1987, Veracruz, México.
- Leetmaa, A. 1977. Effects of the winter of 1976-1977 on the northwestern Sargasso Sea.

- Science* 198: 188-189.
- Merrell, W. J., Jr. y J. M. Morrison 1981. On the circulation of the western Gulf of Mexico with observations from April 1978. *Journal Geophysical Research*, 86: 4181-4185.
- Merrell, W. J. Jr. y A. M. Vázquez 1983. Observations of changing mesoscale circulation patterns in the western Gulf of Mexico. *Journal Geophysical Research* 88 (C12): 7721-7723.
- Metcalfe, W. G. A. D. Voorhis y M. C. Stalcup 1962. Origin of the Atlantic Equatorial Undercurrent. *Journal Geophysical Research* 67(6): 2499-2508.
- Metcalfe, W. G. y M. C. Stalcup 1967. Origin of the Atlantic Equatorial Undercurrent. *Journal Geophysical Research* 72(20): 4959-4975.
- Morrison, J. M. y W. D. Nowlin, Jr. 1982. General distribution of water masses within the eastern Caribbean Sea during the winter of 1972 and fall of 1973. *J. Geophys. Res.* 1982.
- Morrison, J. M. y Merrell W. J. 1983. Property Distributions and Deep Chemical Measurements within the Western Gulf of Mexico. *Journal Geophysical Research*. Vol 88: 2601, 2602
- Nowlin, W. D., Jr. 1971. Winter circulation patterns and property distributions. En: Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico. L. R. A. Capurro and J. L. Reid, Eds. Gulf Publishing Co., Houston. 3-51.
- Sievers, H. A. y W. D. Nowlin, Jr. 1984. The Stratification and Water Masses at Drake Passage. *Journal Geophysical Research* 89:C11.
- Sturges, W. and R. Leben. 2000. Frequency of ring separations from the Loop Current in the Gulf of Mexico: a revised estimate. *J. Phys. Oceanog.*, 30, 1814-1819.
- Sverdrup, H. U., Johnson, M. W. y Fleming, R. H. 1942. *The Oceans, their physics, chemistry, and General Biology*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. USA.
- Talley L. D. y Raymer M. E. 1982. Eighteen Degree Water variability. *Journal of Marine Research* Volume 40: Supplement, pp.757-775.
- Vázquez De la Cerda, A. M. 1975. Currents and Waters of the Upper 1200m of the Southwestern Gulf of Mexico. Master's Thesis, Texas A&M University, pp.107.
- 1978. Fluctuation of salinity maximum of the North Brazilian current and displacement of the high geopotential center. *GATE Symposium on Oceanography and surface Layer Meteorology*. Kiel, F.R. of Germany.
- 1988. Some oceanographic results in the western Equatorial Atlantic Ocean and their consequences in the Gulf of Mexico. *Oceanography Seminar*, October 24 – October 28, 1988. Texas A&M University, pp18.
- 1992. Variaciones y efectos que produce la Subcorriente Ecuatorial en el Océano Atlántico. I Jornadas sobre Hidrografía y Ciencias del Mar, Caracas, Venezuela.
- 1993. Bay of Campeche Cyclone. Doctoral Dissertation Texas A&M University, pp 91.

- Vázquez De la Cerda A. M. y Kelly. F. J. 1998. Desarrollo del remolino Fourchon (1998) en el Golfo de México. V Congreso Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Boca del Río, Veracruz.
- Vidal, V.M., F.V. Vidal y J.M. Pérez-Molero 1992. Collision of Loop Current anticyclonic ring against the continental slope of the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97, 2155-2172.
- Vukovich, F. M. y B. W. Crissman 1986. Aspects of warm rings in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Research.*, 91, 2645-2660.
- Whitworth, III. T. 1980. Zonation and geostrophic flow of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage. *Deep-Sea Research* 27(7): 497-507.
- Wilson, R. J. 1967. Amount and Distribution of Water Masses in February and March 1962 in the Gulf of Mexico. Master's Thesis, Texas A&M University, 54 pp. 1967.
- Worthington, L. V. 1959. The 18° Water in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research*, 5, 297-305.
- 1977. The intensification of the Gulf Stream after the winter of 1976-1977. *Nature*, 270, 415-417.
- Wüst, G. 1935. Die Stratosphäre des Atlantischen Ozeans, in Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition, "Meteor" 1925-1927. *Alter de Gruyter, Berlin* vol 6 part 1, pp.109-228.
- Wüst, G. 1957. Stromgeschwindigkeiten und Strommgen in der Tiefen des Atlantischen Ozeans. Wissenschaftliche Ergebnisse des Deutscher Atlantischer Expedition auf dem Meteor. Bd. VI, *Zweiter Teil*, 261-420, 1957.
- 1964. *Stratification and Circulation in the Antilles-Caribbean Basins*. Columbia Univ. Press, Ny, pp 201.
- Yi Chao 1998. Mesoscale Eddies in the Caribbean Sea. *U. S. WOCE Report*. 1998 U.S. WOCE Implementation Report Number 10 U.S. WOCE Office, College Station, TX. pp. 8-11.

TERMINOLOGÍA

Termóclina: es un estrato de agua en el que se observa un marcado gradiente vertical de temperatura.

UPS. Unidad Práctica de Salinidad. = $\text{gr kg}^{-1} = \text{‰}$. Cantidad de sales disueltas gramos en un kilogramo de agua de mar.

s_t : es el símbolo llamado *sigma-t*. Una anotación abreviada para indicar la densidad de una muestra de agua de mar, usando la relación $\text{sigma-t} = (\text{densidad} - 1) * 10^3$, de tal manera que un agua de mar normal, cuya densidad es 1.02680, tiene un sigma-t de 26.8.

Vorticidad potencial: es el producto de la estabilidad estática y la vorticidad absoluta;

conservativo en un flujo adiabático. Adiabático significa que no pierde ni gana calor. vorticidad absoluta es la suma de vorticidad relativa y la vorticidad planetaria. La vorticidad relativa o simplemente vorticidad es una característica cinemática del fluido que expresa su tendencia a girar. Vorticidad planetaria o Parámetro de Coriolis, $f = 2\Omega \text{ senj}$; ($\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ rad /s}$).

Sverdrup (Sv): es una unidad de transporte o gasto = $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ = Un millón de metros cúbicos por segundo.

Estación oceanográfica: se realiza cuando el buque de investigación se detiene y queda a la deriva para realizar mediciones de varios parámetros a diferentes profundidades. La Anomalia de Volumen Especifico anteriormente se daba en centilitros tonelada (cl ton^{-1}) para evitar el coeficiente de 10^{-8} al expresarlo en $\text{cm}^3 \text{ gr}^{-1}$.

La unidad ml l^{-1} , corresponde a mililitros por litro; ($\text{ml} = 10^{-3} \text{ litro}$).

La unidad mg-at l^{-1} , corresponde a microgramos-átomo por litro; ($\mu\text{g} = 10^{-6} \text{ gramos}$).

ANEXO

DIFUSIÓN DOBLE

Aunque la columna de agua puede ser estadísticamente estable, en un momento dado se puede iniciar una inestabilidad debido a que el agua de mar es un fluido de componentes múltiples. Las proporciones de las componentes de calor y sales disueltas (difusas en forma molecular), son diferentes. Dos masas de agua de la misma densidad pero con diferente composición de temperatura y salinidad en contacto, una sobre la otra, producen diferencialmente la *difusión doble*. El cambio de estas propiedades origina alteraciones en la densidad, lo cual produce capas inestables. La investigación en este tema ha sido realizada de manera constante por Turner (1973, 1981).

La *difusión doble* puede jugar un papel significativo en la mezcla de masas de agua a pequeña escala en los océanos así como en la formación de una estructura "fina". Las variaciones verticales a pequeña escala (uno o varios metros) han sido encontradas en los océanos con mejores observaciones en los registros de STD o CTD (instrumentos de salinidad o conductividad temperatura, profundidad).

Al considerar varios casos de estabilidad estática positiva pero sin movimiento inicial, cuando se inicia dicho movimiento, particularmente un turbulento generado

Este anexo corresponde a la traducción parcial del apartado *Double diffusion* del capítulo 5 del libro de Stephen Pond y George L Pickard 1986. *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press.

por un esfuerzo cortante con velocidad o una fuerte inestabilidad estática, la difusión turbulenta dominará y probablemente proporcionará los efectos de *difusión doble* haciéndolos importantes.

Supongamos que hay una capa caliente y de agua salada en la parte superior y una fría y de menor salinidad en la parte inferior (figura 19), de tal manera que la capa superior tiene la misma densidad o es ligeramente menor que la capa de abajo. Entonces, el agua más salada en la interfase empezará a perder calor rápidamente hacia el agua más fría que se encuentra en la parte inferior; la pérdida de sal es más lenta debido a que la razón de difusión molecular del calor es cerca de 100 veces mayor que la difusión de la sal. Si la diferencia de densidad entre las capas es pequeña, el agua más salada de la parte superior se volverá más pesada que la capa de agua más fría y menos salada y se hundirá dentro de esa capa. Además, el agua fría y menos salada por debajo de la interfase ganará calor rápidamente con respecto a la cantidad de sal pudiendo ser suficientemente ligera, elevándose así a la capa superior. La situación se conoce como *inestabilidad de difusión doble*. El descenso y ascenso de movimiento de agua es en forma de columnas muy delgadas, se conoce como el fenómeno *dedos de sal*. Williams (1975) experimentó esto en laboratorio y posteriormente se comprobó en observaciones en el mar. Existe evidencia de que ocurre en el océano: la capa de agua salina y caliente del mar Mediterráneo en el Estrecho de Gibraltar dentro del agua menor salinidad y fría del océano Atlántico.

Si la capa es más fría y de menor salinidad, encontrándose arriba de una capa más caliente y salada (figura 20), el agua justo arriba de la interfase llegará a ser más ligera que el agua que está arriba y tiende a elevarse, mientras que el agua abajo se vuelve más pesada

FIGURA 19. LAS DOS FORMAS DE DIFUSIÓN DOBLE. MASA DE AGUA MÁS SALADA Y DE MAYOR TEMPERATURA EN LA PARTE SUPERIOR INICIARÁ LA FORMACIÓN DEL EFECTO *DEDOS DE SAL*. T ES TEMPERATURA O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN RÁPIDA; S ES SALINIDAD O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN BAJA

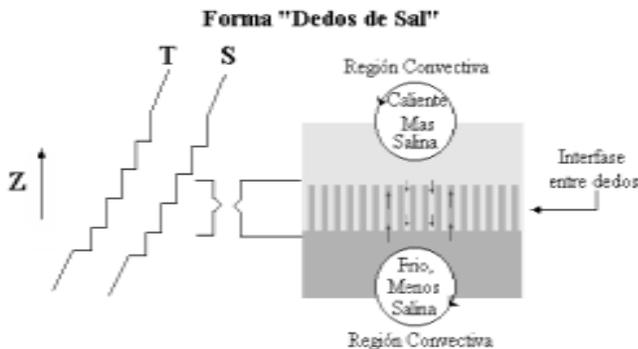
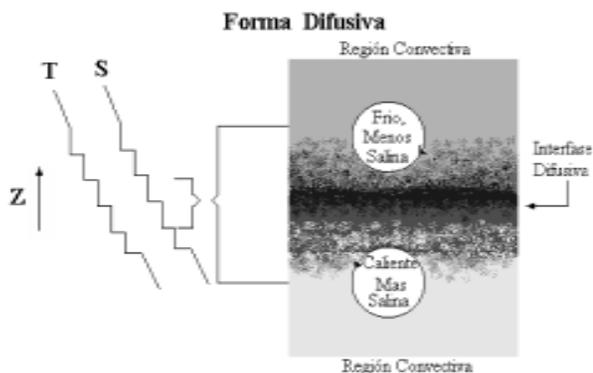


FIGURA 20. LAS DOS FORMAS DE DIFUSIÓN DOBLE. CONSISTE EN TENER UNA MASA DE AGUA MENOS SALADA Y MÁS FRÍA EN LA PARTE SUPERIOR, QUE CORRESPONDE A LA *FORMA DIFUSA*. T ES TEMPERATURA O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN RÁPIDA; S ES SALINIDAD O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN BAJA



y tiende a hundirse. Este fenómeno es llamado *Estratificándose* y puede producir capas claramente homogéneas, separadas por regiones con gradiente prominente de salinidad y temperatura. Hay evidencia de este fenómeno en el océano Ártico y en otros lugares.

Ambos procesos podrán conducir verticalmente el calor y la sal, siendo más grandes con respecto a la razón de difusión molecular. Por lo tanto, la mezcla de agua de mar se da en mayores cantidades, que sin estos procesos, no sería posible. Una vez iniciado el movimiento pueden ser dinámicamente estables los procesos y romperse en pequeñas escalas con movimientos turbulentos, llegando a ser muy complicados.

La última posibilidad es agua caliente y menos salada arriba, de una capa de agua fría y más salada que no permita la inestabilidad de doble difusión. El agua menos salada superior se enfría, de tal manera que no permite elevarse, pero tampoco consigue ser más fría que el agua que es más salada por debajo, de tal manera que no presenta tendencia a enfriarse. Similarmente, el agua más salada inferior no propende a subir o bajar. Para que ocurra *difusión doble*, los gradientes de temperatura y salinidad a través de la interfase deben de ser del mismo signo; entonces afectan la densidad de manera opuesta y la *difusión doble* puede ocurrir.

BIBLIOGRAFÍA DE ESTE ANEXO

- Turner, J. S. 1973. Buoyancy Effects in Fluids. Discusses various consequences of gravity acting on small density differences in fluids. *E.g.* internal waves, instability of shear flow, buoyant convection, double diffusion and mixing. Graduate level. : Cambridge University Press. p. 367
- Turner, J. S. 1981. Small-scale mixing processes. En: *Evolution of Physical Oceanography*. B.A. Warren and C. Wunsch (Eds), MIT, Press. Ch.8, pp 236-262.
- Williams, A.J. 1975. Images of ocean microstructure. *Deep-Sea Research*, **22**, 811-829.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL GOLFO DE MÉXICO

Guadalupe de Lanza Espino y Juan Carlos Gómez Rojas

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Golfo de México posee una longitud de 1,600 km en la línea este-oeste, 1,300 km en la línea norte-sur en su porción occidental y 900 km en las porciones central y oriental. Cuenta con 1.6 millones de km² de superficie y un volumen aproximado de 2.3 millones de km³ (Secretaría de Marina 2002). El tipo de mareas en esta región se caracteriza por su homogeneidad, predominando la marea diurna; a nivel general cooscila con la del océano Atlántico. La zona económica exclusiva mexicana es del orden de 0.9×10^6 km² que representan 55% de la superficie total del Golfo (Vidal-Lorandi *et al.* 1999). Es un mar interior diverso con características físicas y químicas resultado de su ubicación latitudinal; desde tropical, subtropical hasta templado, con climas distintos, catalogados como épocas de “secas (primavera), lluvias (verano, otoño) y nortes (invierno)”. Asimismo, con aportes permanentes de seis principales ríos que drenan directamente al Golfo: el Pánuco, el Coatzacoalcos, el Papaloapan, el Grijalva-Usumacinta a través del Frontera, el Champotón y el Bravo, y por parte de los Estados Unidos de América el Misisipí (figura 1), entre otros; que le aportan directamente una cantidad significativa de sedimentos en suspensión y nutrientes y en forma indirecta ambientes, como lagunas y manglares adyacentes; todos en un perímetro de 4,000 km de litoral desde Yucatán hasta Florida. No

menos importante resulta el aporte de diferentes masas de agua que pueden incrementar el contenido de nutrientes a través de los giros ciclónicos (fríos) con el ascenso de agua de mayor profundidad y la surgencia dinámica en la plataforma de Yucatán (que comparte del llamado Banco de Campeche, tomando como base el criterio batimétrico de Müller-Karger y Walsh 1991).

FIGURA 1. PRINCIPALES RÍOS QUE DRENAN DIRECTAMENTE AL GOLFO DE MÉXICO



En el caso de las masas de agua (que cabe señalar tienen distintas denominaciones profundidades y extensiones, según diferentes autores), las que aportan mayores contenidos en nutrientes son el Agua Intermedia Antártica y la Subsuperficial Subtropical (o Subtropical Subyacente entre 150-250 m

de profundidad). Cada masa de agua se identifica por su temperatura y salinidad características y en ocasiones, por su contenido de oxígeno.

MAREAS

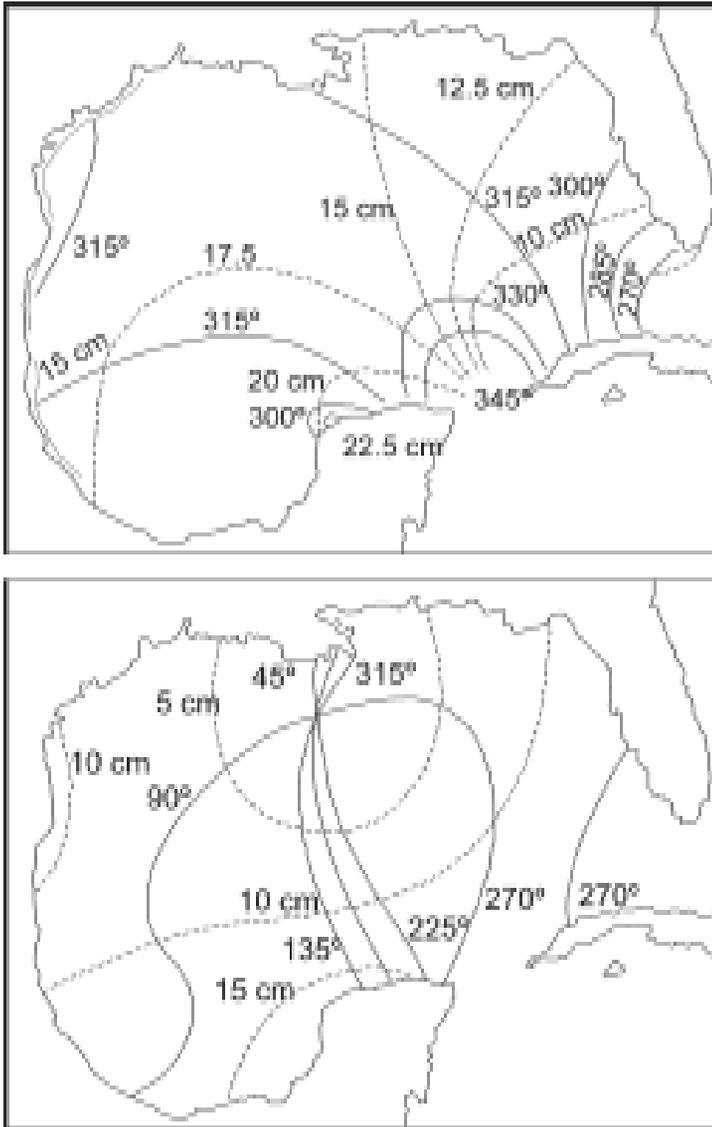
Se han desarrollado varias hipótesis para tratar de establecer cómo se producen las mareas dentro de la cuenca del Golfo. En 1932, Grace (citado por Zettler y Hansen 1972) propuso que la marea diurna en el Golfo se debe principalmente a una cooscilación con la marea del océano Atlántico vecino, la cual penetra a la cuenca a través del estrecho de Florida y después de cinco a seis horas sale de la zona por el canal de Yucatán con un punto anfdrómico al sur del delta del río Misisipi, que determina cambios muy rápidos en la fase mareal a lo largo del delta, así como en el lado norte de la Península de Yucatán, proponiendo un giro de las líneas cotidales en contra de las manecillas del reloj. En contraposición a esta teoría, Sterneck (citado por Zettler y Hansen 1972) encontró un punto nodal cerca del Golfo, pero estableciendo una rotación de la onda mareal en el sentido de las manecillas del reloj.

Marmer (citado por Zettler y Hansen 1972) atribuye la marea diurna del Golfo al periodo de resonancia de la cuenca, mencionando que dicho periodo tiene un valor cercano a las 24 horas, lo cual equivale al tiempo característico de la fuerza productora de mareas diurnas. Zettler y Hansen (1972) aclaran que para aceptar la teoría de Marmer se necesita un punto anfdrómico localizado en el centro del Golfo, lo cual provocaría la presencia de fases opuestas en los extremos de este nodo.

Otra teoría postula la existencia de una onda estacionaria en la región de Florida. La corriente de marea en esta zona, sobre todo en el estrecho, no es pequeña y sugiere la presencia de un nodo de onda estacionaria. Datos de amplitud y fase, confirman que hay una oscilación de una onda estacionaria en el Estrecho de Florida (figura 2) con un punto nodal cercano a Miami. Además, estas constantes armónicas en la región oeste del mar Caribe también exhiben amplitudes pequeñas (3-9 cm) y cambios de fase rápidos, por lo que se puede establecer una comparación entre las dos regiones (Zettler y Hansen 1972).

Las oscilaciones inerciales dentro del Golfo tienen un periodo aproximado de 28 horas y presentan un giro anticiclónico (Brooks y Legeckis 1982, Kirwan *et al.* 1984). Reide y Whitaker (1981 citado por Kirwan *et al.* 1984) también proponen que existe una resonancia mareal en la cuenca del Golfo

FIGURA 2. LÍNEAS DE IGUAL FASE (-) Y LÍNEAS DE IGUAL AMPLITUD (—) PARA K1 (A). LÍNEAS DE IGUAL FASE (-) Y LÍNEAS DE IGUAL AMPLITUD (—) PARA M 2



Fuente: Grase, 1932 citado por Zettler y Hansen 1972.

de 30 horas. Esta información parece apoyar las ideas de Marmer (1954), en relación con el periodo de oscilación del Golfo y de alguna forma ponen en duda el giro de las líneas cotidales propuesto por Grace en 1932.

Las mareas en la mayor parte del Golfo de México (figura 3) son de tipo diurno ($F = M_2 + S_2 / K_1 + O_1 = < 3$) con algunas regiones de mareas mixtas como en las zonas noreste y noroeste del Golfo (plataforma de Texas-Luisiana, Florida y Caribe mexicano). La presencia de estas mareas en algunas regiones del Golfo podría deberse principalmente a la interacción entre la onda mareal y la topografía dominante de cada lugar, así como a las fases lunares-solares; por ejemplo, en la zona noreste constituida por la plataforma continental de Florida se presenta un escarpe y diferentes irregularidades topográficas que pueden provocar la formación de mareas mixtas, además de la influencia de los vientos en esa región (De la Lanza Espino 1991).

FIGURA 3. AMPLITUD DE MAREA. $F=(M_2+S_2)/(K_1+O_1)$



Modificado de www.ssc.erc.msstate.edu/Tides2D/gulf_of_mexico.html (procedente L. Kantha de la Universidad de Colorado).

Mediciones del nivel del mar realizadas en diferentes puntos de la costa del Golfo de México durante un periodo de 15 años, muestran que los niveles más altos del mar durante las cuatro temporadas del año se presentan en Coatzacoalcos, Veracruz (189 a 213 cm), debido a las características morfológicas del estuario favoreciendo la altura de las ondas mareales; mientras que durante el invierno en Ciudad Madero, Tamaulipas es de 179.8 cm y Progreso, Yucatán es de 112.7 cm. Las costas del Caribe mexicano presentan mareas mixtas (De la Lanza Espino 1991).

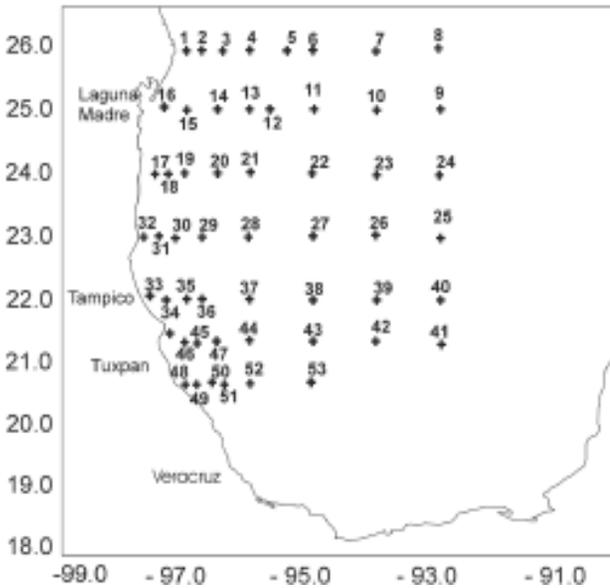
TEMPERATURA

En el Golfo de México la temperatura está determinada por el influjo de las aguas cálidas de la Corriente del Lazo, que se introduce por Canal de Yucatán y la zona del Caribe, cuya dinámica afecta aproximadamente al 50% del Golfo de México, donde además, la evaporación supera a la precipitación (Biggs 1992). Se caracteriza por tener una temperatura superficial de 28 a 29 °C durante el verano, con un incremento en las aguas superficiales de noroeste a sureste, debido a la intromisión de la Corriente del Lazo; en invierno disminuye hasta los 19 o 20 °C, ya que los vientos fríos provenientes del norte ponen resistencia a las aguas cálidas procedentes del sureste, las cuales, en su trayectoria hacia el noroeste del Golfo de México, van transmitido su calor a las aguas de menor temperatura (Nowlin y McLellan 1967). Müller-Karger y Walsh (1991) señalan que la temperatura superficial de las regiones oeste y este del Golfo de México, de julio a septiembre, tienen una temperatura similar > 29 °C, pero de diciembre a abril la región oeste tiene aproximadamente 4 °C menos que la región este. Debido a que las aguas de la región oeste están más alejadas de la influencia de la Corriente del Lazo, sus temperaturas mínima y máxima se mantienen durante largos periodos en comparación a las del este que tienen una menor duración, por la continua intromisión de las aguas cálidas del Caribe que entran al Golfo vía la Corriente del Lazo.

En la temporada de invierno (enero), en el área comprendida entre la zona de descarga del río Bravo y la Laguna Madre, la temperatura superficial es de 12 °C y en el noroeste al interior de la plataforma continental en un área de 110 km es de 10 °C; estas variaciones están asociadas al enfriamiento de las aguas costeras por los vientos del norte y por las aguas frías que descargan los ríos como el Misisipí, Afchafalaya y Bravo; en menor medida por el Soto La Marina y Pánuco. Frente a Matamoros en aguas mar adentro, la

temperatura es de aproximadamente 12 °C y frente al río Carrizal 15.5 °C; entre Tuxpan y Tampico hay un incremento abrupto para llegar a aproximadamente 22 °C, como resultado de los flujos baroclínicos de la zona de transición de giros anticiclónicos y ciclónicos, que provocan la intromisión de masas de agua del Golfo a la plataforma continental frente a Tamiahua; esta temperatura decrece a 16.85 °C frente al río Tuxpan, causada por la intromisión de la masa de agua del Golfo y en Veracruz la temperatura de las aguas costeras es de 22 °C, aproximadamente (Vidal *et al.* 1994).

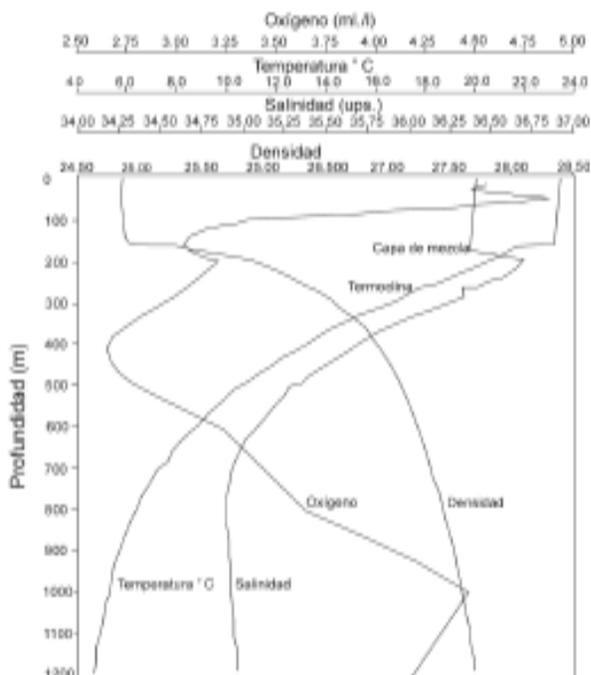
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES ESTUDIADAS POR VIDAL *ET AL.* (1990)



En el Golfo de México la distribución vertical de la temperatura está en función de las masas de agua, de las características locales de circulación, de la dinámica general de las corrientes y de la estacionalidad, que determinan la permanencia y temporalidad de las termoclinas. En el noroeste del Golfo de México la termoclina inicia aproximadamente a los 200 m de profundidad con un grosor de 1,000 m como se muestra en las figuras 4 y 5 (Vidal *et*

al. 1994); al este del Golfo de México, Morrison y Nowlin (1977) la señalan a los 50 m de profundidad hasta alcanzar 4.25 °C, a 1,600 m.

FIGURA 5. PERFIL VERTICAL DE LA TEMPERATURA, SALINIDAD, DENSIDAD Y OXÍGENO FRENTE A LA LAGUNA MADRE (ESTACIÓN 11, 27° N-95° W) EN ENERO DE 1984



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1994.

En la plataforma de Campeche se registran temperaturas de 29 °C superficiales hasta una profundidad entre 40 m y 60 m (Signoret *et al.* 1998). De la Lanza Espino (1991) menciona que conforme se acerca la temporada de Nortes, la temperatura superficial de las aguas caribeñas se abaten siendo menor la diferencia entre éstas y las capas subsuperficiales, lo cual provoca que la termoclina durante el invierno sea ligeramente más somera.

En el Golfo de México se observan variaciones térmicas verticales espacial y temporalmente, resultado de la formación de giros ciclónicos (fríos) y anticiclónicos (calientes); estos últimos debido al estrangulamiento de la Corriente del Lazo, formando anillos aislados con temperaturas similares a las de la Corriente del Lazo; con desplazamientos hacia el noroeste del Golfo de México, originándose una mezcla de tipo convectiva, la cual transforma a las Aguas Subtropicales Subsuperficiales en aguas típicas del Golfo de México con una temperatura de 22.5 °C. En el Golfo de México existe un giro anticiclónico frente a las costas de Tamaulipas, que provoca el hundimiento de aguas superficiales con temperaturas cálidas hasta una profundidad de 1,200 m. Los giros ciclónicos como contraparte de los anticiclónicos, se forman en las periferias de estos, con ascenso de aguas frías. Los giros ciclónicos más importantes del Golfo México se localizan frente a la descarga del río Bravo y Laguna Madre fuera de la plataforma (figura 6), en el oeste de Florida, así como en la plataforma de Campeche (Banco y Bahía de Campeche) (De la Lanza Espino 1991).

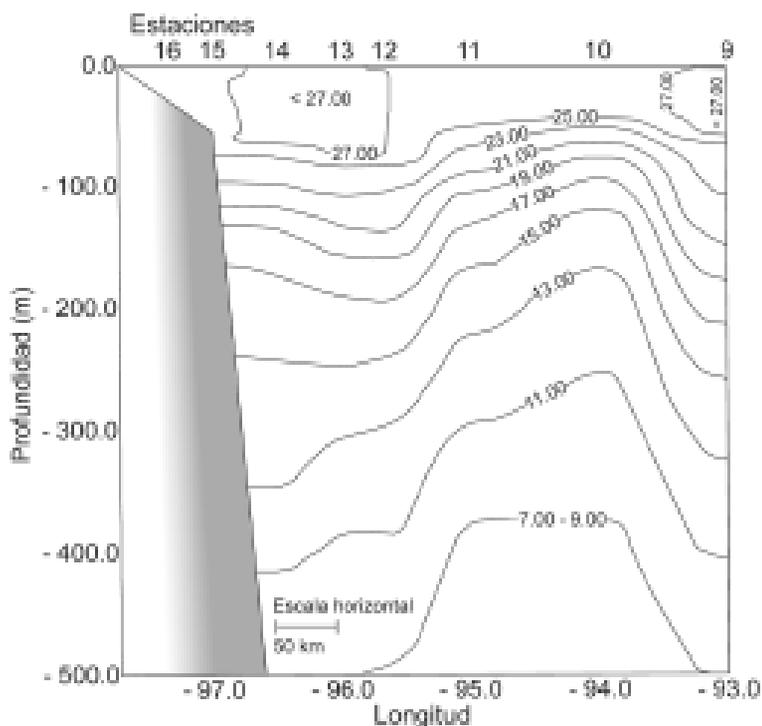
SALINIDAD

Al igual que la temperatura, la distribución de la salinidad está fuertemente relacionada con la Corriente del Lazo, la cual tiene una salinidad mayor a 36.8 por arriba de los 200 m, como resultado del predominio de la evaporación sobre la precipitación en la región del Caribe (Biggs 1992). Las salinidades en invierno son menores al norte del Golfo con 32.16, debido a la época y a la influencia de los ríos (Nowlin y McLellan 1967); en la plataforma de Campeche alcanzan 36.4 a 36.6, siendo las mayores del Golfo y de la Corriente del Caribe, originadas por la fricción de las capas de la Corriente de Yucatán que tocan la plataforma de la península y afloran a la superficie dispersándose sobre ella (Nowlin 1972).

Las aguas típicas del Golfo de México tienen una salinidad de 36.5, producto de la mezcla de los giros anticiclónicos con la masa de Agua Subtropical Subsuperficial, que tiene una salinidad de 36.6 a una profundidad de 70 m (Biggs 1992).

Según Vidal *et al.* (1994), la distribución de la salinidad al oeste del Golfo de México está determinada por la dirección de los giros anticiclónicos que se dirigen hacia el norte y la de los giros ciclónicos que se dirigen hacia el sur, así como a la zona de transición que separa a ambos. Hay salinidades costeras mínimas de 31.5 de Matamoros a Tampico y las más altas en aguas mar

FIGURA 6. PERFIL VERTICAL DE LA TEMPERATURA (°C)
EN EL GIRO CICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE

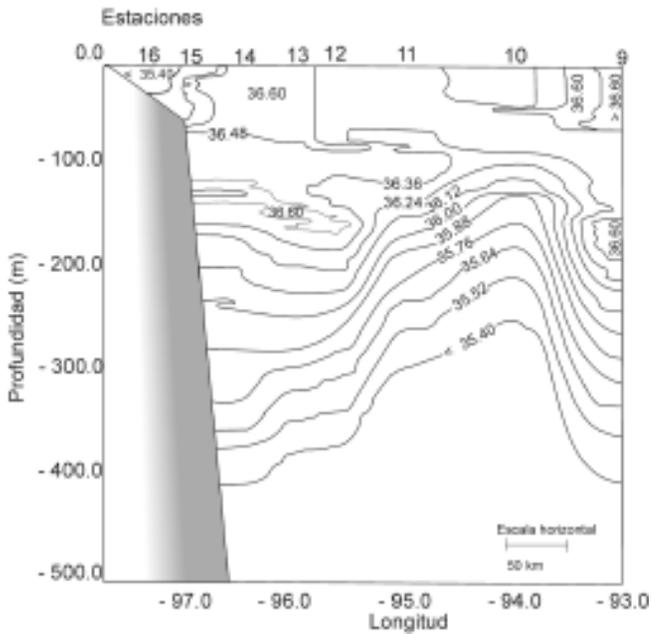


Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

afuera con 36.41 (figura 5). Las bajas salinidades de las aguas costeras se asocian a las descargas de los ríos y lagunas, como producto de la dilución entre las aguas marinas y las continentales, que se caracterizan por presentar salinidades bajas. En la figura 7 se aprecia un giro ciclónico frente a Laguna Madre mar afuera, según Vidal *et al.* (1990).

La distribución vertical de la salinidad está en función de las masas de agua que ingresan a la cuenca del Golfo de México, así como del efecto de mezcla vertical inducida por los giros ciclónicos y anticiclónicos que diluyen las masas de agua presentes desde las capas superiores hasta profundidades de 700 a 1,000

FIGURA 7. PERFIL VERTICAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD
FRENTE A LA LAGUNA MADRE MAR AFUERA



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

m; esta mezcla constituye un mecanismo que controla los procesos de formación y dilución de masas de agua dentro del Golfo. En el Golfo de México se observa una capa de mínima salinidad (34.8 a 34.9) a una profundidad de 500 a 1,000 m, la cual tiene su origen en la masa de Agua Antártica Intermedia (Vidal *et al.* 1990); esta capa también fue descrita en la Corriente del Lazo a una profundidad de 800 m y una salinidad < 34.9 (Morrison y Nowlin 1977).

La distribución vertical de la temperatura y salinidad permiten identificar las masas de agua que se introducen a la cuenca del Golfo. Los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente del Lazo y migran hacia el interior constituyen el mecanismo primordial mediante el cual ingresan, se dispersan y diluyen las principales masas de agua. Es importante mencionar

que las profundidades de estas masas son aproximadas, ya que están sujetas a variaciones espaciales y temporales considerables, determinadas por el campo de circulación baroclínico de los pares ciclones-anticiclones dentro del Golfo de México (Vidal *et al.* 1990).

MASAS DE AGUA

Según Vidal *et al.* (1990) existen siete masas de agua (cuadro 1); por su parte Nowlin (1971), a partir de una estación hidrográfica ubicada en el centro de la cuenca, estableció la existencia de seis masas de agua. Una de las características primordiales de la masa de agua subsuperficial oceánica es la presencia del Agua Común del Golfo (ACGM) que se identifica por su salinidad de 36.30 a 36.40 y una densidad de 24.50 a 25.50, que se forma cuando los giros anticiclónicos provenientes de la Corriente del Lazo colisionan con el talud continental del noroeste del Golfo México, así como en el invierno cuando el régimen de vientos origina una capa de mezcla de aproximadamente 170 m que diluye al Agua Subsuperficial Subtropical (Vidal *et al.* 1990, 1994).

Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México ($AS_{i}S_{s}C$). Proviene del Mar Caribe y se identifica dentro del Golfo por su salinidad > 36.60 y una densidad de < 25.50 a < 26.30 con una temperatura de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$; su presencia dentro del Golfo de México se debe a los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente del Lazo en la región nororiental del Golfo de México (Elliott 1979, 1982). Estos giros, al desprenderse de la Corriente del Lazo, incorporan agua del mar Caribe al Golfo.

Agua de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ del mar de los Sargazos. Según Worthington (1959) y Schroeder *et al.* (1959) la formación de esta masa de agua ocurre durante el invierno en la región norte de ese mar y se caracteriza por tener una salinidad de 36.50, una temperatura de $17.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una inflexión en la curva de oxígeno disuelto que se manifiesta por la presencia de un segundo mínimo (Kinard *et al.* 1974). El Agua de los $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ de los Sargazos ingresa al mar Caribe a través del Pasaje de Winward (entre las islas de Cuba y Santo Domingo) a una profundidad aproximadamente de 300 m de donde se dispersa hacia las cuencas de Yucatán y Caimán; esta masa de agua ha sido identificada en la Corriente de Florida por Worthington (1959), por lo que su presencia dentro de esta corriente infiere su ingreso del mar Caribe al Golfo de México, a través del Estrecho de Yucatán y su incorporación a la Corriente del Lazo. El desprendimiento de los giros anticiclónicos de la Corriente del Lazo trans-

portan el remanente del Agua de 18 °C del Mar de los Sargazos hacia el interior del Golfo , la cual se identifica por la presencia de un segundo mínimo de oxígeno disuelto (< 2.80 a < 3.50 ml/L).

CUADRO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS MASAS DE AGUA EN EL GOLFO DE MÉXICO

MASA DE AGUA	CARACTERÍSTICA QUE LA IDENTIFICA	PROFUNDIDAD (M)	INTERVALO DE DENSIDAD (σ_t)	CONCENTRACIÓN
Agua común del Golfo ACGM	Max. sal. sub.	125-250	24.50-25.50	36.30 a 36.40
El agua subtropical subsuperficial del Golfo de México AS ₁ S ₅ GM	Max. sal. sub	125-225	25.50-26.30	36.60 a 36.75
Agua de 18 °C del mar de los Sargazos	Max. oxi. dis.	200-280	25.80-26.50	2.80 a 3.50 ml/L O ₂
Agua Central del Atlántico Tropical ACAT	Min. oxi. dis.	300-500 100-680*	26.80-27.20	2.40 a 2.80 ml/L O ₂
Agua Intermedia Antártica AIA, (a partir de los 800 m**)	Max. nit. dis	300-1500	27.10-27.74	28.70 a 34.90 mM
	Max. fos. dis	400-980	27.25-27.63	1.62 a 1.82 µM
	Min. salino	620-900	27.35-27.50	34.89 a 34.91
Agua subtropical subsuperficial del Caribe AS ₁ S ₅ C y porción superior del APNA	Max. sil. dis	430-3500	1100-1600*	27.26-26.76 21.80 a 26.50 µM
Agua Profunda del Noratlántico APNA	Max. rel. sal.	1500-3600 1600-1900***	27.76-27.78	34.96 a 34.99

* Según Metcalf (1976).

** Según Pickard (1979).

*** Según Nowlin y McLellan (1967).

Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

Agua Central del Atlántico Tropical (ACAT). Metcalf (1976) la describe como una masa de agua que posee características intermedias entre la más salina Agua Central del Atlántico Norte y la menos salina Agua Central de Atlántico Sur. El Agua Central del Atlántico Tropical se localiza entre 100 y 680 m de profundidad y se identifica por su concentración de oxígeno disuelto mínima de 2.40 a 2.80 ml/L, su salinidad promedio de 35.50, una temperatura de aproximadamente 12 °C y una densidad promedio de 27.20.

Agua Intermedia Antártica (AIA). Se forma en la Convergencia Antártica, donde se incorpora a la circulación intermedia del Atlántico sur y migra hacia al norte como una lengüeta de mínima salinidad cuyo núcleo de < 34.30 a < 34.50 se localiza a los 800 m de profundidad (Pickard 1979). La masa de agua Remanente del Agua Antártica Intermedia, ingresa al mar Caribe a través de los Pasajes de Santa Lucía (entre las islas de Martinica y Santa Lucía), con una salinidad de 34.60 a 34.80 (Wüst 1963, 1964). Al ingresar al Golfo de México y dispersarse hacia el oeste, mediante el desprendimiento de giros anticiclónicos de la Corriente del Lazo, el Remanente del Agua Antártica Intermedia incrementa su salinidad y reduce el espesor de su estrato hasta alcanzar salinidades de < 34.88 a < 34.89 entre los 700 y 750 m de profundidad en la región occidental del Golfo (Nowlin 1972, Vidal *et al.* 1986a, 1986b).

Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe ($A_{S_5}C$). La formación de esta masa de agua ocurre dentro del mar Caribe a temperaturas potenciales de < 4.0 a < 5.5 °C a profundidades de 1,100 a 1,600 m (Metcalf 1976). Esta masa de agua se caracteriza por tener una salinidad de aproximadamente de 34.93, una concentración de silicatos de 26.0 a 28.0 mM Si_4 y una densidad de 27.66.

Agua Profunda del Noratlántica (APNA). Ingresa al Golfo de México vía el mar Caribe, a través de la profundidad del umbral (1,600 a 1,900 m) del Estrecho de Yucatán (Nowlin y McLellan 1967). En la Cuenca de Yucatán, Wüst (1963) señala que, entre los 1,500 y 2,000 m de profundidad, se tiene una salinidad de 34.96 a 34.99, una temperatura de 4.00 a 4.10 °C y una concentración de oxígeno disuelto de 5.00 a 5.75 ml/L. Esta masa de agua constituye la masa de agua profunda del Golfo de México.

De estas masas de agua, cuatro se ubican dentro de la capa cálida (0 a 500 m de profundidad) como Agua Subsuperficial Subtropical, Agua Característica del Golfo de México, Agua de los 18 °C del mar de los Sargazos y Agua Central del Atlántico Tropical. En la capa fría de 500 a 3650 m de profundidad se encuentra al Agua Intermedia del Caribe y la Agua Profun-

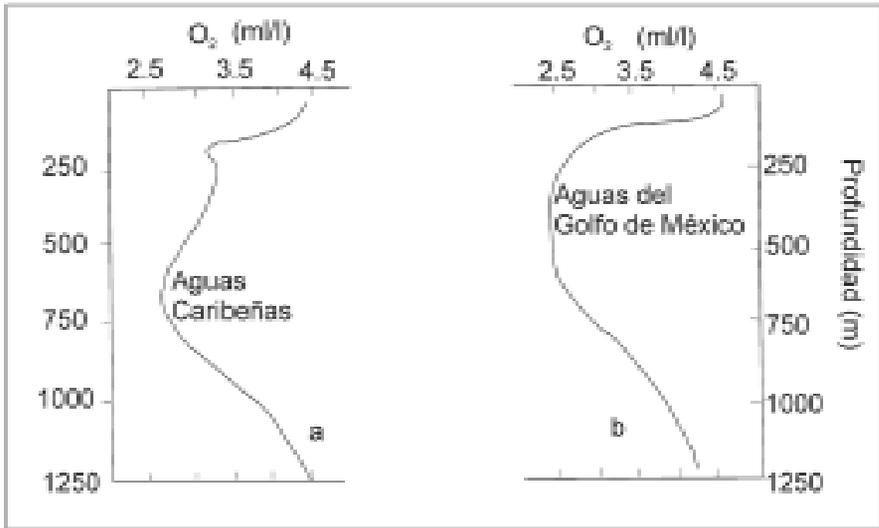
da del Atlántico Norte. Según Vidal *et al.* (1990), de todas estas capas seis ingresan al Golfo de México a través del Estrecho de Yucatán y de los giros anticiclónicos que migran hacia el oeste; la séptima es la del propio Golfo.

OXÍGENO

El oxígeno disuelto superficial de las aguas del Caribe mexicano es homogéneo en el transcurso del año, manteniendo niveles de 4 a 5 ml/L, con un máximo a los 50 m de profundidad de 6.1 ml/L y a los 200 m 3.2 ml/L (De la Lanza Espino 1991). Como esta agua conforma la Corriente del Lazo, que representa más del 50 % del agua que entra a la cuenca del Golfo de México, el contenido de oxígeno en el Golfo es uniforme en la capa superficial de mezcla de (0 a 150-250 m de profundidad) con 4.5 ml/L; como se observa en la plataforma de Campeche, Veracruz y el Caribe. Otra característica importante de este Golfo es la presencia de la capa mínima de oxígeno a una profundidad entre los 200 y 600 m aproximadamente, con una concentración de 2.0 ml/L al noroeste y a una profundidad de 600 m en la Corriente del Lazo con < 3.0 ml/L (Morrison y Nowlin 1977); esta capa mínima de oxígeno se observa también en aquellas aguas propias del Golfo (Nowlin 1971; El-Sayed *et al.* 1972) (figura 8). Dicha capa está en función de los factores climáticos y su grosor depende de las características locales de circulación, ya que asciende en los giros ciclónicos y desciende en los anticiclónicos y se origina en el mar Caribe por la masa de Agua Central de Atlántico Tropical, dada su similitud en el contenido de oxígeno (Vidal *et al.* 1990).

En la región oceánica del giro ciclónico noroeste que origina un surgimiento de la capa subsuperficial, la concentración de oxígeno disuelto es de 4.5 ml/L; Vidal *et al.* (1990) mencionan que este contenido está asociado probablemente a un fenómeno de fotosíntesis. Frente a Matamoros el contenido es de 6.0 ml/L de oxígeno, así como la temperatura y salinidad revelan la existencia de un equilibrio dinámico entre el agua superficial y la atmósfera (Vidal *et al.* 1990, 1994). En la plataforma de Yucatán se ha registrado una sobresaturación del 112%, (6.11 ml/L) a una profundidad de 20 m (Signoret *et al.* 1998), condicionada por una alta productividad resultado de la surgencia que propicia una mayor concentración de oxígeno. Frente a la Laguna de Tamiahua y en el área de influencia del río Coatzacoalcos las oxiclinas son más superficiales, de 60 a 100 m, con niveles de 3.2 ml/L, debido a factores de la dinámica estacional, así como por la intromisión de agua proveniente de los sistemas fluviales (Secretaría de Marina 1972a).

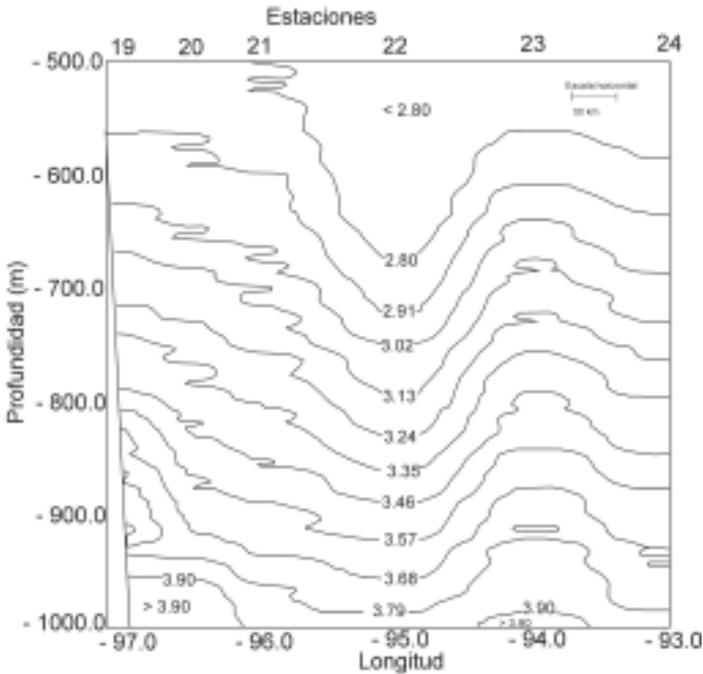
FIGURA 8. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS CARIBEÑAS (A) Y AGUAS DEL GOLFO DE MÉXICO (B)



Fuente: tomado de Nowlin y McLellan 1967.

Al igual que los parámetros anteriores, los giros ciclónicos y anticiclónicos tienen un rol importante en la distribución espacial y temporal; en la plataforma de Campeche a finales de la época de lluvias se pueden alcanzar 2.6 ml/L de oxígeno en la superficie, como resultado del ascenso de aguas de fondo, producido por los giros ciclónicos (Secretaría de Marina 1972b); en la región del Anticiclón Mexicano de Tamaulipas se observa el hundimiento de aguas superficiales con altos contenido de oxígeno, formándose un perfil vertical de 4.45 ml/L, hasta una profundidad de 1,000 m (figura 9); en los límites del anticiclón y en el centro del ciclón se genera la ascensión de agua pobre en oxígeno 2.5 ml/L a partir de los 120 m de profundidad, siendo estos niveles característicos de esta región del Golfo de México (De la Lanza Espino 1991).

FIGURA 9. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO (ML/L) ENTRE LOS LIMITES DE LOS GIROS ANTICICLÓNICO Y CICLÓNICO FRENTE A LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

NUTRIENTES

NITRATOS

En las aguas superficiales del mar Caribe y Golfo de México la concentración de nitritos va de indetectable < 0.1 mM a < 0.25 mM en junio (verano); en la plataforma norte de Yucatán y a 200 m de profundidad alcanzan de 3.0 a 12.0 mM (Secretaría de Marina 1980). Los giros ciclónicos y anticiclónicos definen la distribución vertical y horizontal de este nutriente, como en la región oeste del Golfo, donde se han registrado contenidos máximos en los giros ciclónicos a la altura de la Laguna Madre (< 28.7 a < 34.90 mM a una

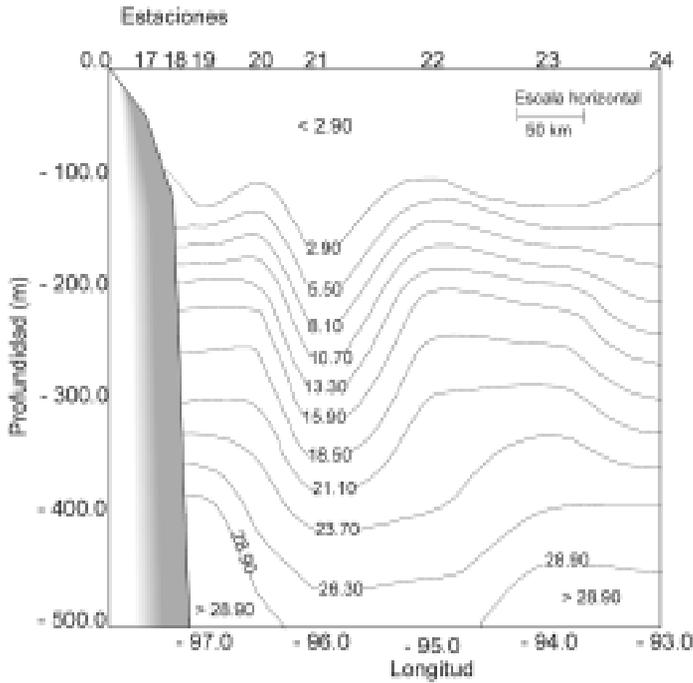
profundidad de entre 150 a 300 m) (figura 10); sin embargo, en el anticiclónico tamaulipeco se han detectado 1.75 mM, incremento anómalo debido al hundimiento de la masa de agua que provoca un surgimiento compensatorio en el límite con el ciclónico (Vidal *et al.* 1990).

Es difícil precisar concentraciones específicas dado que los nutrientes son “no conservativos” y su contenido depende de la asimilación fitoplanctónica y su temporalidad, razón por la cual al noroeste del Golfo de México, en la zona del anticiclón, la concentración de nitratos en la capa de mezcla, según Biggs (1992), puede alcanzar < 0.1 mM y a 100 m de profundidad < 0.4 mM; En lluvias pueden registrarse 1.20 mM superficiales, frente a la Laguna Madre, Tamaulipas y a 500 m alcanzar 30 mM (Moulin 1980) asociados con los límites de los giros anticiclónico-ciclónico, donde Biggs (1992) ha detectado concentraciones de nitratos mayores a 10 mM a la profundidad de 100 m.

En la plataforma de Campeche, la dinámica de las masas está determinada por la circulación ciclónica, así como por su intensidad, la cual varía temporalmente según el transporte en el Canal de Yucatán. Esta dinámica determina en gran medida la distribución de la concentración de nitratos. Así mismo, durante los meses de lluvias, se han registrado 0.03 mM superficiales, así como 0.07 mM a los 70 m; en los inicios de la época seca (primavera) estos niveles se incrementan a 7.26 mM a los 10 m de profundidad, debido al efecto de afloramiento generado a través de la intensa circulación que en esta época constituyen los anillos ciclónicos (Instituto Mexicano del Petróleo 1980). Frente a la Laguna de Términos se han registrado concentraciones de 0.1 a 1.0 mM superficiales y a partir de 50 m de profundidad de 3 a 13.5 mM (Licea y Santoyo 1991).

Los afloramientos de agua ricos en nutrientes (surgencia) en la plataforma yucateca que colinda con las zonas de giros ciclónicos, se presentan en los últimos meses del año y de marzo a mayo. En las aguas superficiales del mar Caribe mexicano se mantienen niveles de 1.0 mM a 3.0-12.0 mM a una profundidad de 200 m y en las proximidades de la costa alcanzan hasta 25.0 mM, consecuencia de la ascensión de aguas profundas en marzo-agosto (Secretaría de Marina 1980). En el área comprendida frente a Progreso, se detecta claramente el efecto de surgencia registrando a través de un gradiente de concentración de aguas del Golfo hacia la costa de 1.32 mM a 4.2 mM, respectivamente (Ponce-Vélez *et al.* 1991). También es importante considerar el efecto que tienen las aguas continentales sobre las concentraciones de nutrientes en las aguas costeras, enriqueciendo el aporte de nitrógeno y fósforo.

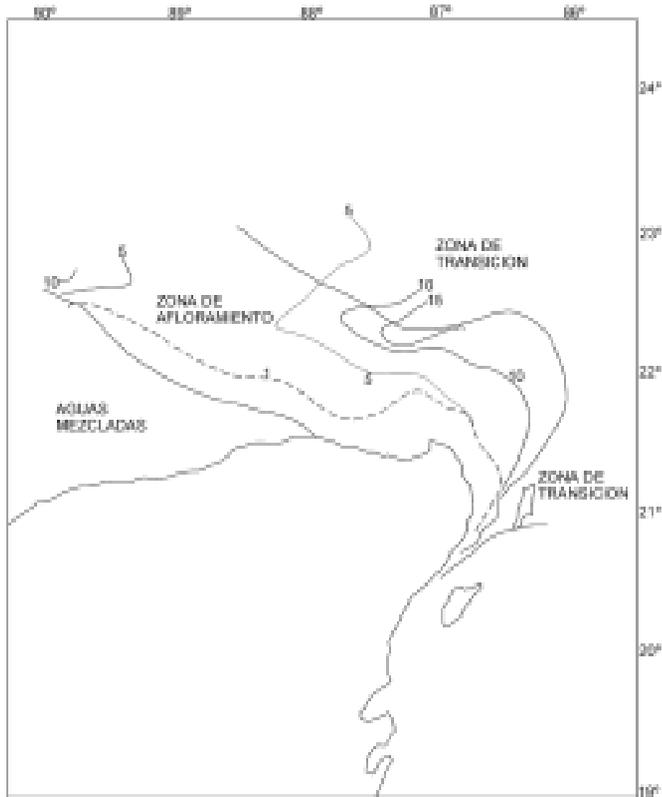
FIGURA 10. PERFIL VERTICAL DEL CONTENIDO DE NITRATOS (mM) EN EL GIRO ANTICICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

La distribución de nitratos en primavera en la plataforma de Yucatán, muestra que las mayores concentraciones se presentan sobre la margen oriental de la plataforma, formando una pluma de este hacia oeste. La isonutria (isolíneas de nutrientes) de 1 mM corresponde al límite entre aguas superficiales con nutrientes agotados a una profundidad de 100 m y aguas profundas (200 m) ricas en nutrientes (10 mM), que se introducen entre el Arrecife Alacranes y Cabo Catoche (figura 11) (Merino-Ibarra 1992). El afloramiento está fuertemente relacionado con la Corriente de Yucatán ya que su velocidad presenta un ciclo anual similar al del afloramiento, durante el cual alcanza sus máximas intensidades en primavera y las menores en otoño (U.S. Department of the Navy 1963). Molinari

FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS (mM) EN LA PLATAFORMA DE YUCATÁN EN PRIMAVERA



Fuente: tomado de Merino-Ibarra 1992.

y Morrison (1988) han demostrado que la permanencia de la corriente junto al talud está directamente relacionada a la penetración de la Corriente del Lazo en el Golfo de México y que la corriente se separa del talud cuando el Lazo se rompe al liberar un anillo anticiclónico en el Golfo.

En los meses de primavera la concentración de nitratos aumenta en la zona de afloramiento con una intensidad variable interanualmente, según la velocidad de la Corriente de Yucatán.

La homogeneidad en la plataforma en invierno se debe, según Merino-Ibarra (1992), a los procesos de mezcla que son capaces de destruir totalmente la estratificación todavía presente en el otoño. La intensidad de la mezcla vertical puede ser mayor en invierno, debido a que durante esa estación soplan los nortes, que generan fuertes oleajes sobre la plataforma de Yucatán y en el Golfo de México.

NITRITOS

Los nitritos tienden al mismo comportamiento que los nitratos, registrándose en el Canal de Yucatán contenidos superficiales de 0.05 a 0.1 mM durante todo el año, aumentando hacia la costa de 0.25 a 0.30 mM (Secretaría de Marina 1980). Debido al efecto del afloramiento en el mes de julio, en la Península de Yucatán se han alcanzado hasta 0.45 mM (Merino-Ibarra 1983). En aguas superficiales del oeste del Golfo los niveles alcanzan hasta 0.2 mM, con un aumento de 0.3 a 0.4 mM a una profundidad de 400 m y una disminución en las colindancias de los giros ciclónicos y anticiclónicos (Moulin 1980).

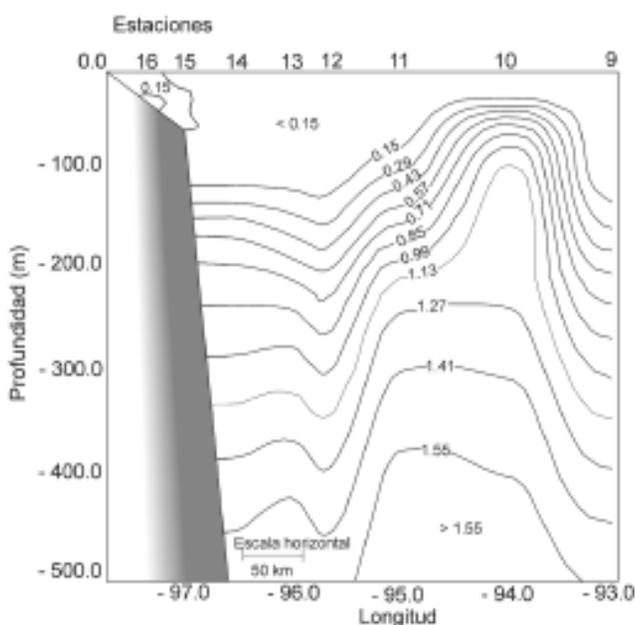
ORTOFOSFATOS

El contenido de ortofosfatos es bajo en superficie, con 0.1 y 0.8 mM a lo largo del año; con un incremento hasta 1.8 a 2.5 mM a una profundidad de 800 a 900 m. En la plataforma de Campeche las concentraciones más frecuentes son de 0.11 a 0.13 mM, similares a los de la Corriente del Lazo (Morrison y Nowlin 1977). En la región oeste del Golfo los ortofosfatos superficiales son inferiores al límite de detección (< 0.03 mM) y los contenidos mayores en la costa con < 0.13 mM, debido al aporte fluvial que estimula la productividad primaria de esta región; en el giro ciclónico norte los niveles de ortofosfatos son de 0.12 mM debido al afloramiento (Vidal *et al.* 1990).

Bogdanov, (1969) señala que las aguas superficiales de la plataforma de Campeche presentan niveles de 0.11 a 0.13 mM que son semejantes a aquellos de las aguas de la Corriente del Lazo y tienden a incrementarse hacia los 100 m de profundidad a 0.66 mM. La circulación ciclónica favorece el enriquecimiento de ortofosfatos en la superficie mediante el ascenso de aguas profundas (figura 12); correspondiendo a la primavera el máximo superficial en la plataforma de Campeche con 1.09 a 1.19 mM. Además, en esa área se tiene el aporte del río Grijalva, frente al cual se alcanzan 1.32 mM. Dicha concentración decrece en los primeros metros hasta 0.11 y 0.2 mM. En el

otoño se han detectado los niveles más altos del ciclo anual con 2.95 mM desde la superficie hasta los 50 m de profundidad, en respuesta a la intensificación de los nortes y de los giros ciclónicos (Instituto Mexicano del Petróleo 1980, Segura *et al.* 1982).

FIGURA 12. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATOS (mM) EN EL GIRO CICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

En la región oeste del Golfo de México, frente al litoral de Tamaulipas, los ortofosfatos superficiales mantienen niveles de 0.1 a 0.3 mM hasta los 100 m de profundidad, a partir de los cuales, hay una emersión periférica y un hundimiento central; entre esos límites se registran 2.5 mM a 200 m que en otras regiones dentro del Golfo son característicos de agua de más de 700 m de profundidad (Moulin 1980).

En la distribución vertical de los ortofosfatos se observa un mínimo superficial de 0.01 mM, que al igual que los nitratos, a una profundidad de 500 a 1000 m se localiza una máxima concentración (< 1.62 a < 1.82 mM) que también deriva del Agua Antártica Intermedia (Vidal *et al.* 1990).

En general se observa que la distribución espacial de los nutrientes disueltos en el Golfo de México está determinada por el campo de circulación barométrica. La vorticidad de los giros y su interacción acoplada generan un sistema natural de bombeo dentro del Golfo, pues transfieren movimientos verticales ascendentes y descendentes de las masas de agua que se ubican dentro de sus zonas de influencia (Vidal *et al.* 1990). Además, cabe aclarar que su variación espacial y temporal también dependen en buena medida de la asimilación fitoplanctónica y sus florecimientos.

SILICATOS

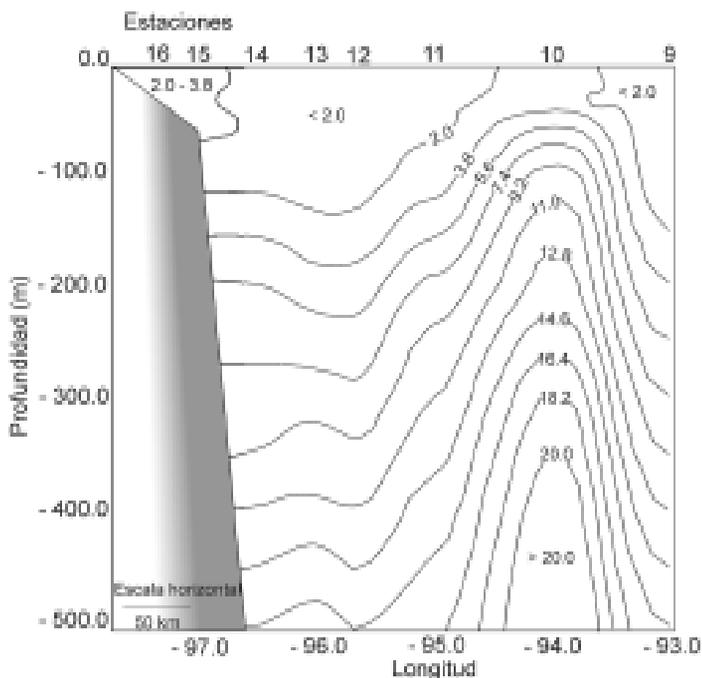
Este nutriente es de los que con menos frecuencia se evalúa; sin embargo, en el Golfo de México se tiene una información aceptable que permite señalar su comportamiento. En las aguas de la Corriente de Yucatán, que constituyen a las del Lazo y del Golfo de México, el contenido es bajo, desde indetectable hasta 2 mM de superficie hasta 200 m de profundidad (Froelich *et al.* 1978). Por debajo de esa profundidad incrementa hasta 23-25 mM que Morrison y Nowlin (1977) y Carder *et al.* (1977) lo asocian con el Agua Antártica Intermedia (500 a 1,000 m). Sin embargo, los registros de Vidal *et al.* (1990) e información de otros autores señalan que el origen del máximo de silicatos en el Golfo proviene del Agua Intermedia del Caribe (28 mM) y de la porción superior del Agua Profunda del Atlántico Norte (16 mM) entre los 1,000 y 1,100 m de profundidad.

Su distribución vertical depende de los giros; incrementa hacia la superficie en los ciclónicos por ascensión en aguas ricas en este nutriente y disminuye en los anticiclones por hundimiento de la capa superficial pobre en silicatos (figura 13).

CLOROFILA "A"

El contenido mínimo superficial de clorofila se ubica en la región oceánica dentro del giro ciclónico norte con 0.5 mg/m^3 y el máximo ($> 3.0 \text{ mg/m}^3$) frente a la desembocadura de los ríos Bravo, el Pánuco, el Tuxpan y el Cazones; al igual que los nutrientes estos máximos están relacionados con la circula-

FIGURA 13. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE SILICATOS (mM) EN EL GIRO CICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

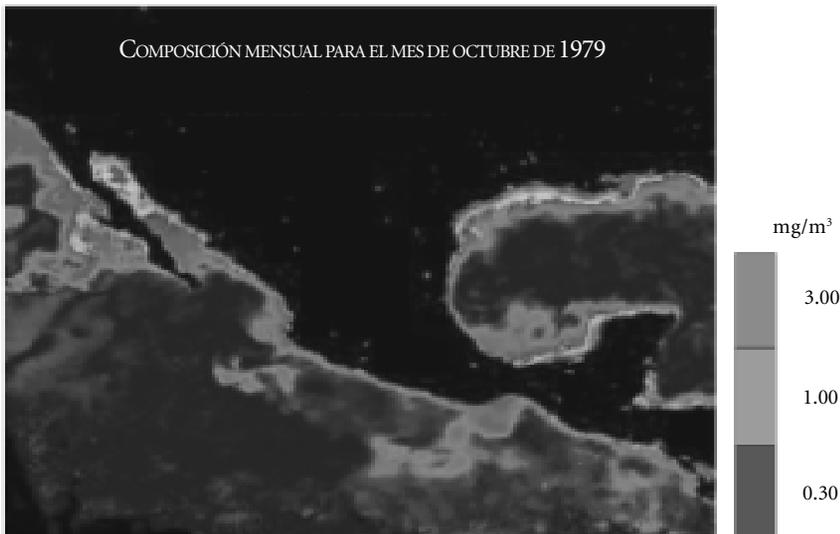
ción anticiclónica-ciclónica y al aporte fluvial continental. Contenidos de 3.5 mg/m^3 están relacionados con la circulación ciclónica del sur que predomina en la plataforma de Campeche, que recibe también las descargas fluviales de los ríos Papaloapan, Grijalva y Usumacinta (Vidal *et al.* 1990).

A pesar de incrementos puntuales (en giros ciclónicos y áreas costeras) de este pigmento, la distribución de clorofila "a" en el Golfo de México varía espacialmente y en general sus niveles son bajos. Mediante imágenes de satélite se han detectado al este y noroeste del Golfo de México, concentraciones bajas en el verano (mayo-julio) de $< 0.06 \text{ mg/m}^3$ e incrementase ligeramente en invierno (diciembre-febrero) de $> 0.18 \text{ mg/m}^3$. En mar adentro la con-

concentración de clorofila “a” es de 0.2 mg/m^3 , mientras que en la costa de $> 0.5 \text{ mg/m}^3$, alcanzando hasta 5 mg/m^3 en algunas áreas influenciadas por los aportes del río Misisipí, lagunas costeras y giros ciclónicos (Müller-Karger y Walsh, 1991). Por su parte Aguirre-Gómez (2002) a través de una imagen del sensor SeaWiFS de abril del 2000, interpreta la surgencia en las costas de Yucatán con altas concentraciones de clorofila (3 mg/m^3), comportamiento semejante observado en octubre de 1979 con una imagen del CZCS (Coastal Zone Color Scanner) (figura 14).

Las amplias diferencias en concentración de clorofila “a” pueden ser debidas no solamente a la estacionalidad fitoplanctónica, sino también a aspectos metodológicos y esto se observa en los resultados de Signoret *et al.* (1998) en la plataforma de Yucatán, donde registraron contenidos de 1.61 mg/m^3 en la superficie y 4.24 mg/m^3 a 20 m de profundidad debido a la presencia de afloramientos de aguas ricas en nutrientes; mientras que en la porción centro del Golfo de 0.04 a 0.07 mg/m^3 , típicos de mares oligotróficos

FIGURA 14. IMAGEN DEL COASTAL ZONE COLOR SCANNER (CZCS) PARA LA DEFINICIÓN DEL CONTENIDO DE CLOROFILA “A” EN EL GOLFO DE MÉXICO

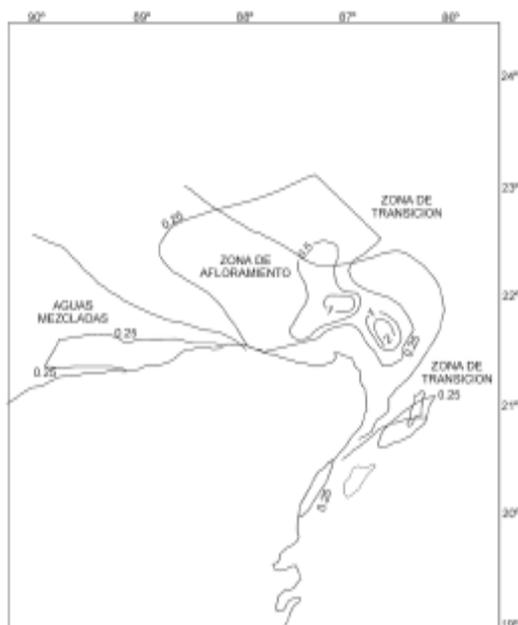


Fuente: tomado de Aguirre-Gómez 2002.

y 0.33 mg/m^3 a 120 m de profundidad asociados a mayor contenido de nutrientes.

Merino-Ibarra (1992) registró una coincidencia entre el contenido de nitratos y el de clorofila "a" tanto espacial como temporalmente entre la zona de afloramiento (con un máximo de 2 mg/m^3) y la de aguas mezcladas (0.25 mg/m^3) (figura 15).

FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DEL CONTENIDO DE CLOROFILA "A" (MG/M^3) POR ZONAS EN LA PLATAFORMA DE YUCATÁN



Fuente: tomado de Merino-Ibarra 1992.

Walsh *et al.* (1989), usando un modelo numérico, determinaron que el factor que controla la variación estacional de la concentración de clorofila "a" en las aguas del Golfo de México, es la profundidad de la capa de mezcla, así como la disponibilidad de nutrientes; la biomasa de algas es alta cuando la capa de mezcla

superficial es más profunda; en consecuencia la productividad primaria en esta capa está controlada por la variación del flujo de los nutrientes hacia arriba.

CONCLUSIONES

Es importante señalar que la información arriba presentada está referida en el marco global del Golfo de México y que la zona costera (comprendida aquí desde la línea de costa hasta el límite de la plataforma) puede actualmente presentar modificaciones en la dinámica fisicoquímica por influencia antropogénica, que en los últimos 20 años ha sido más determinante.

Dada la relativa frecuencia y regularidad de los giros oceánicos (ciclónico fríos y mayor contenido de nutrientes de Yucatán y ciclónico-anticiclónico, este último caliente y menor contenido de nutrientes, frente a la Laguna Madre y Tamaulipas, respectivamente), así como el efecto del afloramiento dinámico en la Península de Yucatán con mayor contenido de nutrientes, lo que se requieren son monitoreos costeros frecuentes fisicoquímicos (circulación, temperatura, nutrientes y carga orgánica), así como hidrocarburos, pesticidas y bacteriología frente a las descargas fluviales que permitan registrar cambios en la calidad del agua. Esto sustentaría a la aplicación de las NOM con apoyo de la CNA, CFE, PEMEX, Secretaría de Marina, cuyos resultados serían manejados e integrados por el INE-SEMARNAT o una instancia equivalente en el futuro; inclusive ponerlos en la red para fines de acceso científico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Gómez R. 2002. *Los mares mexicanos a través de la percepción remota*. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía-Plaza y Valdez Editores, México.
- Biggs D.C. 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warm-core ring in the wester Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97(C2): 2,143-2,154. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Bogdanov D.V. 1969. *Some oceanographic features of the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea*. A.S. Bogdanov (Ed.) Soviet Cuban Fishery Research U.S. Dept. of Commerce Sprint Geld.
- Brooks D.A y Legeckis R.V. 1982 A ship an satellite view of hydrographic features in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 87(C5): 4195-4206. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Carder K.A., Fanning R., Betzer P. y Maynard V. 1977. Dissolved silica and circulation in the Yucatan Strait and deep eastern Gulf of Mexico. *Deep Sea Research*, 24:1149-1160. M. Bacon., United Kingdom (G.B).

- De la Lanza Espino G. 1991. *Oceanografía de los mares mexicanos*. AGT editor, S.A., México.
- Elliott B. 1979. *Anticyclonic rings and the energetics of the circulation of the Gulf of Mexico*, Ph.D. Dissertation, Texas A&M Univ., College Station, Texas.
- 1982. Anticyclonic rings in of the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 12:1,292-1,309. American Geophysical Union, Washington DC, USA.
- El-Sayed S.Z., Sackett W.M., Jeffrey L.M., Fredericks A.D., Saunders R.P., Fryxell G.A., Steidinges K.A y Earle S.A. 1972. *Serial Atlas of the Marine Environment*. Folio 22. Chemistry, Primary Productivity and Benthic algae of the Gulf of Mexico. America Geographical Society.
- Froelich N.P., Atwood K.D. y Giese G.S. 1978. Influence of Amazon River discharge on surface salinity and dissolved silicate concentration in the Carribean. *Deep Sea Research*. 25:735-744. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- Grace S.F. 1932. The principal diurnal constituent of tidal motion in the Gulf of Mexico. *Monthly Nat. R. Astronomical Society of Geophysic Supply*, 3(2):70-83.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1980. Informe de los trabajos realizados para el control del pozo Ixtoc I, el combate del derrame de petróleo y determinación de sus efectos sobre el ambiente marino. Programa coordinado de estudios ecológicos en la Sonda de Campeche. México.
- Kinard W.F., Atwood D.K. y Giese G.S. 1974. Dissolved oxygen as evidence for 18 °C Sargasso Se Water in the eastern Caribbean. *Deep Sea Research*. 21:79-82. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- Kirwan A.D., Merrell W.J., Lewis J.K. y Whitaker R.E. 1984. Lagrangian observations of an anticyclonic ring in the wester Gulf of Mexico. *Journal of Geophysics Research*, 89(C3):3417-3424. American Geophysical Union, Washington DC, USA.
- Licea S. y Santoyo H. 1991. Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región central de la bahía de Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 18(2):157-167. UNAM, México.
- Merino-Ibarra M. 1983. Estudios ambientales del Arrecife de Puertos Morelos, Quintana Roo. Informe del Proyecto de Investigación PAMOR. UACP y P-CCH. Maestría en Ciencias del Mar. 52 pp.
- 1992. Afloramamiento en Plataforma de Yucatán; estructura y fertilización. Tesis doctoral, UACP y P-CCH, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Metcalf W.G. 1976. Caribbean-Atlantic exchange through the Anegada-Jungfern passage. *Journal of Geophysics Research*, 81:6401-6409. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Molinari R.L. y Morrison J. 1988. The separation of the Yucatán Current from the Campeche Bank and intrusion of Loop Curren into the Gulf of Mexico. *Journal of*

- Geophysical Research*, 93(C9):10645-10654. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Morrison J.M y Nowlin W.D. Jr. 1977. Repeated nutrient, oxygen, and density sections through the Loop Current. *Journal of Marine Research* 35(1):105-128. George Veronis. Kline Geology Laboratory, Yale University.
- Moulin R.J. 1980. Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México. Sría. de Marina. Dirección General de Oceanografía. México. 47 pp.
- Müller-Karger F.E y Walsh J.J. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research*. 96(C7):12,645-12,665. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Nowlin W.D. 1971. Water masses and general circulation of the Gulf of Mexico. *Oceanology*. Contribution No. 452:173-178. Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscú.
- 1972. Winter circulation and property distributions. En: *Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico*, L.R. Capurro y J. Reis (Eds.) Gulf Publ. Co., Houston, Texas.
- Nowlin W.D. y McLellan H. J. 1967. A characterization of the Gulf of Mexico water in wintert. *Journal of Marine Research*, 25:29-59. George Veronis. Kline Geology Laboratory Yale University.
- Pickard G.L. 1979. *Descriptive Physical Oceanography*. 3ra ed. Pergamon Press, Oxford.
- Ponce-Vélez G., Pineda-López R. y Pica-Granados Y. 1991. Oceanografía química. En De la Lanza Espino G. (comp.). *Oceanografía de Mares Mexicanos* AGT Editor. México.
- Reide R.O. y Whitaker R.E. 1981. Numerical model for astronomical tides in the Gulf of Mexico, Technical repot. U.S. Army Eng. Waterways Exp. Sta., Vicksburg, Miss.
- Schroeder E., Stommel H., Menzel D. y Sutcliffe W. 1959. Climatic stability of eighteen degree water at Bermuda. *Journal of Geophysics Research* 77:1032-1049. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Secretaría de Marina. 1972a. Informe de datos oceanográficos III crucero VU/71-14. Inst. Nal. de Pesca y Sría. de Marina.
- 1972b. Informe de datos oceanográficos IV crucero VU/71-20. Instituto Nacional de Pesca y Secretaría de Marina.
- 1980. *Contribución al conocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas del Caribe Mexicano*. Química del océano.
- 2002. *Atlas de dinámica costera de la República Mexicana*. Secretaria de Marina-Armada de México.
- Segura G.J., Batllori S.E, Olvera V.V. y Domínguez R.S. 1982. Productividad primaria en al región sureste del Golfo de México (mayo, 1982). Dirección General de Oceanografía. Inv. Ocean. B.I. Secretaría de Marina (5):237-276

- Signoret M., Bulit C. y Pérez R. 1998. Patrones de distribución de clorofila *a* y producción primaria en aguas del Golfo de México y del Mar Caribe. *Hidrobiológica* 8(2): 81-88. UAM- Iztapalapa, México.
- U.S. Department of the Navy (Naval Oceanography), U.S. Det of Commerce (Weather Bureau). 1963. *Atlas of Pilot Charts, Central America Water*. Washinton D.C.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V., Morales R., Pérez Molero J.M. y Zambrano L. 1986a. Análisis de la campaña oceanografica Argos 84-1. Informe IIE/13/1926/I 02/P. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México, 136 pp.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V., Morales R. y Pérez Molero J.M. 1986b. Hydrographic evidence for the collision of a Loop Current Ring in the western Gulf of México (Resumen). *Eos Trans. American Geophysical Union*, 67(44):1,049.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V y Hernández O.A.F. 1990. *Atlas Oceanográfico del Golfo de México, Volumen III*; Instituto de Investigaciones Eléctricas. Grupo de Estudios Oceanográficos, Cuernavaca, Morelos.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V, Hernández .A.F, Meza E. Y Zambrano L. 1994. Winter water mass distributions in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring. *Journal of Oceanography* 50: 55. S Imawaki. Oceanographic Society of Japan, Tokio.
- Vidal Lorandi F.V., Vidal Lorandi V.M.V., Rodríguez Espinosa P.F., Zambrano Salgado L., Portilla Casillas J., Rendón Villalobos R. y Jaimes de la Cruz B. 1999. Circulación del Golfo de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 49:1-15. Instituto Mexicano de Recursos, Naturales Renovables, México.
- Walsh J.L, Dieterle D.A., Meyer M.B y Müller-Karger. 1989. Nitrogen exchange at the continental margin: A numerical study of the Gulf of México. *Progress in Oceanography* 23, 248-301. Charles B. Miller, Detlef R. Quadfasel. United Kingdom (G.B).
- Worthington L.V. 1959. The 18 °C water in the Sargasso Sea. *Deep Sea Research.*, 5:297-305. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- Wüst G. 1963. On the stratification and the circulation in the cold water sphere of the Antillean-Caribbean basins. *Deep Sea Research* 10:165-187. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- 1964. *Stratification and the Circulation in the Antillean-Caribbean Basins. Part 1*. Columbia University Press.
- Zettler B.D y Hansen D.V. 1972. Tides in the Gulf of Mexico. En: *Contribution on the Physical Oceanography of Gulf of Mexico*, L.R.A. Capurro y J.L. Reid (eds.). G. Gulf Publ. Co., Houston, Texas.

Segunda parte
LA BIOTA DEL GOLFO DE MÉXICO

MAMÍFEROS MARINOS DEL GOLFO DE MÉXICO:
ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO Y RECOMENDACIONES
PARA SU CONSERVACIÓN

Joel G. Ortega-Ortiz, Alberto Delgado-Estrella y
Alejandro Ortega-Argueta

INTRODUCCIÓN

Dentro del grupo conocido como “mamíferos marinos” se ha incluido a los vertebrados de la clase Mammalia que pasan la mayor parte de su vida y obtienen su alimento principalmente en el medio acuático, ya sea marino o dulceacuícola. Este grupo no es una categoría taxonómica propia, sino un conjunto de especies de mamíferos de tres órdenes: Carnivora (focas, lobos marinos y morsas, conocidos como pinnípedos), Sirenia (manatíes y dugongos) y Cetacea (ballenas, delfines y marsopas). En el Golfo de México se ha registrado la presencia de 30 especies de mamíferos marinos: una especie de carnívoro, una especie de sirenio y 28 especies de cetáceos (Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000).

La única especie de pinnípedo que habitó el Golfo en la edad contemporánea, la foca monje del Caribe (*Monachus tropicalis*), se extinguió a mediados del siglo pasado debido a la cacería por parte de los habitantes de la región (Villa-R. *et al.* 1985, LeBoeuf *et al.* 1986). El manatí de las Antillas (*Trichechus manatus*) es la única especie de sirenio en la región. En cuanto a los cetáceos, las especies del suborden Odontoceti (delfines y ballenas con dientes) que se han registrado en el Golfo de México son: cachalote (*Physeter macrocephalus*), cachalote pigmeo (*Kogia breviceps*), cachalote enano (*K. sima*), calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*), calderón

pigmeo (*Peponocephala electra*), delfín de Fraser (*Lagenodelphis hosei*), delfín de Risso (*Grampus griseus*), delfín Clymene (*Stenella clymene*), delfín listado (*S. coeruleoalba*), delfín moteado del Atlántico (*S. frontalis*), delfín moteado pantropical (*S. attenuata*), delfín tornillo (*S. longirostris*), delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*), orca (*Orcinus orca*), orca falsa (*Pseudorca crassidens*), orca pigmea (*Feresa attenuata*), tonina (*Tursiops truncatus*), ballena picuda de las Antillas (*Mesoplodon europaeus*), ballena picuda de Blainville (*M. densirostris*), ballena picuda de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) y ballena picuda de Sowerby (*M. bidens*). Del suborden Mysticeti, que incluye a las ballenas con barbas, se ha documentado la presencia en el golfo de la ballena franca del norte (*Eubalaena glacialis*), ballena azul (*Balaenoptera musculus*), rorcual común (*B. physalus*), rorcual tropical (*B. edeni*), rorcual del norte (*B. borealis*), ballena minke (*B. acutorostrata*) y ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) (Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000).

DISTRIBUCIÓN

DISTRIBUCIÓN DEL MANATÍ EN EL GOLFO DE MÉXICO

El manatí (*Trichechus manatus*) habita aguas someras en zonas marinas, estuarios, lagunas, ríos y canales. Puede vivir tanto en cuerpos de agua dulce como salada. Cuando vive en ambientes marinos necesita fuentes cercanas de agua dulce para beber, como pueden ser manantiales y desembocaduras de ríos. Los manatíes pueden realizar desplazamientos de varios cientos de kilómetros, movimientos que pueden estar influenciados por cambios estacionales en los niveles de inundación de los cuerpos de agua, por los cambios de salinidad y temperatura de los estuarios, por alteraciones en la disponibilidad de alimento y por el comportamiento reproductivo (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Reynolds y Odell 1991). Forzados por estos factores los manatíes pueden desplazarse de ambientes ribereños hacia la costa y viceversa. De esta forma se piensa que las poblaciones en el Golfo de México pueden moverse a través de los diferentes estados utilizando la línea costera o los sistemas palustres.

Existen dos subespecies de manatí en el Golfo de México, la de Florida (*T. m. latirostris*) y la del Caribe (*T. m. manatus*) (Rice 1998). El manatí de Florida habita durante todo el año las costas, bahías y ríos de ese estado al sur de Crystal River. En el verano algunos individuos se desplazan al norte

hacia Georgia, y al oeste hacia Luisiana. La distribución histórica del manatí del Caribe dentro del Golfo de México se extendía desde Tamaulipas hasta Yucatán (Lefebvre *et al.* 2001). Sin embargo, la sobreexplotación para el consumo de su carne y la pérdida de hábitat por el desarrollo costero fragmentaron la distribución de esta subespecie. Con base en el tamaño poblacional, los núcleos principales de población de manatíes que actualmente existen en México se pueden ordenar de la siguiente manera: una población pequeña y dispersa que habita en varios ríos de Veracruz; una segunda población en la costa de Quintana Roo, principalmente en la parte sur, y una tercera población, y la más significativa, que habita en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.

DISTRIBUCIÓN DE LOS CETÁCEOS EN EL GOLFO DE MÉXICO

La distribución espacial y temporal de los cetáceos es influenciada por las características fisiográficas y oceanográficas del medio, distribución de presas, distribución de depredadores y disponibilidad de áreas adecuadas para el apareamiento y la crianza. En el Golfo de México, la profundidad es la variable ambiental con mayor influencia en la distribución de los cetáceos. Se han observado diferencias significativas en la profundidad de las regiones en las que habitan las diferentes especies (Davis *et al.* 1998, Baumgartner *et al.* 2001, Davis *et al.* 2002, Ortega-Ortiz 2002). La mayoría de las especies habitan aguas oceánicas con profundidad mayor a 200 m. Sólo tres especies habitan normalmente la región nerítica sobre la plataforma continental: la tonina, el delfín moteado del Atlántico y el delfín de dientes rugosos (Delgado-Estrella 1994, Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000, Ortega-Ortiz 2002, Fulling *et al.* 2003). Existen registros del delfín tornillo en la parte norte de la plataforma de Yucatán (Jefferson 1995, Ortega-Ortiz 2002); sin embargo, esa especie es generalmente oceánica y su ocurrencia cerca de la costa puede estar asociada a procesos de afloramiento de nutrientes en localidades específicas (como el descrito por Merino 1997).

La tonina es el único cetáceo que habita lagunas costeras, desembocadura de ríos, zona litoral, nerítica y oceánica del Golfo de México. Evidencias morfológicas y genéticas sugieren la existencia de dos ecotipos o poblaciones parapátricas de toninas, una costera y otra nerítica-oceánica (Hersh y Duffield 1990, Mead y Potter 1995, Hoelzel *et al.* 1998, Torres *et al.* 2003). Aunque no existe una delimitación detallada del área de distribución de los dos ecotipos de toninas, un estudio en la costa del Atlántico de los Estados Unidos de Amé-

rica mostró que todas las toninas observadas hasta una distancia de 7.5 km de la costa pertenecían al ecotipo costero, mientras que todas las toninas observadas a más de 34 km de la costa pertenecían al ecotipo nerítico-oceánico (Torres *et al.* 2003). Las toninas costeras se encuentran con mayor frecuencia dentro de las lagunas costeras y cerca de la desembocadura de los ríos. Incluso dentro de las lagunas costeras se ha observado que las toninas usan con mayor frecuencia ciertas zonas para alimentación y otras para crianza (Delgado-Estrella 2002). En el norte del Golfo, las toninas del ecotipo nerítico-oceánico se han observado en dos regiones diferentes: sobre la plataforma continental hasta una profundidad de 150 m y sobre el talud, muy cerca del margen continental. En ambas regiones las toninas se observaron con mayor frecuencia en áreas con alta variabilidad de temperatura y salinidad, lo que sugiere que su distribución está asociada a frentes de masas de agua (Baumgartner *et al.* 2001). El delfín moteado del Atlántico se encuentra generalmente en aguas con profundidad entre 20 y 200 m. Se le ha llegado a observar en aguas oceánicas pero cerca del margen continental (Mullin y Hansen 1999). Griffin y Griffin (2003) compararon la distribución de las toninas y los delfines moteados del Atlántico en un área con profundidad < 20 m de la costa oeste de Florida. Dichos autores observaron que el delfín manchado del Atlántico ocurre en localidades más profundas, con mayor salinidad y menos turbias que aquellas donde se observaron las toninas.

Los cetáceos oceánicos del Golfo de México se encuentran con mayor frecuencia en el talud continental y en áreas con mayor concentración de clorofila, como son los remolinos ciclónicos y la confluencia entre pares de remolinos anticiclónico -ciclónico (Biggs *et al.* 2000, Baumgartner *et al.* 2001, Davis *et al.* 2002, Ortega-Ortiz 2002). Además de las toninas, las especies que se observan con mayor frecuencia en la parte alta del talud, cerca del margen continental y en profundidades entre 200 y 750 m, son el delfín de Risso y el calderón de aletas cortas. También en la parte alta del talud (profundidad entre 200 y 1,000 m), pero no necesariamente cerca del margen continental, se observan con mayor frecuencia el cachalote, cachalote pigmeo, cachalote enano, delfín de dientes rugosos y delfín tornillo. En la parte baja del talud continental (profundidad > 1,000 m) se encuentran el delfín listado, ballenas picudas, delfín moteado pantropical y delfín de Clymene (Davis *et al.* 1998, Baumgartner *et al.* 2001, Davis *et al.* 2002). Existe poca información publicada acerca de la distribución de cetáceos en la región profunda (> 2,000 m) del Golfo de México.

Las ballenas con barbas son raras en el Golfo de México. Con excepción

del rorcual tropical, los registros de misticetos quizá corresponden a individuos que perdieron el rumbo durante la migración entre el Atlántico norte y el mar Caribe (Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000). El rorcual tropical ha sido registrado en todas las estaciones del año dentro del Golfo de México. La mayoría de los avistamientos de rorcual tropical ocurrieron sobre la plataforma, muy cerca del margen continental. Es posible que el Golfo sea una porción del área de distribución de una población pequeña y dispersa de esta especie (Jefferson y Schiro 1997).

ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES

Con excepción de la ballena picuda de Sowerby, todas las especies de mamíferos marinos del Golfo de México están incluidas en la lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (D.O.F. 2002). En dicha norma, la foca monje se considera probablemente extinta en el medio silvestre, la ballena franca del norte y el manatí se consideran en peligro de extinción y el resto de las especies están sujetas a protección especial.

ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES DEL MANATÍ

Existe poca información sobre el estatus actual de las poblaciones del manatí en el sur del Golfo de México. Lo anterior se debe en parte a la dificultad de estudiar a la especie en vida libre. Hace 27 años se estimó que en México podrían existir 5,000 manatíes (Heinsohn 1976); sin embargo, la cacería y la pérdida del hábitat continúan, por lo que es muy probable que la población haya disminuido considerablemente desde entonces. Los únicos conteos sistemáticos para evaluar la tendencia poblacional de manatíes en México se han realizado en la zona sur de Quintana Roo (Morales V. y Olivera G. 1994, Morales-Vela 2000). Estos conteos han sido favorecidos por la facilidad de observar a los animales en las aguas transparentes del mar Caribe, condición que no se presenta en la mayoría de los cuerpos de agua del Golfo de México.

Para ayudar a la conservación del manatí en México, el gobierno federal decretó una veda permanente desde 1921. Actualmente, además de estar incluido en la lista de especies en peligro de extinción de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (D.O.F. 2002), el manatí de las Antillas se encuentra en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como especie amenazada, en el Apéndice I de las especies en peligro de la Convención Internacional para el comercio de especies

amenazadas (CITES) y en la lista de especies amenazadas del acta de especies protegidas de los Estados Unidos (U. S. Fish and Wildlife Service 1999). A continuación se describe la situación del manatí en cada uno de los estados del sur del Golfo de México.

Tamaulipas

Los estados de Tamaulipas en México y Texas en Estados Unidos son considerados como la zona límite de distribución entre las dos subespecies de manatíes, la de Florida y la del Caribe (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Lefebvre *et al.* 2001). También se piensa que pueda ser una zona donde coincidan espacialmente las dos subespecies; sin embargo, la falta de estudios genéticos y de marcaje y seguimiento con animales de esta región ha imposibilitado aclarar estas suposiciones. Tamaulipas es de los estados con menor información acerca de la especie. Se han observado manatíes muy esporádicamente en la costa norte, cerca del límite con Texas. Se piensa que estos animales no son residentes, si no más bien que provienen del sur de Tamaulipas. Existen también informes del hallazgo de huesos de manatí en el río Soto La Marina (Lazcano-Barrero y Packard 1989), pero no ha sido común observarlos recientemente en esa zona. Registros más actuales indican que todavía habita una población pequeña en el río Pánuco y el sistema lagunar El Chairel-Champayán (Ortega-Argueta observ. pers.).

Veracruz

Existe información de que el manatí es abundante en la parte sur del estado de Veracruz, mientras que en la región norte de ese estado se desconoce su situación por falta de estudios. Se le reporta para los ríos Nautla y Tecolutla, el sistema lagunar de Alvarado, y los ríos Papaloapan, Calzadas, Coatzacoalcos y Tonalá (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Ortega-Argueta 1999). Ocupa principalmente hábitats estuarinos y palustres, aunque se les ha observado en la zona marina de Alvarado. Se estima que actualmente puede haber 250 animales en todo el estado (Ortega-Argueta, observ. pers.). Existen esfuerzos locales de conservación desarrollados por un grupo interinstitucional que lleva a cabo labores de rescate de animales huérfanos y enmallados, rehabilitación de manatíes en cautiverio y una campaña permanente de educación (Portilla Ochoa *et al.* 1999, Ortega-Argueta 2000). Actualmente se mantienen seis manatíes en cautiverio en el acuario de Veracruz que están

en proceso de rehabilitación.

Tabasco

Tabasco posee áreas extensas de humedales que son hábitats favorables para el manatí. Por ello, es probable que en este estado se encuentre actualmente la mayor población de manatíes de México. El manatí se encuentra principalmente en los humedales interiores, en la zona de Pantanos de Centla y en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta (Colmenero R. 1986, Colmenero R. y Hoz Z. 1986). Los cuerpos de agua con mayor abundancia de manatíes son: Barra de Chiltepec, ríos González y Grijalva y arroyo Tabasquillo en la parte norte; y los ríos y lagunas San Antonio, San Pedrito, Chashchoc, Chacamax, Chablé y Usumacinta en la parte centro y sur (Arriaga Weiss y Contreras Sánchez 1993). Existen aproximadamente siete manatíes en cautiverio en el parque estatal Yumká y el centro de convivencia infantil de Jonuta, y un número indeterminado de manatíes en semicautiverio en la laguna de las Ilusiones y en la reserva comunitaria Camellones Chontales.

Chiapas

Aunque el estado de Chiapas no tiene vertiente al Golfo de México, existe en su parte norte una población importante de manatíes que se trasladan entre lagunas y ríos tributarios del río Usumacinta. Por esto puede considerarse como la misma población de Tabasco. Un grupo residente de manatíes se encuentra en la laguna de Catazajá donde viven semiaislados por la construcción de un sistema de diques (Chanona Hernández 1997). Con el desbordamiento de esta laguna durante la época de lluvias algunos manatíes se trasladan a las lagunas adyacentes como la de San Juan. Sin embargo, también se ha reportado el varamiento de animales por el desecamiento de algunas lagunas durante la época de estiaje (Morales Vela y Olivera Gómez 1996).

Campeche

La región de mayor distribución en el estado es la Laguna de Términos y los sistemas fluviolagunares asociados como río Palizada-Laguna del Este, río del Este-Laguna Atasta, ríos Chumpam-Balchacah, y río Candelaria (Colmenero R. y Hoz Z. 1986). A través del río Palizada los manatíes pueden comunicarse con el sistema palustre de Tabasco. Se encuentran en ambien-

tes marinos, estuarinos y ribereños, y realizan movimientos entre los diferentes hábitats influenciados por los cambios en el nivel del agua entre las estaciones de lluvias y secas (Pérez-Cortés Moreno 1985). En la porción norte del estado los manatíes son muy escasos por la falta de hábitats. Es posible que algunos emigrantes recorran el borde costero hasta el norte de Yucatán.

Yucatán

Las observaciones de manatí en Yucatán han sido muy raras en los últimos 15 años. Se han obtenido algunos registros esporádicos en la costa norte, en la zona de petenes alrededor de Celestún, Ría Lagartos y Puerto Progreso (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Morales-Vela *et al.* 2003). Aunque la costa de Yucatán carece de ríos, proporciona hábitats marinos con vegetación acuática sumergida y aportes de agua dulce proveniente de manantiales. Se piensa que no hay una población residente en el estado, y que los escasos manatíes observados en la costa norte pueden ser emigrantes que se desplazan desde la parte sur de Campeche y Quintana Roo (Morales-Vela *et al.* 2003).

Quintana Roo

El manatí fue común en la laguna Yalahau y la desembocadura del río Yalkini, al sureste de la isla Holbox, donde vivía en ambientes marinos y estuarinos (Colmenero R. y Hoz Z. 1986). Actualmente en esta zona sólo se le observa de manera ocasional. Morales-Vela *et al.* (2003) mencionan que los manatíes dejaron de ser comunes en la isla Holbox después del huracán Gilberto en 1988.

ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES DE CETÁCEOS

En los últimos diez años, el Servicio de Pesquerías de los Estados Unidos de América (National Marine Fisheries Service) y la Universidad de Texas A&M han realizado investigaciones sobre la distribución y abundancia de cetáceos en la zona económica exclusiva de ese país en el Golfo de México. En contraste, con excepción de algunos estudios sobre poblaciones costeras de delfines (Delgado-Estrella 1991, Heckel Dziendzielewski 1992, Delgado-Estrella 1994, Lechuga Medina 1996, Escatel Luna 1997, López Hernández 1997, Delgado-Estrella 2002) y algunos cruceros de oportunidad (Ortega-Ortiz 2002), no existe información en la literatura científica acerca de la distribu-

ción y abundancia de cetáceos en el sur del Golfo de México. A continuación se describe, de manera general, la abundancia de cetáceos en la zona económica exclusiva de los Estados Unidos y posteriormente se hace un recuento de las investigaciones de toninas en el sur del Golfo de México. Se puede encontrar más detalle sobre dichas estimaciones consultando las referencias originales (Davis *et al.* 2000, Waring *et al.* 2001, Delgado-Estrella 2002, Waring *et al.* 2002).

Las estimaciones de abundancia mínima para las diferentes unidades de manejo o *stocks* de toninas en el norte del Golfo de México son: 3,933 toninas en bahías, sondas o esteros, 2,938 toninas costeras en el noroeste del Golfo (desde el río Bravo hasta el río Misisipí), 3,518 toninas costeras en el centro-norte del Golfo (desde río Misisipí hasta el meridiano 84° W), 8,963 toninas costeras del noreste del Golfo (desde el meridiano 84° W hasta Cayo Hueso, Florida) y 25,320 toninas neríticas. (Waring *et al.* 2001, 2002, Fulling *et al.* 2003). Las estimaciones de abundancia mínima para las otras dos especies que habitan la plataforma continental, el delfín moteado del Atlántico y el delfín de dientes rugosos, son 30,772 y 1,238 individuos, respectivamente (Fulling *et al.* 2003).

En la región oceánica, los delfines moteados pantropicales son la especie más abundante con estimaciones mínimas de 26,510 individuos, seguida por las toninas (4,530), delfines tornillo (4,465), delfín de Clymene (4,120), delfín listado (3,409), calderón pigmeo (2,888), delfín de Risso (2,199), delfín de dientes rugosos (660), cachalote (411), orca pigmea (285), orca falsa (236), orca (197), calderón de aletas cortas (186), delfín de Fraser (66), ballena picuda de Cuvier (20) y rorcual tropical (17). No contamos con cálculos acerca de la abundancia para el resto de las especies de cetáceos registradas en el Golfo.

Las estimaciones de abundancia de cetáceos en el sur del Golfo de México provienen principalmente de estudios de fotoidentificación de toninas. A diferencia de las estimaciones de abundancia mínima presentadas anteriormente, las cuales utilizan el método de transectos lineales con muestreos de distancia (Buckland *et al.* 1993, Buckland y York 2002) en grandes regiones del norte del Golfo, los estudios de fotoidentificación utilizan el análisis de captura-recaptura (Hammond *et al.* 1990, Ortega-Ortiz, J. G. 2000, Buckland y York 2002) para determinar el tamaño poblacional en localidades específicas. Los tamaños poblacionales estimados son: Boca de Corazonnes, Veracruz, 58 individuos (Heckel Dziendzielewski 1992); Laguna de Términos, Campeche, 1,400 (Delgado-Estrella 2002); Laguna de Yalahau y costa

de Holbox, Quintana Roo, 500 (Delgado-Estrella 1996). En la costa de Tabasco la población fluctúa entre 300 y 573 individuos dependiendo de la temporada del año (López Hernández 1997).

FACTORES DE RIESGO PARA LAS POBLACIONES DE MAMÍFEROS MARINOS DEL GOLFO DE MÉXICO

CAPTURA INTENCIONAL

De manera utilitaria, el manatí es muy apreciado por su carne, grasa y piel. La caza, que data desde tiempos prehispánicos (McKillop 1985), ha contribuido significativamente a la disminución de las poblaciones de la especie. A pesar de que está prohibida por la ley, la captura del manatí aún persiste en varias localidades. En los últimos 10 años se ha reportado la caza y venta de carne de manatí en algunas comunidades cercanas a Ciudad del Carmen y el río Palizada en Campeche (Morales-Vela *et al.* 2003), así como en la laguna de Alvarado, Veracruz (Ortega-Argueta 1999). En Tabasco y Yucatán también persiste la tradición de la caza de manatí, aunque ha disminuido la incidencia de capturas en tiempos recientes.

La captura de toninas para usarlas como carnada en palangre de tiburón fue una práctica común en el Golfo de México hasta 1974 (Kasuga 1968, International Whaling Commission 1980). A pesar de que dicha práctica fue prohibida desde por lo menos 1980 (International Whaling Commission 1980), existen registros posteriores a esa fecha de capturas de toninas y delfines moteados del Atlántico en Campeche y Veracruz (Hugentobler y Gallo 1985, Gallo-Reynoso 1986, Ortega-Argueta *et al.* 1999). Gallo-Reynoso y Pimienta (1989) observaron huellas de “faenado” (destazado con machete) en un cráneo de ballena picuda de las Antillas encontrado en isla Aguada, Campeche. Aunque no se comprobó si dicho animal fue capturado o se varó, si resultó evidente que sus restos fueron aprovechados probablemente como carnada.

Durante más de treinta años se llevó a cabo la captura de toninas en México para proveer ejemplares a delfinarios. Leatherwood y Reeves (1982) mencionan que de 1961 a 1972 se capturaron en México entre 40 y 60 toninas y de 1973 a 1977, entre 18 y 25. En 1977 se capturaron entre cinco y ocho toninas para enviarlas a Inglaterra y en 1978 se enviaron 12 toninas a Suiza y Alemania (International Whaling Commission 1980). Un informe de la Comisión Ballenera Internacional indica que en México se habían capturado 58 toninas

hasta 1984 (International Whaling Commission 1984). Los reportes mencionados anteriormente no especifican las localidades de captura por lo que no se puede determinar cuántas de esas toninas fueron extraídas del Golfo de México. La primera captura confirmada para esta región se realizó alrededor de 1975 en Laguna de Términos, Campeche (Pérez-Cortés Moreno 2002). A partir de 1996 los informes que el gobierno de México entrega a la Comisión Ballenera Internacional incluyen información acerca de capturas de cetáceos, en donde se mencionan las siguientes capturas de toninas del Golfo de México para destinarlas al cautiverio: 12 individuos en 1995, cuatro en 1998 y 15 en 2000 (International Whaling Commission 1997, 2003). Debido a que los registros de capturas de delfines en México no son completos, es necesario elaborar y publicar un informe que contenga datos precisos acerca del número total de ejemplares que han sido capturados, así como sexo, edad, localidad y fecha de captura y destino.

Hasta 2001, las capturas de toninas se llevaron a cabo sin un reglamento específico y se autorizaban mediante un esquema de permisos y cuotas. En cada permiso de captura se establecían condicionantes y restricciones. En algunos casos se comprometía formalmente al solicitante del permiso a que realizara estudios poblacionales durante al menos un ciclo anual, pero fue hasta 1991 cuando se realizaron los primeros estudios para sustentar permisos de captura (Pérez-Cortés Moreno 2002). Desafortunadamente, los estudios abarcaron periodos de tiempo muy breves, no dieron seguimiento a las poblaciones después de que se extrajeron las toninas y no se publicaron. Por lo anterior, resulta difícil determinar qué consecuencias tuvieron las capturas en las poblaciones de toninas del sur del Golfo de México.

La captura de mamíferos marinos está contemplada actualmente en diversas normas administrativas y penales de la legislación mexicana. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las especies de mamíferos marinos del Golfo de México está protegida por la legislación vigente. El Código Penal Federal (artículo 420, fracción primera) impone una pena de uno a nueve años de prisión y el equivalente de salario mínimo de trescientos a tres mil días multa a quien ilícitamente capture, dañe o prive de la vida a algún mamífero marino, o recolecte o almacene de cualquier forma sus productos o subproductos. En 2001 se publicó la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-135-SEMARNAT-2001 (D.O.F. 2001) para regular la captura, transporte, exhibición, manejo y manutención de mamíferos marinos en cautiverio (D.O.F. 2001). El 10 de enero de 2002 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* el decreto por el que se reforma la Ley General de Vida

Silvestre y se prohíbe la captura de todas las especies de mamíferos marinos en México, ya sea con fines comerciales o de subsistencia, con excepción de aquella que tenga por objeto la investigación científica y la educación superior de instituciones acreditadas (D.O.F. 2002b).

CAPTURA INCIDENTAL E INTERACCIÓN CON PESQUERÍAS

Se han descrito varios casos de enmalle y muerte de manatíes en Alvarado, Veracruz y Catazajá, Chiapas (Ortega-Argueta 1999, Morales Solís 2001). Estos incidentes han generado conflictos entre pescadores y autoridades ambientales debido a que las redes agalleras en las que se enmallaron los manatíes están prohibidas. En Tabasco se reportan ocasionalmente algunos manatíes enmallados o golpeados por lanchas en las zonas con alta incidencia de pesca.

Los cetáceos también son objeto de captura incidental en diferentes artes de pesca utilizadas en el Golfo de México (Gallo-Reynoso 1986, Delgado-Estrella 1997, Ortega-Argueta *et al.* 1999, Patiño Valencia *et al.* 2000, Waring *et al.* 2002). Las artes de pesca en las que ocurren capturas incidentales y las especies involucradas son: redes agalleras (toninas, delfín moteado del Atlántico, delfín moteado pantropical), redes de arrastre (toninas), palangre (delfín de Risso, calderón de aletas cortas, calderón pigmeo) y trampas para cangrejo o langosta (toninas). En ocasiones los pescadores atacan a los cetáceos para evitar que se alimenten de los peces que han capturado y para que no dañen sus artes de pesca. Un ejemplo de ese tipo de interacción se da cuando los calderones de aletas cortas roban el atún de los palangres (Patiño Valencia *et al.* 2000). Los pescadores llegan a disparar con armas de fuego a los calderones para alejarlos del palangre. Algunos pescadores de camarón consideran que las toninas destruyen las redes y por esa razón les disparan cuando se acercan a sus embarcaciones (Delgado-Estrella 1997).

PÉRDIDA DEL HÁBITAT

El manatí y las toninas costeras han visto disminuir el hábitat disponible en algunas localidades del sur del Golfo de México debido a la construcción de estructuras para exploración, extracción y transporte de hidrocarburos, así como estructuras asociadas a la navegación. En otros lugares la disminución del hábitat se debe a actividades de agricultura y ganadería extensiva. Ejemplos de esas dos situaciones se presentan, respectivamente, en los humedales

de Tabasco y la costa central de Veracruz. A nivel de especie, el problema no es tan crítico para las toninas puesto que su área de distribución es extensa y los individuos tienen la posibilidad de desplazarse hacia áreas menos perturbadas. Aunque es posible que las toninas abandonen algunas localidades, la especie en su conjunto no está amenazada. En contraste, las poblaciones de manatíes en el sur del Golfo son pequeñas, fragmentadas y tienen una distribución reducida, por lo que la pérdida del hábitat es una grave amenaza para esa especie. Como ejemplo de esto, en un estudio del hábitat del manatí en Alvarado, Veracruz se estimó que de la superficie total del sistema lagunar, el 57% corresponde a tierras destinadas a la agricultura y ganadería extensiva, actividades que han modificado significativamente la superficie de humedales naturales (Ortega-Argueta 2002).

La conservación del manatí depende en gran medida de la reproducción exitosa en las áreas naturales de distribución. Los manatíes tienen un periodo de lactancia de aproximadamente dos años, alcanzan su madurez sexual de los tres a los cinco años, tienen un periodo de gestación de 12-14 meses y paren una sola cría en intervalos de tres a cinco años (Reynolds y Odell 1991, Bossart 2001). Debido a la baja tasa reproductiva y los altos costos de mantenimiento, los programas de repoblamiento basados en la reproducción de manatíes en cautiverio son una estrategia poco viable (Bossart 1999). Por esta razón, un programa más adecuado para la conservación de manatí debe incluir la instauración de redes de áreas naturales protegidas. Los santuarios del manatí que ya existen en la Bahía de Chetumal y la Laguna de Catazajá son un buen ejemplo. En cada uno de los estados del Golfo se han identificado áreas de humedales en buen estado de conservación. Como medida de manejo se debe buscar la conexión de estas áreas con hábitats importantes para el manatí, mediante la designación de nuevas áreas naturales protegidas para formar un corredor ecológico.

El cambio climático global es otro factor que debe considerarse al evaluar la pérdida del hábitat, particularmente para los mamíferos marinos que habitan la región costera (Würsig *et al.* 2002). Las consecuencias del cambio climático global pueden acelerar la pérdida del hábitat debido al aumento en el nivel del mar, cambios en la línea de costa y en la magnitud de las descargas fluviales. Además, los efectos secundarios del cambio global podrían alterar también las condiciones del hábitat que lo hacen favorable a los mamíferos marinos. Por ejemplo, si se presentan cambios en los patrones de corrientes, productividad primaria y marea roja, una localidad puede dejar de ser un hábitat adecuado para los mamíferos marinos (Würsig *et*

al. 2002).

CONTAMINACIÓN

Los mamíferos marinos son propensos a la bioacumulación y biomagnificación de contaminantes debido a que son animales longevos que se encuentran en los niveles superiores de la trama trófica (Kannan *et al.* 1997). En la capa de grasa subcutánea, que sirve para la termorregulación en estos animales, se pueden acumular grandes cantidades de contaminantes con afinidad por los lípidos (Mössner y Ballschmiter 1997). Además, los contaminantes acumulados en el tejido adiposo son transferidos a las crías durante la lactancia. Por esas características, los mamíferos marinos han sido propuestos como especies indicadoras para analizar la exposición prolongada a dosis bajas de contaminantes en el medio marino (Mössner y Ballschmiter 1997). A pesar de lo anterior, existen pocos estudios que analicen la concentración de contaminantes en los mamíferos marinos del Golfo de México. La presencia de compuestos organoclorados (PCB y DDE) fue registrada en tejidos de toninas costeras del norte del Golfo de México (Kuehl y Haebler 1995, Salata *et al.* 1995). Aunque no se estableció una relación de causa y efecto entre la presencia de dichos contaminantes y la muerte de las toninas (Colbert *et al.* 1999), se observó una correlación entre la concentración de los contaminantes y la reducción en la respuesta inmune de los organismos (Lahvis *et al.* 1995).

La presencia de gran número de instalaciones de extracción, transporte y refinación de hidrocarburos en la plataforma continental, la zona costera y los humedales del Golfo de México representa un riesgo potencial de contaminación para las especies que habitan la región. Por esta razón, es necesario evaluar y dar seguimiento a la concentración de contaminantes en las poblaciones de mamíferos marinos.

Otra fuente de contaminación que puede tener efectos negativos en las poblaciones costeras de mamíferos marinos es la descarga de aguas residuales. Los compuestos tóxicos, microorganismos patógenos e incluso los fármacos contenidos en esas descargas pueden afectar a los mamíferos marinos. Por ejemplo, Miller *et al.* (2002) observaron que la ocurrencia de toxoplasmosis en nutrias de la costa del sur de California está relacionada con descargas de agua contaminadas con heces de gato. Las infecciones de toxoplasmosis en cetáceos también pueden estar relacionadas a descargas de aguas contaminadas con ese microorganismo (Resendes *et al.* 2002).

TRÁFICO MARÍTIMO

La colisión con embarcaciones es la principal causa de mortalidad del manatí de la Florida. De hecho, se han observado diferencias significativas en la probabilidad de supervivencia de manatíes entre áreas donde la navegación es restringida y áreas con tráfico intenso de embarcaciones (Langtimm *et al.* 1998). Debido a que la distribución de manatí en el sur del Golfo de México se restringe generalmente a localidades remotas donde el tráfico de embarcaciones no es muy intenso, este factor no es un problema muy serio en la actualidad. Sin embargo, en el caso de que el tráfico de embarcaciones se incremente en las áreas de distribución de manatí, es muy probable que la colisión de manatíes y embarcaciones se convierta en un problema que limite la colonización de algunas áreas y afecte la recuperación de la especie.

La colisión con buques es una causa frecuente de mortalidad de ballenas. Un estudio realizado por Laist *et al.* (2001) indica que las colisiones se presentan con embarcaciones de cualquier tipo y tamaño, pero los encuentros de resultados fatales para las ballenas ocurren con buques de al menos 80 m de eslora que se desplazan a velocidades de más de 25.9 km/h (14 nudos). Las muertes causadas por colisiones con buques pueden afectar de manera significativa a poblaciones pequeñas de estos cetáceos. En el caso de la ballena franca en el Atlántico norte, más de la tercera parte de los casos de mortalidad documentados se deben a colisiones con barcos (Laist *et al.* 2001). El incremento del transporte en los puertos del sur del Golfo de México podría ocasionar un aumento en el tráfico de embarcaciones mayores en áreas con elevada densidad de cetáceos. Por lo anterior, es conveniente realizar un seguimiento de la incidencia de las colisiones entre embarcaciones y ballenas que permita detectar y prevenir posibles riesgos para las poblaciones de esos cetáceos.

EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS

Otros dos casos de actividades humanas que pueden tener un efecto negativo sobre las poblaciones de mamíferos marinos del Golfo de México son la exploración geológica y la demolición o remoción de estructuras por medio de explosivos. Ambas actividades se asocian con la explotación de yacimientos de hidrocarburos en los fondos marinos. La exploración ecográfica de dicho fondo se hace a través de ondas de baja frecuencia generadas por

medio de explosiones. En un principio se usaba dinamita para generar las ondas pero actualmente se utilizan émbolos o “pistolas” de aire comprimido. Las ondas generadas por la explosión viajan a través de la columna de agua, penetran en el fondo del mar y se reflejan hacia la superficie de manera diferencial, dependiendo de las discontinuidades presentes en los sedimentos. Los ecos son registrados en la superficie por una serie de hidrófonos y posteriormente se analizan para determinar la estructura de los sedimentos y la presencia de probables yacimientos. Las explosiones utilizadas por este tipo de exploración geológica producen sonidos de gran intensidad que pueden tener efectos nocivos en los mamíferos marinos y en sus presas (Richardson *et al.* 1990, Engås *et al.* 1996, Goold y Fish 1998). A pesar de que la exploración geológica ha sido muy frecuente en el Golfo de México, no se han realizado estudios para determinar los efectos que pueda tener sobre las poblaciones de mamíferos marinos.

La remoción o demolición de plataformas petroleras marinas frecuentemente se lleva a cabo utilizando explosivos. La onda expansiva puede causar la muerte de mamíferos marinos que se encuentren cerca en el momento de la explosión (Klima *et al.* 1988). En la zona económica exclusiva de los Estados Unidos de América, la industria está obligada a evitar la mortalidad de mamíferos y tortugas marinas durante la demolición de estructuras. Para ello se colocan observadores que se encargan de detener la operación cuando existan mamíferos o tortugas marinas cerca del sitio de demolición. Es conveniente instaurar un programa similar en el sur del Golfo de México.

ECOTURISMO

La observación de mamíferos marinos en su ambiente natural se ha vuelto muy popular. Aunque en México este tipo de actividades se ha enfocado a la observación de ballenas en la costa del Pacífico y Golfo de California, es muy probable que pronto surja el interés en desarrollar actividades de observación de delfines o manatíes en la costa del Golfo de México. El ecoturismo puede ofrecer alternativas de desarrollo para algunas comunidades costeras del sur del Golfo, pero es necesario que se tomen precauciones y se regulen las actividades para asegurar su sustentabilidad (Young 1999, Heckel *et al.* 2003). Si no se lleva a cabo de una manera adecuada, la observación de mamíferos marinos pueden tener efectos negativos en las poblaciones involucradas (Janik y Thompson 1996, Constantine 2001, Heckel *et al.* 2003). La Norma Oficial Mexicana NOM-131-ECOL-1998 (D.O.F. 2000) que regula

esta actividad en México, se refiere solamente a la observación de ballenas y no incluye otras especies que podrían ser objeto de ecoturismo en el Golfo de México. Es necesario incluir en la normatividad a todas especies de mamíferos marinos que tienen potencial para esta actividad.

RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS MAMÍFEROS MARINOS DEL GOLFO DE MÉXICO

A pesar de que la normatividad otorga protección especial a los mamíferos marinos, las investigaciones sobre cetáceos en esta región son escasas y se limitan casi totalmente a la zona costera. Con la finalidad de generar información básica necesaria para un manejo adecuado de las poblaciones de mamíferos marinos del sur del Golfo de México, sugerimos las siguientes acciones:

- a) Llevar a cabo estudios para obtener información precisa y actualizada acerca de la distribución, abundancia y hábitat crítico de los mamíferos marinos.
- b) Definir unidades de manejo (*stocks*), preferentemente a través de estudios de genética molecular de las poblaciones de mamíferos marinos.
- c) Cuantificar la mortalidad de mamíferos marinos ocasionada directamente por actividades humanas (capturas intencionales, capturas incidentales, interacciones con pesquerías y colisiones con embarcaciones).
- d) Reforzar la vigilancia de las autoridades ambientales en aquellas áreas de importancia para los mamíferos marinos, particularmente en la zona costera.
- e) Desarrollar programas de educación para sensibilizar a los pobladores sobre la importancia de proteger a los mamíferos marinos y su hábitat.
- f) Usar a los mamíferos marinos como especies bandera para la conservación de los ecosistemas acuáticos.
- g) Otorgar apoyo financiero y logístico a organizaciones que están participando activamente en la conservación de mamíferos marinos, como el caso del Subcomité técnico consultivo para la recuperación del manatí. Desde 1997, este comité reúne anualmente a un grupo de expertos para proponer medidas y tomar decisiones de manejo e investigación en torno a la especie. Las directrices de conservación están señaladas en el Proyecto de recuperación del manatí en México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001).

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga Weiss, S. y W. Contreras Sánchez 1993. *El manatí (Trichechus manatus) en Tabasco*. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 73 pp.
- Baumgartner, M. F., K. D. Mullin, L. N. May y T. D. Leming 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 99:219-239. National Marine Fisheries Service Scientific Publications Office, Seattle, WA, EE.UU.
- Biggs, D. C., R. R. Leben y J. G. Ortega-Ortiz 2000. Ship and satellite studies of mesoscale circulation and sperm whale habitats in the northeast Gulf of Mexico during GulfCet II. *Gulf of Mexico Science* 18:15-22. Dauphin Island Sea Lab, Dauphin Island, AL, EE.UU.
- Bossart, G. D. 1999. The Florida manatee: On the verge of extinction? *Journal of the American Veterinary Medical Association* 214:1178-1183. American Veterinary Medical Association, Schaumburg, IL, EE.UU.
- 2001. Manatees. Páginas 939-960. En: L. A. Dierauf y F. M. D. Gulland (eds.) *CRC handbook of marine mammal medicine*. CRC Press, Boca Raton, FL, EE.UU.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham y J. L. Laake 1993. *Distance sampling: Estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall, London, U.K.
- Buckland, S. T. y A. E. York 2002. Abundance estimation. Páginas 1-6. En: W. F. Perrin, B. Würsig y J. G. M. Thewissen (eds.) *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press. San Diego, CA, EE.UU.
- Chanona Hernández, V. 1997. Estudio de la distribución y la abundancia poblacional del manatí (*Trichechus manatus*) en la Laguna de Catazajá, Chiapas, México. Tesis profesional, Universidad de Ciencias y Artes del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 80 p.
- Colbert, A. A., G. I. Scott, M. H. Fulton, E. F. Wirth, J. W. Daugomah, P. B. Key, E. D. Strozier y S. B. Galloway 1999. Investigations of unusual mortalities of bottlenose dolphins along the mid-Texas coastal bay ecosystem during 1992. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS 147. 23 p. National Marine Fisheries Service, Washington, D.C., USA.
- Colmenero R., L. C. 1986. Aspectos de la ecología y comportamiento de una colonia de manatíes (*Trichechus manatus*) en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoolo-gía 56:589-602. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Colmenero R., L. C. y M. E. Hoz Z. 1986. Distribución de los manatíes, situación y su conservación en México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Au-tónoma de México, Serie Zoolo-gía 56:955-1020. Universidad Nacional Autónoma

- de México, México.
- Constantine, R. 2001. Increased avoidance of swimmers by wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) due to long-term exposure to swim-with-dolphin tourism. *Marine Mammal Science* 17:689–702. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Davis, R. W., W. E. Evans y B. Würsig (eds.). 2000. *Cetaceans, Sea Turtles and Seabirds in the Northern Gulf of Mexico: Distribution, Abundance and Habitat Associations*. Vol. II: Technical Report. U.S. Department of the Interior, Geological Survey, Biological Resources Division, USGS/BRD/CR-1999-0006 and Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA, EE.UU.
- Davis, R. W., G. S. Fargion, N. May, T. D. Leming, M. Baumgartner, W. E. Evans, L. J. Hansen y K. Mullin 1998. Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science* 14:490-507. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Davis, R. W., J. G. Ortega-Ortiz, C. A. Ribic, W. E. Evans, D. C. Biggs, P. H. Ressler, R. B. Cady, R. R. Leben, K. D. Mullin y B. Würsig 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 49:121-142. Elsevier Science, Oxford, Gran Bretaña.
- Delgado-Estrella, A. 1991. Algunos aspectos de la ecología de poblaciones de las toninas (*Tursiops truncatus* Montagu, 1821) en la Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México. Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 149 pp.
- 1994. Presencia del delfín de dientes rugosos o esteno (*Steno bredanensis*) en la costa de Tabasco, México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 65:303-305. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 1996. Ecología poblacional de las toninas *Tursiops truncatus*, en la Laguna de Yalahau, Quintana Roo, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 93 p.
- 1997. Relación de las toninas, *Tursiops truncatus*, y las toninas moteadas, *Stenella frontalis*, con la actividad camaronera en la Sonda de Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 68:317-338. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 2002. Comparación de parámetros poblacionales de las toninas, *Tursiops truncatus*, en la región sureste del Golfo de México (Estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 160 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 2000. Tomo DLVI, 10 de enero de 2000, pp. 11-17.

- Norma Oficial Mexicana NOM-131-ECOL-1998. Establece lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas, relativas a su protección y la conservación de su hábitat.
- 2001. Tomo DLXXXIII, 8 de junio de 2001, 1-26 p. Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-135-SEMARNAT1-2001. Para la captura, transporte, exhibición, manejo y manutención de mamíferos marinos en cautiverio.
- 2002. Tomo DLXXXII, 6 de marzo de 2002, 95-190 p. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- 2002b. Tomo Tomo DLXXX, 10 de enero de 2002, 5-6 p. Decreto por el que se reforman diversas disposiciones de la Ley General de Vida Silvestre.
- Engås, A., S. Løkkeborg, E. Ona y A. V. Soldal 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53:2238-2249. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canadá.
- Escatel Luna, R. E. 1997. Biología poblacional de las toninas *Tursiops truncatus*, en la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis de maestría, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y del Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 94 pp.
- Fulling, G. L., K. D. Mullin y C. W. Hubard 2003. Abundance and distribution of cetaceans in outer continental shelf waters of the U.S. Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 101:923-932. National Marine Fisheries Service Scientific Publications Office, Seattle, WA, EE.UU.
- Gallo-Reynoso, J. P. 1986. Sobre los mamíferos marinos mexicanos. *Técnica Pesquera* 219:10-16. Ediciones Mundo Marino, Mexico, D.F.
- Gallo-Reynoso, J. P. y F. Pimienta. 1989. Primer registro del zifio de las Antillas (*Mesoplodon europeus* Gervais, 1955) (Cetacea: *Ziphiidae*) en México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 60:267-278. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Goold, J. C. y P. J. Fish. 1998. Broadband spectra of seismic survey air-gun emissions, with reference to dolphin auditory thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America* 103:2177-2184. American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, New York, NY, EE.UU.
- Griffin, R. B. y N. J. Griffin 2003. Distribution, habitat partitioning, and abundance of Atlantic spotted dolphins, bottlenose dolphins, and loggerhead sea turtles on the Eastern Gulf of Mexico continental shelf. *Gulf of Mexico Science* 21:23-34. Dauphin Island Sea Lab, Dauphin Island, AL, USA.
- Heckel Dziendzielewski, G. 1992. Fotoidentificación de tursiones *Tursiops truncatus*

- (Montagu, 1821) en la Boca de Corazones de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México (Cetacea: *Delphinidae*). Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 164 pp.
- Hammond, P. S., S. A. Mizroch y G. P. Donovan (eds.) 1990. *Individual recognition of cetaceans: use of photoidentification and other technics to estimate population parameters*. Reports of the International Whaling Commission, Special Issue 12. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- Heckel, G., I. Espejel y D. W. Fischer 2003. Issue definition and planning for whalewatching management strategies in Ensenada, Mexico. *Coastal Management* 31:277-296. Taylor & Francis, New York, NY, EE.UU.
- Heinsohn, G. E. 1976. Sirenians Draft Report. ACMRR/MM/SC/WG 4-1. En: *Food and Agriculture Organization, 1976, Scientific Consultation Marine Mammals*. FAO, Bergen, Noruega.
- Hersh, S. L. y D. A. Duffield 1990. Distinction between northwest Atlantic offshore and coastal bottlenose dolphins based on hemoglobin profile and morphometry. Páginas 129-139. En: S. Leatherwood y R. R. Reeves (eds.) *The bottlenose dolphin*. Academic Press, San Diego, CA, EE.UU.
- Hoelzel, A. R., C. W. Potter y P. B. Best 1998. Genetic differentiation between parapatric 'nearshore' and 'offshore' populations of the bottlenose dolphin. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 265:1177-1183. Printed for the Royal Society and sold by Harrison & Sons, London, Gran Bretaña.
- Hugentobler, H. y J. P. Gallo 1985. Un registro de la estenela moteada del Atlántico (*Stenella plagiodon* (Cope, 1866)(Cetacea: Delphinidae)) del Estado de Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 56:1039-1042. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- International Whaling Commission 1980. Report of the Scientific Committee, Annex I, Report of the Subcommittee on Small Cetaceans. *Reports of the International Whaling Commission* 30: 111-128. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- 1984. Report of the Scientific Committee, Annex H, Report of the Sub-Committee on Small Cetaceans. *Reports of the International Whaling Commission* 34: 144-160. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- 1997. National Progress Reports Submitted to the Scientific Committee. Mexico-Progress Report on Cetacean Research June 1995 to April 1996. *Reports of the International Whaling Commission* 47: 349-352. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- 2003. Report of the Scientific Committee, Annex K, Report of the Subcommittee on Small Cetaceans. *Journal of Cetacean Research and Management* 5

- (Supplement): 362-381. International Whaling Commission, Cambridge.
- Janik, V. M. y P. M. Thompson 1996. Changes in surfacing patterns of bottlenose dolphins in response to boat traffic. *Marine Mammal Science* 12:597-602. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Jefferson, T. A. 1995. Distribution, abundance, and some aspects of the biology of cetaceans in the Offshore Gulf of Mexico. Ph.D dissertation, Texas A&M University, College Station, TX. 232 p.
- Jefferson, T. A. y A. J. Schiro. 1997. Distribution of cetaceans in the offshore Gulf of Mexico. *Mammal Review* 27:27-50. Published for the Mammal Society by Blackwell Scientific Publications, Oxford, Gran Bretaña.
- Kannan, K., K. Senthilkumar, B. G. Loganathan, S. Takahashi, D. K. Odell y S. Tanabe. 1997. Elevated accumulation of tributyltin and its breakdown products in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) found stranded along the U.S. Atlantic and Gulf coasts. *Environmental Science & Technology* 31:296-301. American Chemical Society Easton.
- Kasuga, L. 1968. Como cazar toninas para carnada de tiburón. *Técnica Pesquera* 1:29. Ediciones Mundo Marino, México, D.F.
- Klima, E. F., G. R. Gitschlag y M. L. Renaud 1988. Impacts of the explosive removal of offshore petroleum platforms on sea turtles and dolphins. *Marine Fisheries Review* 50:33-42. NMFS Scientific Publications Office, Seattle, WA, EE.UU.
- Kuehl, D. W. y R. Haebler 1995. Organochlorine, organobromine, metal, and selenium residues in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) collected during an unusual mortality event in the Gulf of Mexico, 1990. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology* 28:494-499. Springer-Verlag, New York, NY, EE.UU.
- Lahvis, G. P., R. S. Wells, D. W. Kuehl, J. L. Stewart, H. L. Rhinehart y C. S. Via. 1995. Decreased lymphocyte responses in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) are associated with increased concentrations of PCBs and DDT in peripheral blood. *Environmental Health Perspectives* 103:67-72. National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NC, EE.UU.
- Laist, D. W., A. R. Knowlton, J. G. Mead, A. S. Collet y M. Podesta 2001. Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science* 17:35-75. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Langtimm, C. A., T. J. O'Shea, R. Pradel y C. A. Beck 1998. Estimates of annual survival probabilities for adult Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Ecology* 79:981-997. Ecological Society of America, Tempe, AZ, EE.UU.
- Lazcano-Barrero, M. A. y J. M. Packard. 1989. The occurrence of manatees (*Trichechus manatus*) in Tamaulipas, Mexico. *Marine Mammal Science* 5:202-205. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Leatherwood, S. and R. R. Reeves. 1982. Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* and

- other toothed cetaceans. Páginas 369-414. En: J. A. Chapman and G. A. Feldhammer (eds.) *Wild mammals of North America*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, EE.UU.
- LeBoeuf, B. J., K. W. Kenyon y B. Villa-Ramirez. 1986. The Caribbean monk seal is extinct. *Marine Mammal Science* 2:70-72. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Lechuga Medina, A. 1996. Distribución y asociación de las agrupaciones de tursiones (*Tursiops truncatus*, Montagu, 1821) de los alrededores de Isla Holbox y aguas adyacentes, 1993-1994, Quintana Roo, México. Tesis de licenciatura, Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 92 pp.
- Lefebvre, L. W., M. Marmontel, J. P. Reid, G. B. Rathbun y D. P. Domning. 2001. Status and biogeography of the West Indian Manatee. Páginas 425-474. En: C. A. Woods and F. E. Sergile (eds.) *Biogeography of the West Indies, patterns and perspectives*. CRC Press, Boca Raton, FL, EE.UU.
- López Hernández, I. 1997. Ecología poblacional de las toninas *Tursiops truncatus* en la costa de Tabasco, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 77 pp.
- McKillop, H. I. 1985. Prehistoric exploitation of the manatee in Maya and circum-Caribbean areas. *World Archaeology* 16:337-353. Routledge & Kegan Paul, Londres.
- Mead, J. G. y C. W. Potter. 1995. Recognizing two populations of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) off the Atlantic coast of North America: morphologic and ecologic considerations. *IBI Reports* 5:31-39. International Marine Biology Research Institute, Kamogawa, Japón.
- Merino, M. 1997. Upwelling on the Yucatan shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems* 13:101-121. Elsevier, Amsterdam, Holanda.
- Miller, M. A., I. A. Gardner, C. Kreuder, D. M. Paradies, K. R. Worcester, D. A. Jessup, E. Dodd, M. D. Harris, J. A. Ames, A. E. Packham y P. A. Conrad 2002. Coastal freshwater runoff is a risk factor for *Toxoplasma gondii* infection of southern sea otters (*Enhydra lutris nereis*). *International Journal for Parasitology* 32:997-1006. Pergamon Press, Oxford, Gran Bretaña.
- Morales Solís, R. 2001. Interacción de actividades pesqueras y urbanas con la distribución del manatí *Trichechus manatus* (Linnaeus, 1758), en la Laguna de Catuzajá, Chiapas, México. Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana. 93 pp.
- Morales V., B. y D. Olivera G. 1994. Distribución espacial y estimación poblacional de los manatíes en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Investigación Científica, Universidad Autónoma de Baja California Sur* 2:27-34. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México.
- Morales Vela, B. y D. Olivera Gómez 1996. Manatee rescue in Chiapas. *Sirenews, Newsletter*

- of the IUCN/SSC Sirenia Specialist Group 25. <http://www.sirenian.org/sirenews.html>
- Morales-Vela, B., J. Padilla-Saldivar y A. A. Mignucci-Giannoni 2003. Status of the manatee (*Trichechus manatus*) along the northern and western coasts of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Caribbean Journal of Science* 39:42-49. University of Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Morales-Vela, J. B. 2000. Distribución, abundancia y uso de hábitat por el manatí en Quintana Roo y Belice, con observaciones sobre su biología en la bahía de Chetumal, México. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 143 pp.
- Mössner, S. y K. Ballschmiter. 1997. Marine mammals as global pollution indicators for organochlorines. *Chemosphere* 34:1285-1296. Pergamon Press, Oxford.
- Mullin, K. D. y L. J. Hansen. 1999. Marine Mammals of the Northern Gulf of Mexico. Páginas 269-277. En: H. Kumpf, K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science, Malden, MA, EE.UU.
- Ortega-Argueta, A. 1999. Situación actual y las perspectivas de conservación del manatí en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. Informe Técnico Preliminar presentado a la Dirección General de Vida Silvestre, INE-SEMARNAT. 13 pp.
- 2000. Conservation activities on the Alvarado manatee population. *Sirenews, Newsletter of the IUCN/SSC Sirenia Specialist Group* 33:14-15. <http://www.sirenian.org/sirenews.html>.
- 2002. Evaluación del hábitat del manatí (*Trichechus manatus*) en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Tesis de Maestría, Programa de Manejo de Fauna Silvestre, Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Ver. 80 pp.
- Ortega-Argueta, A., C. E. Pérez Sánchez, G. Gordillo Morales, O. G. Gordillo Solís, D. G. Pérez y H. Alafita. 1999. Cetacean strandings on the southwestern coast of the Gulf of México. Informe Técnico, Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana, México. 8 pp.
- Ortega-Ortiz, J. G. 2000. Muestreo de mamíferos marinos: Estimación de abundancia de delfines mediante fotoidentificación. Páginas 337-351. En: A. Granados Barba, V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (eds.) *Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica*. Postgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 2002. Multiscale analysis of cetacean distribution in the Gulf of Mexico. Ph.D. dissertation, Texas A&M University, College Station, TX. 170 pp.
- Patiño Valencia, J. L., K. Ramírez, P. Ulloa Ramírez y H. Pérez-Cortés Moreno 2000. Interacción de calderones *Globicephala* sp. con las actividades de pesca del atún con palangre en el Golfo de México. Resúmenes XXV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, 7-11 Mayo de 2000. La Paz, Baja California Sur,

México.

- Pérez-Cortés Moreno, H. 1985. Estudio de una población de manatíes, *Trichechus manatus manatus* (Mammalia: Sirenia) en el municipio de Palizada, Campeche, México. Tesis de licenciatura en biología, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 73 pp.
- 2002. Análisis histórico y perspectivas actuales del manejo de delfines. Ensayo Predoctoral, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S. 43 pp.
- Portilla Ochoa, E., K. Paradowska y B. E. Cortina Julio 1999. Evaluación participativa y conservación del manatí en el complejo lagunar de Alvarado, Veracruz. Informe Técnico presentado al U.S. Fish and Wildlife Service. Universidad Veracruzana, Xalapa.
- Resendes, A. R., S. Almería, J. P. Dubey, E. Obón, C. Juan-Sallés, E. Degollada, F. Alegre, O. Cabezón, S. Pont y M. Domingo 2002. Disseminated toxoplasmosis in a Mediterranean pregnant Risso's dolphin (*Grampus griseus*) with transplacental fetal infection. *Journal of Parasitology* 88:1029–1032. American Society of Parasitologists, Lawrence, KS, EE.UU.
- Reynolds, J. E., III y D. K. Odell 1991. *Manatees and dugongs*. Facts on File, New York, EE.UU.
- Rice, D. W. 1998. *Marine mammals of the world. Systematics and distribution*. The Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Richardson, W. J., B. Würsig y C. R. Greene, Jr. 1990. Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to drilling and dredging noise in the Canadian Beaufort Sea. *Marine Environmental Research* 29:135-160. Applied Science Publishers, London, Gran Bretaña.
- Salata, G. G., T. L. Wade, J. L. Sericano, J. W. Davis y J. W. Brooks 1995. Analysis of Gulf of Mexico bottlenose dolphins for organochlorine pesticides and PCBs. *Environmental Pollution* 88:167-175. Applied Science Publishers, Barking, Essex, Gran Bretaña.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001. *Proyecto de Conservación, Recuperación y Manejo del manatí Trichechus manatus en México*. Serie Proyectos de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias No. 11. SEMARNAT-Dirección General de Vida Silvestre, México.
- Torres, L. G., P. E. Rosel, C. D'Agrossa y A. J. Read 2003. Improving management of overlapping bottlenose dolphin ecotypes through spatial analysis and genetics. *Marine Mammal Science* 19:502-514. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- U. S. Fish and Wildlife Service 1999. Endangered and Threatened Wildlife and Plants 50 CFR 17.11 and 17.12, Diciembre de 1999.
- Villa-R., B., J. P. Gallo-R. y B. LeBoeuf. 1985. La foca monje *Monachus tropicalis*

- (Mammalia: Pinnipedia) definitivamente extinguida en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 56:573-588. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Waring, G. T., J. M. Quintal y S. L. Swartz (eds.) 2001. U. S. Atlantic and Gulf of Mexico Marine Mammal Stock Assessments - 2001. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-168, 307 p. National Marine Fisheries Service, Washington, D.C., EE.UU.
- Waring, G. T., J. M. Quintal y S. L. Swartz (eds.) 2002. U. S. Atlantic and Gulf of Mexico Marine Mammal Stock Assessments - 2002. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-169, 318 p. National Marine Fisheries Service, Washington, D.C., EE.UU.
- Würsig, B., T. A. Jefferson y D. J. Schmidly 2000. *The Marine Mammals of the Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, College Station, TX, EE.UU.
- Würsig, B., R. R. Reeves y J. G. Ortega-Ortiz 2002. Global Climate Change and Marine Mammals. Páginas 589-608. En: P. G. H. Evans y J. A. Raga (eds.) *Marine Mammals: Biology and Conservation*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, NY, EE.UU..
- Young, E. H. 1999. Balancing conservation with development in small-scale fisheries: is ecotourism an empty promise? *Human Ecology* 27:581-620. Plenum Pub. Corp., New York, NY, EE.UU.

OSTRÁCODOS BENTÓNICOS DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

Ma. Luisa Machain-Castillo y Raúl Gío-Argáez

INTRODUCCIÓN

Los ostrácodos son uno de los grupos más abundantes de la microfauna bentónica. Además de ser importantes eslabones en la cadena alimenticia, se caracterizan por ser útiles indicadores ecológicos. En este capítulo se presenta el conocimiento actual sobre la biodiversidad de ostrácodos en el sur del Golfo de México, sus patrones de distribución y su uso actual y potencial como indicadores ambientales.

Los ostrácodos son microcrustáceos (0.5 mm en promedio) que se caracterizan por presentar un caparazón bivalvo que encierra al organismo y es parte integral del cuerpo. Esto permite que en el caparazón se preserven diversas características que proveen información sobre las adaptaciones fisiológicas de los mismos. Su estrecha relación con el medio en que se desarrollan les permite ser utilizados como indicadores de diversos parámetros ambientales como la temperatura, salinidad, tipo de sustrato, y la concentración de ciertos elementos en agua y sedimento. Al cambio de las condiciones ambientales, la ostracofauna puede responder con cambios en la composición taxonómica de la población, en su forma o su composición química.

COMPOSICIÓN TAXONÓMICA

Al cambiar los factores oceanográficos en una zona, como por ejemplo, alteraciones en los patrones de circulación oceánica y en las masas de agua, la composición taxonómica de la fauna de ostrácodos varía de acuerdo con los nuevos factores ambientales presentes. Un caso típico es el cambio de salinidad. El aumento o disminución de salinidad presenta en una misma área diferentes poblaciones asociadas a las diversas salinidades. En la zona de influencia de la desembocadura de los principales ríos se encuentran en época de lluvias especies tolerantes de menores salinidades provenientes de ambientes salobres o dulceacuícolas, tales como *Cyprideis* spp, *Limnocythere friabilis* Benson and MacDonald, *Loxoconcha matagordensis* Swain (Machain-Castillo *et al.* 1990: 345). La presencia de dichas especies en los sedimentos nos permite conocer en el ámbito marino, la distribución geográfica de la influencia fluvial.

ALTERACIONES MORFOLÓGICAS

Algunas especies de ostrácodos presentan modificaciones en su caparazón de acuerdo con la cantidad de iones/cationes presentes en su ambiente. Por ejemplo, la misma especie puede presentar un caparazón más grueso y mayor ornamentado en zonas con mayor cantidad de carbonatos que en zonas donde la concentración de carbonatos es menor. El cambio de salinidad también puede modificar la morfología de las valvas. Algunas especies producen tubérculos fenotípicos. En un estudio estratigráfico en el pantano de Cobweb (al sur de Quintana Roo) se encontró que las poblaciones de *Cyprideis ovata* (Mincher) presentan organismos lisos en ambientes salobres, mientras que poblaciones nodosas o tuberculadas se encuentran en condiciones dulceacuícolas (Machain-Castillo *et al.* 1992).

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Al igual que el resto de los crustáceos, los ostrácodos crecen por mudas y su caparazón calcifica en unas cuantas horas (Palacios-Fest com. pers.) por lo que la composición química del mismo refleja de manera “instantánea” las condiciones del ambiente en que se formó (del agua circundante). En este sentido el análisis de la composición química de los caparazones puede indicar la presencia y concentración ciertos elementos en el agua al tiempo de su formación. Esta característica les confiere un potencial uso como indicadores

de contaminación, ya sea natural o antropogénica y a diferencia de otros organismos indicadores que metabolizan o acumulan productos de contaminantes a través del tiempo, el caparazón de los ostrácodos presenta una “fotografía instantánea” de la presencia de dichos contaminantes en el momento de su calcificación. Una ventaja adicional es que el caparazón se preserva en el sedimento y su registro través del tiempo permite la reconstrucción de la historia ambiental y de contaminación de la zona.

BIODIVERSIDAD Y PATRONES DE DISTRIBUCIÓN

Hasta 1985, los reportes sobre ostrácodos en la zona económica exclusiva mexicana del Golfo de México y el Caribe comprendían únicamente los trabajos de Krutak y colaboradores para los arrecifes de Veracruz (Krutak, 1982, Krutak y Rickles 1979, Krutak *et al.* 1980) y de Palacios-Fest y Gío-Argáez (1979) y Palacios-Fest *et al.* (1983) para el Caribe Mexicano.

A partir de 1985 los autores del presente iniciaron el estudio sistemático de este grupo en los mares mexicanos. El material de estudio proviene de más de 10 campañas oceanográficas a bordo del B/O “Justo Sierra” de la UNAM, donde se colectaron diversos grupos taxonómicos y se obtuvieron parámetros físico-químicos y geológicos. A la fecha se han determinado casi 200 especies de ostrácodos en el Golfo de México al sur del paralelo 21° N, a profundidades entre 15 y 3,500 m. Las especies presentan un claro patrón de distribución en 6 asociaciones faunísticas, relacionadas con el tipo de sustrato, la profundidad y la dinámica oceánica.

En la plataforma continental interna del sur del Golfo de México se pueden distinguir dos asociaciones principales: a) la ostracofauna de afinidades terrígenas al oeste de la Laguna de Términos y b) la ostracofauna de la plataforma carbonatada del Banco de Campeche.

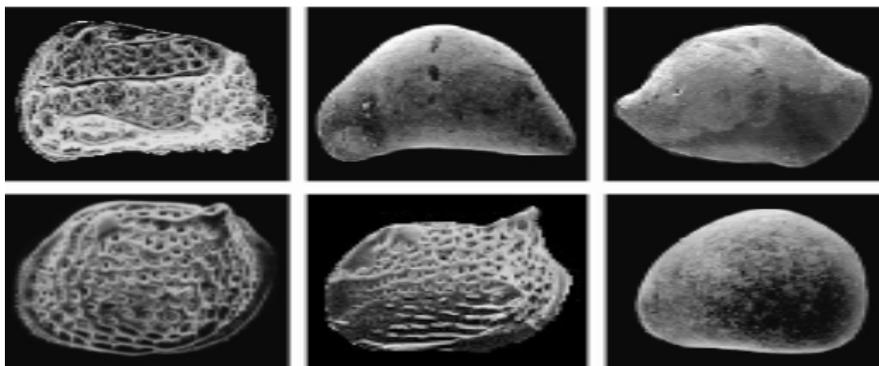
La plataforma interna terrígena del sur del Golfo de México (15 a 60 m de profundidad) se caracteriza por la presencia de sedimentos clásticos y la influencia de numerosos ríos que descargan estacionalmente cantidades variables de agua dulce, sedimentos, materia orgánica, contaminantes, etc. Dichas descargas influyen en una marcada variabilidad en el ambiente de todos estos factores.

La fauna de ostrácodos se encuentra adaptada a la inestabilidad del ambiente y está dominada por las siguientes especies: *Loxoconcha moralesi* Kontrovitz, L. sp. A, *Cytherella vermilionensis* Kontrovitz, *Cytherura* spp. y *Pontocythere* spp. También son importantes en esta asociación *Cytheromorpha*

paracastanea (Swain) *Cytherura* spp. y *Paradoxostoma* spp (figura 1).

En el Banco de Campeche, se encuentran sedimentos carbonatados con

FIGURA 1. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE PLATAFORMA INTERNA TERRÍGENA

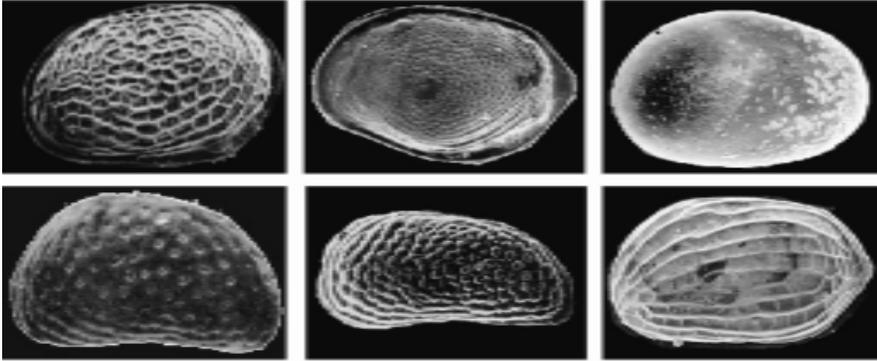


Loxoconcha moralesi, *Loxoconcha* sp. A, *Cytherella vermilionensis*, *Pontocythere semicircularis*, *Pontocythere tuberculata* y *Cytherura* sp.

poca o nula influencia fluvial y turbidez; salinidad y temperatura casi estable y menor contenido de materia orgánica. Las especies características encontradas en esta zona son: *Macrocyprina skinneri* Kontrovitz, *Orionina* sp. A, *Loxocorniculum* spp. y especies de la familia Bairdiaceae (figura 2).

Entre estas dos provincias se encuentra una amplia zona de transición, alrededor de la Laguna de Términos, variable estacionalmente. La ostracofauna de esta zona se encuentra conformada por mezcla de especies de las dos asociaciones anteriormente descritas. La mayoría de estas especies toleran amplias variaciones en los factores ambientales, como son las especies *Proteoconcha* sp. A, *Basslerites minutus* van den Bold, *C. paracastanea*, *Cytherura sandbergi* Morales, *C. swaini* van den Bold, *Loxoconcha moralesi* Kontrovitz, *Paracytheroma sptephenoni* (Puri), *Orionina* sp. A, *Pellucistoma magniventra* Edwards, *Pumilocytheridea ayalai* Morales y *Xestoleberis rigbyi* Morales, las cuales se encuentran presentes tanto en la Laguna de Términos como en las costas adyacentes de la Bahía de Campeche (Machain-Castillo y Gío Argáez 1989: 41)

FIGURA 2. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA PLATAFORMA INTERNA DEL BANCO DE CAMPECHE



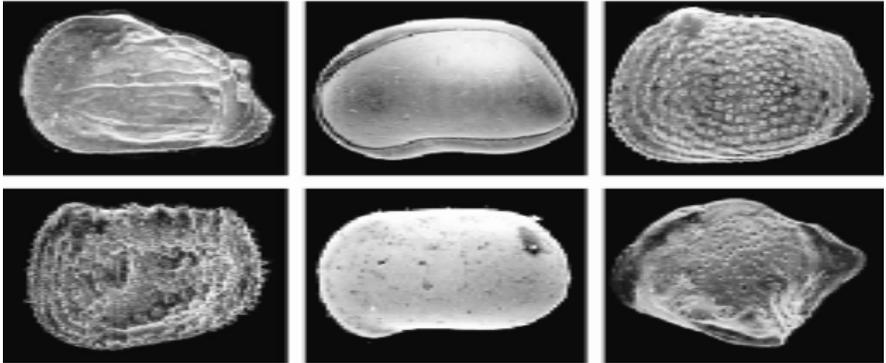
Orionina sp. A, *Macrocyprina skinneri*, *Bairdoppilata cushmani*, *Loxocorniculum tricordatum*, *Loxocorniculum dorsotuberculata* y *Xestoleberis antillea*.

Fuera de la influencia continental, en profundidades de aproximadamente 60 a 110 m, se encuentra la misma asociación de ostrácodos tanto en el sur como en el norte del Golfo de México. Esta asociación se encuentra dominada por las especies *Echinocythereis margaritifera* (Brady), *Pontocythere tuberculata* (Puri), *Pterigocythereis alophia* Hazel y en menor grado por *Cytheropteron yorktownensis* (Malkin), *Munseyella louisianensis* Kontrovitz y *P. inexpectata* (Blake) (figura 3).

En la plataforma externa la ostracofauna está caracterizada por *Amboocythere* sp. cf. A. sp. A Cronin, *Argilloecia posterotruncata* van den Bold, *Cytheropteron* spp., *Echinocythereis spinireticulata* Kontrovitz, *Henryhowella* ex. gp. *asperrima* (Reuss), *Pseudopsammocythere* ex. gp. *vicksburgensis* (van den Bold) y especies del género *Krithe* y *Parakrithe* en abundancias de hasta el 60% (figura 4).

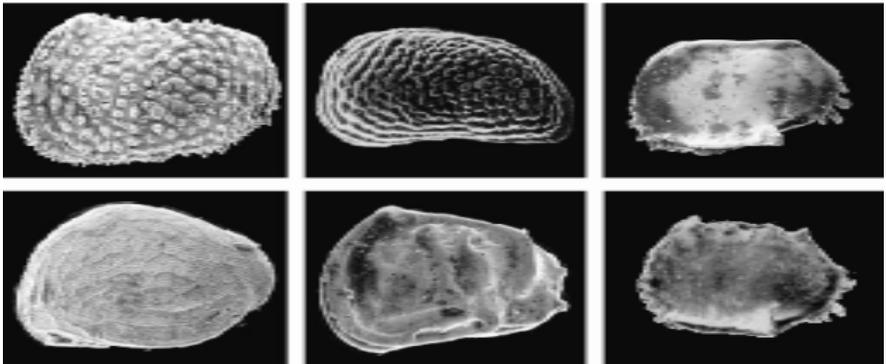
En la zona batial y abisal del Golfo de México las poblaciones de ostrácodos decrecen tanto en abundancia como en diversidad y están dominadas por los géneros *Krithe*, *Cytheropteron* y *Parakrithe*. Otras especies que constituyen esta asociación son *A. posterotruncata*, *Cytheropteron palton* van den Bold y *Bradleya dictyon* (Brady). Las especies del género *Krithe* inician su distribución en la plataforma media-externa y aumentan en porcentaje conforme aumenta la profundidad. En la zona abisal constituyen hasta el 85% de la población total (figura 5).

FIGURA 3. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE PLATAFORMA MEDIA



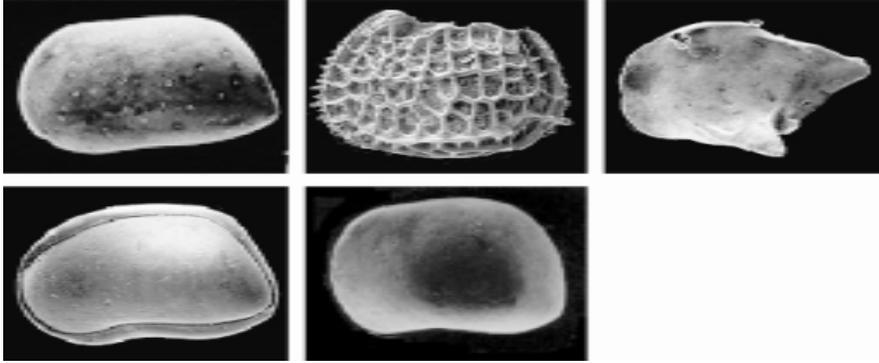
Echinocythereis margaritifera, *Pontocythere tuberculata*, *Pterigocythereis alophia*, *Cytheropteron yorktownensis*, *Munseyella louisianensis* y *Pterigocythereis inexpectata*.

FIGURA 4. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE PLATAFORMA EXTERNA



Ambocythere sp. cf. *A. sp. A Cronin*, *Argilloecia posterotruncata*, *Echinocythereis spinireticulata*, *Henryhowella* ex. gp. *asperrima*, *Pseudopsammocythere* ex. gp. *vicksburgensis* y *Cytheropteron morgani*.

FIGURA 5. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DEL TALUD CONTINENTAL



Kriihe producta, *Bradleya dictyon*, *Cytheropteron palton*, *Argilloecia posterotruncata* y *Parakriihe alta*

CONTAMINACIÓN

Los ostrácodos han sido utilizados como indicadores de diversos tipos de contaminación y calidad de agua (Bromley y Por 1975, Rosenfeld y Ortal 1983, Mesquita *et al.* 1996, Milhau *et al.* 1997, entre otros).

Su estrecha relación con el ambiente les confiere la capacidad de ser utilizados como indicadores ecológicos de diversos parámetros ambientales incluyendo la contaminación, a la cual responden con variaciones en la abundancia, diversidad o composición taxonómica de las poblaciones, o en la composición química de los caparazones al involucrar en ellos elementos contaminantes.

Rosenfeld *et al.* (2000: 171) encontró que en los ríos contaminados por descargas de asentamientos humanos las comunidades de ostrácodos presentan una zonación biótica que permite distinguir entre zonas de alta, moderada y baja contaminación. Estos autores consideran que la ostracofauna revela mejor el estado de la contaminación del ambiente que los factores físico-químicos medidos y que los análisis tanto taxonómicos como de densidad y diversidad de las poblaciones son útiles para determinar niveles de contaminación.

Con el objetivo de evaluar el impacto de las actividades de explotación de hidrocarburos en las comunidades de ostrácodos se realizaron muestreos

en la zona de plataformas de extracción petrolera del sur del Golfo de México. Resultados preliminares indican que la composición taxonómica de la ostracofauna no varía con respecto a la de las zonas aledañas, pero sí la densidad de las poblaciones. Se encontró que, en general, la densidad de las poblaciones (el número de organismos por gramo de sedimento) era mayor en las muestras donde se observó visualmente la presencia de hidrocarburos, comparadas con muestras de la misma zona y profundidad sin hidrocarburos (figuras 6 y 7).

Asimismo, se determinó una mayor concentración de materia orgánica en las estaciones con presencia de hidrocarburos, por lo que se sugiere que el aumento de las poblaciones de ostrácodos pueda estar relacionado con el incremento en la materia orgánica (figura 8).

Con respecto al análisis de metales traza y otros elementos producto de la contaminación tanto natural como antropogénica en el medio, no se han realizado hasta la fecha estudios de la composición química de los caparazones de ostrácodos del sur del Golfo de México, pero esta área ofrece un alto potencial para el estudio de la contaminación en el medio acuático, no sólo en el momento actual sino a través del tiempo, ya que al preservarse los caparazones en el sedimento, pueden reflejar la historia de la presencia de dichos contaminantes en el medio.

CONCLUSIONES

La diversidad y patrones de distribución de los ostrácodos en el sur del Golfo de México demuestran la sensibilidad que estos organismos presentan a los diferentes parámetros oceanográficos y su potencial utilización como indicadores ecológicos.

Estudios preliminares en la zona de plataformas de extracción petrolera, indican que la composición taxonómica de la ostracofauna no varía con respecto a la de las zonas aledañas, pero sí su abundancia, que se encuentra relacionada con una mayor cantidad de materia orgánica presente en las muestras de sedimento con hidrocarburos.

Aunque los estudios sobre contaminación en el Golfo de México utilizando ostrácodos como biomarcadores se encuentra en sus inicios, el potencial de estos estudios es muy promisorio y puede contribuir no sólo al estudio de la contaminación actual, sino a su variación a través del tiempo y a la historia de la calidad del ambiente en diversas regiones acuáticas.

FIGURA 6. NÚMERO DE ORGANISMOS EN LAS MUESTRAS CON Y SIN PRESENCIA DE HIDROCARBUROS

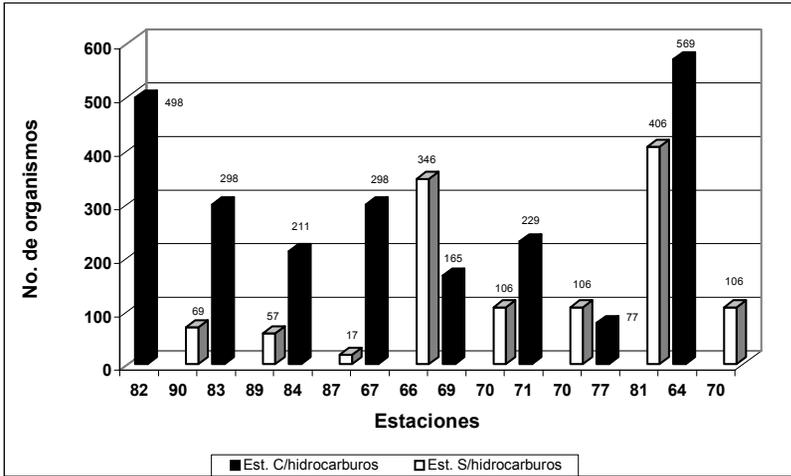
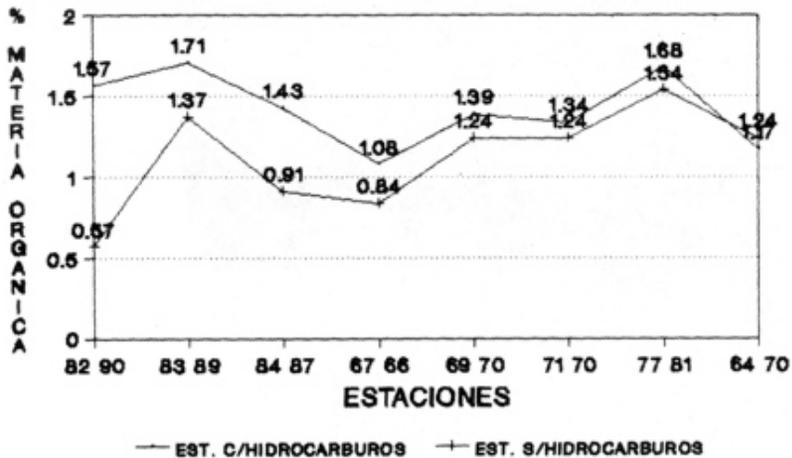


FIGURA 7. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS EN LA FIGURA 6



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa participación del personal científico y tripulación de las campañas oceanográficas OGMEX, IMCA DINAMO, PROMEBIO en la colecta de los materiales de estudio, a los integrantes del Laboratorio de Micropaleontología del ICML, a L. Bárbara Cuesta por su ayuda con las figuras del manuscrito y a Yolanda Hornelas por las fotografías de microscopio electrónico. Este proyecto fue realizado con apoyo del ICML-UNAM y CONACyT a través de los proyectos PCCNCNA 031676 y G35229-T.

BIBLIOGRAFÍA

- Bromley, H.J. y Por F.D. 1975. The metazoan fauna of a sewage-carrying wadi, Nahal Soreq (Judean Hills, Israel). *Freshwater Biol.* 5: 121-133.
- Krutak, P. R. 1982. Modern ostracodes of the Veracruz-Anton-Lizardo Reefs, Mexico. *Micropaleontology*, 28(3): 258-288. Micropaleontology Press, EE.UU.
- Krutak, P. R. y S. E. Rickles 1979. Equilibrium in modern coral reefs, Western Gulf of Mexico – Role of ecology and ostracod microgauna. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, 29: 263-274. EE.UU.
- Krutak, P. R., Rickles, S. E. y Gío-Argáez, F.R. 1980. Modern ostracode species diversity, dominance, and biofacies patterns Veracruz-Anton Lizardo Reefs, Mexico. *An. Cientro. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 16(1): 116-134. México.
- Machain-Castillo, M. L. y Gío-Argáez, F. R. 1989 (1991). Comparación faunística de los ostrácodos presentes en la Laguna de Términos y las costas adyacentes de la Bahía de Campeche. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 40: 35-48. México.
- Machain-Castillo, M. L., Pérez-A.M., y Maddocks, R.F. 1990. Ostracoda of the terrigenous continental platform of the southern Gulf of Mexico. En: Whatley, R. y C. Mayburry (eds.). *Ostracoda and Global Events*. British Micropal. Soc. Pub. Series. Chapman and Hall, London: 341-353.
- Machain-Castillo, M. L., Gío-Argáez, F.R., Alcalá-Herrera, J.A. y Jacob, J.S. 1992 (1994). Ostracodos del Holoceno del norte de Belice y su interpretación paleoambiental. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 43: 87-94. México.
- Mezquita, F. Sanz-Brau, A, y Miracle, M.R. 1996. New data on freshwater ostracod assemblages (Crustacea, Ostracoda) from Cuenca (Central Spain). *Bull. Soc. Nat. Luxembourg* 97: 239- 247. Luxemburgo.
- Milhau, B., Dekens, N., y Wouters, K. 1997. Evaluation de l'utilisation des Ostracodes comme bio-indicateurs potentiels de pollution. Application aux eaux de la Slack (Boulonnais, France). *Ecologie* 28: 3-12.

- Palacios-Fest, R.M. y Gío-Argáez, F.R. 1979. Sobre la presencia de dos especies de *Havanardia* Pokorny, 1968 (Bairdiidae, Ostracoda, Crustacea) en el Caribe Mexicano. *Rev. Inst. Geol. Univ. Nal. Autón. México*. 31(1): 24-28. México
- Palacios-Fest, R.M., Gío-Argáez, F.R. y Krutak, P.R. 1983. Los ostrácodos (Crustacea) recientes del Caribe Mexicano y su significación faunística. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 10(1): 195-208. México.
- Rosenfeld, A. y Ortal, R. 1983. Ostracodes as indicators of water pollution in Nahal Harod, northern Israel., En: R. F. Maddocks (ed.). *Applications of Ostracoda, Proc. 8th Int. Ostracode Symp.* Houston. Department of Geosciences. University of Houston, pp. 229-237.
- Rosenfeld, A, Ortal, R. y Honigstein, A. 2000. Ostracodes as indicators of river pollution in Northern Israel. . En: R.E. Martin (ed.). *Environmental Micropaleontology*. Topics in Geobiology, vol 15:167-180. Kluwer Academic/Plenum Pubs., New York.

LAS TORTUGAS MARINAS DEL GOLFO DE MÉXICO. ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN Y PROTECCIÓN

René Márquez-M.

ANTECEDENTES

Las tortugas marinas han sido utilizadas desde épocas prehispánicas como alimento tradicional. Hasta 1960 eran un recurso alimenticio de uso cotidiano para muchas comunidades ribereñas (Márquez-M. 1996). Hasta la primera mitad de la década de 1960, la explotación de tortugas en las costas del Atlántico y del Pacífico fue muy similar, pero en los siguientes años la explotación de algunas especies del Pacífico se incrementó a tal grado que para 1968, México aportó al mercado mundial poco más de 14,500 toneladas, equivalentes a casi el 80% de la producción total. La principal especie capturada fue *Lepidochelys olivacea*, del océano Pacífico. Obviamente esta explotación no se pudo sostener mucho tiempo y las poblaciones se colapsaron, de tal manera que a mediados de 1971 fue necesario decretar una veda, que estuvo vigente hasta diciembre de 1972, pero fue hasta junio de 1973 cuando se reinició la captura, ahora con exclusividad a las cooperativas pesqueras y regulada por cuotas. El respeto a estas regulaciones fue escaso, la explotación ilegal continuó y las poblaciones siguieron disminuyendo. En consecuencia el 1º de junio de 1990 se tuvo que decretar una veda total para todas las especies (D.O.F. 1990) que aun está vigente.

Las tortugas marinas son muy vulnerables a la depredación natural en todas las fases de su desarrollo y la captura legal e ilegal las afecta en la fase de

huevo y desde las etapas juveniles hasta los adultos, además de que durante las actividades de otras pesquerías pueden ser atrapadas incidentalmente. También son muy vulnerables al deterioro ambiental causado por desarrollos turísticos y urbanos, carreteras, desechos industriales, basura, etc. y por fenómenos ambientales, como: huracanes, sequía, exceso de lluvia, etc.

INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios sobre la pesquería y la anidación de las tortugas marinas se iniciaron en 1962 en el Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras (INIBP), en ambas costas del país (Solórzano 1963). En 1963 empezó a funcionar el «Centro Quelonicultor», de Isla Mujeres, Quintana Roo, en donde una de las actividades iniciales fue separar de la captura comercial las hembras maduras de tortuga blanca (*Chelonia mydas*), llevarlas a un corral construido entre el mar y la playa. Durante su confinamiento cada tortuga podía anidar varias veces y los nidos producidos se cuidaban hasta eclosionar y posteriormente liberar las crías (D. Fuentes com. pers.). Al terminar la reproducción estas tortugas eran retornadas a los pescadores, quienes las comercializaban regionalmente o las exportaban a Florida, EE.UU., desde Isla Mujeres, Cozumel y Puerto Juárez (Márquez-M. 1994). La exportación se detuvo en 1973, el comercio en la región se detuvo antes de finalizar la década de 1970 y las actividades de conservación continúan hasta la fecha, con el apoyo de una ONG.

En 1964 se formalizó el Programa de Tortugas Marinas y para 1966 con apoyo militar e inspectores de pesca, se instalaron por primera vez los «campamentos tortugueros», uno en el Golfo de México, en Rancho Nuevo, Tamaulipas y tres en el Pacífico, en el Playón de Mismaloya, Jalisco, Boca de Pascuales, Colima y Piedra de Tlalcoyunque, Guerrero. A partir de entonces se incrementaron estas actividades. En 1978 se incluyeron las tortugas marinas en el programa de colaboración MEXUS-Golfo entre el INP y el Servicios de Pesca y Vida Silvestre (USF&WS) y NMFS, de EE.UU. A partir de la década de 1980 los estudiantes universitarios, organismos estatales y ONG iniciaron su apoyo a estas actividades y contribuyeron de manera sustancial a la preservación de sus poblaciones. Posteriormente, con apoyo del INE se incrementó la cobertura de los trabajos de conservación. Hoy en día se establecen anualmente más de 40 campamentos (Briceño-D. y Abreu-G 1994, Márquez-M. 1996); sin embargo, a partir del año 2001, cuando se realizó el cambio de los programas que se desarrollaban en el INP y en el INE, por la

Dirección de Vida Silvestre, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la investigación dejó de ser parte esencial del trabajo y el personal que estaba en este Programa, ahora se dedica casi exclusivamente a las actividades de conservación en campamentos tortugueros.

Una parte importante del programa ha sido el tradicional marcado de tortugas con marcas de acero inoxidable más recientemente, en algunas especies como *L. kempfi*, dentro del Programa Conjunto México-EE.UU., se han utilizado las marcas electrónicas «PIT tag» (*Passive Integrated Transponder*) que consisten en un chip incluido en una pequeña cápsula de cristal que se inyecta bajo la piel, generalmente en la aleta izquierda. También se ha utilizado con muy buenos resultados en programas conjuntos (México-EE.UU.) las marcas sónicas de alta frecuencia, para ser captadas con equipos terrestres y las que se rastrean por medio de satélites.

ESPECIES DE LA REGIÓN

Existen 11 variedades de tortugas marinas, 5 de ellas habitan las aguas del Golfo de México, cada una tiene características biológicas, abundancia y distribución geográfica muy particulares. Las siguientes descripciones fueron adaptadas de Márquez-M. (1990, 1996).

Tortuga blanca (*Chelonia mydas* Linnaeus, 1758). Se distribuye ampliamente tanto en aguas costeras continentales como insulares, latitudinalmente está limitada por el desplazamiento estacional de las isoterms de 20°C. Existen registros de esta especie fuera de estas fronteras, pero generalmente corresponden a individuos solitarios en fases no reproductivas. Es una especie típicamente nerítica, que forma agregaciones en aguas someras, abundantes en pastos y algas marinas. Algunas poblaciones efectúan grandes migraciones desde las áreas de alimentación hasta las de reproducción. Hay playas de anidación importantes alrededor de todo el mundo. En México anida desde Tamaulipas hasta Quintana Roo, pero las playas más sobresalientes se encuentran en Isla Aguada, Río Lagartos, X'cabel, Isla Cozumel, etc., todas en la Península de Yucatán. Anidan entre mayo y octubre, con mayor abundancia entre junio y agosto.

Tortuga caguama (*Caretta caretta* Linnaeus, 1758). Se encuentra en aguas costeras tropicales y subtropicales, a menudo entra a las bahías y desembocaduras de ríos, donde puede permanecer todo el invierno asentada en los fondos lodosos, también se han observado ejemplares siguiendo corrientes marinas que las pueden llevar a través del Atlántico, posiblemente hasta costas

europas. Son especies neríticas que se alimentan principalmente de crustáceos y moluscos, y realizan extensas migraciones entre las áreas de alimentación y de reproducción. En la actualidad no son frecuentes dentro del Golfo de México; aunque anidan esporádicamente en algunas de sus playas, son más abundantes en el norte y este de la península de Yucatán, y anidan desde Holbox hasta la frontera de Belice. Es la especie más común en la costa este de EE.UU. La época de reproducción ocurre de mayo a septiembre.

Tortuga de carey (*Eretmochelys imbricata* Linnaeus, 1766). Esta especie se puede encontrar solitaria o formando pequeños grupos, alrededor de casi todas las costas rocosas y coralinas. Su área de distribución está limitada por los paralelos 25° Norte y 35° Sur. Es la más costera de todas las especies y vive en ambientes con abundante fauna bentónica de arrecifes coralinos y mantos de vegetación marina, que le sirven de alimento. La anidación es nocturna y se efectúa solitaria o en pequeños grupos. La época de reproducción varía entre las localidades; en México abarca desde abril hasta agosto, siendo las zonas más importantes de reproducción las de Campeche, que abarcan las Islas del Carmen y Aguada, Sabancuy y Champotón, las playas de Yucatán: Celestún y entre Río Lagartos e Isla Holbox; también en algunas playas de Quintana Roo anida en pequeñas cantidades.

Tortuga lora (*Lepidochelys kempi* Garman, 1880). Esta es una de las tortugas marinas con distribución geográfica más restringida. La gran mayoría de los adultos se encuentran dentro del Golfo de México; sin embargo, una parte de la población de juveniles y pre-adultos deambulan por la costa este de EE.UU, por lo que algunos individuos pueden llegar hasta las aguas europeas siguiendo la Corriente del Golfo. Esta especie usualmente se encuentra en zonas costeras de fondos arenosos y lodosos con abundancia de crustáceos. Se ha registrado la presencia de juveniles en las bahías, lagunas costeras y estuarios del norte del Golfo y la costa este de EE.UU, mientras que los adultos se reúnen en las áreas de alimentación localizadas en el oeste de Florida, la desembocadura del río Misisipi y el Banco de Campeche (Márquez-M. 1994). La época de reproducción va de marzo a julio y anida principalmente entre el río Soto la Marina y Punta Jerez, con mayor abundancia frente a Rancho Nuevo, Tamps. En parte de la costa norte de Tamaulipas y entre Cabo Rojo y Tecolutla (Veracruz) hay varios sitios de anidación de menor importancia. Últimamente se ha registrado un incremento de nidos en el sur de Texas, EE.UU. (Shaver y Caillouet 1998) y Florida (Johnson *et al.* 1999) lo cual se podría considerar un indicador de la recuperación de esta población. Estos orga-

nismos tienden a formar arribazones para desovar. Es la única especie que de manera sistemática anida durante el día.

Tortuga laúd (*Dermochelys coriacea* Vandelli 1761). Está adaptada para soportar temperaturas más bajas que el resto de las tortugas marinas (hasta 10°C) por lo que también se distribuye en gran parte de la zona templada. Esta especie realiza grandes migraciones (Eckert y Sarti 1997). En el Golfo de México es menos abundante que en el mar Caribe y también la anidación es más esporádica. En el Caribe las zonas de alimentación están distribuidas a todo lo largo del archipiélago de las Islas Antillas, pero sólo se reproduce en unos cuantos lugares, como Trinidad, Dominica y República Dominicana. En altamar pueden formar pequeñas flotillas, las cuales generalmente se observan en zonas de giros, frentes y surgencias marinas, donde se congregan los organismos que les sirven de alimento, en particular medusas.

LA ANIDACIÓN

Algunas tortugas, como las del género *Lepidochelys* forman grandes arribazones que se supone son una adaptación evolutiva contra la depredación, pues estos eventos se presentan espaciados en el tiempo y son de corta duración, lo que interrumpe la continuidad de su disponibilidad a los depredadores, además de que debido a esta abundancia es muy probable que una buena parte de huevos y crías sobrevivan. Sin embargo, otras tortugas anidan en grupos más pequeños o de manera solitaria, lo cual podría deberse a una menor presión de depredadores o a la reducción de sus poblaciones por la captura excesiva. La figura 1 es una foto histórica de una arribazón de *L. kempí*, en Rancho Nuevo, Tamaulipas, Mayo 24, 1968 (tomada por A. Montoya), mayor a 5,000 tortugas.

Sitio de anidación. De acuerdo a la especie y características de la playa, los nidos pueden ser depositados a diferentes distancias de la línea de marea, además la consistencia del terreno afecta la profundidad a la que se efectúa la puesta y la forma del nido varía con el tamaño de la especie, de tal manera que los efectos de los fenómenos meteorológicos como huracanes, mareas altas, temperatura y humedad extrema, afectan de manera muy variable a la supervivencia de los nidos y las crías.

En una playa típica, de mediana energía, como la utilizada más comúnmente por las tortugas marinas, *D. coriacea* anida al inicio del talud, *L. kempí* y *C. caretta* suben un poco más, generalmente cerca de la cima de la primera duna y *Ch. mydas* por lo común hace mayores recorridos, más

FIGURA 1. ARRIBAZÓN DE TORTUGA LORA (*L. KEMPI*)
EN LA PLAYA DE RANCHO NUEVO, TAMAULIPAS



Fuente: Márquez-M. 1996. Foto: A. Montoya.

allá de la primera duna e incluso *E. imbricata* llega a internarse entre la vegetación.

Extensión de la anidación. La evolución histórica en la abundancia de las poblaciones de tortugas marinas ha sido influida no sólo por la explotación directa o indirecta que se ha realizado, sino también por los cambios que ha sufrido el hábitat donde se desarrollan. Estos cambios en muchos casos han sido tan drásticos, que imposibilitan la recuperación parcial o total de las poblaciones, de tal manera que los niveles de abundancia se ven limitados, por ejemplo, por la pérdida de playas de anidación, destrucción de áreas de alimentación, contaminación de diversos tipos, etc. Por otra parte, existen casos en los que se realizan exageradas extrapolaciones refiriéndose a extraordinarias abundancias que tuvieron algunas poblaciones, lo que hace que las metas de recuperación parezcan inalcanzables y que continúen siendo consideradas en peligro de extinción.

Dentro del contexto regional, las tortugas marinas en México ocupan un sitio muy especial ya que poseen varias poblaciones de las más importantes, como son las de las tortugas *L. kempfi*, *Ch. mydas*, *E. imbricata* y *C. caretta*, de acuerdo a la información captada por medio de las encuestas realizadas en 12

CUADRO 1. FRECUENCIA DE PAÍSES SEGÚN LA MAGNITUD ANUAL DE LA ANIDACIÓN
(>1, >3, >11..... >5001) DE CADA ESPECIE

ESPECIES	NO DE NIDOS										NIDOS PROM.
	>1	>3	>11	>26	>51	>101	>201	>501	>1001	>5001	
<i>Ch. mydas</i>	0	3	1	0	1	0	0	1	1	0	3,864
<i>C. caretta</i>	1	4	1	0	0	0	1	0	1	0	3,396
<i>E. imbricata</i>	1	2	3	2	0	0	1	0	2	0	6,491
<i>D. coriacea</i>	2	4	2	2	1	0	0	0	1	0	3,787
<i>L. kempii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5,000
Total											22,538

diferentes países del Caribe (Cuba, Dominica, República Dominicana, Grenada, México, Nevis, Nicaragua, San Kitts, Santa Lucía, San Vicente, Trinidad y Venezuela), por el “Grupo Regional para la Investigación y Manejo de las Tortugas Marinas del Caribe” (CTMRG), durante 1998 y 1999, y presentadas en el Taller para el desarrollo de un Programa Regional de Investigación y Manejo de Tortugas Marinas el 15 de febrero, 2001, en La Habana, Cuba. Estas encuestas indican que hay países donde las tortugas aunque pueden ser abundantes en el mar, en la playa llegan a ser muy escasas. Las encuestas fueron desglosadas en valores mínimos y máximos de anidación. En el cuadro 1 se incluyen sólo los valores promedio, información que permite tener una idea general sobre los niveles de abundancia por especie en la región. La única especie que no se reproduce en el Caribe es *L. kempii* ya que sólo anida en el oeste del Golfo de México (Márquez-M. 1990). De acuerdo con la información aportada, es muy posible que la anidación de todas las especies se haya reducido, en la mayoría de los países, por lo menos en dos cifras de magnitud, ya que en casi todos hay informes de que están por abajo de 100 nidos por temporada. Sólo Cuba, México, Trinidad y San Vicente registran nidos de *E. imbricata*, *Ch. mydas* y *C. caretta* en valores importantes. En el caso de *D. coriacea* únicamente en Trinidad se registra una colonia de cierta magnitud (cuadro 1). Es muy curioso encontrar que la abundancia de la anidación, por ejemplo en el caso de *E. imbricata*, en República Dominicana, se clasifica como escasa, con valores de 10 a 25 nidos por temporada, cuando la presencia de

artículos elaborados con sus escudos se encuentran en venta en un gran número de tiendas para turistas, incluyendo el aeropuerto internacional y se admite una explotación generalizada de huevos de ésta y otras especies; sin embargo, ni en el presente ni en el pasado se ha llevado un registro de la magnitud de su explotación, deficiencia que prevalece en la mayoría de los países incluidos en la encuesta.

ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES

El registro del número de nidos por especie entre 1993 y 2002 en las playas de Tamaulipas (Rancho Nuevo, Tepehuajes, Barra del Tordo, La Pesca, Altamira y Tampico), de Veracruz (Tecolutla-Santander, Lechuguillas y Alto Lucero) de Campeche (Isla Aguada, Chencan y 8 playas más) de Yucatán (Celestun, Las Coloradas – Río Lagartos y El Cuyo) y de Quintana Roo (Isla Mujeres, Isla Holbox, Xcacel, Mahagual, Xcaret [12 playas] e Isla de Cozumel) presentan los siguientes porcentajes (cuadro 2).

CUADRO 2. PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE LA ANIDACIÓN POR ESPECIE, EN 39 PLAYAS ANALIZADAS. DATOS DE 1993 A 2002

<i>L. KEMPI</i>	<i>CH. MYDAS</i>	<i>C. CARETTA</i>	<i>E. IMBRICATA</i>
30.2	29.3	28.4	12.1

El análisis estadístico de la abundancia de los nidos por especie, en los años mencionados (1993 a 2002), se presenta en el cuadro 3. Es interesante que *L. kempi* se considera como la especie más amenazada; sin embargo, en los datos siguientes su abundancia se encuentra después de *E. imbricata*. Es probable que ésto se deba a que el registro de la anidación de *L. kempi* ha sido más detallado que el de las otras especies; además en estas últimas no se incluyen datos de varias playas que, o no se protegen o no se tuvo la información apropiada. Es muy interesante que el máximo número de nidos en alguna temporada de anidación corresponde a *Ch. mydas*, sin embargo, su promedio es menor al de *L. kempi* y *E. imbricata*, debido a que esta especie presenta alternativamente años con mayor y menor abundancia.

CUADRO 3 - ANÁLISIS DE LA ABUNDANCIA DE NIDOS POR ESPECIE, ENTRE 1993 Y EL 2002, DE *L. KEMPI* Y *CH. MYDAS*, Y DE 1993 AL 2001 PARA *C. CARETTA* Y *E. IMBRICATA*

	<i>L. KEMPI</i>	<i>CH. MYDAS</i>	<i>C. CARETTA</i>	<i>E. IMBRICATA</i>
Años evaluados	10	10	9	9
Media	3,544	3,332	1574	3817
Desviación estándar	19,31.2	2,362.1	686.4	1,605.4
Mínimo	1,567	935	567	1,300
Máximo	6,434	7,437	2,649	5,689
Suma de nidos	35,439	33,317	14,162	34,349
Nivel de confianza 95%	1,381.5	1,689.7	527.6	12,34.0

La importancia de la anidación en los últimos 10 años, considerando el valor promedio de la abundancia de los nidos por especie y por entidad federativa, se destaca en negritas en el cuadro 4, y tuvo el siguiente orden: *C. mydas* y *C. caretta* en Quintana Roo, *L. kempi* en Tamaulipas, *E. imbricata* en Campeche y *D. coriacea* en Veracruz. En el mismo cuadro, la abundancia promedio de los años analizados, por especie fue para: *L. kempi* con 3,447 nidos, *E. imbricata* con 2,761, *C. caretta* con 1,482, *C. mydas* con 1,430 y *D. coriacea* con menos de un nido al año, 0.88.

En ese mismo cuadro se puede observar que *Ch. mydas* anida en todo el Golfo de México y en la península de Yucatán, pero principalmente en Quintana Roo (41.20%); *E. imbricata* anida en toda la península de Yucatán con mayor abundancia en Campeche (62.72%); *C. caretta* anida casi exclusivamente en la costa de Quintana Roo; *L. kempi* principalmente en Tamaulipas (96.62%), y un pequeño porcentaje en Veracruz y *D. coriacea* casi está ausente de nuestras playas, con menos de un nido por año en Veracruz (41.5%) y en las demás entidades uno cada dos o tres años.

En la figura 2 las curvas muestran la tendencia que tuvo la abundancia de la anidación entre 1993- 2002 en las especies analizadas. Se puede observar que todas las tendencias son positivas y *L. kempi* es la que más rápido se está recuperando, después *E. imbricata*, luego *Ch. mydas* y por último *C. caretta*. Esta recuperación se debe a la combinación de las actividades de conservación en la playa, la veda total desde 1990 y el uso de los excluidores de tortugas marinas en la captura del camarón. Los resultados del análisis lineal de la abundancia de los nidos de cada especie se muestran en el cuadro

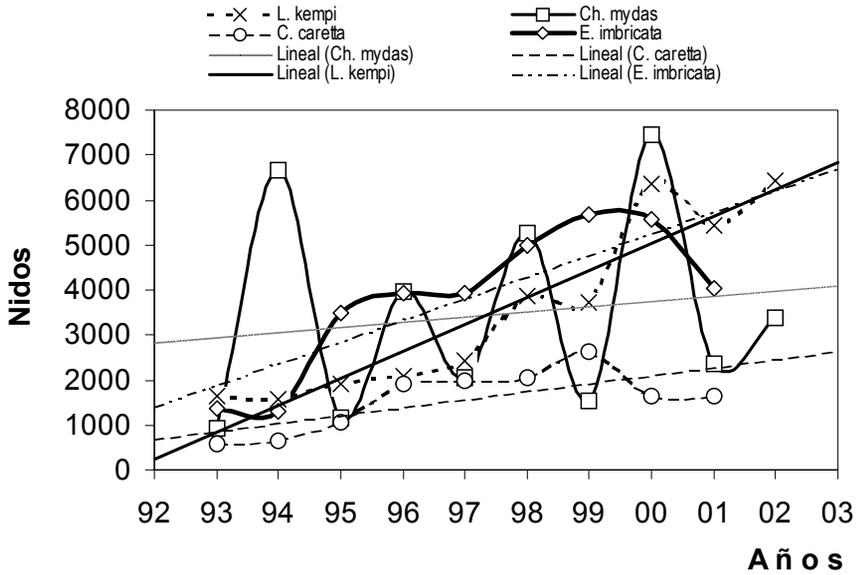
CUADRO 4. ABUNDANCIA ANUAL DEL NÚMERO DE NIDOS Y SU PORCENTAJE POR ESPECIE Y POR ENTIDAD FEDERATIVA (1993 A 2002)

	SUMA	ANUAL	%	SUMA	ANUAL	%	
		<i>Ch. mydas</i>				<i>E. imbricata</i>	
Tams.	1,272	141.3	4.07	7	0.70	0.02	
Ver.	6,572	730.2	21.04	20	2.50	0.06	
Camp.	4,817	535.2	15.42	19,325	2,761	62.72	
Yuc.	6,338	633.8	18.26	12,508	1,250.8	28.42	
Q. Roo	14,229	1,430	41.20	3,482	386.83	8.79	
		<i>C. caretta</i>				<i>D. coriacea</i>	
Tams.	28	2.8	0.19	5	0.50	23.72	
Ver.	8	1	0.07	7	0.88	41.50	
Camp.	1	0.111	0.01	3	0.33	15.81	
Yuc.	13	1.444	0.10	4	0.40	18.97	
Q. Roo	13,341	1,482	99.64				
		<i>L. kempí</i>					
Tamps.	34,472	3,447	96.62				
Ver.	959	119.9	3.36				
Camp.	8	0.8	0.02				

5. Como se observa todas las tendencias son positivas aunque el valor de correlación (R^2) solo es apropiado para *L. kempí* y *E. imbricata*. En el caso de *Ch. mydas* las variaciones de la anidación anual son muy amplias de un año a otro, por lo que la correlación es muy baja, aunque aumenta si se analizan por separado los años de anidaciones máximas y los de mínimas.

La investigación que se realiza en México, además de ampliar el conocimiento biológico, se aplica al fomento de las poblaciones silvestres. Como resultado de estas actividades se ha logrado estabilizar o incluso mejorar algunas poblaciones como *Ch. mydas* y *E. imbricata* o se ha evitado la extinción de *L. kempí*, como se puede ver en las curvas de abundancia presentadas en la figura anterior. En todo este periodo (1993 - 2002), *L. kempí* muestra un incremento constante (más de 10% anual), lo mismo que *E. imbricata*. Los datos de los últimos dos años para *E. imbricata* y las demás especies no son muy confiables, pues en algunas playas o se redujo el esfuerzo de trabajo o la información no se obtuvo completa.

FIGURA 2. ABUNDANCIA DE LA ANIDACIÓN DE TORTUGAS MARINAS Y SU TENDENCIA



CUADRO 5. ANÁLISIS LINEAL DE LA TENDENCIA DE LA ABUNDANCIA DE NIDOS EN LAS CUATRO ESPECIES

ESPECIE	ECUACIÓN LINEAL	R ²
<i>E. imbricata</i>	$y = 483.40x + 916.10$	0.680
<i>L. kempii</i>	$y = 598.59x + 345.12$	0.882
<i>Ch. mydas</i>	$y = 116.18x + 2721.6$	0.023
<i>C. caretta</i>	$y = 175.07x + 523.16$	0.488

CONSERVACIÓN

Las causas por las que se deterioran las especies son muy variadas, como la contaminación, la captura incidental, la captura comercial ilegal y últimamente el efecto que el cambio climático puede tener en el futuro en la proporción de sexos, determinados durante la incubación de los huevos. Así mismo, los fenómenos extremos causan problemas directos a las poblaciones, como los huracanes, falta o exceso de lluvia, el fenómeno de El Niño, etc.

Para tratar de contrarrestar por lo menos la captura legal e ilegal, se realizan actividades en el mar, a través de reglamentaciones a la pesca, como la implementación de vedas y el uso de los TED (Turtle Excluder Device); y en las playas protegiendo la anidación y la supervivencia de las hembras, los huevos y las crías, a través de “campamentos tortugueros”; y finalmente el cultivo experimental que puede aportar alguna contribución, como el caso del programa México-EE.UU. de *L. kempí*.

CULTIVO

En México no se ha desarrollado el cultivo hasta niveles comerciales, sólo se han mantenido las crías unos días y en ocasiones hasta más de un año, antes de liberarlas en el medio silvestre. Este “cultivo” informal se ha desarrollado generalmente dentro de los programas de protección que se realizan en diversas playas del país; sin embargo, la mayoría de las veces ha sido con la única finalidad de hacerle publicidad a los resultados de las actividades de protección, de tal manera que no se ha considerado una metodología adecuada y ni el estado de salud de los animales. Con frecuencia las pequeñas tortugas son liberadas con mutilaciones, traumas o infecciones en la piel. También se tiene la idea errónea de que con un relativo crecimiento las tortugas evitarán más fácilmente la depredación, sin embargo, como en la mayoría de los casos se desconocen las áreas naturales de distribución de las tortugas de tallas similares, es frecuente que éstas sean liberadas en lugares y momentos inadecuados, por lo que es difícil que encuentren organismos de su talla, se reúnan con la población silvestre y sobrevivan apropiadamente. Por lo tanto, se ha sugerido reiteradamente que no se deben mantener crías en cautiverio si no se tienen las instalaciones adecuadas y una información suficiente sobre los hábitos y distribución de las especies que garantice apropiadamente las liberaciones de los juveniles; en caso contrario es mejor liberarlas inmediatamente después de salir del nido y de la manera más natural posible.

Cultivo experimental. Con la finalidad de ampliar el área de anidación y apoyar la recuperación de la población de tortuga lora (*Lepidochelys kempi*), en 1978 el INP inició un trabajo en colaboración con el USF&WS y el NMFS de los EE.UU. A partir de ese año se apoyaron las actividades en la playa de anidación de Rancho Nuevo y a cambio, hasta 1992, se donaron cada año 2,000 huevos o crías (Márquez-M. en prensa), para incubarlos en las instalaciones de Isla Padre, Texas. Con la idea de que reconocieran esta playa, las crías se liberaron ahí mismo y se volvieron a capturar después de internarse unos metros en el mar; acto seguido las crías se llevaron a cultivar a las instalaciones del NMFS en Galveston, Texas y después de 9 a 10 meses, las tortugas que sobrevivieron, después de ser marcadas, se liberaron en el mar. Estas actividades se suspendieron parcialmente en 1992 y el donativo se redujo a 200 crías anuales, al considerar que era muy caro el cultivo y no se habían obtenido los resultados que se esperaban; sin embargo, en los registros hasta el año 2000, se había documentado la anidación en las costas de Texas de nueve tortugas provenientes de este experimento (Shaver 2000). Ese año se registraron 12 nidos de esta especie y se identificaron anidando dos tortugas con las marcas usadas en este experimento. El número de nidos continúa incrementándose poco a poco, alcanzando en la costa de Texas, 38 nidos en 2002 (Shaver com. pers.) por lo que la percepción negativa que se tenía ha estado cambiando.

Considerando la precaria situación de la especie *L. kempi*, 740 nidos anuales entre 1985-1987, con el apoyo de un inversionista holandés, supervisado por los doctores Peter Pritchard, Leo Brongersma, James Wood y el suscrito, trasladaron a la granja de las islas Gran Caimán (Cayman Turtle Farm) un "stock de reserva", como precaución para el caso de que la población siguiera disminuyendo. El embarque de 100 juveniles de 9 meses cultivados en Galveston, Tx. y 100 crías nacidas en Rancho Nuevo se efectuó el 4 de julio de 1980. Antes de cinco años, 2 hembras de la clase 1979 desovaron 2 nidos (en 1984), y para 1989 la anidación se había regularizado, por lo que el stock original se fue incrementando y para 1994 había además 446 tortugas de 5 clases anuales (1989-1993). Dada la recuperación de la población silvestre, se consideró en 1998 traer de la granja entre 100 y 200 individuos, con la posibilidad de regresarlos a su medio natural, manteniéndolos previamente en cuarentena antes de liberarlos. Para esta labor se obtuvo el apoyo de las autoridades del Parque Eco-Arqueológico de Xcaret, quienes construyeron nuevas instalaciones para albergar a estas tortugas donde se encuentra en la actualidad cerca de 100 individuos de ambos sexos.

Cultivo con fines ecoturísticos. El Parque Eco-Arqueológico de Xcaret, Quintana Roo, desarrolla un cultivo similar al anterior, con la tortuga blanca (*Ch. mydas*) y la caguama (*C. caretta*), y además del interés por la recuperación de estas especies se incluye la exhibición de las tortugas en instalaciones diseñadas para este fin. Los nidos se colectan en las playas de anidación de la localidad, donde se desarrollan trabajos de conservación. Estos se trasladan a las instalaciones de Xcaret y se incuban los huevos en cajas de poliuretano. La mayor parte de las crías se libera en las playas de origen y el resto se mantiene en cultivo cerca de un año, después se marcan y liberan en la misma región, generalmente involucrando en estas actividades a los turistas.

Cultivo comercial. En las décadas de 1960 y 1970, el cultivo de tortugas marinas se consideró como una posibilidad de gran futuro (Carr 1967, Hirt 1971), por lo cual en varios lugares se intentó cultivarlas (por ejemplo, las Islas Reunión del océano Índico, en la isla Gran Caimán de las Indias Occidentales y en el Estrecho de Torres, entre Nueva Guinea y Australia). En todos los casos se utilizó tortuga blanca (*Ch. mydas*). La metodología ha sido dominada, pero el cultivo comercial no ha prosperado debido a que las tortugas marinas están consideradas en peligro de extinción por la UICN y CITES, de tal manera que el comercio internacional no se ha podido realizar.

El cultivo de las tortugas marinas, de acuerdo con la CITES, tiene dos variantes. 1. “Cultivo en granja”, el cual se ha desarrollado usando de preferencia alimento preparado, ya que el natural fresco se descompone más rápidamente y contamina el agua de los estanques, y 2. “Cultivo en rancho”, en el cual se ha optado por alimento fresco, que incluye varias especies animales o vegetales según la disponibilidad, o preparado en caso de que éstas escaseen.

1. “Cultivo en granja”. Se desarrolla en la granja de tortugas marinas de la isla de Gran Caimán. Es un cultivo cerrado, ya que se inició con la captura de varios ejemplares adultos y la introducción de huevos y crías (Márquez-M. *et al.* 1991, 1992). Para realizar el comercio, la granja debe ser auto-sustentable y las tortugas destinadas a este fin deben ser obtenidas a partir de la reproducción de la segunda generación (F2) dentro de la granja. La granja inició sus actividades en 1968, y como la madurez sexual en cautiverio se puede obtener a partir de los cinco años, este requisito ya fue cumplido; sin embargo además de las regulaciones de CITES, existe una gran oposición de grupos conservacionistas, la cual no ha permitido exportar la producción, por lo que ésta ha sido reducida exclusivamente

para el consumo local. La talla comercial se obtiene en tres o cuatro años, tiempo en el cual las tortugas alcanzan 40 kg de peso. El exceso de la producción de crías que se obtiene cada temporada se cultiva durante un año, para luego ser liberadas.

2. "Cultivo en rancho". En este caso se deben colectar cada temporada los huevos y las crías en las playas cercanas a las instalaciones y mantenerlas en cautiverio 3 ó 4 años, hasta que alcancen tallas comerciales; este cultivo siempre dependerá de la producción silvestre. Los huevos o las crías se supone que provienen de la selección de los nidos en los cuales existe la certidumbre de que se van a echar a perder por causas naturales como: la erosión, la temperatura o humedad inadecuadas, la presencia de sustrato muy compacto o de grano muy grueso o con exceso de materia orgánica, o por estar en un sitio muy vulnerable a la depredación o las mareas, considerando además que su extracción no afectará el equilibrio natural de la abundancia de la población.

PESQUERÍA

Las tortugas marinas se explotaron en México hasta 1990, cuando se estableció una veda total, por tiempo indefinido (D.O.F. 1990). El desarrollo de esta pesquería en la costa oriental fue más conservadora, ya que al compararla con la del Pacífico, que en menos de una década creció rápidamente, llegó al máximo y por sobre-explotación se colapsó en menos de tres años. En cambio en la costa este, las fluctuaciones fueron menos amplias y más lentas, además de que la captura se registró de manera muy deficiente y sin diferenciar las especies, aunque se puede afirmar que la mayoría de las tortugas capturadas pertenecieron a las especies *Ch. mydas*, *C. caretta* y *E. imbricata*, las cuales en gran parte se consumieron regionalmente y una porción se exportó a EE.UU. A excepción de la tortuga laúd, todas las especies se comercializaron en mayor o menor grado. En la región, actualmente continua la captura clandestina, pero aunque se desconoce su volumen, existe la conjetura de que puede alcanzar varios miles de tortugas al año, ya sea por captura intencional o a través de la pesca incidental. Las especies incluidas en esta captura son principalmente *Ch. mydas*, *C. caretta*, *L. kempfi* y *E. imbricata*; en la captura incidental ocurren las mismas especies pero en diferentes proporciones. Las zonas de mayor captura incidental abarcan los estados de Tamaulipas y Veracruz y la Sonda de Campeche. Se desconoce el volumen anual de esta captura.

Las tortugas marinas y sus huevos se explotaron durante varios siglos de manera sustentable. Formaron parte de la dieta cotidiana en los pueblos de estas costas, en especial *Ch. mydas*, que incluso se exportó a la Unión americana. La carne, la piel y el aceite de esta especie y la de *C. caretta* se comercializaron ampliamente en la región y las artesanías elaboradas con la concha de carey tuvieron gran aceptación. La explotación comercial se realizó usando redes tortugueras y arpones, además de que fueron atrapadas durante la anidación. Entre 1964 y 1981 la proporción de captura registrada (cuadro 6) fue: *Ch. mydas* 67.9% en 17 años, *C. caretta* 24.8% en 13 años, *E. imbricata* 1.13% en 9 años, piel 5.56% en 8 años y aceite 0.6% en 7 años. Los años faltantes no se capturó o no se registró. La distribución del total de esta captura, por estados (cuadro 7), en los mismos años fue: Tamaulipas 0.08%, Veracruz 2.29%, Tabasco 0.23%, Campeche 14.01%, Yucatán 6.1% y Quintana Roo 74.73%. Debido a la sobreexplotación, para 1970 todas las poblaciones habían sido diezmadas. Durante 1972-1973 hubo una veda total y en esta región la captura comercial, a partir de 1982 dejó de registrarse, al volverse a otorgar permisos de captura.

En las figuras 3 y 4 se incluye gráficamente la proporción en las cuales se registraron tanto las especies como sus productos. Los datos se separaron en dos figuras debido a que el carey y el aceite se registraron en una proporción muy baja comparada con *Ch. mydas* y *C. caretta*; el carapacho sólo se registró un solo año y no está claro a qué especie corresponde, aunque es posible que se refiera a la tortuga de carey, por su valor comercial.

CUADRO 6. PORCENTAJE DE LAS ESPECIES EN LA CAPTURA COMERCIAL EN LA REGIÓN Y AÑOS EN LOS QUE APARECE EL REGISTRO ESTADÍSTICO. PERIODO 1964-1981

ESPECIES	%	AÑOS
<i>Ch. mydas</i>	67.89	17
Caguama	24.81	13
Carey	1.13	9
Piel	5.56	8
Aceite	0.60	7

CUADRO 7. PORCENTAJE DE LA CAPTURA COMERCIAL ANUAL PROMEDIO
POR ESTADO ENTRE 1964 Y 1981

ESTADOS	%
Tamaulipas	0.085
Veracruz	2.292
Tabasco	0.228
Campeche	14.013
Yucatán	6.060
Q. Roo	74.734
Total	97.41

FIGURA 3. REGISTRO DE LA CAPTURA COMERCIAL DE TORTUGA BLANCA, CAGUAMA Y PIEL

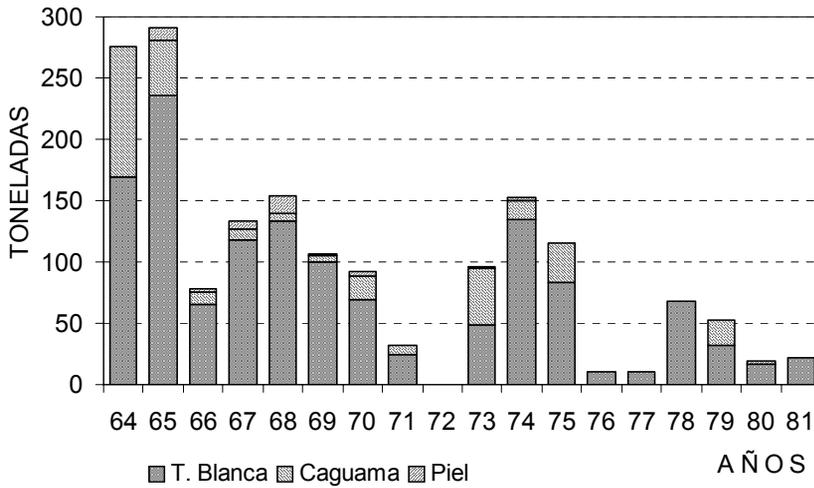
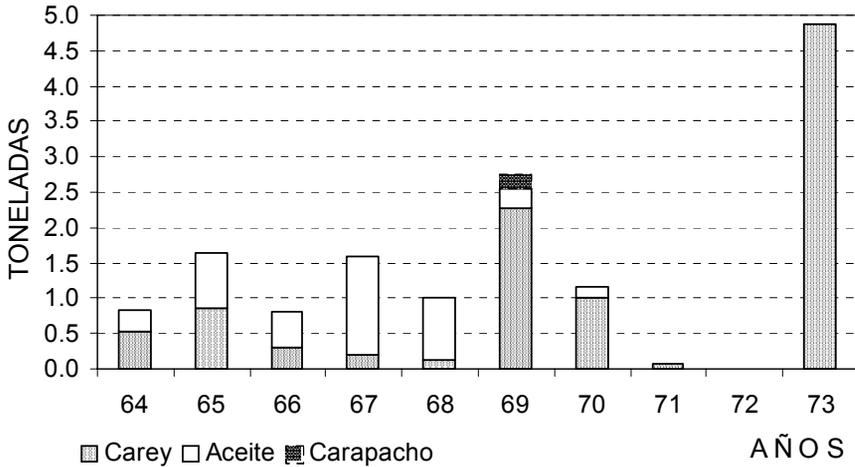


FIGURA 4. REGISTRO DE LA CAPTURA COMERCIAL DE TORTUGA CAREY, ACEITE Y CARAPACHO



La captura se realizó por medio de redes de hilo de algodón o monofilamento de nylon, tejido de malla grande (mayor a 70 cm entre nudos), longitud generalmente mayor a 50 metros, con boyas separadas cada 2 metros en la relinga superior y en la inferior plomada ligera con objeto de que la tortuga pudiera salir a respirar. Los arpones se usaron en el Caribe, durante el método llamado “correteada” que consistía en seguir a la tortuga hasta que salía a respirar para lanzarle el arpón o sacarla a mano o con un gancho (Márquez-M. 1976). También se capturaron ilegalmente tortugas en la playa durante la época de anidación y se extrajeron sus huevos, se desconoce el volumen de esta captura, pero debió ser similar a la obtenida legalmente. El huevo de vientre (folículos vitelogénicos), llamado “coral” se ponía a secar en el sol y era consumido principalmente por las familias de los pescadores.

Captura incidental. El uso de excluidores. La pesquería de camarón es una de las menos selectivas que se realizan en la actualidad, aproximadamente por cada tonelada de camarón se extraen nueve de otras especies, las cuales entre el 80 y 90% son consideradas sin valor comercial. Dentro de la fauna de acompañamiento (FAC) se puede encontrar: peces, tiburones, rayas, jaibas, cangrejos, cucarachas, caracoles, almejas, pulpos, calamares, medusas, aba-

nicos, estrellas, erizos, etc., sin embargo la gran mayoría de los organismos que pudieran tener algún valor comercial no alcanzan una talla aceptable y por lo tanto son regresados al mar; desafortunadamente durante la manipulación muere más del 95%. En ciertas zonas, las tortugas marinas también se pueden capturar con frecuencia y el *stress* y la anoxia que sufren durante la captura puede causarles desde daños leves hasta la muerte.

En los EE.UU., la controversia sobre la captura incidental de tortugas marinas en la pesca del camarón se inició hace varias décadas. Los cálculos hasta 1983, efectuados por el NMFS para su región Atlántica, indicaban para finales de los años 1970 una captura anual incidental, (realizada por una flota estimada en 17,200 embarcaciones, operando más allá de las dos brazas de profundidad) de alrededor de 47,970 tortugas, de las cuales se estimó que morían ahogadas 11,180 (Henwood y Stuntz 1987). Para reducir significativamente esta captura, el NMFS recopiló experiencias de pescadores, e inició en 1978 estudios para desarrollar un artefacto que permitiera la salida de las tortugas, con el mínimo daño posible y la menor pérdida de camarón (Webber *et al.* 1995).

En 1981 se creó el primer TED (*Trawling Efficiency Device*), nombre que después se cambió por *Turtle Excluder Device* (Webber *et al.* 1995). La eficiencia de estos equipos ha sido variable, ya que aun cuando pueden estar perfectamente adaptados al tipo de red, de barco y lugar de arrastre, el resultado depende también de otros factores circunstanciales que pueden causar una pérdida considerable de camarón.

A partir del 1° de abril de 1993, se inició el uso del TED de manera obligatoria en nuestra costa Atlántica (Márquez-M. 1994). Para adaptar estos artefactos a nuestras necesidades, sobre todo considerando en lo posible el uso que se da a cierta parte de la FAC, se desarrollaron programas de investigación dentro del INP y, al mismo tiempo, con apoyo del NMFS se realizaron seminarios y talleres de actualización y entrenamiento a los pescadores.

REGLAMENTACIONES

La pesquería de tortugas marinas se ha caracterizado por un súbito desarrollo en la década de 1960 y su rápida caída a principios de la siguiente, de tal manera que se tuvieron que decretar restricciones como: tallas mínimas, cuotas de captura, vedas parciales y totales, etc. En el ámbito internacional su comercio está regido por la CITES y la UICN y para una mejor administración y conservación se creó recientemente la Convención Interamericana

para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. En México se han puesto en vigor un sinnúmero de medidas, algunas de las cuales se incluyen en el cuadro 8.

CUADRO 8. MEDIDAS ADMINISTRATIVAS ADOPTADAS EN MÉXICO PARA EL MANEJO Y PROTECCIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS LA MAYORÍA HAN SIDO PUBLICADAS EN EL *DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN* COMO DECRETOS, NORMAS O CIRCULARES

DISPOSICIONES	AÑOS
Promulgación de vedas temporales a la pesca, prohibición temporal a la recolección de huevos y decreto de tallas mínimas de captura.	1925-1946
Prohibición definitiva a la cosecha y comercio de huevos.	1963
Inicio de los trabajos de protección en las playas de Rancho Nuevo, Piedra de Tlalcoyunque, Boca de Pascuales y Playón de Mismaloya.	1966
Inicio de los trabajos de protección en la playa de La Escobilla.	1967
Veda total a la captura de tortugas marinas.	1971-1972
Otorgamiento de permisos para la captura exclusivamente a sociedades cooperativas de producción pesquera.	1973
Decreto de Veda Total a la explotación de la tortuga lora.	1973
Decreto de la Zona de Reserva Natural de 17.5Km de la playa de Rancho Nuevo, Tamps.	1977
Veda total para la explotación de lora, blanca, caguama y carey.	1978
Incorporación del Programa de Tortugas Marinas a los Programas binacionales MEXUS-Golfo y MEXUS-Pacífico.	1978
Decreto como Zonas de Reserva y Sitios de Refugio a 17 playas de anidación de tortugas marinas en todo el país.	1986

(Continúa)

TABLA 8 - MEDIDAS ADMINISTRATIVAS ADOPTADAS EN MÉXICO PARA EL MANEJO Y PROTECCIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS LA MAYORÍA HAN SIDO PUBLICADAS EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, COMO DECRETOS, NORMAS O CIRCULARES

DISPOSICIONES	AÑOS
Publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de la Protección al Medio Ambiente, en la cual se incluyen medidas para la protección del hábitat de las tortugas marinas.	1988
Incorporación de la captura a un régimen de cuotas y franquicias, con exclusividad a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera de Michoacán y Oaxaca.	1988
Decreto de veda total y Permanente de todas las especies y subespecies de tortuga marina.	1990
Modificaciones al Código Penal para sancionar la captura, colecta y comercialización de especies en peligro de extinción, particular-mente delfines y tortugas marinas.	1991
Norma mexicana sobre uso obligatorio de Dispositivos Excluidores de Tortugas (“TED’s”) para el Golfo de México y Mar Caribe.	1993
Norma mexicana sobre el uso obligatorio de “TED’s” en el Pacífico Mexicano, incluyendo el Golfo de California.	1996
Reformas y Derogaciones al Código Penal en materia de Fuero Federal, para sancionar la captura, colecta y comercialización de especies en peligro de extinción como las tortugas marinas o sus productos y derivados. Capítulo. Delitos ambientales, artículo 420.	1996
Firma y Ratificación, por México, de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas.	1998
Acuerdo por el que se determinan como áreas naturales protegidas, con la categoría de <i>santuarios</i> , a las zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control de las diversas especies de tortuga marina, ubicadas en los estados de Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Sinaloa, Tamaulipas y Yucatán, identificadas en el decreto publicado el 29 de Octubre de 1986.	2002
Primera Reunión de la Comisión Interamericana para la protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Constitución de los comités y las comisiones científicas.	2003

Fuente: Adaptada de Márquez-M. *et al.* 1998.

Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Reconociendo la distribución regional de las diferentes especies de tortugas marinas que frecuentan los litorales americanos, su vulnerabilidad a las diferentes artes de pesca y a las modificaciones de su hábitat, se consideró necesario desarrollar una campaña internacional a través de la firma de una «convención hemisférica», a fin de salvaguardar y, en su caso, incrementar las poblaciones de estos reptiles, además de conservar la biodiversidad y la posibilidad futura de realizar una captura en niveles sustentables. Esta convención fue establecida en diciembre de 1998, reconociendo todos los aspectos mencionados. En ella se incluyen compromisos y obligaciones para los países firmantes en el marco de la conservación y en algunos casos el uso sustentable. Para dar seguimiento y apoyar las actividades de la Convención, se ha considerado la creación de un cuerpo consultivo y uno científico. En el presente año (2003) se iniciaron las reuniones para dar forma a la convención y a los comités consultivo y científico.

EDUCACIÓN

El Programa de Tortugas Marinas se ha caracterizado por su alcance integral, abarcando la biología, la pesquería, el hábitat, la distribución y la interrelación de las poblaciones de tortugas con los habitantes costeros, por lo que en los campamentos tortugueros, además de fomentarse el estudio y desarrollo de las especies, se ha dado prioridad a las actividades educativas en el área de influencia. Frecuentemente el mismo personal técnico y científico es el que imparte las pláticas informativas sobre los trabajos de conservación que se realizan y la vulnerabilidad de la vida silvestre. Al mismo tiempo se presentan videos, se realizan concursos de dibujo infantil, juegos, piñatas, etc. Dentro de las actividades más relevantes es frecuente que a los estudiantes de escuelas primarias, durante los días que ocurren las eclosiones más numerosas, se les invite a participar en la liberación de crías.

Universidades y sociedades civiles intervienen en los trabajos de conservación, organizando brigadas que visitan a las comunidades de la región, tratando de informar sobre los objetivos de los trabajos y promoviendo la participación activa en estos programas. En muchos casos a las comunidades que dependían de la explotación de tortugas marinas se les presentan alternativas de ocupación que les permiten incrementar sus ingresos económicos.

A través de las oficinas de gobierno se promueven campañas al nivel nacional, para abatir el consumo de huevo y productos derivados de tortu-

gas marinas, tratando de hacer conciencia en el público sobre la necesidad de proteger a estas especies. Las campañas se realizan utilizando medios masivos de comunicación como periódicos, radio, televisión, cine, desfiles populares, exposiciones en ferias, salones públicos, clubes sociales, museos y acuarios. Por otra parte, también se desarrollaron proyectos de educación ambiental con estudiantes universitarios, sociedades conservacionistas y las direcciones de pesca estatales. A nivel estudiantil se organizaron hasta hace algunos años los Encuentros Inter-Universitarios, donde se presentaban los avances de la investigación, conservación y educación, los cuales valdría la pena continuar desarrollando.

CONCLUSIONES

Debido a la problemática de las tortugas y su estatus de especies en peligro de extinción, como resultado de la sobreexplotación y mal manejo de los ecosistemas, es muy importante fortalecer los programas vigentes de protección, a través de actividades de investigación, conservación y educación, orientados hacia el desarrollo de nuevas alternativas y esquemas de manejo de estos valiosos recursos.

Actualmente, en muchas de las playas las poblaciones de tortugas marinas continúan en franco deterioro por falta de suficiente apoyo a las actividades de fomento y conservación sin embargo, en otras la respuesta ha sido positiva, como resultado de estos trabajos y la tendencia en el número de anidaciones indica un aumento importante, como sucede con *L. kempfi* y algunas poblaciones de *E. imbricata* y *Ch. mydas*. Por otra parte, *C. caretta* se mantiene estable y *D. coriacea* presenta una situación incierta. Debido a lo anterior, es necesario un mayor apoyo y un monitoreo más confiable de la evolución de las poblaciones en las playas y en el mar, desarrollando todas las acciones indispensables para conocer con precisión el estado de esas poblaciones y poder definir las estrategias más adecuadas para su recuperación. Sin embargo, la información actual, obtenida a través de los coordinadores de algunos campamentos, nos indica que el saqueo continúa y es necesario actuar con medidas más drásticas y eficientes para evitar que lleguen a un colapso.

AGRADECIMIENTOS

Después de más de 30 años de actividades con las tortugas marinas es difícil nombrar a todas las personas que han contribuido de manera sustancial al

desarrollo exitoso de la investigación y conservación de tortugas marinas en México. La creación de programas conjuntos, tanto nacionales como con el extranjero, han producido sus frutos en la recuperación de algunas poblaciones, de tal manera que a todos ellos un profundo agradecimiento, pues sin su colaboración no hubiera sido posible alcanzar estos resultados. Para la elaboración de este documento, solicitado por el Instituto Nacional de Ecología, se utilizó información generada por una gran cantidad de investigadores, técnicos y voluntarios adscritos a las siguientes instituciones: las secretarías de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y la de Ganadería, Agricultura y Pesca, los institutos nacionales de la Pesca y el de Ecología, el Servicio Nacional de Pesca Marina y el Nacional de Pesca y Vida Silvestre, de EE.UU., el zoológico Gladys Porter de Brownsville, la Cámara de Nacional de la Industria Pesquera, los gobiernos de los estados, Parque Eco-Arqueológico de Xcaret y varias organizaciones no gubernamentales. A todos ellos nuestro agradecimiento así como un reconocimiento especial a los miembros de la Secretaría de Marina por su apoyo en la vigilancia de las playas y los campamentos tortugueros así como a los miembros de las Oficinas de Pesca de la Semarnap y la Profepa.

BIBLIOGRAFÍA

- Briseño-D., R. y F. A. Abreu-G. 1994. Bitmar's survey of sea turtle nesting beaches is part of new approaches to conservation in Mexico. En: K. A. Bjorndal, A. B. Bolten, D. A. Johnson y P. J. Eliazar (comp.). *Proceedings of the Fourteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. March 1994, Hilton Head, South Carolina. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-351: 198-201.
- Carr, A. F. 1967. *So excellent a fish. A natural history of sea turtles*. American Mus. Nat. Hist. Pub. Natural History Press, N.Y., 248pp.
- D.O.F. 1990. Acuerdo por el que se establece veda total para todas las especies y subespecies de tortugas marinas en aguas de jurisdicción nacional de los litorales del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. *Diario Oficial de la Federación*. México. Mayo 31, pp:21-22.
- Eckert, K. y L. Sarti. 1997. Distant fisheries implicated in the loss of the world's largest leatherback nesting population. *Marine Turtle Newsletter* 78:2-7.
- Henwood T.A. y W. E. Stuntz 1987. Analysis of sea turtle capture and mortalities during commercial shrimp trawling. *Fishery Bulletin* 89:813-817.
- Hirt, H.F., 1971. Synopsis of biological data on the green turtle *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758). FAO Fish. Synop., FIRM/585: 75pp.

- Johnson, S. A., A. L. Bass, B. Libert, M. Marshall y D. Fulk 1999. Kemp's Ridley (*Lepidochelys kempi*) nesting in Florida. *Florida Scientist* 62(3-4):194-204.
- Márquez-M., R. 1976. *Estado actual de la pesquería de tortugas marinas en México*. SIC, Subsecretaría de Pesca. INP. México, Serie Información. 46:27pp.
- 1990. Sea Turtles of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Sea Turtle Species known to date. FAO Species Catalogue. *Fisheries Synopsis*, FIR/S, Vol. 11, No. 125: 81 pp.
- 1994. *Synopsis of Biological data on the Kemp's ridley turtle, Lepidochelys kempi* (Garman, 1880). NOAA Technical Mem., NMFS-SEFSC-343, 91pp.
- 1996. *Las tortugas marinas y nuestro tiempo*. Fondo de Cultura Económica, México. 197 pp.
- (en prensa). The kemp's ridley sea turtle, *Lepidochelys kempii*, En: 1st *Macaronesian Sea Turtles Workshop and Modern Applicable Technologies*. Pájara, Fuerteventura, I. Canarias, Diciembre 2-3, 2002:155-174.
- Márquez-M., R., G. Nodarse y S. Elizalde. 1991. La cría de la tortuga blanca *Chelonia mydas*, en la Granja de la Isla de Gran Caimán Antillas Mayores. I. Generalidades. *Archelon*, 1(2):5-8.
- Márquez-M., R., G. Nodarse y S. Elizalde 1992. La cría de la tortuga blanca *Chelonia mydas*, en la Granja de la Isla de Gran Caimán Antillas Mayores. II. Aspectos Técnicos. *Archelon*, 1(3):1-5.
- Márquez-M., R., Ma. Carmen Jiménez, M.A. Carrasco y N.A. Villanueva 1998. Comentarios acerca de las tendencia poblacionales de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* después de la veda total de 1990. *Oceánides*, 13(1):41-62.
- Shaver, D.J. y C.W. Caillouet 1998. More Kemp's ridley turtles return to south Texas to nest. *Marine Turtle Newsletter* 82:1-5.
- Shaver, D.J. 2000. Summary North Padre Island Kemp's ridley Project and Texas Sea Turtle Nesting and Stranding. Report for: Kemp's ridley Working Group Meeting. October 25-26, 2000. Brownsville, Tx., 7pp.
- Solórzano-P., A. 1963. Tortuga marina. Datos sobre su biología y cultivo. Prospección acerca de las tortugas marinas de México. INP (reed. 1990). Doc. Trab. 11(18)1-26.
- Webber, M., D. Crouse, R. Irvin y S. Ludicello 1995. *Delay and Denial. A political history of sea turtles and shrimp fishing*. Center for Marine Education. 46 pp.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS COMUNIDADES BÉNTICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO

Elva Escobar Briones

INTRODUCCIÓN

En aguas someras el bentos es un componente relevante en la economía de los estados costeros del Golfo de México donde diversas especies han contribuido históricamente como recursos pesqueros (camarones, langostas, jaibas, caracoles, almejas, etc.) y recientemente en la producción acuícola por la producción uniespecífica, en la farmacología por la extracción de compuestos bioactivos (de caracoles, corales, esponjas) y la otras industrias con la generación de biopolímeros, pegamentos, colorantes y otros derivados de microorganismos e invertebrados que permiten el desarrollo en los tres países colindantes de la cuenca. El bentos de aguas profundas, por su abundancia, talla y estructura poblacional, no ofrece la posibilidad de explotar sustentablemente recursos a nivel comercial. Su importancia a la escala global tiene que ver con que especies como los corales capturan carbono en sus estructuras carbonatadas centenarias, participando en la regulación del clima y del carbono en el planeta.

DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

Los organismos asociados a los fondos marinos se definen como bentos. El bentos en el ecosistema marino es de gran importancia por su papel en los

procesos primarios, los ciclos biogeoquímicos donde se encuentra estrechamente vinculado al reciclamiento de materiales en la interfase agua-sedimento. Los componentes bénticos ocurren a lo largo de todo el gradiente batimétrico, desde la zona litoral hasta los abismos. La asociación del bentos, temporal o permanente, con el sustrato se presenta a través de las actividades de bioturbación, horadación, oxigenación y cementación del sedimento. Las interacciones con otras especies le permiten la subsistencia a lo largo del ciclo de vida. Las actividades del bentos pueden darse sobre el sustrato por aquellos organismos que se denominan epifauna, la cual comúnmente presenta tallas grandes, es visible desde una fotografía y puede ser sésil o errante. Los organismos están limitados en su movilidad; cuando realizan actividades en el interior del sedimento y aprovechan los espacios intersticiales se agrupan bajo el término de endofauna o infauna, y se caracterizan por tallas pequeñas que incluyen a la macro y a la meiofauna. El vínculo con el sedimento es estrecho y entre componentes existe una relación de las actividades conformando tramas alimentarias independientes en las cuales los efectos entre tallas de cada uno de los componentes responden en diversas escalas de tiempo y espacio. Pertenecen así mismo al bentos la vegetación enraizada, microalgas y biofilms de consorcios microalgales y bacteriano. La sola presencia de humedad permite que los consorcios bacterianos y de Archaeas subsistan en los gradientes químicos más extremos de salinidad, pH, Eh, oxígeno tanto en la interfase sedimento-agua como en el interior del sedimento, incluyendo profundidades de más de 1km en el interior de la corteza.

ANTECEDENTES

Los primeros registros de comunidades bénticas en el Golfo de México datan de la primera mitad del siglo XIX y provienen de hábitat someros. Los registros de hábitat más profundos se originan de estudios con embarcaciones mayores, inician en la segunda mitad del siglo XIX. Los estudios realizados en el siglo XX fueron de naturaleza descriptiva y han permitido la caracterización de ecosistemas costeros principalmente en el sector norte de la cuenca. Los estudios en el sector sur se iniciaron en la mitad del siglo XX, principalmente en hábitat someros costeros y versan sobre riqueza de especies, sistemática de algunos grupos y han permitido una caracterización buena de la estructura comunitaria béntica.

El estudio de los ecosistemas ubicados en aguas profundas del sector sur del Golfo inicia en la década de los sesenta por colegas norteamericanos y ha

continuado en la segunda mitad de la década de 1990 por científicos mexicanos con infraestructura mexicana. A nivel nacional casi cada institución de investigación cuenta con un investigador que desarrolla estudios generales de las comunidades bénticas, la gran mayoría centra sus estudios en las bahías y aguas litorales adyacentes y comúnmente están especializados en un grupo taxonómico. A nivel internacional, el número de investigadores está altamente especializado y cada institución cuenta con más de un grupo de investigadores que se abocan a caracterizar los procesos de cada uno de los componentes bénticos en los ecosistemas.

PRINCIPALES HÁBITATS

El bentos del Golfo de México se ha estudiado ampliamente en la zona costera, los hábitats mejor documentados incluyen marismas, playas, la costa rocosa, las raíces de manglares, pantanos y pastos marinos en las lagunas costeras y estuarios, y en menor grado las playas y las costas rocosas. Así mismo, la información es abundante para el bentos de fondos lodosos, arrecifes de ostras y de coral asociados a la plataforma continental, donde se ha explotado también el número más elevado de recursos. Las comunidades bénticas del talud continental, asociadas a los fondos con actividad quimiosintética, como son las infiltraciones de metano, de salmueras, carbonatos y clatratos, se han estudiado recientemente junto con las comunidades bénticas de cañones, escarpes y montes en la planicie abisal. De los resultados existentes de estudios del bentos en el Golfo de México se puede reconocer que existe una diversidad grande de ecosistemas y hábitats. Esta diversidad en escalas de ecosistemas, y paisajes permite extrapolar que en el Golfo de México existe una diversidad potencial elevada equivalente a la reconocida en *hotspots* terrestres de ambientes tropicales y subtropicales. El cuadro 1 y los textos descritos a continuación sintetizan características de los hábitat bénticos marinos en el Golfo de México en aguas de la ZEE con resultados de los estudios realizados en las décadas pasadas por investigadores nacionales y extranjeros en el Golfo de México. Este cuadro describe así mismo el papel que los hábitats bénticos proveen en el ecosistema, los usos que se dan a los hábitats bénticos y los principales problemas a los que se ven expuestos.

La zona costera es una zona de confluencia entre los ecosistemas terrestres con los marinos cuyas fronteras son difusas y presentan una superposición con gradientes marcados de salinidad, temperatura y otros factores ambientales.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS HÁBITATS PRINCIPALES QUE OCURREN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN A LOS VALORES ANTROPOCÉNTRICOS

HÁBITAT	SUSTRATO	EXTENSIÓN	ÁREA TOTAL	INTERVALO DE PROFUNDIDAD (M)	INTERVALO DE SALINIDAD (UPS)	DISTANCIA DEL CONTINENTE (KM)	RIQUEZA DE ESPECIES
Lagunas costeras, estuarios y bahías	Sedimentos lodosos, pastos marinos, raíces de manglares	Grande	Pequeña	0 a 15	0 a 100	0 a 110	Variable dependiente del gradiente de salinidad y oxígeno.
Playas y costa rocosa	Arena, grava, lodos, concherío, bases carbonatadas	Grande	Pequeña	30 snm a 15	0 a 80	0 a 5 (tierra adentro)	Baja a moderada, dependiente del sustrato
Plataforma interna	Sedimentos suaves, arenosos, arrecifes, bancos,	Muy grande	Pequeña	15 a 60	0 a 36	0 a 5	Alta

ESTRUCTURAS SIGNIFICATIVAS	FUNCIÓN EN EL ECOSISTEMA	COMPLEJIDAD	PRODUCTIVIDAD	BIOMASA	IMPACTOS GENERADOS POR EL HOMBRE	USOS PARA EL HOMBRE
Pastos marinos, manglares, arrecifes de ostiones, pantanos, planicies mareales, ríos, lagos	Productores, exportadores, almacenaje/captura de carbono biogénico. Áreas de anidación, crianza y refugio. Remineralización de nutrimentos.	Ecotonos. Muy elevada	Alta	Muy alta	Represamiento de ríos, desechos urbanos e industriales, dragado, maricultura	Amortiguamiento y protección contra tormentas, cambio de nivel del mar. Recursos.
Humedales, planicies hipersalinas, pantanos de <i>Spartina</i> , bosques de manglar, pastos marinos, arrecifes de poliquetos y bivalvos, costa rocosa, espigones	Productores, exportadores, almacenaje de carbono biogénico.	Muy elevada	Baja a moderada	Variable	Extracción de roca y arena, desarrollos costeros, maricultura	Amortiguamiento y protección contra tormentas, cambio de nivel del mar. Recursos energéticos, pesqueros y biotecnológicos.
Espigones, arrecifes artificiales, plataformas petroleras	Productores, exportadores de carbono biogénico. Remineralización de nutrimentos.	Muy elevada	Muy alta	Muy alta	Aportes urbanos e industriales, desarrollo portuario,	Recursos. Diversidad genética y biotecnológica.

(Continúa)

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS HÁBITATS PRINCIPALES QUE OCURREN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN A LOS VALORES ANTROPOCÉNTRICOS

HÁBITAT	SUSTRATO	EXTENSIÓN	ÁREA TOTAL	INTERVALO DE PROFUNDIDAD (M)	INTERVALO DE SALINIDAD (UPS)	DISTANCIA DEL CONTINENTE (KM)	RIQUEZA DE ESPECIES
	fondos con concha						
Plataforma externa	Sedimentos suaves	Grande	Grande	60 a 200	15 a 36	5 a 200	Alta a moderada
Talud continental	Sedimentos suaves, carbonatos	Grande	Moderada	200 a 2,800	34 a 35	50 a 300	Alta a moderada

ESTRUCTURAS SIGNIFICATIVAS	FUNCIÓN EN EL ECOSISTEMA	COMPLEJIDAD	PRODUCTIVIDAD	BIOMASA	IMPACTOS GENERADOS POR EL HOMBRE	USOS PARA EL HOMBRE
bancos, canales, arrecifes de coral, barreras, atolones, cenotes, fondos de <i>Halimeda</i>					maricultura, pesquería por arrastre y dragado, extracción de recursos energéticos	
Zonas de hipoxia, fondos de desove, arrecifes artificiales, plataformas petroleras, atolones, islas	Productores y transformadores, captura de carbono biogénico. Remineralización de nutrientes.	Elevada	Muy alta	Muy alta	Pesquería por arrastre y dragado, extracción de recursos energéticos, desechos en altamar	Recursos
Zona de oxígeno mínimo, infiltraciones de metano e hidrocarburo, lagos hipersalinos, cañones, volcanos de lodo, cordilleras, corrientes de turbidez,	Productores y transformadores de carbono biogénico. Remineralización de nutrientes	Elevada, dependiente de la infiltración de fluidos. Ecotono	Localmente variable	Localmente variable	Pesquería por arrastre y dragado, extracción de recursos energéticos, desechos en altamar	Recursos. Protección contra tormentas y olas. No explorado

(Continúa)

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS HÁBITATS PRINCIPALES QUE OCURREN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN A LOS VALORES ANTROPOCÉNTRICOS

HÁBITAT	SUSTRATO	EXTENSIÓN	ÁREA TOTAL	INTERVALO DE PROFUNDIDAD (M)	INTERVALO DE SALINIDAD (UPS)	DISTANCIA DEL CONTINENTE (KM)	RIQUEZA DE ESPECIES
Escarpes	Rocoso	Grande	Pequeña	5 a 3,800	34 a 36	5 a 300	Moderada a baja, poco estudiada
Planicie abisal	Sedimentos suaves	Grande	Muy grande	2,800 a 3,800	34.2	5 a 300	Alta, poco estudiada

ESTUARIOS

Los estuarios o sistemas estuarinos son, en el contexto de la zona costera, identaciones costeras que tienen conexión restringida al océano y permanecen abiertas intermitentemente. Se consideran entre los ecosistemas más importantes de la zona costera, ya que constituyen zonas de transición o ecotonos entre la zona terrestre y la zona marina donde el drenaje del agua

ESTRUCTURAS SIGNIFICATIVAS	FUNCIÓN EN EL ECOSISTEMA	COMPLEJIDAD	PRODUCTIVIDAD	BIOMASA	IMPACTOS GENERADOS POR EL HOMBRE	USOS PARA EL HOMBRE
zonas de erosión						
Paredes verticales de carbonatos, infiltraciones de sulfuros, sal y metano, depositos de sedimento suave	Transformadores de carbono biogénico. Remineralización de nutrimentos	Variable, dependiente del gradiente de profundidad y luz.	Baja, poco estudiada	Baja, poco estudiada	Se desconoce	Recursos biotecnológicos
Infiltraciones de metano, de sal y chapopote, montes de sal	Almacenaje/secuestro de carbono biogénico. Remineralización de nutrimentos	Poco estudiada, dependiente de aportes alóctonos y autóctonos	Baja, poco estudiada. Elevada asociada a chapopote	Baja, poco estudiada	Desechos en altamar, se prevé la extracción de recursos energéticos en los próximos años	No explorado. Recursos. No explorado

dulce terrestre se mezcla con el agua marina, creando unas de las áreas más productivas debido al continuo control hidrodinámico, la maximización de la luz y la concentración alta de nutrientes estrechamente acoplados, reteniendo y reciclando eficientemente los nutrimentos. Constan de una zona fluvial, una zona de mezcla o propiamente el estuario, y una zona turbia en la zona colindante con el océano abierto asociada a la zona de mezcla y la pluma marea. Son complejos y varían considerablemente en su

geomorfología, hidrografía, salinidad, mareas, sedimentación y energética del ecosistema. Como consecuencia de esta complejidad las comunidades biológicas cambian sustancialmente de uno a otro estuario y dentro del estuario mismo. Las variaciones en las condiciones físicas y químicas hacen difícil el distinguir los efectos sobre las comunidades biológicas entre los cambios naturales (huracanes, tormentas, etc.) y los cambios antropogénicos.

Biológicamente sostienen densidades y biomásas elevadas. La diversidad biológica es notablemente baja en la cual casi todos los phyla animales ocurren en densidades elevadas y están representados por organismos en toda la escala de tallas, representados en los niveles más altos por peces demersales, crustáceos y moluscos. En el Golfo de México han sido tal vez los hábitat más estudiados por las instituciones mexicanas. Los hábitat asociados a los humedales y planicies de inundación que bordean a un estuario incluyen a nivel supramareal las planicies de lodo, las playas y las marismas que en la porción marginal de los estuarios tropicales se caracterizan comúnmente por manglares. En el marco de los componentes más pequeños, se reconoció que los consorcios bacterianos heterótrofos y degradadores de petróleo responden a los cambios estacionales y muestran un metabolismo cambiante asociado a la variación en la composición de las especies que componen el consorcio que habita sedimentos en gradientes distintos de salinidad y de aporte de materia orgánica (Lizárraga Partida *et al.* 1987). Los estudios de Rogers y García Cubas (1981) reconocieron que los ostiones, un típico recurso pesquero de naturaleza béntica que forma bancos y crece sobre manglares en este tipo de sistemas, atraviesan diferentes fases de maduración con porcentajes de hermafroditismos bajos (2%) y proporciones sexuales de 1:2. Resultados de este tipo son de utilidad en el manejo de recursos bióticos ante condiciones variables y ante la introducción de especies exóticas como es *Crassostrea gigas*. La elaboración de inventarios de la fauna en los sistemas estuarinos cuenta un avance considerable. Los registros de Reguero y García-Cubas (1993) mostraban la catalogación de la malacofauna para 12 lagunas del Golfo de México en las cuales se había reconocido 25 especies de moluscos, que al parecer es muy variable ya que solamente para el sistema lagunar Larga-Redonda-Mandinga del litoral veracruzano se han reconocido 32 especies, 20 gastrópodos y 12 bivalvos que se alimentan de materia orgánica depositada en el sedimento (Reguero y García-Cubas 1993). De igual forma, en el sistema de Sontecomapan, Veracruz se describe un total de 60 especies de moluscos para el sistema más simple compuesto por fondos de

arena y arcilla bénticos dominado por dos especies de *Neritina* y una de *Mulinia* (García Cubas y Reguero 1995). En la Laguna de la Mancha, el número de especies de moluscos es de 40, con predominio de los gastrópodos que habitan una diversidad grande de hábitat (Flores-Andolais *et al.* 1988). La estimación es que debieran existir al menos entre 1,000 y 1,500 especies de moluscos para toda la cuenca (Reguero y García-Cubas 1993).

A nivel submareal se encuentran los ceibadales o hábitat de pastos marinos, los bancos de ostiones y los fondos arenosos y lodosos. Estos hábitats son sitios para alimentación, reproducción y refugio de estadios de componentes bénticos. Dos tipos de cadenas alimentarias caracterizan a los estuarios, por una parte, la producción de la vegetación vascular de naturaleza refractaria pasa a una cadena detritívora donde la materia vegetal es descompuesta por bacterias y hongos. En contraste, la cadena alimentaria de la columna de agua se sostiene en fitoplancton y se acopla al bentos con los organismos filtradores que continúa con un número elevado de omnívoros. La eficiencia trófica es baja, con pérdidas de hasta 90% entre producción primaria y consumidores. Las tramas alimentarias basadas en detrito están desarrolladas más conspicuamente en bahías costeras someras y estuarios de tipo lagunar que sostienen marismas extensivas, manglares y pastizales sumergidos.

HUMEDALES, MARISMAS Y PLANICIES DE INUNDACIÓN

Los humedales, marismas y planicies de inundación en el Golfo de México, asociadas a la zona costera en la frontera con la zona terrestre y el mar, están sujetas a la inundación por lluvia, exceso de aporte fluvial y conforman diques y canales que desempeñan importantes funciones en el paisaje costero y contribuyen a la productividad elevada de la zona costera. Las planicies de inundación contienen lodos cuya fertilidad elevada les valen el interés de la agricultura, camaronicultura y acuicultura en general. La zona costera asociada a ríos se interconecta por una red extensa de humedales y planicies de inundación temporal y perenne que permiten la retención del agua, actúan como filtros, depósitos y fuente para sustancias varias y son el hábitat de plantas diversas específicamente adaptadas a este tipo de ambientes y de la fauna asociada a esta vegetación tanto emergente como sumergida.

El principal factor externo es la hidrología, que en el Golfo de México está sujeta a fluctuaciones considerables del nivel del agua dependiendo de la estación del año, permaneciendo como humedales caracterizados por

alta diversidad. Tanto la flora como la fauna requieren de las fluctuaciones del nivel del agua, interviniendo estrechamente con el reciclamiento y la transferencia de los nutrientes entre las fases terrestres y acuáticas. El reciente represado y construcción de canales o drenaje ha tenido impactos dramáticos en las poblaciones debido a la pérdida de conectividad entre la planicie de inundación y el cuerpo de agua permanente. Solamente los organismos con ciclos de vida cortos subsisten.

La cantidad y calidad de sólidos y materiales disueltos y suspendidos determina la producción primaria y secundaria del humedal, los sedimentos y la fauna béntica asociada colaboran a atrapar nutrientes, carbono orgánico, contaminantes y sustancias tóxicas. Los humedales en el sector noroeste tienden a la eutroficación y salinización y son altamente vulnerables a la adición de nutrientes aportados por la urbanización y agricultura. Muchos de los habitantes en estos ambientes tienen adaptaciones fisiológicas que permiten tolerar estos ambientes. El conocimiento de sus adaptaciones a nivel molecular es fundamental para la acuicultura empleando para ello líneas híbridas de alto rendimiento. Los estudios realizados se han centrado en moluscos (Rodríguez *et al.* 1983) y peces de sistemas lagunares en especies que presentan un potencial para desarrollo y producción a futuro (Maldonado-Monroy *et al.* 1985, García Molina y Uribe Alcocer 1989, Uribe-Alcocer y Ramírez-Escamilla 1989, Uribe Alcocer *et al.* 1994) así como el uso de algunas especies como biomonitores del cambio ambiental en el Golfo de México (Uribe-Alcocer y Díaz-Jaimes 2000).

MANGLARES

Los manglares son los únicos bosques situados en la confluencia de tierra y el mar en el Golfo de México, poseen características únicas de ecosistemas en un ecotono y se desarrollan mejor en zonas protegidas y de baja energía. Su presencia promueve el depósito de partículas finas lo que permite la recolonización de los fondos con raíces y propágulos. Los manglares representan un gradiente continuo de tipos geomorfológicos dentro de sistemas en una clasificación más amplia de la zona costera que está dominada por el aporte fluvial, y modificado por la alternancia de las mareas, determinado hidrográficamente por el oleaje, las corrientes costeras y la naturaleza del valle inundado. La biomasa generada es en promedio mayor a la encontrada en cualquier ecosistema acuático en el Golfo de México. La biomasa de raíces por debajo del sustrato iguala la biomasa emergida. La trama

alimentaria béntica es simple e interactúan especies terrestres y marinas. La complejidad arquitectónica de las raíces provee sustrato para el desarrollo larval, la acumulación de sedimento, contaminantes, nutrimentos y carbono, y para estadios juveniles y larvales de invertebrados de importancia comercial. La riqueza de hábitat que se refleja en la diversidad de especies que habita y coloniza los manglares está determinada por la amplitud de la marea y la salinidad y calidad de las aguas.

Como ejemplo de la elevada diversidad biológica asociada a *Rhizophora mangle* en la Laguna de Términos se ha reconocido 43 especies de poliquetos bénticos (cuadro 2) cuya abundancia es representada mayoritariamente por especies de los géneros *Capitella*, *Mediomastus*, *Laeonereis*, *Streblospio*, *Melinna*, *Parandalia*, *Marphysa* y *Eteone* (Hernández-Alcántara y Solís Weiss 1991). Así mismo, asociados a los poliquetos del mangle rojo se encuentran 17 especies de moluscos y 27 especies de crustáceos macrobénticos que presentan una variación estacional tanto en la composición como en la abundancia (Hernández-Alcántara y Solís-Weiss 1995).

La diversidad biológica se correlaciona con el área representada por el manglar. La conectividad entre los manglares y los ecosistemas adyacentes (*p. ej.* arrecifes de coral, pastos marinos, etc.) es estrecha e influye sobre la composición de especies encontrada. La vinculación y naturaleza de las aguas abiertas de la plataforma continental es relevante en la diversidad de especies en particular para la migración de larvas a los manglares y su regreso a la plataforma continental.

PASTOS MARINOS

Los ecosistemas compuestos por pastos marinos se han reconocido como ecosistemas clave de la zona costera del Golfo de México y se encuentran restringidos en su crecimiento al ambiente marino y salobre (valores mayores a 5 ups, irradiancia subacuática con valores mayores al 11%), definiendo su límite de ocurrencia (aprox. 30 m) y distribución dentro las lagunas costeras, bahías, estuarios y en plataforma continental. En el Golfo de México los pastos se distribuyen en sedimentos blandos cuyo contenido de materia orgánica sea menor a 6%, con concentraciones de sulfuros menores a 300 μM y un potencial redox mayor a -100 mV. La tasa de exportación a los ecosistemas marinos vecinos es de aproximadamente 20% enlazando como importantes eslabones tróficos con tramas del talud continental y de la planicie abisal. Entre las principales funciones de los pastos marinos, conside-

CUADRO 2. RIQUEZA DE ESPECIES DE ANÉLIDOS POLIQUETOS EN
LOS HÁBITATS QUE CARACTERIZAN LA ZEE EN EL GOLFO DE MÉXICO

HABITAT	LOCALIDAD	NO. DE ESPECIES
Lagunas costeras	Tamiahua	69
	Términos	77
Raices de manglares	Términos	43
	Tuxpan	40
	Papaloapan	25
	Coatzacoalcos	
Deltas	Grijalva	40
	Dos Bocas	18
	Carmen-Machona	12
	Términos	16
	Arcas	15
Arrecifes	Triángulos	24
	Arenas	7
	Alacrán	17
Plataformas petroleras	Bahía de Campeche	41
		135
Plataforma continental externa	Tamaulipas	97
	Veracruz	112
	Campeche	219
Plataforma continental interna	Tamaulipas	90
	Veracruz	132
	Campeche	222
Planicie abisal	Sigsbee	65

rados únicos, se reconoce la provisión de oxígeno disuelto a los fondos de los estuarios, lagunas, bahías, y la plataforma interna. Así mismo, la presencia de pastos marinos permite la estabilización del sedimento, impide la resuspensión del sedimento mejorando la transparencia, atenúa el oleaje de

tormenta protegiendo la línea de costa, facilita el entrampamiento de nutrimentos y funciona como hábitat y refugio para diversos organismos dada su estructura arquitectónica compleja que promueve una diversidad biológica elevada de invertebrados bénticos.

COSTAS ROCOSAS

La presencia y extensión de las costas rocosas en el Golfo de México está limitada a los márgenes de Campeche, los Tuxtlas en Veracruz y a una creciente presencia de espigones y muelles en los estados de Yucatán, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas. Se ubican en la interfase tierra- mar, donde la frontera es abrupta y la zonación entre invertebrados y algas marinas y plantas terrestres es incipiente. El gradiente vertical es unidireccional con estrés que aumenta de la zona emergida a las porciones más expuestas, sobre el cual la acción del oleaje tiene el impacto mayor. La conectividad de las costas rocosas es constante con el ambiente terrestre, y como sistemas abiertos tienen la capacidad de dispersar larvas, propágulos y adultos. Las comunidades bénticas que se encuentran en la costa rocosa dependen de la capacidad de colonizar localidades y tolerar los diversos gradientes que actúan sobre ellos, aunada a la interacción con otros organismos que responden rápidamente al cambio, como lo muestran las adaptaciones de tolerancia fisiológica. Las comunidades bénticas de la costa rocosa muestran gran variabilidad natural en espacio y tiempo. La diversidad de estas comunidades es generalmente más baja que la de otros ecosistemas costeros del Golfo de México y las especies son predominantemente filtradoras, lo que mantiene la calidad de agua y reduce en parte los florecimientos de algas tóxicas.

Por su accesibilidad y posición en la interfase costera, las comunidades bénticas de este ecosistema son las más vulnerables a los impactos terrestres o generados por derrames en el agua por su apertura a gradientes marcados.

PLAYAS

Las playas son los ecosistemas mejor representados a lo largo del litoral del Golfo de México, y están representadas por bajos arenosos en los fondos protegidos de bahías, lagunas costeras y estuarios hasta playas abiertas. Por su ubicación en la línea de costa son ambientes dinámicos con sustratos poco estables en un intervalo de condiciones físicas variables que determi-

nan los tipos de comunidades asociadas a los sedimentos. La acumulación de partículas de origen continental y marino depositadas por el oleaje tienen diámetros que de 0.05 a 2 mm. En el Golfo de México el ecosistema de playa está compuesto de dunas, cara de playa y una zona de ruptura de ola; presenta un intercambio constante de materiales entre los tres subsistemas. Las playas del sector sur del Golfo de México se caracterizan en su gran mayoría por la ausencia de vegetación vascular enraizada en la zona intermareal y la aparente ausencia de fauna béntica de talla mayor. La fauna de las playas es móvil y adaptable a las condiciones cambiantes por las mareas y la exposición aérea. El número de especies bénticas marinas residentes es bajo. Se trata de especies crípticas que emergen de la arena solamente por la noche, o que son arrastradas al subir las mareas; cuando éstas bajan, las especies a las que nos referimos, tienden a invadir la playa en búsqueda de alimento. La diversidad biológica de la comunidad béntica, representada por todos los phyla existentes, está dada en su mayor parte por fauna que habita los espacios intersticiales, y tanto el número de especies como en su abundancia responden directamente a la velocidad de caída de la marea, que en el Golfo de México es reducida. La fauna de asteroideos y equinoideos es pobre en especies litorales (17 especies) en relación al conocimiento que se tiene para el océano Pacífico o si se le compara con la de otros mares tropicales, (Solís Marín et al., 1993) Los géneros de asteroideos característicos son *Astropecten* y *Linckia*. Los géneros de equinoideos son *Diadema*, *Arbacia*, *Eucidaris* y *Encope* (Solís Marín et al. 1993).

El transporte de arena a lo largo de la costa es un factor crítico del presupuesto de depósito en las playas. Va acompañado del transporte de materiales a través del sistema, esencial para el aporte nutricional a la comunidad béntica intermareal dada la reducida abundancia de productores primarios. Los restos de madera, algas y cadáveres de organismos son, en su mayor parte, el alimento de la fauna carroñera epibéntica de mayor talla como crustáceos y gasterópodos, a los cuales se unen depredadores terrestres e insectos. Las partículas suspendidas de menor tamaño sostienen a organismos filtradores como bivalvos que viven enterrados en la arena. La remineralización de la materia no consumida se lleva a cabo a varios centímetros dentro del sedimento submareal. Las playas disipativas con sus taludes suaves, que caracterizan al Golfo de México, presentan condiciones menos hostiles para la fauna, por lo que se encuentran los valores más altos de diversidad y abundancia y las interacciones de las cadenas alimentarias son más complejas.

FONDOS BLANDOS EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL

En el Golfo de México, la línea de costa se continúa en el submareal con la plataforma continental, definida como la extensión por debajo de la marea más baja al reborde continental donde el talud continental desciende abruptamente. La plataforma continental en el Golfo de México tiene una extensión variable, es extensa sobre el Banco de Campeche y estrecha a lo largo de los estados de Veracruz y Tamaulipas. Al igual que otras fronteras ecológicas de la zona costera, es difusa y poco delimitada en cuanto a su profundidad o características propias del sedimento y fauna asociada. La zona de influencia de agua proveniente del continente varía en función de la descarga fluvial, con aportes de los ríos Champotón en el extremo suroccidental hasta el río Bravo en el extremo norte de la ZEE, la circulación, la topografía y el clima. Una revisión amplia de las comunidades bénticas de plataforma continental del Golfo de México se encuentra en Rabalais *et al.* (1999).

La mayor parte de los fondos en la plataforma continental son lodosos hasta en un 50%, además de presentar arenas en más de 40% y algo de grava, fragmentos de conchas y coral. En este sedimento, denominado fondo blando por el predominio de lodos, se encuentran como componentes dominantes de la comunidad béntica invertebrados bénticos y peces demersales que le dan la importancia económica a este ecosistema.

La riqueza de especies está menos caracterizada que en los ambientes más someros; sin embargo, el número de especies en moluscos es aparentemente más elevado que el reconocido para las lagunas costeras del Golfo de México, ya que solamente para las regiones norte y noreste de la Península de Yucatán se han reconocido 110 especies de gastrópodos bénticos en el intervalo batimétrico de 28 a 617 m (García Cubas *et al.* 1999) y el número de especies de poliquetos Lumbrineridos en fondos de 15 a 200 m de Tampico a Yucatán es de 17 (Solís-Weiss *et al.* 1995). Lo anterior contrasta con los sistemas modificados por el hombre, que al parecer actúan como promotores de la diversidad biológica. El número de anélidos poliquetos asociado a plataformas petroleras en el sector externo de la plataforma continental en la Bahía de Campeche sostiene 14 especies de las familias Phyllodocidae, Glyceridae, Goniadidae, Hesionidae y Pilargidae (Granados-Barba y Solís Weiss 1997a), 14 de la familia Spionidae (Granados-Barba y Solís Weiss 1998) y seis más de las familias Orbiniidae y Cossuridae (Granados-Barba y

Solís Weiss 1997b). Este tipo de estudios de naturaleza descriptiva y exploratorios han permitido reconocer nuevas especies para la ciencia (Granados-Barba y Solís Weiss 1997a, Tovar-Hernández *et al.* 2002), e igualmente nuevos registros en el Golfo de México (Granados-Barba y Solís-Weiss 1994). Una síntesis comparativa de la riqueza de especies de poliquetos por hábitat se presenta en el cuadro 2. En el caso de los equinodermos se ha reconocido la presencia de 48 especies de asteroideos y equinoideos para esta zona batimétrica en el Golfo de México; los registros se centran primordialmente en Tamaulipas, Campeche y Yucatán (Caso 1971, Solís Marín *et al.* 1993, Barbosa-Ledesma *et al.* 2000).

Aún quedan por describir un sinnúmero de especies en aquellos grupos taxonómicos poco estudiados como son muchos de los phyla menores y aquellos grupos de talla pequeña o de hábitos crípticos. Algunos estudios recientes han permitido conocer parte de esta fauna, un ejemplo de ello es la nueva especie de isópodo bopírido que infesta la cámara branquial de cangrejos galatéidos del género *Munidopsis* procedentes del reborde continental en el suroeste del Golfo de México (Román-Contreras y Soto 2002).

Los procesos hidrográficos juegan un papel clave en la estructuración del sistema de plataforma continental al participar en la distribución de los sedimentos y aportar materia orgánica al fondo procedente de la columna de agua. La materia orgánica es transportada y redistribuida en el fondo por corrientes de marea y transporte lateral que explican en gran medida los patrones de distribución de la riqueza de especies y abundancia de la fauna en el fondo. El patrón comúnmente registrado, relaciona en un equilibrio la cantidad del aporte proveniente de la columna de agua con las densidades de la fauna en el sedimento; esta correlación a su vez se vincula con la tasa de remineralización de nutrientes en el fondo a través de la bioturbación, la cual en el Golfo de México está relacionada con la pesca de arrastre, que contribuye significativamente al perturbar los fondos. En cierta forma, el aporte de nutrientes en la plataforma se relaciona directamente con la biomasa y la productividad pesquera, sin embargo el equilibrio existente puede romperse cuando el aporte es excesivo y gran parte de la producción primaria en columna de agua no es ingerida por herbívoros y es exportada al fondo consumiendo el oxígeno disuelto en la interfase sedimento-agua, lo que genera hipoxia y hasta anoxia e impide la presencia de peces, crustáceos y otros organismos componentes de la comunidad béntica en el fondo.

Tanto la hipoxia como la anoxia simplifica las comunidades bénticas

al grado de promover el cambio de comunidades de metazoarios por consorcios de bacterias y microorganismos de ambientes anóxicos. Este proceso, bien documentado en el sector norte, se ha estudiado incipientemente en el sector sur del Golfo de México, y requiere de un seguimiento más estricto para determinar sus causas. En el Golfo de México al igual que en los mares tropicales, la producción secundaria y pesquera, comparada con los sistemas marinos templados y fríos es notablemente baja; sin embargo, la proporción producción/biomasa es elevada, atribuible a la elevada tasa metabólica de los organismos. En el Golfo de México se han reconocido patrones de distribución de la composición, abundancia y biomasa bénticas que varían con la distancia a la costa y la cercanía a ríos, estuarios, bahías y lagunas costeras. Estos tres factores de la estructura de la comunidad de fondos blandos en la plataforma continental puede variar también por la presencia de hidrocarburos fósiles como se muestra en camarones perdidos en el Banco de Campeche, reconociendo que los individuos de mayor talla y la mayor densidad y concentración de biomasa se agregan en el área de producción petrolera (Soto y Gracia 1987). Los resultados anteriores pueden relacionarse con la mayor protección que las plataformas petroleras brindan a las poblaciones, generando un refugio con elevado contenido de materia orgánica lábil, degradada por bacterias hidrocarbonoclasticas.

FONDOS CARACTERIZADOS POR LA HIPOXIA

El término hipoxia se emplea para caracterizar masas de agua cuya concentración de oxígeno disuelto alcanza valores por debajo de 2 mg L^{-1} (1.4 ml L^{-1} ó $63 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$). La hipoxia en el Golfo de México se ha documentado ampliamente en la plataforma continental al oeste del delta del Misisipi y se genera anualmente al término de la primavera y durante el verano. El área afectada varía de un año a otro y ha pasado de $8000\text{-}9000 \text{ km}^2$ en el periodo de 1985 a 1992 a casi $15,000$ a $19,000 \text{ km}^2$ de 1993 a 1997 (Ferber 2001, Battaglia y Goolsby 2001). Desde el año 2000 el área excede los $20,000 \text{ km}^2$. Los registros obtenidos a la fecha han permitido identificar algunos de los factores que controlan la hipoxia y la hacen variar anualmente. Se ha propuesto, por una parte, que la concentración de nitratos de origen fluvial promueve la producción local, conllevando a una actividad biológica elevada debajo de la picnoclina que consume el oxígeno disuelto (Rabalais *et al.* 2002). Por otra parte, se considera que la estabilidad de la picnoclina es un factor importante que previene la renovación de oxígeno disuelto

(Wiseman *et al.* 1992). La hipótesis del control biológico sobre la hipoxia se basa en el hecho de que la concentración de nutrimentos aportada por ríos es significativamente mayor a la que se encuentra comúnmente en aguas oceánicas. Solamente el río Misisipí aporta $120 \mu\text{mol L}^{-1}$ de nitratos y hasta $200 \mu\text{mol L}^{-1}$ de silicatos (Turner y Rabalais 1991). Estas concentraciones de nutrimentos promueven el crecimiento de fitoplancton como se ha reconocido ampliamente frente al Misisipí al igual que otros grandes ríos (Lohrenz *et al.* 1990, 1997, Sklar y Turner 1981, Biggs y Sanchez 1997).

Las algas del florecimiento que no fueron consumidas por herbívoros se hunden como agregados con el paso del tiempo, las algas ingeridas son excretadas como heces fecales y ambas se degradan en el sedimento y la masa de agua de fondo consumiendo el oxígeno disuelto y generando la hipoxia durante el verano cuando la picnoclina es estable. El flujo de carbono de origen biogénico exportado al fondo varía de 500 a $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a una profundidad de 20 m (Redalje *et al.* 1994, Qureshi 1995). La hipótesis del control físico depende más de los cambios de las corrientes locales a lo largo del año (Li *et al.* 1997). Aunado a lo anterior, el intercambio de gases entre la masa de agua de fondo y la suprayacente a la picnoclina es igual a cero, debido a la lenta advección y la estratificación, facilitando la inducción de la hipoxia. Los años en que el aporte fluvial es excesivo, la presencia de agua dulce en aguas superficiales costeras fortalece la picnoclina. Ambos mecanismos son importantes (Rabalais *et al.* 2002) y llevaron a que en el sector norte del Golfo de México se llevara un control del aporte de nitratos provenientes de la actividad agrícola (EPA 2001, Ferber 2001) con el objeto de mitigar el efecto de la hipoxia, esperando reducir el área de afectación a solamente $5,000 \text{ km}^2$ para el año 2015.

Los resultados obtenidos de la investigación en los programas Latex y Necop permitieron reconocer que, aunque gran parte de la plataforma de Texas y Luisiana es afectada por concentraciones de oxígeno bajas, la región hipóxica se encuentra bien delimitada y que el agua no proviene de la zona de oxígeno mínimo del talud. Los valores más bajos detectados sobre la plataforma continental se localizan por debajo de la picnoclina estacional a salinidades mayores a 33 en zonas que presentan una termoclina secundaria (Wiseman *et al.* 1992). El agua superficial (salinidad menor a 10 ó 25) proviene de los ríos Misisipi y Atchafalaya. El agua por debajo de la picnoclina es marina con salinidades de 34 a 36, y es el contraste entre la densidad de ambas masas de agua, superficial y de fondo el que determina la estabilidad de la columna de agua (Murray *et al.* 1998), y la capacidad de intercambio

de gases. La relación entre el aporte fluvial, la luz y las corrientes que generan el control físico del sistema es de tipo no-lineal (Justic *et al.* 1993, Chen *et al.* 1997, Lohrenz *et al.* 1999, Chen *et al.* 2000). La frecuencia de ocurrencia de la hipoxia en el tiempo es variable y depende del aporte fluvial a la zona costera en la estación previa. La información al respecto es escasa y a la fecha se reconoce que las concentraciones de oxígeno disuelto en la isóbata de 50 m son de 6.0 a 6.5 mg L⁻¹ a 25°C para el invierno al llevarse a cabo una mezcla por el viento (Jochens *et al.* 1998). Solamente en algunas localidades las condiciones se mantienen aún en invierno por debajo de la saturación (Rabalais *et al.* 1999).

La producción primaria al este del delta del Misisipí es moderadamente elevada 300 g C m⁻² a⁻¹ (Lohrenz *et al.* 1990, Sklar y Turner 1981, Biggs y Sanchez 1997), y su procedencia ha generado controversia, existiendo estudios que demuestran la regeneración de nutrientes en columna de agua (Bode y Dortch 1996, Nelson y Dortch 1996), y otros que demuestran su proveniencia a partir de nutrimentos generados en el sedimento (Morse y Rowe 1999), mediante las surgencias del reborde continental (Lopez Veneroni 1998), desconociendo la regeneración en la columna de agua (Wilson-Finelli y Powell 2001). Esta controversia se amplía aún más al tratar de reconocer los nutrientes que limitan la producción en la plataforma continental en el Golfo de México. El aporte de nutrimentos se ha señalado como la causa principal de la hipoxia (Rabalais *et al.* 2002); sin embargo, la proporción N:Si se ha incrementado desde 1975 como lo constatan los análisis de núcleos de sedimento (Turner y Rabalais 1991), reconociendo que el aporte de diatomeas al fondo ha sido mayor en años recientes (Rabalais *et al.* 1999). Otro factor que determina la hipoxia en los fondos marinos es el control físico reflejado en la velocidad de flujo de las corrientes de fondo y la estabilidad de la termoclina.

La hipoxia actúa sobre la comunidad béntica de la plataforma continental reduciendo el número de especies de vertebrados e invertebrados a sólo aquellos que toleran concentraciones bajas de oxígeno. La persistencia de la hipoxia por periodos prolongados reemplaza la comunidad de metazoarios por la de bacterias anaerobias. Comúnmente en estos fondos el ácido sulfhídrico está ausente y ocasionalmente llega a registrarse en columna de agua, lo que permite sugerir que los nitratos son el agente oxidante en la interfase sedimento agua. La tasa de consumo de oxígeno del plancton en la masa de agua más profunda es, en promedio, de 2.2 mg O₂ m⁻³ h⁻¹ con una demanda continua de casi 1 mg O₂ m⁻³ h⁻¹, (Turner y Allen 1982). La máxima actividad

se ha evaluado en el verano y en las inmediaciones de los ríos $318 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ó $13.25 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$, con tasas de respiración béntica de 161 y $799 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ó $6.6\text{-}33.0 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Dortch *et al.* 1994). El consumo promedio de oxígeno de la comunidad que habita los sedimentos es de $32.13 \pm 14.02 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y la tasa de respiración equivalente en carbono es $327.67 \pm 142.99 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para una profundidad promedio de 22 m y una temperatura en el fondo de 25 °C. La variación entre sitios en una región es muy variable (Morse y Rowe 1999), y es controlada por factores químicos, biológicos y físicos. El factor químico se vincula con el incremento en turbidez, las tasas de floculación de partículas arcillosas, la acumulación de sedimento, el carbono orgánico y la actividad de metabolismo anaeróbico en el sedimento produciendo amoníaco, sulfuros y especies reducidas de hierro y manganeso. La productividad primaria elevada es el principal factor biológico que controla la hipoxia; se vincula con una penetración de luz alta, con concentraciones elevadas de nitratos y silicatos, y con exportación de diatomeas y heces fecales que se descomponen inicialmente bajo condiciones aeróbicas y continúan con otras anaeróbicas, conllevando a hipoxia y denitrificación. El factor físico se ejemplifica por la estratificación por densidad que previene el intercambio de gases y reoxigenación de la masa del fondo. En este ejemplo la producción es controlada por nitrógeno regenerado (nitritos y amoníaco) más que por nitratos. La respiración de la comunidad del sedimento es aeróbica con contenido bajo de carbono orgánico y denitrificación limitada. Los análisis de sensibilidad realizados a la fecha con modelos determinísticos del oxígeno disuelto en agua de fondo muestran que el aporte del agua fluvial y su efecto sobre la estratificación explican la hipoxia, más que el aporte de nitratos (Rowe 2000).

Otros registros de hipoxia en la porción sur del Golfo de México pueden encontrarse en Laguna Madre de Tamaulipas, Laguna de Tamiahua y frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos. Los primeros ejemplos podrían experimentar hipoxia a lo largo de un ciclo nictimeral asociado a los fondos con elevada concentración de materia orgánica y vegetación sumergida. En el caso del río Coatzacoalcos intervienen una combinación de factores que incluyen un frente con producción primaria elevada aunado al aporte fluvial y eutroficación por desarrollos urbano e industrial en la zona. Entre los factores que pueden inducir zonas hipóxicas en el litoral mexicano del Golfo de México se incluyen el aislamiento de bahías y puertos, la incorporación de aguas residuales no tratadas, el aporte agrícola, y los depósitos de nitrógeno generados por la combustión de hidrocarburos provenientes de

plantas, generadores de energía y vehículos.

ARRECIFES DE CORAL

Los arrecifes de coral son ecosistemas someros submareales característicos de la plataforma continental y reborde continental en el Golfo de México que proveen de un sinnúmero de recursos. Se caracterizan por el componente geológico de depositación de carbonato de calcio generado por corales, moluscos, foraminíferos y algas en fondos con aguas cuya temperatura no sea menor a 18 °C, caracterizados por iluminación elevada y de calidad, saturación elevada de aragonita, salinidad marina estable y concentración baja de nutrientes disueltos en el agua marina. Los factores fisicoquímicos influyen en la formación de arrecifes de coral, y la tolerancia a ellos determina los patrones de distribución de los organismos característicos del arrecife. Cuando las condiciones difieren de las anteriormente descritas las grandes estructuras masivas, como los arrecifes de barrera y los atolones, reducen su capacidad de agregación y crecimiento a parches pequeños e incipientes de baja diversidad.

Aunque los factores fisicoquímicos determinan la distribución, crecimiento y éxito de los organismos formadores de los arrecifes de coral, las interacciones biológicas en el arrecife determinan la abundancia de especies y la producción del carbono orgánico e inorgánico. Los arrecifes en el Golfo de México se caracterizan por una riqueza intermedia con 28 especies de corales escleractinios reconocidos de 68 descritos para la región del mar Intramericano (Castañares y Soto 1982). Las interacciones como la herbivoría determinan la dominancia en la comunidad de uno de los componentes, algas o corales. El balance entre organismos calcificantes y los organismos que erosionan al arrecife es crítico para un crecimiento óptimo del arrecife. La composición de especies y abundancia están sujetas a un balance fino entre las actividades de los organismos y los factores ambientales generando diversos escenarios posibles. Las diferencias entre arrecifes se explican a partir de tres variables de crecimiento (densidad, tasa de elongación y tasa de calcificación), ya que éstas cambian con base en la turbidez y carga de sedimento del ambiente. Conforme los corales experimentan ambientes más extremos, éstos responden alongando su esqueleto con menos contenido de carbonato, y disminuyendo la densidad del esqueleto, como se ha observado con *Montrastrea annularis* en el sur del Golfo de México (Carricart-Ganivet y Merino 2001).

La producción orgánica de los arrecifes está determinada por los herbívoros y las algas bénticas. Un incremento en la concentración de nutrientes y de materia orgánica en el agua marina y una reducción en las algas calcificantes, corales y peces depredadores producirán arrecifes con un número elevado de organismos que erosionan. Una mayor producción de arena y baja herbivoría mejorarán la colonización de pastos marinos y microalgas desplazando a los arrecifes. En comparación con los arrecifes de coral, los pastos marinos, a pesar de ser un ecosistema importante por su papel en el ecosistema costero tropical, sostienen un número menor de especies e impiden la construcción de especies formadoras de arrecifes. Los arrecifes del Golfo de México y el mar Caribe contienen 9% de los arrecifes representados en el océano mundial. El trabajo de Chávez e Hidalgo (1989) señala la presencia de arrecifes de tipo plataforma en Tuxpan, Blanquilla y Lobos, el complejo arrecifal de Islas Verde, de En medio y Santiaguillo, y en Arcas, Triángulos y Alacranes. Un análisis comparativo de su estructura ha permitido reconocer que los arrecifes del Golfo de México se encuentran en etapas diferentes de su evolución. Las principales perturbaciones en estos arrecifes se reconocieron hacia 1989 en los efluentes urbanos y los derrames petroleros, tanto puntuales como crónicos, en diferentes grados de intensidad. Estos se encuentran sujetos a una gran presión por el desarrollo costero que conlleva a un cambio de una comunidad arrecifal con la desaparición del erizo *Diadema antillarum* por sobrepesca de peces que controlan la especie, aunado a la incorporación elevada de nutrientes disueltos por el crecimiento y desarrollo urbano en la zona costera, la pérdida del coral *Acropora cervicornis* por enfermedad de bandas blancas, el blanqueamiento y la infección por microorganismos acarreados por polvo y sedimento, vía atmosférico el primero y fluvial el segundo.

Los principales factores fisicoquímicos y biológicos que afectan los patrones de riqueza de especies y abundancia y los procesos que determinan la producción biológica incluyen factores fisicoquímicos (incremento de nutrientes, cambios en la transparencia del agua, oxígeno disuelto, resuspensión de sedimento, metales pesados, otros contaminantes y cambio potencial redox y disrupción del proceso de remineralización) y factores biológicos (pérdida de hábitat, de riqueza de especies y funciones clave, ruptura de la conectividad, incorporación de especies invasoras, disrupción de la capacidad degradadora de materia orgánica). La recuperación en estos casos es lenta particularmente si se toma en consideración que muchos de los componentes arrecifales son de crecimiento pausado como son los corales mismos y

muchas de las esponjas (Haas-Schram *et al.* 2003). La diversidad de especies es grande, solamente de esponjas se realizó un primer inventario en 1977 reconociéndose un total de 13 especies de la clase Demospongiae (Green 1977a) que casi una década después fue actualizado a 20 especies que aparecen en un intervalo de 2 a 15 m de profundidad (Green *et al.* 1986). La interacción existente entre las especies que ocurren en los arrecifes ha llevado a que muchas de ellas (aprox. 75%), en particular en los trópicos, adquieran estrategias metabólicas que les permitan colonizar nuevos espacios en el arrecife o evitar ser depredadas por peces o infectadas por bacterias para lo cual presentan sustancias bioactivas de alta toxicidad y antimicrobianas en proporciones equivalentes (Green 1977b, Green *et al.* 1985).

COMUNIDADES DE MAR PROFUNDO

Las comunidades bénticas del Golfo de México representan fauna de zonas abisales periféricas cuya relevancia radica en ser una cuenca donde la evaporación excede el flujo de agua dulce y el agua del Atlántico tiene un efecto indirecto desde el mar Caribe. Esta conexión es de importancia en virtud a la conectividad de la fauna béntica abisal entre el océano Atlántico, el mar Caribe y el Golfo de México. Esta última conexión se vincula a través del Canal de Yucatán separando dos cuencas abisales: el Caribe nororiental (3,500m) y el Golfo de México oriental (3,000m) con una cresta de 1,500m. En contraparte, el Golfo de México tiene influencia sobre el océano Atlántico a partir de la contribución que genera la corriente del Golfo. La circulación profunda se ha estudiado pobremente, sin embargo, se ha calculado que su tiempo de residencia en la planicie es de unos 350 ± 100 años (Broecker *et al.* 1961). Esta masa de agua varía entre los 2,000 a 3,000 m de profundidad con una temperatura potencial (2)=4.05 °C a una (2)=4.016 °C y de una salinidad de 34.971 a 34.973 (McLellan y Nowlin 1963) donde la concentración de oxígeno disuelto varía en un gradiente de oeste con 4.2 ml. L⁻¹ a 4.4 a 5 ml. L⁻¹ en el sector este.

El trabajo de Davie y Moore (1970) reconoce cinco provincias en la distribución de sedimentos en el Golfo de México. Los sedimentos del mar profundo están determinados en más de 97% del área por el río Mississippi y en proporción menor por el río Bravo. Este esquema fue recientemente revisado en el trabajo de Balsam y Beeson (2003). La exportación de carbono de origen biogénico al fondo marino es incipiente y a la fecha no se ha evaluado pero se estima que al ser el Golfo de México una cuenca oligotrófica,

con una estratificación bien marcada, cuyos valores de clorofila expresado como carbono varían de bajos de mayo a agosto $>0.06 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ a elevados durante el periodo de mezcla de octubre a marzo $>0.18\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Müller-Kärger *et al.* 1991), la exportación esté limitada a agregados de talla mayor (7mm) cuya tasa de hundimiento alcance 80 md^{-1} (Diercks y Asper 1997).

Las comunidades bénticas abisales que dependen de la exportación de carbono biogénico en el Golfo de México habitan fondos blandos caracterizados por sedimentos de origen biogénico y compuesto por limos y arcillas. Estos se han estudiado más exhaustivamente en el sector norte que en el sector sur, la información existente ha reconocido que la megafauna o los componentes de talla más grande son escasos y presentan un patrón sobredisperso en contraste con los componentes de talla menor. Al respecto, los resultados publicados a la fecha permiten establecer que la biomasa béntica de la macroinfauna, al igual que la densidad en fondos abisales, refleja la producción primaria superficial. Los valores en el sector sur (densidades de 794 a 1,669 ind.m⁻², Escobar *et al.* 1999) exceden notablemente los valores del sector norte (19 a 31 ind.m⁻², Rowe *et al.* 1974) y presentan patrones de distribución determinados por la zona de oxígeno mínimo en el talud continental, encontrándose valores tanto de biomasa como de densidad mayores justo por debajo de ésta. Los principales componentes de estas comunidades infaunales bénticas son, en las tallas mayores, los poliquetos y los crustáceos peracáridos y en las tallas menores los nemátodos y los copépodos harpacticoides. Así mismo, la variabilidad a profundidades mayores de 3,000 m es grande lo que permite entrever que los fondos blandos abisales agrupan en ciertas localidades más organismos. Estas comunidades representan el extremo opuesto de las comunidades sostenidas por fuentes autóctonas y presentan una superposición en algunos casos, particularmente en la fauna con mayor movilidad, como son los crustáceos y algunos peces. Otro grupo importante asociado al bentos que se ha estudiado en el Golfo de México es el de los crustáceos carroñeros que incluye a los anfípodos de los géneros *Orchomene* y *Eurythenes* y a los isópodos del género *Bathynomus* (Barradas *et al.* 2003). En el caso de éste último, la especie *Bathynomus giganteus* dada su abundancia en el talud continental se ha podido estudiar la dieta y estrategias reproductivas y las variaciones de éstas a lo largo del año.

Junto con el Mediterráneo, el Golfo de México es uno de los pocos mares periféricos que no solamente se sostiene de carbono biogénico exportado. Las comunidades béntica autóctonas, sostenidas por metano o ácido sulfídrico se descubrieron a inicio de la década de 1980 y se localizan entre los 500 y los 2,200m sobre el talud continental, asociadas a los fondos de

producción de petróleo e hidratos de metano del talud continental en el norte del Golfo de México (Kennicutt *et al.* 1985, 1988). Otras comunidades bénticas quimioautotróficas asociadas a la infiltración de aguas hipersalinas ricas en sulfuros fueron descritas por Paull y colaboradores en 1984 en el Escarpe de Florida a 3,000 m. Los componentes bénticos de estas comunidades son gusanos vestimentíferos de los géneros *Lamellibrachia* y *Seepiophilia* que a diferencia de los gusanos de ventilas hidrotermales, se sostienen del ácido sulfídrico, que fluye del sedimento a través de la rizosfera y hacia el interior del celoma. El género de vestimentífero en el escarpe es *Escarpia* y depende de la oxidación de sulfuro a pesar de existir infiltración de metano y una vía microbiana y otra geotérmica de sulfhídrico. Otros componentes bénticos son diversas especies de bivalvos de los géneros *Acesta*, *Bathymodiolus*, *Callyptogena*, *Solemya*, *Vesicomya* e *Idas* y el gasterópodo *Bathynnerita*. La abundancia de alimento asemeja un oasis por lo cual otra fauna béntica abisal ocurre en densidades grandes asociada a la fauna quimioautotrófica habiéndose reconocido esponjas, hidroides, lapas, equinodermos, crustáceos, poliquetos y peces.

Los estudios anteriormente descritos se han llevado a cabo en el sector norte del Golfo de México. En el sector sur estos estudios no se habían realizado hasta el año 2003. La información generada por la exploración petrolera ha sido hasta la fecha confidencial y ha retrasado significativamente la investigación básica al existir una negativa de la industria petrolera para interactuar con las instituciones de investigación. Sin embargo, los resultados obtenidos en 2003 han permitido reconocer nuevas comunidades bénticas asociadas a los fondos abisales en una nueva formación geológica reconocida como volcanes de asfalto.

Los fondos abisales de la Sonda de Campeche presentan este tipo nuevo de vulcanismo generado por la erupción de asfalto (figuras 1 y 2), lo suficientemente dúctil para fluir libremente por cientos de metros a lo largo de la pendiente de los domos de sal. Las estructuras solidificadas de asfalto asemejan lava de los tipos *pa'hoehoe* y *aá*. Estos flujos de asfalto están colonizados por fauna de tipo quimioautotrófica cuya dependencia biogeoquímica exhibe diferencias significativas de la fauna de infiltraciones frías descritas a la fecha en el océano mundial. Estos hallazgos del año 2003 permitieron reconocer un proceso geológico nuevo, una nueva ubicación de depósitos de hidratos de metano y ampliaron significativamente la zoogeografía de fauna quimioautotrófica de mar profundo. Estas formaciones de asfalto fueron documentadas en 1971 por Willis Pequegnat en una foto única de un domo

salino a 3,325 m de profundidad, 12 años antes de que se descubrieran los primeros gusanos vestimentíferos en Rose Garden, en las Galápagos, lo que nos lleva a especular que este tipo de vulcanismo de asfalto pudiera estar distribuido ampliamente en el Golfo de México y el mar Caribe.

La descripción preliminar de estas comunidades incluye, en contraste a las otras localidades basadas en la quimioautotrofia, un número elevado de especies y abundancia de equinodermos, peces, crustáceos y bivalvos que parecieran alimentarse de los tapetes bacterianos que crecen en las suturas de flujos de asfalto de diferentes periodos de actividad.

ASOCIACIONES DE PECES DEMERSALES

Los estudios en peces de profundidad en el Golfo de México son escasos dada su menor importancia comercial. A la fecha se han reconocido 119 especies de peces demersales (Pequegnat *et al.* 1990) que se distribuyen acorde a las diferentes zonas de profundidad, correspondientes a plataforma continental externa y reborde, talud continental superior, talud medio, talud continental inferior y elevación continental.

La especie más abundante en el sector externo de la plataforma continental es *Antigonia capros* (McEachran y Fechhelm 1998). En contraste la ictiofauna a mayor profundidad está dominada por Macrouridae: *Bathygadus macrops* y *Caelorinchus caribbaeus* en el talud superior, *Nezumia cyrano* y *N. aequalis* en el talud medio. El talud inferior y la elevación continental están caracterizados por las especies de Ophidiidae *Dicrolene kanazawai* y *Acanthonus armatus*, respectivamente (Powell 2001).

La riqueza de especies es mayor en el talud superior con 53 especies y decrece con la profundidad en la elevación continental se han registrado solamente 17 especies. La abundancia sigue patrones similares. En virtud de la abundancia de petróleo sobre el talud continental, la exploración presente y futura de recursos energéticos impactará negativamente a las comunidades y la ecología de los hábitat representados a dichas profundidades.

CORALES DE MAR PROFUNDO

En el Golfo de México se han reconocido más de 100 especies de corales que habitan el mar profundo, 51 de las cuales se han recolectado sobre el talud continental y la elevación continental. El primer estudio lo publicaron Moore y Bullis (1960) quienes reconocieron la presencia de extensos banco

de *Lophelia pertusa* a profundidad. En el año 1983, Pequegnat publicó el recuento de la megafauna del sector norte a profundidades de 300 a 3,000 m y citó especies de octocorales y hexacorales. Los estudios más recientes describen la geología y distribución de la especie en el Golfo noreste (Schroeder 2001, 2002). Las especies de coral que ocurren en el mar profundo son comunes tanto para los cañones como en los escarpes. Las especies *Funiculina quadrangularis*, *Stephanocyathus diadema*, *Chrysogorgia*, *Acanella* y otra especie de Keratiosidinia son características de los cañones en el sector norte del Golfo de México.

En la porción central se han recolectado ejemplares de del octocoral *Ombellula* en un intervalo de 1,880 a 3,700 m y representa tal vez una de las especies más abundantes de las colectas realizadas a la fecha a estas profundidades. Muchas de las especies de corales solamente se conocen de fotografías ya que no han sido recolectadas. Así mismo, un número elevado de peces, 43 especies, de mayor tamaño se encuentran asociados a los corales. Entre las especies de peces comúnmente asociadas a corales en el talud se encuentran *Sebastes*, *Urophycis*, diferentes especies de Macrouridae y Pollachius, más ocasionalmente se ha reconocido la presencia de peces planos de los géneros *Hippoglossoides* y *Limanda*, especies de Cottidae, rayas, gadoideos.

Por la importancia pesquera muchos de estos sistemas de corales de profundidad han sido destruidos por las redes de pescadores. La diversidad de invertebrados asociados a estos bancos de coral de profundidad incluye esponjas, poliquetos, crustáceos, equiuros, moluscos, briozoarios, branquiópodos, equinodermos y cnidarios, muchos de los cuales son afectados con la destrucción de la complejidad estructural. Aproximadamente 35% de las especies que viven en el Golfo de México son comunes a las latitudes altas y solamente difiere en los Octocorallia y los Hexacorallia (Cunningham 2002). La mayoría de las especies de corales escleractineos de profundidad del Golfo de México tienen una distribución característica tropical o templada anfiatlántica o del Atlántico occidental, en contraste con las especies de latitudes altas que tienen un patrón de distribución cosmopolita o frío templado anfiatlántico. La similitud entre corales del Atlántico occidental tropical es de 75% con la asociación de corales del Golfo de México.

A los corales de aguas someras se les ha reconocido como equivalentes de las selvas por su extraordinaria diversidad biológica, tal vez la más alta en todo el planeta. Sin embargo, sólo hasta hace algunos años la ciencia nos ha permitido reconocer la existencia de arrecifes en aguas profundas, sin ilumi-

nación, igualmente complejos y ricos en especies que los de aguas someras y de importancia pesquera. Estos arrecifes son dominados por el género de coral *Lophelia* como se mencionó anteriormente y mantienen hasta 1,300 especies de invertebrados. Más de 850 especies de macro y megafauna se han descrito solamente en montes oceánicos que presentan este tipo de arrecifes en el Pacífico oriental tropical. La longevidad de los corales de profundidad al igual que la de diversas escleroesponjas como *Ceratoporella nicholsoni* (Haase-Schram *et al.* 2003) proveen el archivo climático que permite dar un seguimiento al cambio en el clima. Estas comunidades son equivalentes en importancia y por su diversidad a las comunidades someras de arrecifes de coral con la diferencia que a la fecha la perturbación por actividades humanas es menor.

El desarrollo de dichas asociaciones sólo ha sido factible por el crecimiento lento de las especies de corales y esponjas y la baja perturbación en décadas y siglos previos. El desarrollo de tecnología para explotar recursos a profundidad, como es la extracción de hidrocarburos, gas e hidratos de metano, la extracción de pesquerías a profundidad, de minerales y el efecto que desconocemos aún del cambio climático global, son factores que a la fecha han comenzado a incidir en estas comunidades poco estudiadas. Las actividades humanas, en particular los arrastres pesqueros han generado un daño sin precedente a las comunidades de corales y esponjas en montes submarinos, talud y reborde continentales.

CAÑONES

Los cañones y canales profundos que cortan el talud continental son hábitat en donde comúnmente ocurren corales de profundidad. Diversos estudios en el Atlántico occidental han mostrado que los corales son más abundantes en los cañones que sobre el talud continental compuesto por fondos blandos, donde también la fauna sésil, al igual que los corales, se presentan en concentraciones elevadas. En gran medida, la razón por la cual los cañones son hábitat únicos es la ocurrencia de sustratos heterogéneos, cantos, agregados rocosos, bloques carbonatados a diferencia del talud continental. Estos sustratos son adecuados y juegan un papel importante en el asentamiento de los corales de mar profundo. Así mismo, las corrientes son más intensas y distribuyen la materia orgánica proveniente de la plataforma continental. Los corales de mar profundo filtran partículas como parte de su fuente alimenticia en hábitats donde la corriente mantiene el flujo de

partículas.

Los corales del género *Lophelia* entre otros son comunes a fondos con corrientes más altas, en ocasiones justamente donde se generan ondas internas. Estas corrientes contribuyen también a la dispersión de los corales y de la fauna asociada en los sistemas dominados por *Lophelia* (Mortensen *et al.* 1995). El Golfo de México contiene al menos 20 cañones, de los cuales 5 (Misisipi, Keathley, Bryant, Alaminos, De Soto) se han explorado en el sector norte (Rowe y Kennicutt 2000) y solamente el de Campeche se ha comenzado a explorar en el sector sur. La ictiofauna en los cañones es igualmente abundante que la de corales en los cañones (Powell 2002), y se ha atribuido a una mayor disponibilidad de recursos alimenticios y productividad asociada a su hidrodinámica.

ESCARPES

Las paredes escarpadas de los escarpes difieren significativamente de las áreas de pendiente suave del talud continental o de algunos cañones. Los escarpes son áreas hidrodinámicamente activas del suelo oceánico en el cual se perciben corrientes moderadas en el fondo, a las cuales se asocian octocorales holaxonianos y escleractineos (Marshall 1979). La presencia de gorgonáceos y alcyonarios son excelentes indicadores de fondos con energía elevada. El estudio de estos hábitats es incipiente en el Golfo de México dada la complejidad para llevar a cabo los muestreos y requiere de tecnología de punta, como robots operados remotamente y sumergibles.

ESTRUCTURA COMUNITARIA

La estructura comunitaria de las comunidades bénticas del Golfo de México incluye una diversidad grande de especies de cada uno de los diferentes reinos. Se ha descrito un número elevado de especies nuevas de arqueas y bacterias en las últimas décadas, asociadas a los ambientes quimiosintéticos. Las especies de arqueas y bacterias aparecen habitando en tapetes microbianos, en la columna de agua y asociadas simbióticamente a invertebrados bénticos. Los diversos procesos de fermentación, reducción y oxidación, reconocidos en décadas pasadas solamente a partir de los compuestos químicos en diversos estratos del sedimento, han permitido establecer nuevos linajes de levaduras y bacterias que llevan a cabo las reacciones. Especies nuevas de invertebrados y vertebrados crípticas, asociadas a hábitat extremos y difíciles de

recolectar con métodos tradicionales (redes y dragas) han sido recuperadas y registradas fotográficamente o con ayuda de sumergibles.

Las listas de especies para vertebrados e invertebrados son extensas y se han ubicado en 27 de los 28 phyla reconocidos para ambientes marinos, incluyendo los 13 endémicos marinos. De estos phyla seis son frecuentes y abundantes en las comunidades bénticas del Golfo de México: gusanos poliquetos, crustáceos peracáridos y decápodos, equinodermos, moluscos, nemátodos e hidroides. Entre las comunidades bénticas más complejas del Golfo de México se han reconocido las asociadas a otros componentes bénticos sésiles como son las de pastos marinos, de microalgas carbonatadas, de gusanos pogonóforos y de arrecifes de coral. La riqueza de especies en la planicie abisal es similar a la que se ha reconocido en la plataforma continental, la composición de las especies es diferente al igual que la talla de los organismos que tiende a disminuir con la profundidad en la mayoría de los casos. Entre los factores determinantes de la riqueza biológica en la cuenca incluyen el tipo de sedimento, la concentración y calidad de materia orgánica en el sedimento, la concentración de oxígeno disuelto en el agua de fondo y el transporte lateral y la resuspensión por corrientes de fondo.

FUNCIONAMIENTO COMUNITARIO

Las comunidades bénticas están íntimamente acopladas a sistemas vecinos permitiendo el flujo continuo multidireccional de energía y de materiales. El reclutamiento de especies de invertebrados bénticos cuyo ciclo de vida transcurre temporalmente en los ecosistemas vecinos, tanto de columna de agua como de otros fondos marinos es uno de los vínculos más estrechos de flujo de energía. El funcionamiento comunitario se expresa en la longitud de las tramas alimentarias, el cambio de la biomasa en tiempo, la tasa metabólica y de remineralización medidas en la interfase agua-sedimento.

Las tramas alimentarias de los ecosistemas costeros del Golfo de México son largas y complejas, vinculan la cadena herbívora con la de detritívoros, ésta última la más común en el bentos de aguas profundas con ausencia de luz. En cada uno de los hábitats se reconocen especies comensales, parásitos (Román-Contreras y Soto 2002) y con otras interacciones que hacen las tramas complejas. Así mismo, las cadenas presentan un número elevado de omnívoros que obtienen sus fuentes energéticas de fragmentos de plantas, restos de peces, poliquetos, crustáceos, micromoluscos y detrito como es el caso de *Callinectes similis* en la plataforma continental de Veracruz (Cházaro-

Olvera *et al.* 2000) y una diversidad elevada de carroñeros que responden a los estímulos químicos de cadáveres que se depositan en el sedimento. Los componentes de estas tramas, consistentes de invertebrados, artrópodos en el segundo y tercer nivel, son eficientes y permiten la extensión a varios niveles tróficos. La tasa de recambio de la biomasa de los componentes bénticos es elevada en los primeros niveles tróficos y responde a la estacionalidad de la cuenca.

El bentos de manglares, pastos marinos y arrecifes de coral presentan una abundancia de recursos que sostienen densidades altas. El consumo de oxígeno en sedimento presenta variaciones; las bacterias son el principal consumidor de oxígeno en la zona costera somera y frente a los sistemas lagunares y ríos frente a la plataforma. Los valores de consumo de oxígeno son bajos en la zona abisal y reflejan más que la baja abundancia y riqueza un metabolismo adecuado a la baja temperatura y alta presión.

ESTACIONALIDAD Y ORIGEN DE LAS FUENTES ALIMENTARIAS

El bentos costero y profundo responde a dos estaciones bien delimitadas en el Golfo de México, periodo de tormentas de invierno y de lluvias de verano. El aporte más grande de materiales y energía se inicia en invierno asociado a los frentes invernales o nortes que aporta material particulado generado de la mezcla en columna de agua y del aporte proveniente de los ríos. La zona costera se ve beneficiada en el verano por los materiales aportados con la llegada de las lluvias; en contraste, el bentos de mar profundo recibe el menor aporte en esta época del año por la estratificación termohalina de la columna de agua que impide la exportación por debajo de la termoclina. El aporte excesivo de materiales a la zona costera, aunado a la producción propia en la plataforma continental genera zonas de hipoxia, ejemplificadas con el delta del río Misisipí, que limitan el reclutamiento de organismos bénticos creando zonas pobres en fauna que afectan actividades pesqueras.

La hidrodinámica de estructuras de mesoescala es uno de los factores más importantes que definen la exportación de materiales al bentos en aguas oceánicas. Otro mecanismo es el transporte lateral de los sedimentos aportados por ríos en el reborde continental y que se desplazan a profundidad por las corrientes de turbidez. La plataforma frente al río Coatzacoalcos exporta material originado del frente del giro anticiclónico que, aunado a los nutrientes aportados por el río, provocan zonas hipóxicas en el verano.

Otros aportes alóctonos que sostienen a las comunidades bénticas provienen de los fondos someros desde los cuales se exporta pasto marino, lirio, raíces y hojas de manglar, sedimento durante las tormentas o acarreadas por corrientes de turbidez. Este material se encuentra comúnmente sobre el talud continental y la planicie abisal y es degradado lentamente por consorcios de bacterias. Los carroñeros, como los anfípodos de la especie *Eurythenes gryllus*, se sostienen de cadáveres de peces pelágicos y demersales provenientes de algunas pesquerías o bien, en su ausencia, de componentes de la infauna en el sedimento. Existen diversos estudios realizados con apoyo de isotopía estable empleando composición isotópica de carbono ($*^{13}\text{C}$) y de nitrógeno ($*^{15}\text{N}$) en el Golfo de México que incluyen la determinación de las fuentes del carbono orgánico y la posición trófica de los componentes faunísticos bénticos en las tramas de los sistemas estuarinos, sistemas lagunares, la plataforma continental y recientemente el mar profundo.

BIOGEOGRAFÍA

La conectividad en las especies bénticas dentro de la cuenca depende de la presencia de estadios larvarios pelágicos que permiten el transporte a distancias grandes por medio de corrientes superficiales. Los estudios de la conectividad se han centrado en especies de importancia comercial (langostas, moluscos, peces demersales) o de aquellas que conforman hábitats en riesgo como los arrecifes de coral, los pastos marinos, los manglares, etc.). La retención de las larvas depende en gran medida de los patrones estacionales y locales de las corrientes que garantizan condiciones para el desarrollo de las larvas hasta su reclutamiento en el ecosistema en cuestión. Biogeográficamente un número elevado de los componentes que estructuran las comunidades bénticas en el Golfo de México están asociadas al mar Caribe y el Atlántico occidental tropical. Pocos componentes, los más antiguos, tienen un vínculo más estrecho de tipo carolineano y virginiano. La talla de muchas de estas especies es menor en el Golfo de México donde las condiciones de disponibilidad de alimento son, en contraste, menores.

Los componentes de la zona costera han mostrado endemismo elevado a ciertas bahías definidas por condiciones hidrológicas únicas. En particular, las especies sin desarrollo larvario pelágico, aquellas con desarrollo directo son las que han mostrado endemismo a cuencas sobre dicho talud, como son los tanaidáceos y anfípodos. En forma similar el mapeo detallado del talud continental ha permitido reconocer la existencia de subcuencas sobre

el talud continental, separadas entre sí por paredes de hasta 100 m de elevación y delimitadas por corrientes con velocidades mayores a $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ lo cual mantiene aisladas a las especies sin dispersión pelágica, comúnmente componentes de la meiofauna y promueve endemismos que aún se estudian.

El campo de viento sobre el Atlántico norte, con los vientos de oeste y este en las latitudes bajas, transporta agua superficial cálida a los trópicos que llega a las islas de las Antillas menores. Estas corrientes ingresan al mar Caribe donde eventualmente convergerán como la Corriente Caribeña que se desplazará para transformarse en la Corriente de Lazo al ingresar al Golfo de México a través del Canal de Yucatán para, eventualmente, regresar al océano Atlántico a través del Estrecho de Florida. Es a través de este mecanismo que las larvas de un número elevado de componentes bénticos del Golfo de México se enlazan con el mar Caribe y el Atlántico occidental tropical.

El mar Caribe, la cuenca más rica en arrecifes coralinos someros del Atlántico tropical, se conecta con el Golfo de México transportando larvas de organismos bénticos cuyo mecanismo de dispersión son larvas pelágicas (*p. ej.* langostas, corales, camarones, moluscos) a través de este sistema, lo cual se ha venido constatando con boyas lanzadas desde diversos puntos del Atlántico occidental, mar Caribe y Golfo de México. Este mismo mecanismo de dispersión es el que siguen diversos contaminantes que permanecen por periodos prolongados en la masa de agua. El experimento de boyas Yoto (Wilson y Leman 2000) ha sido fundamental en la región y permitió reconocer diversos patrones de conectividad, donde algunos tienden a retener las boyas en giros ciclónicos por meses, mientras otros fluyen directamente en unas cuantas semanas. Los patrones dependen así mismo de donde se lanzan originalmente las boyas, lo cual es de gran importancia para la conectividad de las poblaciones de fauna béntica, su intercambio genético y cómo los programas de manejo y restauración deben aplicarse en los sistemas costeros.

Así mismo, 17 boyas de tipo Palace se registraron de 1998 a 2002 a una profundidad en la masa de agua a 900 m en el Golfo de México. Los resultados de las trayectorias de casi 1,300 boyas y la temperatura registrada muestran un patrón de flujo ciclónico a lo largo del talud continental en el sector occidental del Golfo de México que se intensifica en la Bahía de Campeche, y sugieren que existe una comunicación limitada en el flujo a profundidad del talud entre los sectores este y oeste del Golfo de México y la persistencia de un giro ciclónico en el suroeste del Golfo de México en las cuales hay un continuo aporte de agua costera. La relevancia de estos resultados en el

marco de la fauna béntica de profundidad guarda relación con los posibles aislamientos genéticos de poblaciones dentro del mismo golfo.

FACTORES QUE DETERMINAN LA DIVERSIDAD

A excepción de las comunidades sujetas a condiciones extremas, el bentos en la mayoría de los hábitats es diverso, compuesto por un número elevado de especies poco abundantes. Los hábitat extremos expuestos a baja salinidad, alta salinidad, elevada temperatura, baja concentración de oxígeno o sujetas a corrientes elevadas, o fondos expuestos a perturbación crónica, se caracterizan por comunidades con un número reducido de especies con abundancia elevada.

Los componentes bénticos del Golfo de México están expuestos a diferentes actividades que modifican el hábitat, ya sean de origen natural o antropogénico. Los efectos extremos generados por actividades del tipo natural se observan por los ciclones en el verano, fragmentando ecosistemas costeros y perturbando la heterogeneidad espacial. La recuperación de la pérdida de diversidad ante este tipo de fenómenos es de alrededor de una década. Otras variaciones por fenómenos naturales como frentes de invierno, el Niño, la Niña y la Oscilación del Atlántico están siendo apenas exploradas.

En contraste, las actividades de tipo antropogénicas en la cuenca son diversas, incluyen el excesivo flujo de nutrimentos por ríos que promueven la hipoxia y anoxia en la zona costera. El represado de agua tierra adentro afecta el hábitat en la zona costera, con la reducción de manglares y pastos marinos, por la retención de sedimentos y un predominio de agua marina. Actividades agrícolas tierra adentro influyen con un aporte a la zona costera de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, los cuales se incorporan en la trama alimentaria o se acumulan en el sedimento, influyen sobre la estructura y funcionamiento al afectar a los componentes del bentos. El dragado de sedimentos en la zona costera para navegación, marinas y construcción de estructuras portuarias y de transporte en la zona costera exponen estos contaminantes nuevamente al ambiente. El dragado es una actividad común en las actividades de pesca de los recursos bénticos, la perturbación mayor se llevó a cabo con el primer dragado, destruyendo la estructura tridimensional del hábitat, a manera del talado de un bosque; dragados sucesivos son afectaciones crónicas que simplifican la estructura comunitaria. La cuenca se caracteriza por tener recursos no renovables como son clatratos, gas y petróleo que prometen reservas grandes que requieren para

su extracción la construcción y tendido de estructuras sobre el fondo. Un número elevado de estudios en aguas someras, en estuarios y lagunas costeras se han abocado a evaluar las concentraciones en fauna de invertebrados y vertebrados demersales y el efecto de petróleo sobre los organismos bénticos en el sur del Golfo de México (ver para ello una revisión de estos en Botello *et al.* 1997). Las concentraciones en tejidos de 686 organismos bénticos varían desde 8 a 2,340 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (dw) de PAH e indican la incorporación de petróleo procedente de derrames, descargas resultado de accidentes y de la explotación e infiltraciones naturales.

CONSIDERACIONES FINALES

En el caso del bentos, casi todos los hábitats y ecosistemas pueden considerarse vulnerables. Solamente aquellos sujetos a inestabilidad ambiental y perturbaciones crónicas se han reconocido con una pobreza mayor de su diversidad, los otros hábitats a pesar de la exposición a actividades de perturbación, no se señalan como afectadas en su diversidad. Las acciones y esfuerzos requeridos a futuro en la conservación de las comunidades bénticas incluyen una inversión en estudios de ciencia básica que permitan comprender mejor la conectividad de las comunidades bénticas. Para ello es necesario explorar los ciclos de vida y la fisiología de las especies con potencial para su uso en biotecnología marina, así mismo es necesario dar un seguimiento en el largo plazo a las comunidades en hábitats y ecosistemas aún no señalados como vulnerables con el objeto de describir sus variaciones naturales y discernir entre los cambios generados por efecto de actividades antropogénicas, las variaciones por el cambio global y los efectos por teleconexión.

A la fecha la predicción de los cambios es uno de los aspectos menos documentado, para ello se requieren las bases de datos de factores ambientales y de comunidades tipo para realizar las predicciones y apoyar la toma de decisiones en escalas de tiempo amplias. En México es necesario incrementar el número de especialistas en el estudio del bentos, a fin de centrarse en dominar uno de los hábitats, uno de los grupos en cuestión y establecer su problemática, aspecto que ha sido de gran apoyo en el sector norte de la cuenca y que ha permitido establecer propuestas adecuadas de manejo. Una sugerencia para elegir áreas de importancia en los estudios de comunidades bénticas es iniciar esfuerzos intensivos de estudio en las regiones reconocidas como prioritarias por su desconocimiento o su riqueza de especies en el Golfo de México.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la M. en C. Margarita Caso por la paciencia para la entrega de este manuscrito. Parte de la información contenida en este documento se encuentra en desarrollo por lo cual se dan agradecimientos por el apoyo que permite continuar esta investigación a través de campañas a bordo del B/O Justo Sierra de la UNAM y el R/V Sonne con financiamiento de los proyectos PAPIIT IN224503, SEP-CONACYT 2002 Clave 40158 CONABIO BE013, DGAPA UNAM PAPIIT IN211200, Contract 1435-01-99-CT-30991TAMU, CONACYT-G35442-T, CONACYT G-27777B, programa de biotecnología BMBF Bonn 03G0174 a G. Bohrman, U. Bremen para investigación conjunta y el

FIGURA 1. MONTÍCULO DE AGREGADOS DE ASFALTO SOBRE EL FONDO ABISAL BLANDO SOBRE LOS CUALES CRECEN UN CRINOIDEO, UNA COLONIA DE HIDROIDES Y RAMAS DE CORAL



Fuente: fotografía de la campaña conjunta México-Alemania-EE.UU. a bordo del B/O Sonne.

FIGURA 2. MARGEN DEL VOLCÁN DE ASFALTO EN LA ZONA ABISAL DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO. LA IMAGEN MUESTRA LOS PLEGAMIENTOS DE ACTIVIDAD Y FLUJO MÁS RECIENTE Y CUBREN ESPECIMENES AÚN VIVOS DE ASOCIACIONES DE GUSANOS DE TUBO VESTIMENTÍFEROS DE ALGUNA DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *ESCARPIA* SP.; AL FONDO SE APRECIAN AGREGADOS DE BACTERIAS Y VALVAS ABIERTAS DE UN *BATHYMODIOLUS* SP.



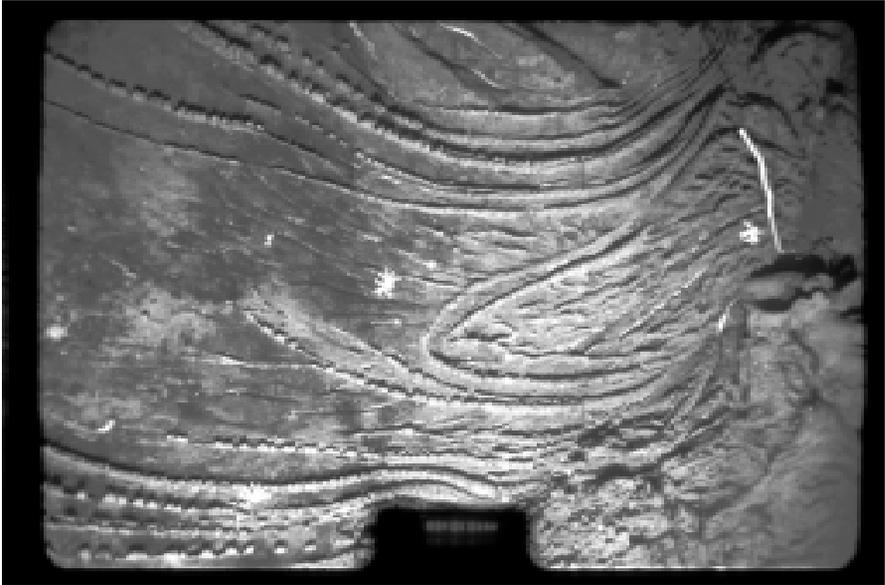
Fuente: fotografía de la campaña conjunta México-Alemania-EE.UU. a bordo del B/O Sonne.

financiamiento del programa Ocean Exploration: Logistic support for Joint German-US-Mexican cruise to explore the Gulf of Mexico Outer Continental Slope de la NOAA.

BIBLIOGRAFÍA

- Balsam, W. L. y J.P.Beeson 2003. Sea-floor sediment distribution in the Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 50:1,421-1,444.
- Barbosa-Ledesma, I.F., F. A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras 2000. New records for cidaroid echinoids (Echinodermata: Echinoidea) of the Gulf of Mexico, Mexico.

FIGURA 3. SUPERFICIE DEL VOLCÁN DE ASFALTO EN LA ZONA ABISAL DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO. LA IMAGEN MUESTRA TRES CANGREJOS GALATHEIDOS DEL GÉNERO *MUNIDOPSIS* Y UN GUSANO DE TUBO VESTIMENTÍFERO DE ALGUNA DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *ESCARPIA* SP.; LAS MARCAS EN BLANCO QUE SE ENCUENTRAN EN LAS SUTURAS DE LOS FLUJOS SON BACTERIAS Y CERCANO AL GUSANO DE TUBO Y GALATHEIDO SE RECONOCEN DOS HOLOTHURIAS



Fuente: fotografía de la campaña conjunta México-Alemania-EE.UU. a bordo del B/O Sonne.

Rev. Biol. Trop. 48(2/3):721.

Barradas-Ortiz, C., Briones-Fourzán, P. y E. Lozano-Álvarez 2003. Seasonal reproduction and feeding ecology of giant isopods *Bathynomus giganteus* from the continental slope of the Yucatán peninsula, *Deep Sea Res. Part I*: 50(4): 495-513

Battaglia, W.A. y D.A. Goolsby 2001. Nitrogen flux in the Mississippi River basin: long-term trends and relation to nitrogen inputs. ASLO 2001. *Conference Abstracts book*, p.21.

Biggs, D.C., y L.L. Sanchez, 1997. Nutrient enhanced primary productivity of the Texas-Louisiana continental shelf. *J. Mar. Sys.* 11: 237-247.

- Bode, A. y Q. Dortch 1996. Uptake and regeneration of inorganic nitrogen in coastal waters influenced by the Mississippi River: spatial and seasonal variations. *J. Plankton Res.*, 18, 2, 251-2,268.
- Botello, A.V., S. Villanueva F., G. Díaz G. 1997. Petroleum pollution in the Gula of Mexico and Caribbean Sea. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 153:91-118.
- Broecker, W.S., Gerard, R.D., Swing, M. y Essen, B.C. 1961. Geochemistry and physics of ocean circulation. Publ. Am. Assoc. *Adv. Sci. Oceanog.* 67:301-322.
- Carricart-Ganivet, J.P. y M. Merino 2001. Growth responses of the reef-building coral *Montrastrea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 68(1):133-146.
- Caso, M.E. 1971. Contribución al conocimiento de los equinoideos de México. Estudio morfológico de *Brissopsis alta* Mortensen, erizo de profundidad. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* (1):41-56 + 11 láminas.
- Castañares, L.G. y L.A. Soto 1982. Estudios sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la península de Yucatán, México. I. Sinopsis taxonómica de 38 especies (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinea). *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 9(1):295-343.
- Chávez, E.A. y E. Hidalgo 1989. Los arrecifes coralinos del Caribe noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, México* 15(1):167-175.
- Cházaro-Olvera, S., A. Rocha-Ramírez y R. Román-Contreras 2000 Observations on feeding, maturity and fecundity of *Callinectes similis* Williams, 1966, on the central continental shelf off Veracruz, Gulf of Mexico. *Crustaceana* 73(3):323-332.
- Chen, C., D. Wiesenberg y L. Xie 1997. Influences of river discharge on biological production in the inner shelf: A coupled biological and physical model of the Louisiana-Texas shelf. *Jour. Mar. Res.* 55, 293-320.
- Chen, X., S. Lohrenz y D. Wiesenberg 2000. Distribution and controlling mechanisms of primary production on the Louisiana-Texas continental shelf. *Journal of Marine Systems* 25, 179-207.
- Cunningham, T.L. 2002. Corals collected in the deep Gulf of Mexico benthos expedition: Distribution, Faunal associations and Biogeography. Dissertation. Biology Department. 49 pp.
- Davies, D.K. y Moore, W.R., 1970. Dispersal of Mississippi sediment in the Gulf of Mexico. *J. Sediment. Petrol* 40:339-353.
- Diercks, A.R. y Asper, V.L. 1997. *In situ* settling speeds of marine snow aggregates below the mixed layer: Black Sea and Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 44:385-398.
- Dortch, Q., N.N. Rabelais, R.E. Turner y G.T. Rowe. 1994. Respiration rates and hypoxia on the Louisiana shelf. *Estuaries*, 17, 862-872.

- EPA 2001. Mississippi River/Gulf of Mexico Watershed Nutrient Task Force. Action Plan for Reducing, Mitigating, and Controlling Hypoxia in the Northern Gulf of Mexico. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 31 pp.
- Escobar-Briones, E., Signoret, M. y Hernández, D., 1999. Variación de la densidad de la infauna macrobéntica en un gradiente batimétrico en el sector oeste del Golfo de México. *Ciencias Marinas* 25:143-212.
- Ferber, D. 2001. Keeping the stygian waters at bay. *Science*, 291: 968-973.
- Flores-Andolais, F., A. García-Cubas, A. Toledano-Granados 1988. Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la Laguna de la Mancha, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, México 15(2):235-258.
- García-Cubas, A. y M. Reguero 1995. Moluscos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: sistemática y ecología. *Hidrobiológica* 5(1-2):1-24.
- García Cubas, A., F. Escobar y M. Reguero 1999. Gastrópodos marinos de la Península de Yucatán, México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 49:127-146.
- García-Molina, F. y M. Uribe-Alcocer 1989. Análisis cromosómico del bagre marino *Arius felis* (Ariidae: Siluriformes) de la región de la Laguna de Términos, Camp. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 16(1):69-74.
- Granados-Barba, A. y V. Solís-Weiss 1994. New records of polychaetous annelids (Order: Eunicida) from the southeastern Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 54(2):420-427.
- 1997a. The polychaetous annelids from oil platforms areas in the southeastern Gulf of Mexico: Phyllodocidae, Glyceridae, Goniadidae, Hesionidae y Pilargidae, with description of *Ophioglycera lyra*, a new species, and comments on *Goniada distorta* Moore and *Scoloplos texana* Maciolek and Holland. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 110(3):457-470.
- 1997b. The polychaetous annelids of the oil platform areas from the southeastern Gulf of Mexico: Orbiniidae and Cossuridae. *Bull. Mar. Sci.* 61(3):549-557.
- 1998. Les Spionidae (Annélides, Polychètes) de la zone des puits pétroliers de la région méridionale du Golfe du Mexique. *Vie Milieu* 48(2):111-119.
- Green, G. 1977a. Sinopsis taxonómica de trece especies de esponjas del arrecife la Blanquilla, Veracruz, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 4(1):79-98.
- 1977b. Ecology of Toxicity in Marine Sponges. *Marine Biology* 40:207-215.
- Green, G. P. Gómez, G.J. Bakus. 1985. Antimicrobial and ichthyotoxic properties of marine sponges from Mexican Waters. 3d. Int. Sponge Conf. 109-114.
- Green, G., L.E. Fuentes Velásquez y P. Gómez López 1986. Nuevos registros de Porifera del arrecife la Blanquilla, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, México 13(3):127-146.
- Jochens, A.E., D.A. Wiesenburg, L.E. Sahl, C.N. Lyons y D.A. DeFreitas, 1998. LATEX Shelf Data Report – Hydrography. April 1992 through November 1994. Vols I-VI.

- TAMU Oceanography Technical Report 96-6-T, Texas A&M University.
- Haase-Schram, A., F. Böhm, A. Eisenhauer, W.C. Dullo, M.M. Joachimski, B. Hansen y J. Reitner 2003. Sr/Ca ratios and oxygen isotopes from sclerosponges: temperature history of the Caribbean mixed layer and the thermocline during the Little Ice Age. *Paleoceanography* 18(3):1073-1088.
- Hernández-Alcántara, P. y V. Solís Weiss 1991. Ecological aspects of the polychaete populations associated with the red mangrove *Rhizophora mangle* at Laguna de Terminos, Southern part of the Gulf of Mexico. *Ophelia Suppl.* 5:451-462.
- 1995. Algunas comunidades macrobénticas asociadas al manglar (*Rhizophora mangle*) en laguna de Términos, Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* 43(1-3):111-129.
- Justic, D., N.N. Rabalais, R.E. Turner y W.J. Wiseman 1993. Seasonal coupling between riverborne nutrients, net productivity and hypoxia. *Mar. Pollut. Bull.*, 26, 184-189.
- Kennicutt, M.C., Brooks, J.M., Bidigare, R.R., Fay, R.R., Wade, T.L. y McDonald, T.J., 1985. Vent-type taxa in a hydrocarbon seep region on the Louisiana slope. *Nature*, 317:351-353.
- Kennicutt, M.C., Brooks, J.M., Bidigare, R.R. y Denoux, G.Y. 1988. Gulf of Mexico hydrocarbon seep communities. I. Regional distribution of hydrocarbon seepage and associated fauna. *Deep-Sea Res.* 35:1639-1651.
- Li, Y., W.D. Nowlin, Jr. y R.O. Reid 1997. Mean hydrographic fields and their interannual variability over the Texas-Louisiana continental shelf in spring, summer and fall. *J. Geophys. Res.*, 102, 1027-1049.
- Lizárraga-Partida, M.L., R. Carballo Cruz, F.B. Izquierdo-Vicuña, R.R. Colwell y I. Wong Chang 1987. Bacteriología de la Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, México 14(1):97-108.
- Lohrenz, S.E., M.J. Dagg y T.E. Whitedge 1990. Enhanced primary production at the plume/oceanic interface of the Mississippi River. *Continental Shelf Res.* 10, 639-664.
- Lohrenz, S.E., G.L. Fahnenstiel, D.G. Redalje, G.A. Lang, X. Chen y M.J. Dagg 1997. Variations in primary production of northern Gulf of Mexico continental shelf waters linked to nutrient inputs from the Mississippi River. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 155, 435-454.
- Lohrenz, S.E., G.L. Fahnenstiel, D.G. Redalje, G.A. Lang, M.J. Dagg, T.E. Whitedge y Q. Dortch 1999. Nutrients, irradiance and mixing as factors regulating primary production in coastal waters impacted by the Mississippi River plume. *Continental Shelf Res.*, 19, 1113-1142.
- Lopez Veneroni, D.G., 1998. The dynamics of dissolved and particulate nitrogen in the northwest Gulf of Mexico. Ph.D. thesis, Texas A&M University, College Station, 256 pp.
- Maldonado-Monroy, M.C., M. Uribe-Alcocer, J. Arreguín-Espinosa y A. Castro-Pérez 1985. Karyotypical studies on *Dormitator maculatus* Bloch and *Gobiomorus dormitor*

- Lacépède (Gobiidae: Perciformes) *Cytologia* 50:663-669.
- Marshall, N.B. 1979. *Developments in deep-sea biology*. Blanford Press. 566 pp.
- McEachran, J.D. y J.D. Fechhelm. 1998. *Fishes of the Gulf of Mexico*. Vol. 1 Austin, University of Texas Press. 1,112 pp.
- McLellan, H.J. y Nowlin, W.D. 1963. Some features of the deep water of the Gulf of Mexico. *J. Mar. Res.* 21:233-246.
- Morse, J.W. y G.T. Rowe 1999. Benthic biogeochemistry beneath the Mississippi River plume. *Estuaries*, 22, 206-214.
- Moore, D.R. y H.R. Bullis 1960. A deep-water coral reef in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean* 10:125-128.
- Mortensen, P.B., Hovland, M., Brattegard, T. y R. Farestveit 1995. Deep water bioherms of the Scleractinian coral *Lophelia pertusa* (L.) at 640N on the Norwegian shelf: Structure and associated megafauna. *Sarsia* 80:145-158.
- Müller-Kärger, F.E., Walsh, J.J., Evans, R.H. y Meyers, M.B. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *J. Geophys. Res.* 96 C7:12645-12665.
- Murray, S.P., E. Jarosz y E.T. Weeks 1998. Physical oceanographic observations of the coastal plume. Pp. 5-105. En: Murray, S.P. (ed.) 1998. *An Observational Study of the Mississippi-Atchafalaya Coastal Plume: Final Report*. OCS Study MMS 98-0040. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Mgmt Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. 513 pp.
- 1998. Physical oceanographic observations of the coastal plume. Pp. 5-105. En: Murray, S.P. (ed.) 1998. *An Observational Study of the Mississippi-Atchafalaya Coastal Plume: Final Report*. OCS Study MMS 98-0040. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Mgmt Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. 513 pp.
- Nelson, D.M. y Q. Dortch 1996. Silicic acid depletion and silicon limitation in the plume of the Mississippi River: evidence from kinetic studies in spring and summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 136, 163-178.
- Pequegnat W. 1971. Gulf of Mexico deep sea fauna. pp. 1-12. En: Webster, W. (Ed.) *Serial Atlas of the Marine Environment*. Amer. Geophys. Soc. NY.
- 1983. *The ecological communities of the continental slope and adjacent regimes of the Northern Gulf of Mexico*. US Department of the Interior. Mineral Management Service. Ter Eco Corporation, College Station, Texas.
- Pequegnat, W.E., B.J. Gallaway y L.H. Pequegnat 1990. *Aspects of the ecology of the deep water fauna of the Gulf of Mexico*.
- Powell, S. M. 2001. Analysis of the fish fauna of the deep northern Gulf of Mexico. M. Sc. Thesis Memorial University. 54 pp.
- Qureshi, N.A. 1995. The role of fecal pellets in the flux of carbon to the sea floor on a river-influenced continental shelf subject to hypoxia. Ph.D. thesis, Louisiana State

- University, Baton Rouge, 255 pp.
- Rabalais, N.N., R.S. Carney y E.G. Escobar-Briones 1999. Overview of continental shelf benthic communities of the Gulf of Mexico. En: H. Kumpf, K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Capítulo 10: 171-195.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner y D. Scavia 2002. Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *Bioscience* 52, 129-142.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner, D. Justic, Q. Dortch y W.J. Wiseman 1999. Characterization of Hypoxia: Topic 1 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 15. NOAA Coastal Ocean Program, Silver Spring, MD. 167 pp.
- Redalje D.G., S.E. Lohrenz y G.L. Fahnenstiel 1994. The relationship between primary production and the vertical export of particulate organic matter in a river-impacted coastal ecosystem. *Estuaries*, 17, 829-838.
- Reguero, M. y A. García Cubas 1993. Moluscos del complejo lagunar Larga-Redonda-Mandinga, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *Hidrobiológica* (1/2):41-70.
- 1993. Estado actual de la investigación sobre diversidad de moluscos en México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* XLIV:191-207.
- Rodríguez, F., A. Laguarda y A. García-Cubas 1983. The karyotype of *Isognomon alatus*. *Can. J. Gen. Cytol.* 25(2):85-87.
- Rogers, P. y A. García Cubas 1981. Evolución gonádica a nivel histológico del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) del sistema fluvio-lagunar Atasta-Pom, Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. Del Mar. y Limnol.* UNAM, 8(1):21-42.
- Román-Contreras, R. y L.A. Soto 2002. A new deep-water genus and species of a branchial bopyrid infesting the galatheid crab *Munidopsis erinaceus* from the southwestern Gulf of Mexico. *J. Crust. Biol.* 22(2):279-286.
- Rowe, G. 2000. Seasonal hypoxia in the bottom water off the Mississippi River delta. *Jour. Env. Qual.* 30, 281-290.
- Rowe, G.T., Polloni, P.T. y Horner, S.G. 1974. Benthic biomass estimates from the northwestern Atlantic ocean and the Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 21:642-650.
- Rowe, G.T. y M.C. Kennicutt II 2000. Deepwater Program: Northern Gulf of Mexico continental slope habitat and benthic ecology. Year 1 Interim Report. OCS Study MMMS.
- Schroeder, W.W. 2001. Video documentation of the geology and distribution of *Lophelia* prolifera at a deep water reef site in the Northeastern Gulf of Mexico. En: Willison, J.H.M. et al. (eds.) *Proceedings of the First International Symposium on Deep Sea Corals*. Ecology Action Centre: 224-225.
- 2002. Observations of *Lophelia pertusa* and the surficial geology at a deep-water site in the northeastern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia* 471-29-33.

- Sklar, F.H. y R.E. Turner. 1981. Characteristics of phytoplankton production off Barataria Bay in an area influenced by the Mississippi River. *Contr. In Mar. Science*, 24, 93-106.
- Solís-Marpín, F. A., M.D. Herrero-Perezrul, A. Laguarda-Figueras y J. Torres-Vega 1993. Asteroideos y Equinoideos de México (Echinodermata) pp. 91-105. En: Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González (eds.) *Biodiversidad marina y costera de México*. CONABIO CIQRO, México. 865 pp.
- Solís-Weiss, V., A. Granados Barba, L. V. Rodríguez Villanueva, L. A. Miranda Vázquez, V. Ochoa Rivera y P. Hernández Alcántara, P. 1995. The Lumbrineridae of the continental shelf in the Mexican portion of the Gulf of Mexico. *Mitt. Hamb. Zool. Mus. Inst.* 92: 61-75.
- Soto, L.A. y A. Gracia G. 1987. Evaluación de los efectos de hidrocarburos fósiles sobre las poblaciones de camarones perdidos en el Banco de Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 14(2):133-146.
- Tovar-Hernández, M.A., A. Granados-Barba y V. Solís-Weiss 2002. *Typosyllis papillosus*, a new species (Annelida: Polychaeta: Syllidae) from the southwest Gulf of Mexico. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 115(4):760-768.
- Turner, R.E. y R.L. Allen 1982. Plankton respiration rates in the bottom waters of the Mississippi River delta bight. *Contr. Mar. Sci.*, 25, 173-179.
- Turner, R.E. y N.N. Rabalais 1991. Changes in Mississippi River water quality this century. Implications for coastal food webs. *BioScience*, 41, 140-148.
- Uribe-Alcocer, M. y A. Ramírez-Escamilla. 1989. Comparación citogenética entre las especies del género *Dormitator* (Pises: Gobiidae). *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 16(1): 75-80.
- Uribe-Alcocer, M., R. Montes-Pérez y P. Díaz-Jaimes 1994. Chromosome complement of *Eleotris pisonis* (Gobiidae; Perciformes) from Mexico: a new case of heteromorphic sex chromosomes in fish. *Cytobios* 77:183-187.
- Uribe-Alcocer, M. y P. Díaz-Jaimes 2000. Fish chromosomes as biomarkers of genotoxic damage and proposal for the use of tropical catfish species for short-term screening of genotoxic agents. Pp. 361-390. En: Butterworth *et al.* (eds.) *Biomonitoring and biomarkers as indicators of environmental change*. Kluwer.
- Wilson-Finelli, A. y R.T. Powell, 2001. Nutrient cycling in the Mississippi River plume. *ASLO 2001 Conference Abstracts book*, p.151.
- Wiseman, W.J., V.J. Bierman, N.N. Rabalais y R.E. Turner 1992. Physical structure of the Louisiana shelf hypoxic region. *Proceedings, Nutrient Enhanced Coastal Ocean Productivity Workshop*, Publ TAMU-SG-92-109, Texas Sea Grant College Program, Texas A&M University, College Station, Texas, pp. 21-26.

BIOLOGÍA, EXPLOTACIÓN Y GESTIÓN DE LOS MEROS (*SERRANIDAE*,
EPINEPHELINAE, *EPINEPHELINI*) Y PARGOS (*LUTJANIDAE*,
LUTJANINAE, *LUTJANUS*) DEL GOLFO DE MÉXICO

Thierry Brulé, Teresa Colás-Marrufo, Esperanza Pérez-Díaz y
Christian Déniel

INTRODUCCIÓN

Los meros y pargos son peces de arrecife de gran importancia comercial y recreativa a lo largo de la costa sureste de los Estados Unidos de América, de México, en las Bermudas, en el Golfo de México y en el mar Caribe (Sadovy 1994). La familia de los Serranidae incluye 449 especies repartidas en 62 géneros y tres subfamilias (Serraninae, Anthiinae y Epinephelinae) (Nelson 1994). En la subfamilia Epinephelinae se distinguen cinco tribus, de las cuales la tribu Epinephelini agrupa a todas las especies conocidas bajo el término general de meros (*Groupers*). Esta tribu se compone de 164 especies clasificadas en 14 géneros (Nelson 1994). En el Atlántico oeste, a lo largo de las costas del continente americano, se distribuyen 25 especies de mero que pertenecen a los siete géneros siguientes: *Alphistes*, *Cephalopholis*, *Dermatolepis*, *Epinephelus*, *Gonioplectrus*, *Mycteroperca* y *Paranthias* (Heemstra y Randall 1993). La familia de los Lutjanidae, cuyos representantes son comúnmente conocidos como Pargos (*Snappers*), comprende a cuatro subfamilias (Lutjaninae, Paradicichthynae, Etelinae y Apsilinae), las cuales incluyen a 17 géneros y 103 especies (Allen 1985). La costa Atlántica de América ocupa el segundo lugar mundial por su abundancia en géneros (7) y especies (19) de Lutjanidae (Druzhini 1970).

El Golfo de México constituye uno de los 49 grandes ecosistemas marinos (GEM) (Large Marine Ecosystems, LME) mundiales. Estos GEM correspon-

den a áreas que son propensas a sufrir tensiones crecientes debido al incremento de la explotación de los recursos naturales renovables, a los daños ocasionados a las zonas costeras, a la pérdida de hábitat y a la contaminación (Sherman 1994). El Golfo de México se caracteriza por su amplia plataforma continental, la cual representa 30% de la superficie total de esta región y se extiende hasta alcanzar 220 km de ancho en frente de la costa de Luisiana y 290 km en frente de las costas suroeste de Florida y norte de la Península de Yucatán (Rabalais *et al.* 1999). Estas grandes extensiones de plataforma continental ubicadas tanto en el norte como en el sur del Golfo representan las principales zonas de explotación comercial de meros y pargos (Stevenson 1981).

Meros y pargos tienen en común ciertas características biológicas que los hacen particularmente vulnerables frente a la explotación humana (Manooch 1987, Ralston 1987). Carencias significativas en el conocimiento de la biología de las especies, de las características de los *stocks* aprovechados y de los niveles de explotación aplicados impiden la elección de la estrategia de manejo más adecuada para estos recursos (Sadovy 1994). El presente trabajo tiene como objetivo sintetizar la información disponible sobre la biología de las especies de mero y pargo del Golfo de México así como analizar los aspectos más relevantes de su explotación y gestión en esta región.

LAS ESPECIES

En el Golfo de México se distribuyen un total de 23 especies de mero que pertenecen a los siete géneros de *Epinephelini* observados en el Atlántico oeste (Smith 1961, 1971, 1997, Bullock y Smith 1991, Heemstra y Randall 1993, Hoese y Moore 1998). El género de mayor importancia en cuanto al número de especies presentes es *Epinephelus* (10) seguido por los géneros *Mycteroperca* (7), *Cephalopholis* (2) y *Alphistes*, *Dermatolepis*, *Gonioplectrus* y *Paranthias* (una especie cada uno) (cuadro 1).

Once especies de pargo que pertenecen al género *Lutjanus*, incluido en la subfamilia Lutjaninae, se distribuyen en el Golfo de México (Druzhini 1970, Allen 1985, 1987, Smith 1997, Hoese y Moore 1998) (cuadro 1).

DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Salvo algunas excepciones, los meros y pargos son peces marinos confinados a las zonas tropicales y subtropicales de los océanos (Allen 1985, Heemstra y Randall 1993). A nivel mundial, su distribución geográfica coincide general-

CUADRO 1. MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO: DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT DE LAS ESPECIES

ESPECIE ¹	AUTOR	NOMBRES COMUNES ²	DISTRIBUCIÓN		HÁBITAT ⁵
			GEOGRÁFICA ³	BATIMÉTRICA (M) ⁴	
Serranidae (N=23)					
<i>Alphesthes afer</i>	Bloch 1793	Guaseta	Mutton hamlet	E (SF)	Ac; PM
<i>Cephalopholis cruentata</i> ^{EE}	Lacépède 1802	Cherna enjambe	Graysby	T	Ac; PM
<i>C. fulva</i> ^{EE}	Linnaeus 1758	Cherna cabrilla	Coney	T	Ac; C
<i>Dermatolepis inermis</i> ^{EA}	Valenciennes 1833	Mero marmol	Marbled grouper	T	—
<i>Epinephelus adscensionis</i> ^{EE}	Osbeck 1765	Mero cabrilla	Rock hind	T	Ac; Ar
<i>E. drummondhayi</i> ^{EE, EA}	Goode & Bean 1879	Mero pintaraja	Speckled hind	N, E y S (PY)	Fr
<i>E. flavolimbatus</i> ^{EE, EA}	Poey 1865	Mero aleta amarilla	Yellowedge grouper	T	Fr; Fa; Fl
<i>E. guttatus</i> ^{EE}	Linnaeus 1758	Mero colorado	Red hind	T	Ac; Fr
<i>E. itajara</i> ^{EE, EA}	Lichtenstein 1822	Mero guasa	Jewfish	T	Ac; M y E (j)
<i>E. morio</i> ^{EE}	Valenciennes 1828	Mero americano	Red grouper	T	Ar; Fd; Fa; Fl; PM (j)
<i>E. mystacinus</i> ^{EE}	Poey 1852	Mero listado	Misty grouper	T	Fd; Fa
<i>E. nigrilus</i> ^{EE, EA}	Holbrook 1855	Mero negro	Warsaw grouper	N, E y S (PY)	Fr
<i>E. niveatus</i> ^{EE, EA}	Valenciennes 1828	Cherna pintada	Snowy grouper	T	Fr
<i>E. striatus</i> ^{EE, EA}	Bloch 1792	Cherna criolla	Nassau grouper	E (E) y S (PY)	Ac; Fd; PM (j)
<i>Gonioplectrus hispanus</i>	Cuvier 1828	Bandera español	Spanish flag	T	Fr
<i>Mycteroperca acutirostris</i>	Valenciennes 1828	Cuna negra	Comb grouper	N y O	Fr; PM; M y Ac (j)
<i>M. bonaci</i> ^{EE, EA}	Poey 1860	Cuna bonaci	Black grouper	N, E y S	Ac; Fr
<i>M. interstitialis</i> ^{EE, EA}	Poey 1860	Cuna amarilla	Yellowmouth	E, O y S (PY)	Ac; Fr

(Continúa)

CUADRO 1. MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO: DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT DE LAS ESPECIES

ESPECIE ¹	AUTOR	NOMBRES COMUNES ²	DISTRIBUCIÓN		HÁBITAT ⁵
			GEOGRÁFICA ³	BATIMÉTRICA (m) ⁴	
<i>M. microlepis</i> ^{EE, EA}	Goode & Bean 1880	Cuna aguají	T	40-100	Fr; PM y E (j)
<i>M. phenax</i> ^{EE, EA}	Jordan & Swain 1885	Cuna garopa	T	70-100	Fr; Ac
<i>M. tigris</i> ^{EE}	Valenciennes 1833	Cuna gata	E (SF), O y S	10-40	Ac; Fr
<i>M. venenosa</i> ^{EE}	Linnaeus 1758	Cuna de piedra	E (SF) y S (PY)	2-137	Ac; Ar; Fl; PM (j)
<i>Paranthias furcifer</i>	Valenciennes 1828	Cuna lucero	T	6-64	Ac; Fd

(1): EE-especie explotada comercialmente vía la pesca. EA-especie amenazada. (2): según FAO. (3): E-este del Golfo; F-Florida; N-norte del Golfo; O-
 oeste del Golfo; PY-Península de Yucatán; S-sur del Golfo; SF-sur de Florida; T-todo el Golfo. (4): AS-aguas someras. (5): Ac-arrecife de coral; Ap-arreci
 profundo; Ar-arrecife rocoso; C-cantil; E-estuario; Fa-fondo arenoso; Fd-fondo duro; Fl-fondo lodoso; Fr-fondo rocoso; j-juvenil, M-manglar; PM-past
 marino; TPC,talud plataforma continental y insular
 Fuentes: Smith, 1961, 1971; 1997; Druzhini, 1970; Fischer, 1978; Allen, 1985, 1987; Bannerot *et al.*, 1987; Bullock y Smith, 1991; Heemstra y Randall, 1993;
 Colás-Marrufo *et al.*, 1998; Hoese y Moore, 1998; IUCN, 2002; Musik *et al.*,2000).

mente con la de los arrecifes de tipo coralino (Smith 1961, Druzhini 1970). Los límites septentrional y meridional de distribución de los meros y pargos observados en el Golfo de México son, las costas de Massachusetts, de Carolina del Norte y del Sur o de Florida en Estados Unidos y las costas de Venezuela o de Brasil, respectivamente (Smith 1961, 1971, 1997, Fischer 1978, Allen 1985, Bullock y Smith 1991, Heemstra y Randall 1993, Hoese y Moore 1998). Solamente cuatro especies de mero del Golfo se distribuyen fuera del Atlántico oeste. *E. adscensionis* es reportado también en el Atlántico este (islas Asunción y Sta. Helena); *E. itajara* en el Atlántico este (Senegal, Congo y islas Canarias) y Pacífico este (del Golfo de California hasta las costas de Perú); *E. mystacinus* en el Pacífico este (islas Galápagos) y *P. furcifer* en el Atlántico este (isla Asunción y Golfo de Guinea) (Heemstra y Randall 1993).

Con excepción de *Alphistes afer* y de *Lutjanus ambiguus*, observados únicamente en la punta sur de Florida y de *Mycteroperca acutirostris*, presente exclusivamente en la parte noroeste del Golfo, todas las demás especies identificadas (21 meros y 10 pargos) se distribuyen a lo largo de toda la costa del Golfo de México, desde los Cayos de Florida en Estados Unidos, hasta Cabo Catoche ubicado en el extremo oriental de la Península de Yucatán en México (cuadro 1).

Los meros y pargos son peces demersales, generalmente asociados con fondos duros de tipo coralino o rocoso (cuadro 1). Sin embargo, algunos meros, como *E. flavolimbatus*, pueden encontrarse también sobre fondos arenosos o fangosos (Jones *et al.* 1989) y algunos pargos como *L. analis*, *L. apodus*, *L. cyanopterus* y *L. griseus* pueden vivir en pantanos costeros de mangle (Druzhini 1970). La mayoría de las especies viven a menos de 100 m de profundidad, mientras algunas se distribuyen hasta 200 m ó 400-500 m (*E. nigritus*; *E. niveatus*; *L. synagris*). Los juveniles de muchas especies de mero se distribuyen en aguas litorales someras (Rivas 1979, Thompson y Munro 1978, 1983). Juveniles de *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis* fueron observados sobre fondos rocosos o en pastos marinos (Longley y Hildebrand 1941, Moe 1969, Smith 1971, Renán *et al.* 2003) y los de *E. itajara* en áreas pantanosas con manglares (Bullock y Smith, 1991, Bullock *et al.* 1992). En la parte norte del Golfo de México, los juveniles de *M. microlepis* se distribuyen en estuarios, sobre pastos marinos de *Zostera marina* o *Halodule wrightii*, o bien sobre bancos de ostiones (Schirripa y Goodyear 1994). A menudo, los pargos juveniles se encuentran también en aguas someras costeras, sobre fondos arenosos o lodosos (*L. campechanus*), en áreas de manglares (*L. cyanopterus*) y en estuarios e inclusive río abajo de ciertos

arroyos (*L. jocu* y *L. griseus*).

BIOLOGÍA

REPRODUCCIÓN

A la fecha, no se tiene información sobre la biología de la reproducción de todas las especies de mero y pargo. En particular ningún dato sobre este tema está disponible para las poblaciones del Golfo de *A. afer*, *D. inermis*, *C. fulva*, *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. striatus*, *G. hispanus*, *M. acutirostris* y *M. tigris* (39% de los meros presentes) así como de *L. ambiguus*, *L. analis*, *L. apodus*, *L. buccanella*, *L. cyanopterus*, *L. jocu*, *L. mahogoni*, *L. synagris* y *L. vivanus* (82% de los pargos presentes) (cuadro 2).

SEXUALIDAD

Varias especies de mero presentan un hermafroditismo protógino mientras que el gonocorismo parece ser el patrón de sexualidad común en todas las especies de pargo (Grimes 1987, Shapiro 1987, Sadovy 1996). Tomando en cuenta los criterios definidos por Sadovy y Shapiro (1987) para caracterizar el hermafroditismo en los peces, once de las especies de mero del Golfo presentan sin ambigüedad un hermafroditismo protógino y una (*E. striatus*) es considerada gonócrica con potencialidad para desarrollar un hermafroditismo protógino (Sadovy y Colin 1995). Los datos disponibles sobre la sexualidad de los pargos son más escasos. Basándose en estudios histológicos de sus gónadas, *L. campechanus*, *L. griseus* y *L. synagris* fueron confirmados como especies gonocóricas (cuadro 2).

DIMORFISMO SEXUAL

En general las especies de las familias Serranidae y Lutjanidae no presentan un dimorfismo sexual externo notorio. Es el caso de los pargos del Atlántico oeste no se observó ninguna característica morfológica o patrón de coloración relacionado con el sexo (Thresher 1984, Grimes 1987). Sin embargo, para algunas especies de mero se han reportado diferencias de pigmentación en el cuerpo (*M. microlepis*) o en las aletas (*M. bonaci*) según el sexo de los individuos (Gilmore y Jones 1992, Collins *et al.* 1997, Crabtree y Bullock 1998, Brulé *et al.* 2003). Además, se observaron diferentes patrones de coloración para machos y hembras de *E. guttatus*, *E.*

striatus y *M. tigris* durante sus periodos de reproducción, en particular durante las fases de cortejo y desove (Colin *et al.* 1987, Bullock y Smith 1991, Colin 1992, Shapiro *et al.* 1993, Sadovy *et al.* 1994).

TALLA DE PRIMERA MADUREZ SEXUAL

Como muchos otros peces de arrecifes, los meros y pargos presentan una madurez sexual tardía (Coleman *et al.* 2000). Por lo general, las especies alcanzan su primera madurez sexual en tallas que oscilan entre 33 y 74% (meros) y entre 23 y 84% (pargos) de la longitud máxima reportada para cada especie (Grimes 1987, Sadovy 1996).

Las poblaciones de mero y pargo del Golfo de México alcanzan su primera madurez sexual a tallas que oscilan, respectivamente, entre 33-80% y 23-85% de las longitudes máximas observadas para cada una de las especies estudiadas (cuadro 2). En el caso de los peces que presentan un hermafroditismo protógino, esta talla mínima de primera madurez sexual concierne únicamente a las hembras. Así, para las poblaciones de *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis* del Banco de Campeche, las hembras alcanzan por primera vez su madurez sexual a una longitud correspondiente al 46%, 47% y 64% de sus tallas máximas respectivas (Brulé *et al.* 1999, 2003, en prensa a). En cuanto a los machos, estos alcanzan su madurez sexual a la talla a la cual sucede el proceso de inversión sexual en las hembras. Shapiro (1987) observó que la inversión sexual en los meros ocurre generalmente en individuos cuyas tallas se distribuyen entre el 33 y 100% de la talla máxima observada por cada especie. Por ejemplo, la inversión sexual en las poblaciones de *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis* del Banco de Campeche puede ocurrir en organismos cuyas tallas oscilan en un rango de longitudes que corresponde, respectivamente, al 52%, 29% y 14% de las tallas máximas reportadas para cada una de estas especies. Según Shapiro (1987) el análisis de estos datos deja suponer que la talla (o edad) de los meros no constituye un factor determinante para el cambio de sexo de los organismos, el cual sería más bien controlado por factores sociales intrínsecos a las poblaciones.

PERIODO DE REPRODUCCIÓN

Según Sadovy (1996) los meros presentan periodos de reproducción de duración restringida mientras que los pargos se caracterizan por desovar durante periodos más extensos.

En el Golfo de México, la mayoría de los meros estudiados presentan

CUADRO 2. SEXUALIDAD (S); PRIMERA MADUREZ SEXUAL, PERIODO DE REPRODUCCIÓN, FECUNDIDAD ABSOLUTA Y AGREGACIÓN DE DESOVE DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	S ¹	Madurez sexual ²			PERIODO DE REPRODUCCIÓN		
		L _{min}	L _{máx}	L _{min} /L _{máx}	Mes ³	REGIÓN ⁴	
		(mm)	(mm)	(%)			
Serranidae							
<i>Alphestes afer</i>	—	—	—	—	Dic	J	
<i>Cephalopholis cruentata</i>	Hp	165	305	Le	54	Jul-Ago	Ge
<i>C. fulva</i>	Hp	145	275	Lf	53	[Dic-Feb]	PR
<i>Epinephelus adscensionis</i>	—	275	375	Le	73	Ene-Jun	Ge
<i>E. drummondhayi</i>	Hp	560	770	Lt	73	[Abr]	Gs
<i>E. flavolimbatus</i>	Hp	(569)	1065	Lt	—	Ene-Oct [May-Sep]	Ge
<i>E. guttatus</i>	Hp	305	381	Le	80	Abr, Jun-Ago	Ge
<i>E. itajara</i>	Hp?	1250	2065	Lt	61	Jun-Oct [Jul-Sep]	Ge
<i>E. morio</i>	Hp	260	790	Le	33	Dic-Jun [Abr-May]	Ge
		389	854	Lf	46	Sep-Abr [Ene-Mar]	Gs
		381	980	Lt	39	Feb-Jun [Mar-May]	Ge
<i>E. mystacinus</i>	—	—	—	—	—	Nov, Ago	J
<i>E. niveatus</i>	Hp?	379	1000	Lt	38	Abr-Jul	Ge
<i>E. striatus</i>	G/Hp	425	730	Le	58	Dic-Feb	B
<i>M. bonaci</i>	Hp	508	1310	Lt	39	Ene-Dic [Dic-Mar]	Ge
		580	1235	Lf	47	Ene-Dic [Ene-Feb]	Gs
<i>M. interstitialis</i>	Hp	420	747	Lt	56	Ene-Dic [Abr-May]	Ge
<i>M. microlepis</i>	Hp	450	1128	Lt	40	Nov, Ene-Jul [Mar]	Ge
		490	1100	Lt	45	Feb-Abr [Mar]	Ge
		400	1150	Le	35	Feb-Abr [Mar]	Ge
		705	1100	Lf	64	Oct-Abr [Ene-Mar]	Gs
		350	—	Le	—	Mar-May	Ge
<i>M. phenax</i>	Hp	313	875	Lt	36	Feb-Jul [Mar-May]	An
<i>M. tigris</i>	Hp?	320	480	Lt	67	Ene-Abr	PR
<i>M. venenosa</i>	Hp	—	—	—	—	Mar, May-Ago	Ge
		582	850	Lt	69	Ene-Jun	C
<i>Paranthias furcifer</i>	Hp?	—	—	—	—	May-Sep	Ge

En caso de ausencia de datos para el Golfo, se proporcionan algunos resultados disponibles para las regiones del Atlántico norte o del Caribe. 1: Hp-hermafroditismo protogino; G-gonocorismo. 2: L_{min}-talla mínima de primera madurez sexual; L_{máx}-talla máxima alcanzada por los organismos; Le-longitud estándar; Lf-longitud furcal; Lt-longitud total. 3: meses durante los cuales las hembras presentan ovocitos vitelógenos en sus ovarios; []-meses durante los cuales se observaron las más altas

FECUNDIDAD ⁵		AGREGACIÓN DE DESOVE		REFERENCIA
NO. DE OVOCITOS (MILLÓN)	REGIÓN ⁴	SITIO ⁴	TIPO ⁶	
0.158-0.224	J	—	—	54
0.263	J	—	—	9, 40, 44, 51
0.067-0.282	J	—	—	44, 51, 54
0.761	Ge	PR	T, LL	9, 22, 31
—	—	—	—	4
—	—	—	—	11
0.097-0.526	J	MC	T, LL, DP	22, 31, 48, 49, 51, 54
38.9-56.6 ^{FL}	Ge	Ge	T, LL	9, 10, 22
0.448-5.736	Ge	—	—	3, 20, 37, 55
0.024-2.322 ^{FL}	Ge	—	—	—
—	—	—	—	54
—	—	—	—	9, 31, 38
0.350-6.500	B	MC	T, LL, DG	1, 14, 22, 45, 47
0.504	?	Ge	T?, LL?	5, 21, 22, 24, 25, 51, 52
0.351-2.459 ^{FL}	Ge	—	—	8, 9
0.656-1.46	Ge	Ge	T, DP?	6, 18, 22, 32, 33, 36
0.011-0.865 ^{FL}	Gne	—	—	—
0.250-3.2 ^{FL}	An	Ge	T	9, 22, 30
—	—	H, PR	T, LL, DP	12, 22, 26, 46, 51
1.995-2.875 ^{FL}	Ge	MC	T, LL	9, 22, 25
0.177-0.640 ^{FL}	Ge	—	—	9

frecuencias de hembras con ovocitos vitelógenos o hialinos y/o foliculos postovulatorios en sus ovarios (pico de desove). 4: An-Atlántico norte; B-Belice; C-Cuba; Ge-Este del Golfo; Gne-Noreste del Golfo; Gno-Noroeste del Golfo; Gs-Sur del Golfo; H-Honduras; IV-Islas Vírgenes; J-Jamaica; MC-Mar Caribe; PR-Puerto Rico; Tr-Trinidad. 5: FL-fecundidad por lote (*batch fecundity*). 6: DG-desove en grupo; DP-desove en pareja; LL-luna llena; LN-luna nueva; T-transitoria. (Continúa)

(1): P-pelágico; entre paréntesis se indica la salinidad a la cual los huevos flotan. (2): Ohmediciones realizadas sobre ovocitos hialinos no fecundados. (3) No-Número. (4): hdf-horas después de la fecundación. (5): Temp-temperatura. (6): Long-longitud; Le-longitud estándar; Ln-longitud notocordal; Ln/e- longitud notocordal o estándar; Lt: longitud total; entre paréntesis se indican el número de larvas analizadas. (7): dde-días después de la eclosión. (8): L-resultados obtenidos en laboratorio.

periodos de reproducción que no se prolongan durante más de 8 meses al año, salvo en los casos de las poblaciones de *E. flavolimbatus*, *M. bonaci* y *M. interstitialis* para las cuales se observan hembras sexualmente activas (ovarios con presencia de ovocitos vitelogénos) hasta durante 10 ó 12 meses en el año (cuadro 2). Sin embargo, para todas las especies estudiadas en esta región, los picos de desove (meses durante los cuales se observaron las más altas frecuencias de hembras con ovocitos vitelogénos o hialinos y/o folículos postovulatorios en sus ovarios) ocurren durante un lapso de tiempo que no rebasa un máximo de cinco meses por año. Para *L. campechanus* y *L. griseus*, únicas especies de pargo cuya reproducción fue estudiada en el Golfo, se observaron hembras activas durante cuatro y hasta 12 meses en el año, así como picos de desove que ocurrieron durante un periodo que fluctuó entre dos y seis meses en el transcurso del año (cuadro 2).

En el Golfo, los meros se reproducen durante el invierno-inicio de la primavera (*E. adscencionis*, *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis*), durante la primavera-inicio del verano (*E. drummondhayi*, *E. flavolimbatus*, *E. guttatus*, *E. niveatus*, *M. interstitialis*, *M. phenax*, *M. venenosa* y *P. furcifer*) o durante el verano (*Cephalopholis cruentata* y *E. itajara*). En cuanto a los pargos del Golfo, la reproducción ocurre durante la primavera y el verano en el caso de *L. griseus* o durante la primavera y el otoño para *L. campechanus* (cuadro 2). Según su distribución espacial en el Golfo, las poblaciones de una misma especie pueden presentar periodos de reproducción desfasados en el tiempo. Así por un lado, *E. morio* y *M. microlepis* se reproducen más temprano en el año en la región sur del Golfo (enero-marzo) que en la región este (marzo-mayo) (Moe 1969, Hood y Schlieder 1992, Collins *et al.* 1997, Koenig *et al.* 1996; Brulé *et al.* 1999, en prensa a; Collins *et al.* 2002). Por otro lado, el pargo *L. campechanus* presenta dos picos de desove en el sur del Golfo (uno en primavera y otro en verano-inicio de otoño) y uno único en la región este (verano-inicio de otoño) (Futch y Bruger 1976, Brulé *et al.* en prensa b).

FECUNDIDAD

La fecundidad constituye un parámetro esencial en la estimación del potencial reproductor de una especie y en la evaluación de los *stocks* explotados. Los meros y pargos se caracterizan por su capacidad para producir un número elevado de ovocitos: hasta varios millones por hembra y por año (Grimes 1987, Shapiro 1987, Sadovy 1996).

Los valores de fecundidad obtenidos para las especies del Golfo resultan muy variables. Fluctúan entre 11,000 (*M. microlepis*; 740 mm Lt) y 65.6×10^6 (*E. itajara*; 1,397 mm Le) ovocitos para los meros, y entre 13 (*L. campechanus*; 417 mm Lt) y 8.5×10^6 (*L. jocu*) ovocitos para los pargos (Bullock y Smith, 1991, Collins *et al.* 1997, 2001; Garcia-Cagide *et al.* 2001) (cuadro 2). Estas fluctuaciones pueden ser causadas por las variaciones naturales de fecundidad observadas generalmente en los peces tanto a nivel interespecífico como intraespecífico (fluctuaciones relacionadas con la talla de los organismos y/o al año de estudio). Pero la falta en el uso de un método estandarizado para la estimación de dicho parámetro dificulta la realización de un estudio comparativo entre los diferentes estudios citados. Sin embargo, basándose en la estimación de la fecundidad por lote y utilizando el método de conteo de ovocitos hialinos y de folículos postovulatorios, algunos autores calcularon la frecuencia de desove promedio de las hembras de *E. morio* (26 por año), de *M. microlepis* (8-27); de *M. phenax* (42) y de *L. campechanus* (21-35) y así alcanzaron a estimar la fecundidad anual potencial de cada una de estas especies: entre 613,000 y 17×10^6 para *E. morio*; entre 65,000 y 61.4×10^6 para *M. microlepis* (700-1,065 mm Lt); entre 1.3×10^6 y 10.5×10^6 para *M. phenax* (445-712 mm Lt) y entre 12,000 y 59.7×10^6 para *L. campechanus* (349-820 mm Lt) (Collins *et al.* 1996, 1997, 2002, Harris *et al.* 2002).

AGREGACIÓN DE DESOVE

Durante el periodo de reproducción, los meros y pargos liberan sus gametos en el lugar de residencia habitual de los adultos o bien en áreas de desove específicas después de haber efectuado una migración. Generalmente las especies de mayor tamaño son las que realizan las migraciones de reproducción más largas y que forman agregaciones de desove compuestas a veces de centenares o millares de individuos, durante varios días, en sitios geográficos

cos y periodos del año bien determinados (Sadovy 1996).

De las 14 especies de mero estudiadas a la fecha, nueve forman agregaciones de desove en el Atlántico oeste (cuadro 2). En el Golfo de México, algunos sitios de agregación fueron ubicados en la parte este de dicha región para cuatro especies: *E. itajara* en la costa suroeste de Florida; *M. bonaci* en los Cayos de Florida (*Florida Keys National Marine Sanctuary*); *M. microlepis* y *M. phenax* en la costa noroeste de Florida (*Florida middle Ground*). Estas agregaciones son de tipo transitorio; pueden ocurrir durante los días de luna llena (*E. itajara*; *M. bonaci*); se forman durante el invierno para *M. bonaci*, el invierno y la primavera para *M. microlepis* y *M. phenax* o el verano para *E. itajara* y pueden conllevar a la formación de parejas al momento del desove (*M. microlepis*) (Colin 1994, Coleman *et al.* 1996, Domeier y Colin, 1997, Eklund *et al.* 2000). En la parte sur del Golfo, Colás-Marrufo *et al.* (2002) y Tuz-Sulub *et al.* (2003) presentaron los primeros índices sobre la formación de probables agregaciones de desove de *E. guttatus*, *M. bonaci*, *M. tigris* y *M. venenosa* en dos áreas del Banco de Campeche. De los 11 pargos estudiados, siete forman agregaciones de desove en el Golfo de México (cuadro 2). Se observaron sitios de agregación en los Keys de Florida (*Dry Tortugas* y/o *Key West*) para *L. analis*, *L. apodus*, *L. cyanopterus*, *L. griseus*, *L. jocu* y *L. synagris* así como en la parte norte de Florida para *L. campechanus*. Estas agregaciones son de tipo transitorio (*L. analis*, *L. cyanopterus* y *L. griseus*); pueden ocurrir durante los días de luna llena (*L. analis* y *L. cyanopterus*) o nueva (*L. griseus*); se forman durante la primavera y el verano (*L. analis*, *L. apodus*, *L. cyanopterus* y *L. synagris*) o durante el verano (*L. griseus* y *L. jocu*) y pueden conducir a la realización de desove en grupos (*L. analis* y *L. griseus*) (Domeier *et al.* 1996, Domeier y Colin, 1997, Lindeman *et al.* 2000).

DESARROLLO EMBRIONARIO Y LARVARIO

Los estudios taxonómicos disponibles sobre huevos y larvas de meros y pargos son todavía escasos y generalmente incompletos para la mayoría de las especies analizadas. Todavía no se ha estudiado el desarrollo embrionario y larvario de *E. adscensionis*, *E. drummondhayi*, *E. flavolimbatus*, *M. acutirostris*, *M. interstitialis*, *M. tigris* y *M. venenosa* (30% de los meros presentes en el Golfo) ni tampoco de *L. ambiguus*, *L. apodus*, *L. buccanella*, *L. cyanopterus*, *L. jocu*, *L. mahogoni* y *L. vivanus* (64% de los pargos presentes). En muchos casos, particularmente en los pargos, los datos sobre este tema se obtuvieron a través de la realización de cultivos experimentales en labora-

torio (cuadro 3).

Huevos

Meros y pargos producen huevos pelágicos que miden entre 0.6 y 1.0 mm de diámetro y presentan una sola gotita de aceite cuyo diámetro fluctúa entre 0.12 y 0.26 mm. Según las especies y la temperatura de incubación aplicada (21-30 °C), el periodo de desarrollo embrionario observado fue más largo en el caso de los meros (23 a 44.5 horas después de la fecundación, hdf) que en el de los pargos (17 a 27 hdf) (cuadro 3).

Larvas

Las larvas de meros y pargos se distinguen unas de otras con base en el análisis de varios caracteres morfológicos como el grado de desarrollo de las espinas de la aleta dorsal, el tamaño y grueso de las endentaduras y espinitas presentes en dichas espinas, la forma de las espinas sobre la cabeza o bien el patrón de pigmentación. En cada familia, la identificación de las larvas es relativamente fácil hasta el nivel de la subfamilia y más complicada para alcanzar el nivel de la especie (Leis 1987). Sin embargo, diversos autores lograron identificar y distinguir a partir de colectas realizadas en el medio natural, a larvas de 10 especies de mero (*A. afer*, *C. cruentata*, *C. fulva*, *D. inermis*, *E. itajara*, *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. niveatus*, *G. hispanus* y *P. furcifer*) y de un pargo (*L. campechanus*) (Collins *et al.* 1979, Johnson y Keener 1984, Kendall 1979, 1984, Kendall y Fahay 1979, Presley 1970). Otros pudieron describir los estadios larvarios de *E. morio*, *E. striatus*, *M. microlepis*, *L. analis*, *L. campechanus*, *L. griseus* y *L. synagris*, obtenidos en laboratorio por medio de propagación artificial, incubación y cultivos larvarios experimentales (Clarke *et al.* 1997, Colin *et al.* 1996, Guitart-Manday y Juárez-Fernández 1966, Powell y Tucker 1992, Rabalais *et al.* 1980, Richards y Saksena 1980, Roberts y Schlieder 1983). La metamorfosis o transformación de las larvas fue obtenida entre 25 y 62 días después de la eclosión (dde) en dos especies de mero (*E. morio* y *E. striatus*) y entre 16 y 38 dde en dos especies de pargo (*L. analis* y *L. synagris*) (cuadro 3).

Se observó que las larvas de meros y pargos son poco abundantes en las muestras de plancton pero que se distribuyen de manera preferencial en zonas de plataformas continentales que en zonas oceánicas (Leis 1987).

EDAD Y CRECIMIENTO

Los meros y pargos son peces longevos que presentan un crecimiento lento y

CUADRO 3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HUEVOS Y LARVAS
DE MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	TIPO ⁽¹⁾	DIÁMETRO ² (MM)	HUEVO		INCUBACIÓN	
			GOTA DE ACEITE No. ³	DIÁMETRO (MM)	TIEMPO ⁴ (HDF)	TEMP. ⁵ (°C)
Serranidae						
<i>Alphestes afer</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Cephalopholis cruentata</i>	—	—	—	—	—	—
<i>C. fulva</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Dermatolepis inermis</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. guttatus</i>	—	0.94	—	—	—	—
	—	0.62 ^{Oh}	1	0.13	—	—
<i>E. itajara</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. morio</i>	—	<1.0	1	—	—	—
	P (32)	0.95	1	—	30	24
	—	0.9 ^{Oh}	1	0.21	—	—
<i>E. mystacinus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. nigrilus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. niveatus</i>	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>E. striatus</i>	P	1.02	1	0.22	40	25
	P (32)	0.92-0.97	1	0.20-0.26	27-29	25
	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>Gonioplectrus hispanus</i>	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>M. bonaci</i>	—	0.8	—	—	—	—
	—	0.87 ^{Oh}	1	0.23	—	—
<i>M. microlepis</i>	P	0.92	1	0.22	44.5	21
	—	—	—	—	—	—
	—	0.9 ^{Oh}	1	0.21	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>M. phenax</i>	—	0.95	—	—	—	—
<i>Paranthias furcifer</i>	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
	—	0.95	—	—	—	—

LARVA	METAMORFOSIS		REFERENCIA ⁸
	LONG. ⁶ (MM)	TIEMPO ⁷ (DDE)	
10.5-19.5 Le (17)	—	27.0-62.0 Le (8)	11
5.2-20.5 Le (46)	—	—	11
5.5-25.2 Le (7)	—	—	11
6.8-10.5 Le (5)	—	—	11
—	—	—	24
—	—	—	9
6.2-17.4 Le (5)	—	—	11
—	—	20-25 Le	16
2.5-9.6 Le (25)	25-27	12.2-26.2 Le (4)	6 ^L
—	—	—	3
20 Le (1)	—	—	11
9.1 Le (1)	—	—	11
5.5-10.3 Le (16)	—	—	18
—	—	23.5-31.3 Le (7)	11
10.2 Le (1)	—	—	12
2.0-2.8 Lt	—	—	10 ^L
1.8-13.2 Ln/e (33)	—	—	17 ^L
3.6-29.8 Ln	45-62	—	25 ^L
13.4-14 Le (2)	—	—	11
13.4 Le (1)	—	—	13
—	—	—	27 ^L
—	—	—	20
2.1 Lt	—	—	22 ^L
4.0-35.4 Le (28)	—	—	12
—	—	—	4
—	—	—	14
7.6-7.6 Le (3)	—	—	11
8.6 Le (1)	—	—	12
—	—	—	24 ^L

(Continúa)

CUADRO 3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HUEVOS Y LARVAS DE MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	HUEVO					
	TIPO ⁽¹⁾	DIÁMETRO ² (MM)	GOTA DE ACEITE		INCUBACIÓN	
			NO. ³	DIÁMETRO (MM)	TIEMPO ⁴ (HDF)	TEMP. ⁵ (°C)
Lutjanidae	—	—	—	—	—	—
<i>L. analis</i>	P	0.73-0.88	1	—	17	27.7
<i>L. campechanus</i>	—	0.8	—	—	—	—
	P	0.77-0.85	1	0.15-0.19	24-27	23-25
	—	—	1	—	20	27
	—	—	—	—	—	—
<i>L. griseus</i>	—	—	1	—	—	—
	P	0.70-0.80	1	0.12-0.18	20	27
					18	28
					17	30
	—	—	—	—	—	—
<i>L. synagris</i>	P	0.65-0.80	1	0.13-0.20	23	26
	—	0.7-0.75	1	—	—	—

(1): P-pelágico; entre paréntesis se indica la salinidad a la cual los huevos flotan. (2): Oh-mediciones realizadas sobre ovocitos hialinos no fecundados. (3) No-Número. (4): hdf-horas después de la fecundación. (5): Temp-temperatura. (6): Long-longitud; Le-longitud estándar; Ln-longitud notocordal; Ln/e- longitud notocordal o estándar; Lt: longitud total; entre paréntesis se indican el número de larvas analizadas. (7): dde-días después de la eclosión. (8): L-resultados obtenidos en laboratorio.

bajas tasas de mortalidad natural. En general, la edad máxima de las especies excede los 10 años y el coeficiente de crecimiento (K) observado para sus poblaciones fluctúa en un intervalo de valores comprendidos entre 0.10 y 0.25 / año (Manooch 1987). En el caso de las poblaciones del Golfo de México no se tiene información alguna sobre el crecimiento de *A. afer*, *C. cruentata*, *C. fulva*, *D. inermis*, *E. drummondhayi*, *E. flavolimbatus*, *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. striatus*, *G. hispanus*, *M. acutirostris*, *M. tigris* y *M. venenosa* (57% de los meros presentes) ni tampoco de *L. ambiguus*, *L. apodus*, *L. buccanella*, *L. cyanopterus*, *L. griseus*, *L.*

LARVA	METAMORFOSIS		REFERENCIA ⁸
	TIEMPO ⁷ (DDE)	LONG. ⁶ (MM)	
2.2-9.8 Le (37)	16-28	10.2-14.6 Le (8)	5 ^L
2.6-9.7 Ln	30-38	16.2-22.2 Le	26 ^L
—	—	—	1 ^L
2.2-2.6 Le	—	—	19 ^L
—	—	—	15 ^L
4-7.6 Le (18)	—	—	7
—	—	10 Le	23
—	—	—	8 ^L
2.7-9.6 Ln/e (13)	—	—	21 ^L
1.9-2.6	—	—	2 ^L
2.0-9.8 Le (41)	20-22	10.0-12.4 Le (3)	5 ^L

1-Arnold et al., 1978; 2-Borrero et al. in Leis, 1987; 3-Brulé et al., 1999; 4-Brulé, datos no publicados; 5-Clarke et al., 1997; 6-Colin et al, 1996; 7-Collins et al., 1980; 8-Damas et al. in Leis, 1987; 9-Fálfan-Vázquez, 2003; 10-Guitart-Manday y Juárez-Fernández, 1966; 11-Johnson y Keener, 1984; 12-Kendall, 1979; 13-Kendall y Fahay, 1979; 14-Koenig in Tucker, 1998; 15-Minton et al., 1983; 16-Moe, 1969; 17-Powell y Tucker, 1992; 18-Presley, 1970; 19-Rabalais et al., 1980; 20-Renán et al., 2001; 21-Richards y Saksena, 1980; 22-Roberts y Schlieder, 1983; 23-Starck, 1971; 24-Tucker, 1998; 25-Watanabe et al., 1996; 26-Watanabe et al., 1998; 27-White in Tucker, 1998.

jocu, *L. mahogoni* y *L. vivanus* (73% de los pargos presentes) (cuadro 4).

Edad

La determinación de la edad fue llevada a cabo con éxito para la mayoría de las especies presentes en el Golfo (18 meros y 8 pargos); a través de la identificación de marcas de crecimiento anuales en otolitos (en 23 especies), escamas (en 3 especies de pargo), huesos urohiales (en 3 especies) y huesos mesopterigoides (en 1 especie), o bien por medio del análisis de las

progresiones modales de las clases de longitudes (en 4 especies) (cuadro 4). Las edades máximas observadas para estos peces fueron de 41 años en el caso del mero *E. nigritus* (Manooch y Mason, 1987) y de 47 años en el caso del pargo *L. campechanus* (Allman *et al.* 2002).

Crecimiento

En relación con las poblaciones del Golfo de México el coeficiente de crecimiento (K) fluctó entre 0.08 (*M. interstitialis*) y 0.20 (*E. guttatus*) para los meros y entre 0.07 (*L. campechanus*) y 0.28 (*L. synagris*) para los pargos (cuadro 4). Según Manooch (1987) estos valores indican que las especies alcanzan lentamente su talla máxima y que sus poblaciones presentan bajas tasas de mortalidad natural. Para varias de ellas se calcularon valores de longitud asintótica (L_∞) superiores a un metro de largo: *E. itajara* con 2,006 mm Lt (Bullock *et al.*, 1992), *E. niveatus* con 1,320 mm Lt (Moore y Labisky, 1984), *M. bonaci* con 1,306 mm Lt (Crabtree y Bullock, 1998), *M. microlepis* con 1,180 mm Lt (Hood y Schlieder, 1992) y *L. campechanus* con 1023 mm Lf (Fischer, 2002). Por su parte el peso asintótico (P_∞), calculado utilizando las L_∞ y las ecuaciones longitud-peso ($P = aL^b$) de las especies, alcanzó valores máximos de 166 kg Pt en el caso del mero *E. itajara* (Bullock *et al.* 1992) y de 12 kg Pt en el caso del pargo *L. campechanus* (Fischer 2002).

ALIMENTACIÓN

Los meros y pargos son peces carnívoros oportunos que se caracterizan por presentar una dieta cuya composición es dominada por los peces y crustáceos. Según sus intervalos de distribución batimétrica, estas especies pueden alimentarse desde las zonas de aguas someras hasta fondos ubicados entre 400 y 500 m de profundidad (Randall 1967, Parrish 1987). La mayoría de las especies capturan gran parte de sus presas sobre o muy cerca del sustrato. Los meros se caracterizan por ser más sedentarios que los pargos y por cazar sus presas mediante emboscadas (Parrish 1987). Para las poblaciones del Golfo aún se desconocen los hábitos alimentarios de *A. afer*, *C. cruentata*, *C. fulva*, *D. inermis*, *E. striatus*, *G. hispanus*, *M. acutirostris*, *M. tigris* y *M. venenosa* (39% de los meros presentes) así como de *L. ambiguus*, *L. buccanella* y *L. cyanopterus* (27% de los pargos presentes) (cuadro 5).

Composición de la dieta

El análisis de los contenidos estomacales o intestinales o bien de los residuos de regurgitación permitió observar que tanto los meros como los pargos consumen una gran diversidad de presas entre las que sobresalen los peces, crustáceos (cangrejos, camarones, estomatópodos y langostas) y cefalópodos (cuadro 5). Sin embargo, los pargos presentan globalmente una variedad más alta en la composición de su dieta que los meros. En efecto, los pargos tienen la tendencia a consumir más organismos planctónicos (urocordados pelágicos) e invertebrados bentónicos diferentes a los crustáceos, (ascidiáceos, urocordados, poliquetos, moluscos) que los meros. Algunas especies, como *A. afer*, *E. adscensionis*, *E. guttatus* y *E. morio* consumen más crustáceos (Randall 1967, Parrish 1987, Nelson in Bullock y Smith 1991, Giménez *et al.* 2001) mientras que otras como *M. tigris*, *M. venenosa*, *L. cyanopterus* y *L. jocu* se alimentan más de peces (Randall 1967, Parrish 1987). Entre los meros del Golfo, *P. furcifer* se diferencia de las demás especies por ser el único serránido que se alimenta de organismos planctónicos, en particular de copépodos (Nelson in Bullock y Smith 1991).

Variaciones en la dieta

Para algunas especies se observó una variación de la composición de la dieta en función del desarrollo ontogénico de los organismos. Así, los juveniles de *C. cruentata*, *E. morio*, *E. striatus* y *L. campechanus* consumen más crustáceos mientras que los adultos de aquellas especies comen más peces (Camber 1955, Moseley 1966, Bradley y Bryan 1975, Nagelkerken in Bullock y Smith 1991, Claro *et al.* 1990, Brulé y Rodríguez-Canché 1993, Giménez *et al.* 2001). En relación con el ritmo nictemeral de actividad alimentaria, algunas especies buscan sus alimentos tanto de día como de noche (*E. morio*, *E. striatus*, *L. analis*, *L. apodus* y *L. synagris*) mientras otras son más activas de noche (*L. griseus*, *L. mahogoni* y *L. vivanus*) (Longley e Hildebrand 1941, Randall 1967, Stark 1971, Parrish 1987, Brulé *et al.* 1994).

EXPLOTACIÓN

En el Atlántico oeste, los meros y pargos son explotados comercialmente por pesquerías industriales y artesanales y con fines recreativos a lo largo de

CUADRO 4. EDAD Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LONGITUD Y PESO
DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	CRECIMIENTO EN LONGITUD						
	R ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	E _{máx} ⁽³⁾ (años)	L \bar{Y} (mm)	K (por año)	t ₀ (año)	L _{máx} ⁽⁴⁾ (mm)
Serranidae							
<i>Alphesthes afer</i>	J	—	—	—	—	—	260 Lt
	—	—	—	—	—	—	330 Lt
<i>Cephalopholis cruentata</i>	An	O	13	451 Lt	0.12	-1.24	405 Lt
<i>C. fulva</i>	An	O	11	372 Lt	0.32	-0.20	397 Lt
<i>Dermatolepis</i>	J	—	—	—	—	—	690 Lt
<i>inermis</i>	—	—	—	—	—	—	900 Lt
<i>Epinephelus</i>	An/Ge	O	12	499 Lt	0.17	-2.50	—
<i>adscensionis</i>	Ge	—	—	—	—	—	375 Le
	—	—	—	—	—	—	600 Lt
<i>E. drummondhayi</i>	An	O	25	967 Lt	0.13	-1.01	1096 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	—
	Gs	—	—	—	—	—	960 Lt
<i>E. flavolimbatus</i>	Ge	O	27	800 Le	—	—	—
	Ge	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	1150 Lt
<i>E. guttatus</i>	An/Ge	O	11	471 Lt	0.20	-2.40	491 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	396 Le
<i>E. itajara</i>	Ge	O	37	2006 Lt	0.13	-0.49	2160 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	2500 Lt
<i>E. morio</i>	Ge	O	25	672 Le	0.18	-0.45	772 Le
	Ge	—	—	—	—	—	—
	Gs	O	14	928 Lt	0.11	-0.09	700 Lt
	Gs	U	21	860 Lf	0.10	-1.50	—
	Gs	O	20	802 Lt	0.16	-1.21	—
	Gs	O	12	820 Lt	0.19	-0.67	—
		M	12	891 Lt	0.12	0.56	—
	Gs	FL	—	985	0.17	-0.27	—
	Gs	—	—	—	—	—	880 Lf
	—	—	—	—	—	—	900 Lt
<i>E. mystacinus</i>	Ge	—	—	—	—	—	1150 Le
<i>E. nigrilus</i>	An	O	41	2394 Lt	0.05	-3.62	2261 Lt

P = aL ^b	CRECIMIENTO EN PESO			REFERENCIA
	a	b	P _∞ (kg)	
—	—	—	—	49
—	—	—	—	26
8.81 x 10 ⁻⁶	3.12	1.7 Pt	—	44
2.59 x 10 ⁻⁵	2.94	0.9 Pt	—	44
—	—	—	—	49
—	—	—	>10	26
6 x 10 ⁻⁹	3.19	2.4 Pt	—	43
1.3 x 10 ⁻⁸	3.04	—	—	12
—	—	—	—	26
1.1 x 10 ⁻⁸	3.07	16.9	—	32
10 ⁻⁸	3.03	—	21 Pe	12
1.29 x 10 ⁻⁸	—	—	17.3 Pt	5
—	—	—	—	10
—	2.86	—	14	12
2.94 x 10 ⁻⁸	—	—	—	26
—	2.61	1.7 Pt	—	43
1.8x 10 ⁻⁷	—	—	1.8 Pt	12
—	3.06	165.6 Pt	—	13
1.31 x 10 ⁻⁸	3.02	—	—	12
1.5 x 10 ⁻⁸	—	—	320	26
—	—	—	—	35
—	2.90	—	—	12
5.42 x 10 ⁻⁸	2.59	7.1	—	38
1.47 x 10 ⁻⁴	3.00	10.3	—	51
1.62 x 10 ⁻⁵	3.00	7.1 Pt	—	19
1.38 x 10 ⁻⁵	3.07	8.9 Pe	—	47
1.02 x 10 ⁻⁵	—	11.5 Pe	—	—
—	—	—	14.4	3
—	3.05	—	12 Pt	4, 9
1.24 x 10 ⁻²	—	—	—	26
—	—	—	49 Pe	12
—	2.98	246.6	190	29
2.10 x 10 ⁻⁵	—	—	160	12

(Continúa)

CUADRO 4. EDAD Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LONGITUD Y PESO
DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	CRECIMIENTO EN LONGITUD						
	R ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	E _{máx} ⁽³⁾ (años)	L _∞ (mm)	K (por año)	t ₀ (año)	L _{máx} ⁽⁴⁾ (mm)
<i>E. niveatus</i>	Ge	O	27	1320 Lt	0.09	-1.01	1180 Lt
	—	—	—	—	—	—	970 Le
<i>E. striatus</i>	C	O	—	760 Lt	0.12	-1.11	—
	—	—	—	—	—	—	1000 Lt
<i>Gonioplectrus hispanus</i>	—	—	—	—	—	—	230 Le
<i>Mycteroperca acutirostris</i>	—	—	—	—	—	—	800 Lt
<i>M. bonaci</i>	Ge	O	33	1306 Lt	0.17	-0.77	1518 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	1260 Le
	Gs	—	—	—	—	7.50	1320 Lf
<i>M. interstitialis</i>	Ge	O	28	828 Lt	0.08	—	—
	Ge	—	—	—	—	—	646 Le
<i>M. microlepis</i>	Ge	O	13	—	—	-0.74	—
	Ge	O	21	1180 Lt	0.17	—	1222 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	1050 Le
	Gs	—	—	—	—	-1.49	1160 Lf
<i>M. phenax</i>	Ge	O	17	720 Lt	0.17	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	-1.88	900 Lt
<i>M. tigris</i>	C	O	18	740 Lt	0.11	—	755 Lt
	—	—	—	—	—	—	1000 Lt
<i>M. venenosa</i>	J	O	15	860 Lt	0.10	—	860 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	810 Lf
	—	—	—	—	—	-0.25	900 Lt
<i>Paranthias furcifer</i>	G	O	—	372 Lf	0.22	—	—
	—	—	—	—	—	—	304 Le
Lutjanidae							
<i>Lutjanus ambiguus</i>	—	—	—	—	—	—	< 400 LT
<i>L. analis</i>	An/Ge	O	14	862 Lt	0.15	-0.58	860 Lt
	—	—	—	—	—	—	800 Lt
<i>L. apodus</i>	J	FL	—	570 Lf	0.18	—	—
	—	—	—	—	—	—	620 Lt
<i>L. buccanella</i>	An	U	—	602 Lf	0.10	-3.16	—

P = aL ^b a	CRECIMIENTO EN PESO			REFERENCIA
	b	P _∞ (kg)	P _{máx} ⁽⁵⁾ (kg)	
—	2.93	34.8 Pt	25.4 Pt	36
2.45 x 10 ⁻⁸	—	—	24	12
—	2.98	7.9	—	15
1.98 x 10 ⁻²	—	—	25	26
—	—	—	—	26
—	—	—	4	26
—	3.22	37.7 Pt	—	18
3.49 x 10 ⁻⁶	3.21	—	50.9	12
3.42 x 10 ⁻⁹	3.17	—	35.2 Pt	6, 9
6.4 x 10 ⁻³	2.89	7	—	11
2.59 x 10 ⁻⁵	2.97	—	6	12
1.56 x 10 ⁻⁸	—	—	—	33
—	3.06	20.4 Pt	—	27
8.13 x 10 ⁻⁶	—	—	24.5	12
—	3.19	—	20.5 Pt	7, 9
5.3 x 10 ⁻³	—	—	—	24
—	3.07	—	—	12
8.99 x 10 ⁻⁹	—	—	14	26
—	3.12	6.4	—	23
9.40 x 10 ⁻³	—	—	10	26
—	—	—	—	49
—	—	—	—	12
—	—	—	15	26
—	—	—	—	40
—	—	—	—	12
—	—	—	—	1
—	3.05	9	—	31
1.0 x 10 ⁻⁸	—	—	—	1
—	—	3.8	—	39
—	—	—	—	1
—	—	4.3	—	20

(Continúa)

CUADRO 4. EDAD Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LONGITUD Y PESO DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	CRECIMIENTO EN LONGITUD						
	R ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	E _{máx} ⁽³⁾ (años)	L _∞ (mm)	K (por año)	t ₀ (año)	L _{máx} ⁽⁴⁾ (mm)
<i>L. campechanus</i>	—	—	—	—	—	—	620 Lt
	Ge	O	5	—	—	—	678 Lf
	Gn	E/O	13	941 Lt	0.17	-0.10	—
	Gn	O	10	925 Lt	0.14	-0.10	—
	Gn	O	47	—	—	—	—
	Gno	E	4	—	—	—	—
	Gno A	O	34	884 Lf	0.21	-0.63	916 Lf
	L	O	37	873 Lf	0.24	-0.73	913 Lf
	T	O	45	1023 Lf	0.07	-2.92	844 Lf
	Gs	E	9	908 Lf	0.14	-0.76	—
		FL	—	860 Lt	0.13	-0.36	—
		Gs?	—	—	—	—	833 Lt
	?	—	—	—	—	859 Lt	
<i>L. cyanopterus</i>	—	—	—	—	—	—	1600 Lt
	C	—	—	—	—	—	—
<i>L. griseus</i>	An	O	21	890 Lt	0.10	-0.32	—
	C	O	9	548 Lf	0.23	-1.07	520 Lf
	Ge	E	9	—	—	—	—
<i>L. jocu</i>	An	O	—	854 Lf	0.10	-2.00	—
	?	O	—	964 Lf	0.08	-2.14	—
<i>L. mahogoni</i>	—	—	—	—	—	—	480 Lt
<i>L. synagris</i>	Gn	O	—	454 Lf	0.13	-4.26	—
	Gs	E	6	428 Lf	0.10	-6.44	—
		FL	—	410 Lf	0.25	-1.82	—
	Gs	FL	—	428 Lf	0.28	-0.07	—
	Gs	FL	—	352 Lf	0.26	—	—
	C	U	—	729 Lf	0.09	-2.64	—
<i>L. vivanus</i>	—	—	—	—	—	—	800 Lt

En caso de ausencia de datos para el Golfo, se proporcionan algunos resultados disponibles para las regiones del Atlántico norte o del Caribe. (1): R-región; An- Atlántico norte; C-Cuba; G-Golfo de México; Ge-Este del Golfo; Gn- Norte del Golfo; Gne-Noreste del Golfo; Gno-Noroeste del Golfo (A-Alabama; L-Luisiana; T-Texas); Gs-Sur del Golfo; J-Jamaica. (2): M-Método de estudio; E-escama; FL-frecuencia de longitudes; M-mesoperigoide; O-otolito;

P = aL ^b a	CRECIMIENTO EN PESO			REFERENCIA
	b	P _∞ (kg)	P _{máx} ⁽⁵⁾ (kg)	
—	—	—	—	1
—	—	—	—	22
—	—	—	—	42
—	—	—	—	41
—	—	—	—	2
—	—	—	—	37
—	2.94	11.9 Pt	—	21
2.57 x 10 ⁻⁸	3.03	12.2 Pt	—	
1.54 x 10 ⁻⁸	—	—	—	
—	2.83	11.1 Pe	—	25
4.71 x 10 ⁻⁵	—	—	—	
—	2.91	—	8.4 Pe	8, 9
1.8 x 10 ⁻²	2.94	—	8.0 Pe	
1.6 x 10 ⁻²	—	—	—	1
—	3.12	—	—	16
0.98 x 10 ⁻²	—	—	—	30
—	2.92	2.5 Pt	2 Pt	14
2.07 x 10 ⁻²	—	—	3.6	48
—	—	—	—	17
—	—	—	—	
—	—	—	—	1
—	—	—	—	28
—	2.65	1.1 Pt	—	50
1.25 x 10 ⁻⁴	—	—	—	
—	—	1.2	—	34
—	—	—	—	46
—	—	—	—	45
—	—	—	—	1

U-urolial. (3): Emáx-edad máxima observada. (4): Lmáx-longitud máxima observada. (5): Pmáx-peso máximo observado. L- longitud; Le-longitud estándar; Lf-longitud furcal; Lt-longitud total; P-peso; Pe-peso del pez eviscerado; Pt-peso total (pez entero).

1-Allen 1985, 2-Allman *et al.* 2002, 3-Arreguín-Sánchez *et al.* 1987, 4-Brulé *et al.* 1999, 5-Brulé *et al.*

2000, 6-Brulé *et al.* 2003, 7-Brulé *et al.* en prensa a, 8- Brulé *et al.* en prensa b, 9-Brulé, datos no publicados, 10-Bullock y Godcharles en: Manooch 1987, 11-Bullock y Murphy 1994, 12-Bullock y Smith 1991, 13-Bullock *et al.* 1992, 14-Claro 1983, 15-Claro en: Claro y García-Arteaga 2001, 16-Claro y García-Arteaga 2001, 17-Claro *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 18-Crabtree y Bullock 1998, 19-Doi *et al.* 1981, 20-Espinoza *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 21-Fischer 2002, 22-Futch y Bruger 1976, 23-García-Arteaga *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 24-Godcharles y Bullock en: Manooch 1987, 25-González y de la Rosa 1988, 26-Heemstra y Randall 1993, 27-Hood y Schlieder 1992, 28-Johnson *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 29-Manooch y Mason 1987, 30-Manooch y Matheson en: Manooch 1987, 31-Mason y Manooch 1985, 32-Matheson y Huntsman 1984, 33-McErlean 1963, 34-Mexicano y Arreguín-Sánchez en: Claro y García-Arteaga 2001, 35-Moe 1969, 36-Moore y Labisky 1984, 37-Moseley 1966, 38-Muhlia-Melo 1976, 39- Munro en: Claro y García-Arteaga 2001, 40-Nelson *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 41-Nelson *et al.* en: Manooch 1987, 42-Nelson y Manooch en: Manooch 1987, 43-Potts y Manooch 1995, 44-Potts y Manooch 1999, 45-Pozo *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 46-Rivera-Arriaga *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 47-Rodríguez-Sánchez 1986, 48-Starck 1971, 49-Thompson y Munro 1978, 50-Torres y Chávez 1987, 51-Valdés y Padrón 1980.

la costa sureste de Estados Unidos, en las Bermudas, en el mar Caribe y en todo el Golfo de México (Sadovy 1994). Del total de las especies consideradas en el presente estudio, 18 meros y nueve pargos son comúnmente explotados en el Golfo de México (cuadro 1) (Bannerot *et al.* 1987). Las especies más abundantes en las capturas comerciales realizadas en esta región son esencialmente: *E. morio*, *M. microlepis*, *M. phenax* y *M. bonaci* para los meros y *L. campechanus* para los pargos. Otros meros como *E. nigritus*, *E. flavolimbatus*, *E. niveatus* y *E. drummondhayi* provienen de la pesca realizada en aguas profundas (70-300 m) (Bannerot *et al.* 1987, Bullock y Smith 1991, Colás-Marrufo *et al.* 1998, D.O.F. 2000).

Los meros y pargos son especies que pueden ser particularmente sensibles al impacto producido por la actividad pesquera (Coleman *et al.* 2000). En efecto, estos peces presentan un crecimiento lento, una madurez sexual tardía, una gran longevidad, bajas tasas de mortalidad natural y alcanzan tallas asintóticas elevadas. Según la teoría sobre las estrategias demográficas de los peces marinos, estas características permiten considerar a los meros y pargos como especies cercanas a las del tipo K. Los estudios de simulación y la experiencia actual adquirida en el análisis de las pesquerías pusieron en evidencia que, para las especies con estrategia de tipo K, el rendimiento máximo por recluta es alcanzado a un nivel bajo de mortalidad por pesca y a una edad de reclutamiento elevada. Además, las bajas tasas de mortalidad natural observadas para estas especies indican que las poblaciones de mero y pargo presentan una tasa de renovación baja y una capacidad productiva reducida. Debido a estas características

biológicas el complejo mero-pargo constituye entonces un recurso que presenta un fuerte riesgo potencial de alcanzar el nivel de sobreexplotación (Ralston 1987).

Muy a menudo, el esfuerzo de pesca ejercido sobre un *stock* determinado es dirigido de manera selectiva hacia los individuos más grandes en talla y edad, los cuales son generalmente organismos adultos aptos para la reproducción. A largo plazo esto puede provocar, tanto para las especies hermafroditas como gonocóricas, una modificación en la estructura demográfica en talla y edad del *stock* y conducir a una eliminación progresiva de las hembras más grandes y por consiguiente más prolíficas (Coleman *et al.* 2000). En el caso particular de las especies de mero con hermafroditismo protógino, la captura selectiva de los individuos más grandes puede también conducir a una reducción paulatina del número de machos presente en el *stock* explotado y, en caso extremo, a un déficit en la cantidad de gametos masculinos necesarios para la fertilización de los ovocitos producidos por las hembras durante el periodo de reproducción de las especies (Bannerot *et al.* 1987). Así, para el *stock* de *M. microlepis* de la región noreste del Golfo de México, Koeing *et al.* (1996) observaron entre 1980 y 1991-93, una disminución de las tallas promedio de las hembras y de los machos así como de la proporción de machos presentes (de 17% hasta 2%). En la parte este del Golfo, Coleman *et al.* (1996) notaron por su parte que, entre 1991 y 1993, las hembras de esta misma especie alcanzaron su primera madurez sexual e iniciaron su proceso de inversión sexual a tallas inferiores a las observadas por Hood y Schlieder (1992) entre 1977 y 1980, en la misma región. Según McGovern *et al.* (1998) estos cambios en las características demográficas y biológicas de *M. microlepis* serían la consecuencia del fuerte aumento de la presión de pesca ejercida sobre el *stock* de dicha especie. Observaciones similares fueron realizadas para el *stock* de *M. phenax* del Golfo el cual presentó una disminución del porcentaje de machos de 36% al final de los años 70 a 18% al inicio de la década de 1990 (Coleman *et al.* 1996). Según Coleman *et al.* (1996) esta pérdida de machos puede inducir serias consecuencias sobre el comportamiento reproductor de las hembras maduras como una falta de participación de éstas en la formación de las agregaciones y/o una inhibición de la ovulación y oviposición seguido por una reabsorción de los ovocitos vitelógenos en los ovarios (atresias).

Los cambios observados en las tallas promedio de los organismos y la proporción de sexos pueden ser también una consecuencia de una presión de pesca ejercida específicamente sobre las agregaciones de desove (Koeing

CUADRO 5. COMPOSICIÓN DE LA DIETA DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO. EN CASO DE AUSENCIA DE DATOS PARA EL GOLFO, SE PROPORCIONAN ALGUNOS RESULTADOS DISPONIBLES PARA LAS REGIONES DEL ATLÁNTICO NORTE O DEL CARIBE

Especie	PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾			
	n ⁽¹⁾	PECES	CAMARONES	CANGREJOS
Serranidae				
<i>Alphestes afer</i>	30	V7	V7	V77
<i>Cephalopholis cruentata</i>	— A	+ Pom	—	—
	— J	x	+	—
	26	V66	V17	V4
<i>C. fulva</i>	29	V46 Pom	V21	V17
<i>Epinephelus adscensionis</i>	—	17% ⁽³⁾	67% ⁽³⁾	—
	—		x	x
<i>E. drummondhayi</i>	31 A r	x	x	x
<i>E. flavolimbatus</i>	—	—	—	—
	— r	x	—	x
<i>E. guttatus</i>	—	V21	V10	V40
<i>E. itajara</i>	2 J	x	x	—
	32	x	—	x
	—	x	—	x
	2	—	—	+
<i>E. morio</i>	—	+	+	+
	—	x	x	—
	—	x	x	x
	— J	—	x	—
	23 J/A r	x	x	x
	—	x	+	+
	163 J	F>4	F<3	F>30
	37 A	x	x	x
	855 J/A	F28	F18	F48
<i>E. mystacinus</i>	—	x	—	—
	1	—	—	x
<i>E. nigritus</i>	—	x	x	x
	1	—	—	—
<i>E. niveatus</i>	32 ci	F72	F13	F16
<i>E. striatus</i>	—	F45-66	F3-14	F30-62
<i>M. bonaci</i>	2	—	x	—

OTROS CRUSTÁCEOS	PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾				REFERENCIA
	OTROS INVERTEBRADOS BÉNTICOS	CEFALÓPODOS	PLANCTON	R ⁽³⁾	
V7	—	V3	—	IV/PR	24
—	—	—	—	Cu	18
—	—	—	—	—	—
V9 Est	V4 Gas	—	—	IV	24
V16 Est	—	—	—	IV/PR	24
—	—	—	—	Go	21
—	—	—	—	Ge	8
x Lan	x Asc	x Pul Cal	—	Ge	8
—	x Biv	—	—	Go	21
x	x Equ Asc	x	—	Ge	8
V>7	V»2	V7 Pul	—	G	22
—	—	—	—	Ge	8
x Lan	x Gas	—	—	—	—
+ Lan	—	—	—	G	22
—	—	—	—	Gs	25
+	—	x	—	G	22
x Lan Est	—	x Pul	—	Ge	14
x Lan	—	x Pul Cal	—	Ge	16
x Anf	—	—	—	Ge	8
—	x Gas	x Pul	—	—	—
+ Est	x Mol	—	—	Gs	27
F<4 Est	F<3 Gas	F<3 Pul	—	Gs	5
x Est	x Biv	x Pul	—	Gs	6
x Lan Est	x Equ	x Pul Cal	—	Gs	12
—	—	x Cal	—	G	22
—	—	—	—	Ge	8
x Lan	—	—	—	—	13
x Lan	—	—	—	Ge	8
x Est	F3 Gas F9 Pol	F28	—	Ge	2
x Est	—	x Pul Cal	—	Cne/o	10
x Anf	—	—	—	Ge	23

(Continúa)

CUADRO 5. COMPOSICIÓN DE LA DIETA DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO. EN CASO DE AUSENCIA DE DATOS PARA EL GOLFO, SE PROPORCIONAN ALGUNOS RESULTADOS DISPONIBLES PARA LAS REGIONES DEL ATLÁNTICO NORTE O DEL CARIBE

Especie	PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾			
	n ⁽¹⁾	PECES	CAMARONES	CANGREJOS
<i>M. interstitialis</i>	—	x	—	—
	25	x Pom	—	—
<i>M. microlepis</i>	134	N26	N72	—
	53	x	x	—
	—	V95-100	—	V0-3
<i>M. phenax</i>	91	+	x	x
	2	x	—	—
<i>M. tigris</i>	34	V100	—	—
<i>M. venenosa</i>	51	V95	V1	—
<i>Paranthias furcifer</i>	252	—	—	—
Lutjanidae				
<i>L. analis</i>	—	+	—	—
<i>L. apodus</i>	—	x	x	x
<i>L. buccanella</i>	24	F33	F8	F4
<i>L. campechanus</i>	2431	F66	F9	F20
	1	x	—	—
	56	N46	N4	N13
	258 J	F20	F46	F14
	190 A	F52	F15	F10
	73 J	V14	V26	V3
	114 A	V55	V14	V3
	14 J	—	F93	—
	24 A	F42	F33	F12
<i>L. cyanopterus</i>	11	V100	—	—
<i>L. griseus</i>	—	+	+	+
	636	F35	F27	F25
<i>L. jocu</i>	—	61% ⁽³⁾	—	—
	34	+	x	+
<i>L. mahogoni</i>	32	+	x	x
<i>L. synagris</i>	—	+	x	—
<i>L. vivanus</i>	—	+	x	x

Véase la simbología de este cuadro en la página 276.

OTROS CRUSTÁCEOS	PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾				R ⁽³⁾	REFERENCIA
	OTROS INVERTEBRADOS BÉNTICOS	CEFALÓPODOS	PLANCTON			
—	—	—	—	—	Ge	8
—	—	—	—	—	Ge	7
N3 Anf	—	—	—	—	Ge	23
—	—	—	—	—	Ge	8
—	—	—	—	—	Ge	19
—	—	x Pul	—	—	An	15
—	—	—	—	—	Ge	8
—	—	—	—	—	IV/PR	24
—	—	V4 Cal	—	—	IV/PR	24
—	—	—	+ Cop	—	Go	24
+	x Gas	—	—	—	G	22
—	x Gus	—	—	—	G	22
F46 Iso	—	F8	—	—	IV	4
F36 Est	x Asc	F16 Cal	x	—	An/G	20
—	—	—	—	—	G	1
N30	N4	—	—	—	Ge	11
F>13	—	—	—	—	Gno	3
F8	x Uro	—	—	—	—	—
V32 Est	—	x	+	—	Gno	17
x	x Uro Mol Pol	x	Urop	—	—	—
—	—	—	Urop	—	Gs	9
—	F4 Gas	F4 Pul	—	—	—	—
—	—	—	—	—	IV/PR	24
x	—	—	—	—	G	22
F22	x	F0.8	x	—	Ge	26
—	x	—	—	—	G	22
+ Lan	x Mol	x Pul	—	—	—	—
—	—	x Pul	—	—	G	22
+	x Ane Mol	—	x	—	G	22
x	x Uro	x	—	—	G	22

(1): n-número de estómagos llenos analizados; A-adultos; ci-contenidos intestinales; J-juveniles; r-contenidos regurgitados. (2) Símbolos: F-frecuencia de una categoría presa (%); N-porcentaje en número de una categoría de presa; V-porcentaje en volumen de una categoría de presa; +-abundante; x-presente. (3): porcentaje de estómagos analizados. Presas particulares: Anf-anfipodos; Ane-anélidos; Asc-ascidiáceos; Biv-bivalvos; Cal-calamares; Cop-copépodos; Equ-equinodermos; Est-estomatópodos; Gas-gasterópodos; Gus-gusanos; Iso-isópodos; Lan-langostas; Mol-moluscos; Pol-poliquetos; Pom- Peces Pomacentridae; Pul-pulpos; Uro-urocordados; Urop-urocordados pelágicos. (3): R-región; An- Atlántico norte; C-Cuba; Cu-Curaçao; G-Golfo de México; Ge-este del Golfo; Gne-noreste del Golfo; Gno-noroeste del Golfo; Go-oeste del Golfo Gs-sur del Golfo; IV-Islas Vírgenes; PR-Puerto Rico.

1-Baughman en: Parrish 1987, 2-Bielsa y Labisky 1987, 3-Bradley y Bryan 1975, 4-Brownell y Rainer en: Parrish 1987, 5-Brulé y Rodríguez-Canché 1993, 6-Brulé y Déniel 1996, 7-Bullock y Murphy 1994, 8-Bullock y Smith 1991, 9-Camber 1955, 10-Claro *et al.*, 1990; 11-Futch y Bruger, 1976; 12-Gimenez *et al.*, 2001, 13-Heemstra y Randall 1993, 14-Longley y Hildebrand 1941, 15-Matheson *et al.* 1986, 16-Moe 1969, 17-Moseley 1966, 18-Nagelkerken en: Bullock y Smith 1991, 19-Naughton y Saloman en: Dodrill *et al.* 1993, 20-Naughton y Saloman en: Parrish 1987, 21-Nelson en: Bullock y Smith 1991, 22-Parrish 1987, 23-Peters en: Bullock y Smith 1991, 24-Randall 1967, 25-Smith 1967, 26-Starck 1971, 27-Váldez y Padrón 1980.

et al. 1996). Así, *M. microlepis* y *M. phenax* son especies que realizan migraciones hasta sitios específicos de desove donde forman pequeñas agregaciones (de varias decenas a centenas de individuos) dispersas en un área geográfica extendida. Gilmore y Jones (1992) notaron que el esfuerzo pesquero era más intenso durante la temporada de formación de estas agregaciones y Koenig *et al.* (1996) sugirieron que la pesca selectiva de los machos de *M. microlepis* en estas agregaciones era, en gran medida, responsable de la disminución de su número en los *stocks* del Golfo. Al contrario, para *E. morio*, una especie también intensamente explotada pero que no forma agregación de desove, no se observó durante 25 a 30 años, ningún cambio en la proporción de sexos en el stock de la parte este del Golfo (Coleman *et al.* 1996). Debido a que las agregaciones de desove se forman a menudo, año tras año, en los mismos sitios geográficos y durante los mismos periodos del año, éstas pueden ser muy vulnerables a un esfuerzo pesquero irresponsable (Sadovy 1997). La captura de un número demasiado importante de organismos durante varios años seguidos, puede inducir a la desaparición definitiva de las agregaciones, como fue el caso de varias agregaciones de desove de *E. striatus* que antes ocurrían en determinados lugares de la región Caribe (Sadovy 1994, Sadovy y Eklund 1999).

Las especies actualmente consideradas como sobreexplotadas o en riesgo de serlo en la región sureste de Estados Unidos son: *E. morio*, *E. drummondhayi*,

E. itajara, *E. nigrurus*, *E. niveatus*, *E. striatus*, *M. microlepis*, *M. phenax* y *L. campechanus* (Shipp 1999, Coleman *et al.* 2000). En la parte sur del Golfo, los stocks de *E. morio* y *L. campechanus* del Banco de Campeche son respectivamente considerados como sobreexplotado y aprovechado al máximo sustentable (Burgos y Defeo 2000, D.O.F. 2000). En el caso de *L. campechanus*, los juveniles de las clases de edad 0 y 1 sufren de una alta mortalidad por ser parte de la fauna de acompañamiento en las capturas de camarones realizadas por los barcos arrastreros (*bycatch*). Estos juveniles se distribuyen junto con los camarones sobre fondos blandos hasta alcanzar tallas de 150 a 200 mm, longitudes a las cuales empiezan a migrar hasta zonas de arrecifes donde son menos vulnerables a las redes de arrastre (Shipp 1999).

Como consecuencia no solamente de la explotación pesquera sino también de la degradación de los hábitats críticos o esenciales, como lo ocurrido para la zonas de agregación de desove de *M. microlepis* y *M. phenax* a lo largo de la costa este de Florida (Koenig *et al.* 2000), once de los meros y dos de los pargos del Golfo fueron incluidos por la IUCN (Internacional Union for Conservation of Nature and Natural Resources 2002) y/o por la American Fisheries Society (Musik *et al.* 2000) en la lista de las especies amenazadas (cuadro 1). Este número elevado de especies de mero y pargo a proteger no es sorprendente. En efecto, entre los peces comercialmente más importantes, las especies que pueden presentar el mayor riesgo de ser amenazadas o de extinguirse son las iteróparas, que alcanzan tallas máximas importantes, que presentan una madurez sexual tardía y un reclutamiento esporádico (Sadovy 2001). Por lo general, estas características son observadas tanto en los meros como en los pargos. Además, según Sadovy (2001), existen pocas bases empíricas y teóricas que permiten sostener la hipótesis clásica según la cual las especies que presentan una fecundidad alta, como los meros y pargos, correrían menos riesgo de ser amenazadas que la especies poco fecundas.

GESTIÓN

La gestión racional de un recurso natural renovable puede ser realizada por medio de la aplicación de un manejo de tipo convencional (manejo pesquero) o de tipo no-convencional (manejo conservativo). Estos dos tipos de manejo tienen aplicaciones tanto en el mantenimiento como en la rehabilitación del nivel de productividad óptimo de una pesquería (Bohnsack 1996). El manejo pesquero (*fishery management*) tiene como objetivo preservar el valor económico de una pesquería. Esto implica la implementación de un conjunto de

regulaciones que conducen a la obtención de un beneficio económico a través de la explotación sustentable de la especie blanco de la pesquería. El manejo conservativo (*conservation management*), intenta regular las actividades humanas para minimizar sus impactos negativos directos e indirectos sobre los sitios y/o especies de valor, con la finalidad de preservar determinadas especies o la biodiversidad en general (Sale 2002).

MANEJO CONVENCIONAL

El manejo pesquero busca permitir que un número suficiente de peces no sean capturados, intentando reducir o contener el esfuerzo de pesca efectivo (*input controls*), o bien restringir la captura total a límites predeterminados (*output controls*). Los métodos convencionales utilizados incluyen las tallas mínimas de captura, los límites de captura, las restricciones en el uso de los artes de pesca, los periodos y zonas de veda y el control del acceso a la pesquería (King 1995, Bohnsack 1996).

En respuesta a las múltiples amenazas que sufren los *stocks* de mero y pargo del Golfo, los gobiernos de Estados Unidos y de México han implementado políticas de regulación para su explotación. Sin embargo, en comparación con las medidas de control federales en vigor para la regulación de la pesca de estas especies en Estados Unidos (cuadro 6), el ordenamiento pesquero impuesto a estas mismas pesquerías en México parece menos restrictivo. En efecto, las medidas oficiales de regulación de la pesca comercial de meros y pargos en aguas mexicanas (D.O.F. 2000, 2003, Semarnap 2000) consisten en:

- . una limitación en la emisión de los permisos para pesca comercial de escama (incluye meros y pargos)
- . una veda temporal de un mes para la captura de meros (todas especies mezcladas), del 15 de febrero al 15 de marzo (establecida desde 2003).
- . una cuota de captura de meros y pargos de 3,900 toneladas para la flota cubana
- . un uso del anzuelo huachinanguero del No. 7 u 8 para la captura de pargos (para permitir que 50% de los organismos capturados sean de un tamaño superior a 370 mm Lt).

Además, para el caso de los meros, se recomienda respetar (todas especies mezcladas) una talla mínima de primera captura de 300 mm Lt. Sin

embargo, esta talla fue determinada únicamente con base en criterios comerciales (tamaño mínimo de ración) sin tomar en cuenta la biología de las especies (tallas de primera madurez sexual). A la fecha esta medida no está incluida en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes establecidas para la protección de las pesquerías. No se dispone de una reglamentación específica para la pesca deportiva de meros y pargos en México.

Cabe señalar que uno de los métodos convencionales más problemático en cuanto a su aplicación para el control de las pesquerías de meros y pargos corresponde a la imposición de una talla mínima de captura. Su utilización se ve facilitada y su eficiencia es máxima cuando se utilizan artes de pesca altamente selectivos que impiden capturar organismos cuyo tamaño es inferior a lo establecido en la legislación. Al contrario, cuando se usa un arte de pesca no selectivo en relación con el tamaño de los organismos capturados, esta medida implica el regreso al mar de los peces que no cumplen con la talla mínima impuesta (*bycatch*). En tales condiciones, el arte de pesca utilizado no debe lastimar a los peces capturados y la probabilidad de supervivencia de los organismos regresados al mar debe de ser muy elevada para que la aplicación de esta medida no sea contraproducente. Muchos ejemplares de meros y pargos capturados en aguas profundas llegan a la superficie con su vejiga gaseosa dilatada o reventada y sus órganos internos comprimidos o expulsados por la boca o el ano, provocando la muerte de los peces a corto plazo. Según Wilson y Burn (1996) las tasas de supervivencia observados en ejemplares de *E. morio* y *M. phenax* regresados al mar fueron de 86% y 100% para los organismos capturados a 44 m de profundidad y de 0% y 50-25% para los capturados entre 54 y 75 m. La tasa de supervivencia de ejemplares de *M. microlepis* capturados entre 54 y 75 m fue de 0%. Patterson *et al.* (2002) observaron que la tasa de supervivencia de ejemplares de *L. campechanus* regresados al mar fue estadísticamente menor cuando fueron capturados a 32 m (87%) que a 21 m (91%) de profundidad. En el noroeste del Golfo la cantidad de organismos de *E. morio* y *M. microlepis*, cuyas tallas son inferiores a la talla mínima de captura (< 508 mm Lt) puede fluctuar entre 36 y 62% del total de las capturas comerciales realizadas (Johnson *et al.* datos no publicados). En Estados Unidos de América, el *Florida Sea Grant College Program* (University of Florida, P.O. Box 110400, Gainesville, FL 32611-0400) recomienda a los pescadores el uso de jeringas especiales para sacar el exceso de gas contenido en la cavidad visceral de los organismos antes de regresarlos al mar, con el

CUADRO 6. MEDIDAS CONVENCIONALES DE REGULACIÓN PESQUERA PARA MEROS Y PARGOS VIGENTES EN LAS AGUAS FEDERALES DEL GOLFO DE MÉXICO DE ESTADOS UNIDOS.

Especies	PESCA COMERCIAL		
	Talla mínima de captura	Cuota por viaje (Toneladas)	Cuota total (Toneladas)
Serranidae			
Meros de agua profunda			726 ⁽²⁾
<i>E. mystacinus</i>	n	n	—
<i>E. niveatus</i>	n	n	—
<i>E. flavolimbatus</i>	n	n	—
<i>E. nigrinus</i>	n	n	—
<i>E. drummondhayi</i>	n	n	—
Meros de agua somera			4.446 ⁽³⁾
<i>M. bonaci</i>	610 mm Lt	n	—
<i>M. microlepis</i>	610 mm Lt	n	—
<i>E. morio</i>	508 mm Lt	n	—
<i>M. venenosa</i>	508 mm Lt	n	—
<i>M. phenax</i>	406 mm Lt	n	—
<i>M. interstitialis</i>	n	n	—
<i>E. adscencionis</i>	n	n	—
<i>E. guttatus</i>	n	n	—
Meros protegidos			
<i>E. itajara</i>	—	—	—
<i>E. striatus</i>	—	—	—
Lutjanidae			
<i>L. campechanus</i>	381 mm Lt	0.907 y 0.091 ⁽¹⁾	2.109 y 1.388 ⁽⁴⁾
<i>L. synagris</i>	203 mm Lt	n	n
<i>L. griseus</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. analis</i>	406 mm Lt	n	n
<i>L. mahogoni</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. apodus</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. jocu</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. cyanopterus</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. buccanella</i>	n	n	n
<i>L. vivanus</i>	n	n	n

N-ninguna restricción (Gulf of Mexico Fishery Management Council, 2003a,b).

PESCA DEPORTIVA			
Veda	Talla mínima de captura	Talega diaria ⁽⁶⁾	Veda
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	1/b	n
n	n	1/b	n
			n
15/02-15/03 ⁽⁵⁾	559 mm Lt	5/p	n
15/02-15/03 ⁽⁵⁾	559 mm Lt	5/p	n
15/02-15/03 ⁽⁵⁾	508 mm Lt	5/p	n
n	508 mm Lt	5/p	n
n	406 mm Lt	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
Permanente	—	—	permanente
Permanente	—	—	permanente
Ver ⁽⁴⁾	406 mm Lt	4/p	n
n	203 mm Lt	20 pa	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	406 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	n	10/p	n
n	n	10/p	n

(1) Según tipo de permiso de pesca (clase 1 o clase 2).

(2) Incluye a *M. phenax* cuando la cuota para meros de agua somera es alcanzado.

- (3) Incluye a todos los meros que no sean clasificados como de agua profunda.
- (4) Pesca autorizada los 10 primeros días de cada mes, a partir del 1 de febrero hasta alcanzar el primer cuota y a partir del 1 de octubre hasta alcanzar el segundo cuota.
- (5) Incluye además la interdicción de comercializar *M. bonaci*, *M. microlepis* y *E. morio* durante este periodo.
- (6) /b-por barco; /p-por persona (todas especies confundidas con excepción de *E. itajara*, *E. striatus* para los meros y *L. campechanus*, *L. synagris* para los pargos); pa-peces de arrecife (todas especies de arrecife mezcladas)

fin de intentar incrementar su tasa de supervivencia.

MANEJO NO CONVENCIONAL

El manejo conservativo incluye métodos como la adopción de prácticas de pesca menos dañinas o destructivas, las operaciones de repoblación con crías procedentes de la acuicultura, la restauración de hábitat o su modificación (implantación de arrecifes artificiales) y el establecimiento de áreas marinas protegidas (AMP) (Bohnsack 1996).

En la actualidad, las AMP son consideradas como uno de los métodos no convencionales más atractivos y prometedores para el manejo de las pesquerías. Entre ellas, las reservas marinas pesqueras (*marine fishery reserves* o *no-take marine reserves*) son zonas bien delimitadas geográficamente, en las cuales se imponen ciertas restricciones en cuanto al aprovechamiento de sus recursos naturales o bien constituyen áreas cerradas de manera permanente a todo uso consuntivo (Chiappone *et al.* 2000). Estas reservas pueden contribuir a proteger a los hábitats críticos necesarios para el desarrollo de los recursos pesqueros agotados a través de la sobreexplotación o de la destrucción de su entorno natural; a conservar la biodiversidad marina y, en ciertas circunstancias, a incrementar la productividad de los *stocks* presentes alrededor de las reservas (Conover *at al.* 2000). Aunque la eficiencia de la creación de tales reservas sobre la productividad de las pesquerías no ha sido totalmente demostrada, diversos autores como Bohnsack (1996) y Russ (2002) estiman que la implementación de este tipo de manejo debe ser fomentada. En particular, las reservas representan una de las opciones de manejo pesquero más viable para los países en vías de desarrollo. Al contrario de lo que ocurre generalmente con la imposición de controles sobre las capturas y/o el esfuerzo pesquero, estas áreas pueden tener una mejor aceptación por parte de las sociedades humanas que se dedican a la pesca artesanal o de subsistencia. En efecto, muchas veces estas reservas ofrecen una variedad de beneficios anexos

como son, por ejemplo, los ingresos financieros procedentes del turismo (Russ 2002).

Las reservas aparecen como una herramienta eficaz para la protección de los meros. Los resultados obtenidos a la fecha ponen en evidencia que éstas tienen efectos positivos sobre este recurso tales como: incrementos en densidad, biomasa, talla promedio y abundancia de las especies. Estos beneficios han sido observados tanto para especies consideradas como de tamaño pequeño (*C. cruentatus* y *C. fulvus*) como las de tamaño mediano (*E. adscensionis*, y *E. guttatus*) o grande (*E. striatus*, *M. bonaci*, *M. tigris* y *M. venenosa*) (Sluka *et al.* 1997, Sadovy 1999, Chiappone *et al.* 2000, Koenig *et al.* 2000). Sin embargo, las reservas podrían presentar un interés muy limitado en el caso de las especies no sedentarias o que realizan migraciones de reproducción y cuyos desplazamientos podrían conducir los organismos a salir de las áreas protegidas (Sadovy 1999, Bohnsack 2000, Tupper 2002).

La acuicultura de las especies puede representar una buena opción complementaria para la gestión de los recursos naturales. Esta actividad puede tener como objetivo la producción de organismos hasta la talla comercial o bien la producción de juveniles para repoblación de los *stocks* silvestres. El desarrollo de la acuicultura de meros y pargos del Atlántico oeste no ha alcanzado todavía a pasar del nivel experimental. La reproducción inducida, el desarrollo embrionario y larvario en laboratorio han sido realizado con éxito para varias especies de mero y pargo del Golfo como *E. morio* (Colin *et al.* 1996), *E. striatus* (Guitart y Juárez 1966, Tucker 1991, 1998, Watanabe *et al.* 1996), *M. microlepis* (Roberts y Schlieder 1983), *L. analis* (Watanabe *et al.* 1998), *L. campechanus* (Arnold *et al.* 1978, Rabalais *et al.* 1980, Minton *et al.* 1983), *L. griseus* (González *et al.* 1979), *L. synagris* (Millares *et al.* 1979). Sin embargo, los bajos índices de supervivencia de las larvas constituyen en la actualidad el mayor problema que limita el desarrollo de esta actividad (Tucker, 1998, Chigbu *et al.* 2002). Algunos experimentos de repoblación fueron llevados a cabo con juveniles de *E. morio* (Colin *et al.* 1996) y *E. striatus* (Roberts *et al.* 1995).

CONCLUSIONES

Los meros y pargos constituyen un componente importante, tanto a nivel ecológico como económico, de las comunidades de peces de arrecife del Golfo de México (Bannerot *et al.* 1987). Según Sadovy (1994) las evaluaciones realizadas sobre las poblaciones de meros del Atlántico centro-occiden-

tal revelan la presencia de síntomas de sobreexplotación para la mayoría de las especies estudiadas (abrupta disminución de las tallas y pesos promedios en las capturas; disminución de las capturas y desembarcos por unidad de esfuerzo; reducción alarmante o desaparición de las agregaciones de reproducción). En consecuencia, muchos de los *stocks* de meros, explotados tanto en zonas continentales como insulares, están a punto o han alcanzado el estado de sobreexplotación de crecimiento y/o de reclutamiento.

Generalmente, la protección de los *stocks* de meros es inadecuada o inexistente, y debido al alto valor comercial que presentan las especies que los componen, es muy común que sus pesquerías alcancen rápidamente el nivel de sobreexplotación (Levin y Grimes 2002). Pocas de las regulaciones en vigor para el ordenamiento pesquero de los peces de arrecife están basadas en una evaluación cuantitativa de los *stocks*, y ninguna ha considerado de manera explícita los efectos de las relaciones interespecíficas o de las estrategias de reproducción de las especies (como el hermafroditismo protógino para varios meros) (Bannerot *et al.* 1987).

Debido a que el manejo sustentable de los recursos está basado en la evaluación de los *stocks* y el conocimiento de la biología de las especies explotadas (Sadovy 1997), más información sobre estos aspectos es necesario para implementar y perfeccionar las estrategias de ordenamiento de las pesquerías de mero y pargo del Golfo. En particular, la biología de la reproducción de las poblaciones de varias especies de mero y pargo de esta región no ha sido estudiada todavía. Muchas de estas especies como *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. striatus*, *M. tigris*, *L. analis*, *L. buccanella*, *L. jocu* y *L. synagris*, presentan una importancia comercial y/o son amenazadas. No se ha podido aún caracterizar el patrón de sexualidad de todas las especies presentes en el Golfo. Los datos sobre fecundidad son escasos y en muchos casos imprecisos. En varias regiones del Golfo las áreas de reproducción y de formación de agregaciones de desove así como las zonas de crianza no son conocidas. Las principales etapas del desarrollo embrionario y larvario no han sido estudiadas para la mayoría de los meros y pargos. La falta de información de tipo biológico es particularmente problemática para la gestión de los *stocks* presentes en la parte sur del Golfo. El complejo mero-pargo de la plataforma continental de la Península de Yucatán (Banco de Campeche) es explotado de manera secuencial por embarcaciones de las flotas mayor y menor mexicanas, y constituye un recurso compartido con Cuba. Es un recurso multispecífico que incluye 18 especies de mero de los géneros *Cephalopholis*, *Epinephelus* y *Mycteroperca* y 10 especies de pargo del género

Lutjanus (Colás-Marrufo *et al.* 1998; Tuz-Sulub 1999, D.O.F. 2000). Todas ellas presentan un interés económico y 12 son consideradas como amenazadas. A pesar de la importancia comercial y ecológica de este recurso para la región, la reproducción ha sido estudiada solamente para *E. morio*, *M. bonaci*, *M. microlepis* y *L. campechanus*; el crecimiento para *E. morio*, *L. campechanus* y *L. synagris* y los hábitos alimenticios para *E. morio* y *L. campechanus*.

Es probable que para realizar una gestión racional del recurso mero-pargo que permita mantener una producción sostenible sea necesario implementar diversas medidas administrativas de ordenamiento pesquero. Aunque la aplicación de los métodos convencionales de manejo no ha podido impedir el deterioro de las pesquerías (deficiencias en el control del esfuerzo pesquero y en prevenir la sobreexplotación de reclutamiento) (Russ 2002), estos no deben de ser despreciados. A pesar de que la eficiencia de las reservas marinas como método no-convencional de manejo no ha sido comprobada hasta la fecha, representan todavía una de las opciones más viables de manejo de los recursos (Russ 2002). La creación de estas reservas requiere obtener más conocimientos sobre la ubicación y la extensión de las áreas de desove de los adultos, sobre la conducta reproductiva de los progenitores (formación o no de agregaciones de desove, tipo y momento de apareamiento), sobre la ubicación de las áreas de crianza así como sobre los procesos de asentamiento y la biología de los juveniles en dichas áreas. Con la finalidad de proteger las especies de los efectos negativos de la explotación pesquera, las futuras reservas marinas deberán incluir en sus límites estos hábitats críticos donde tiene lugar una de las etapas cruciales del ciclo de vida de las especies blanco de las pesquerías (Sadovy 1999). Sin embargo, no parece adecuado, considerar a las reservas marinas como un sustituto posible a todas las demás medidas de ordenamiento pesquero (Sadovy 1999, Trexler y Travis 2000, Russ 2002). Éstas deben ser consideradas como una herramienta potencial de apoyo al principio de manejo precautorio (Russ 2002). Utilizadas como complemento a las medidas convencionales de regulación pesquera, proporcionarán más flexibilidad en el manejo de las pesquerías y la protección de los recursos marinos (Bohnsack 2000).

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Perera, A. y W. Aguilar-Dávila 1996. A spawning aggregation of Nassau grouper *Epinephelus striatus* (Pises: Serranidae) in the Mexican Caribbean. *Environmental*

- Biology of Fishes* 45:351-361. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Allen R.G. 1985. FAO Species catalogue. Vol 6. *Snappers of the world an annotated and Illustrated Catalogue of Lutjanid species known to date*. FAO. Fisheries Synopsis No.125. FAO Roma.
- 1987. Synopsis of the circumtropical fish genus *lutjanus* (lutjanidae). P. 33-88. in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical Snappers and Groupers: Biology and Fisheries Management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Allman, R.J., L.A. Lombardi-Carlson, G.R. Fitzhugh y W.A. Fable 2002. Age structure of red snapper (*Lutjanus campechanus*) in the Gulf of Mexico by fishing mode and region. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:482-495. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Florida, EE.UU.
- Arnold, C.R., J.M. Wakeman, T.D. Williams y G.D. Treece 1978. Spawning of red snapper (*Lutjanus campechanus*) in captivity. *Aquaculture* 15:301-302. Elsevier Scientific Publishing Company. Netherlands.
- Arreguín-Sánchez F., M.A. Cabrera y G. Mexicano 1987. Dinámica de la población de (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche, México. P. 81-88. En: M. Ramírez-Rodríguez (ed.) *Memorias del Simposium sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México*. La Paz, BCS, México.
- Bannerot, S., W.W. Fox Jr y J.E. Powers 1987. Reproductive strategies and the management of snappers and groupers in the Gulf on Mexico and Caribbean. P. 561-603 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Bielsa, L.M. y R.F. Labisky 1987. Food habits of blueline tilefish, *Caulolatilus microps*, and snowy grouper, *Epinephelus niveatus*, from the lower Florida Keys. *Northeast Gulf Science* 9:77-87.
- Bradley, E. y C.E. Bryan 1975. Life history and fishery of the red snapper (*Lutjanus campechanus*) in the northwestern Gulf of México: 1970-1974. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 27:77-106. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. USA.
- Brulé. T. y C. Deniél 1996. Biological research on the red grouper (*Epinephelus morio*) from the southern Gulf of Mexico. P 28-42. En: F. Arreguín-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos y D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Brulé, T. y L.G. Rodríguez-Canché 1993. Food habits of juvenile red groupers, *Epinephelus morio* (Valenciennes, 1828) from Campeche Bank, Yucatán, México. *Bulletin of Marine Science* 52:772-779. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Brulé, T., D. Ordaz-Avila, M. Sánchez-Crespo y C. Déniel 1994. Seasonal and diel changes

- in diet composition of juvenile red grouper (*Epinephelus morio*) from Campeche Bank. *Bulletin of Marine Science* 55:255-262. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Brulé, T., C. Déniel, T. Colás-Marrufo y M. Sánchez-Crespo 1999. Red Grouper Reproduction in the Southern Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society* 128:385- 402. American Fisheries Society. EE.UU.
- Brulé, T., T. Colás-Marrufo, A. Tuz-Sulub y C. Déniel 2000. Evidence for protogynous hermaphroditism in the serranid fish *Epinephelus drummondhayi* (Perciformes: Serranidae) from the Campeche Bank in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 513-521. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Brulé, T., X. Renán, T. Colás-Marrufo, Y. Hauyon, A. Tuz-Sulub y C. Déniel 2003. Reproduction in the protogynous black grouper (*Mycteroperca bonaci* (Poey)) from the southern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 101:463-475. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Brulé, T., C. Déniel, T. Colás-Marrufo y X. Renán. En prensa a. *Reproductive biology of gag in the southern Gulf of Mexico*. *Journal of Fish Biology*. Blacwepp Publishing Ltd. Gran Bretaña.
- Brulé, T., J.C. Sámano-Zapata, T. Colás-Marrufo, E. Pérez-Díaz y C. Déniel. En prensa b. Primeros resultados sobre la reproducción del pargo del Golfo *Lutjanus campechanus*, de la plataforma continental de la Península de Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 55. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Bullock, L.H. y M.D. Murphy 1994. Aspects of the life history of the yellowmouth grouper, *Mycteroperca interstitialis*, in the eastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 55:30-45. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. U. E.
- Bullock, L.H. y G.B. Smith 1991. Seabasses (Pisces: Serranidae). *Memoirs of the Hourglass Cruises*. 8 (Part 2).
- Bullock, L.H., M.D. Murphy, M.F. Godcharles y M. E. Mitchell 1992. Age, growth, and reproduction of jewfish *Epinephelus itajara* in the eastern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 90: 243-249. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Bullock, L.H., M.F. Godcharles y Grabtree R.E. 1996. Reproduction of yellowedge grouper, *Epinephelus flavolimbatus*, from the eastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 59: 216-224. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Burgos, R. y O. Defeo 2000. Un marco de manejo precautorio para la pesquería de mero (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche, México. *Oceánides* 15:129-140. Centro Interdisciplinario de Ciencias. La Paz, BCS, México.
- Bohnsack, J. A. 1996. Maintenance and recovery of reef fishery productivity. P. 283-314. En: N.V.C. Polunin y C.M. Roberts (eds.) *Reef Fisheries*. Chapman&Hall. London,

England.

- Bohnsack, J. A. 2000 A comparison of the short-term impacts of no-take marine reserves and minimum size limits. *Bulletin of Marine Science* 66: 635-650. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Byron, D., D.M. Wyanski, B.M. Eleby y C.G. Lilyestrom 2002. Tiger grouper (*Mycteroperca tigris*): profile of a spawning aggregation. *Bulletin of Marine Science* 70:233-240. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Carter, J. y D. Perrine 1994. A spawning aggregation of dog snapper, *Lutjanus jocu* (Pisces: Lutjanidae) in Belize, Central America. *Bulletin of Marine Science* 55:228-234. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Carter, J., G.J. Marrow y V. Pryor 1994. Aspects of the ecology and reproduction of Nassau grouper, *Epinephelus striatus*, off the coast of Belize, Central America. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 43:65-111. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Camber, I. C. 1955 A survey of the red snapper fishery of the Gulf of Mexico, with special reference to the Campeche Banks. *Technical Series* No. 12. Department of Natural Resources Florida State, Board of Conservation.
- Chiappone, M., R. Sluka, y K.S. Sealey 2000. Groupers (Pisces: Serranidae) in fished and protected areas of the Florida Keys, Bahamas and northern Caribbean. *Marine Ecology Progress Series* 98:261-272
- Chigbu, P., Ogle J. T., Jeffreu, M. Lotz y E.L. Coleman 2002. Some aspects of the culture of red snapper. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:228-233. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Clarke, M.E., M.L. Domeier y W.A. Laroche 1997. Development of larvae and juveniles of the mutton snapper (*Lutjanus analis*), lane snapper (*L. synagris*) and yellowtail snapper (*L. chrysurus*). *Bulletin of Marine Science* 66:721-728. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Claro R., 1982. Ecología y ciclo de vida de la biajaiba, *Lutjanus synagris* (Linnaeus), en la plataforma cubana. IV. Reproducción. *Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología*. No.5 Academia de Ciencias de Cuba.
- 1983. Ecología y ciclo de vida del caballero, *Lutjanus griseus* (Linnaeus), en la plataforma cubana. II. Edad y crecimiento, estructura de las poblaciones, pesquerías. *Reporte de Investigación del Instituto de oceanología*. No.8 Academia de Ciencias de Cuba.
- Claro, R. y J.P. García-Arteaga 2001. Growth patterns of fishes of the cuban shelf. P. 149-178 in R. Claro, K.C. Lindeman and L.R. Parenti (eds.) *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Claro, R.J., A. García-Cagide, L.M. Sierra y J.P. García-Arteaga 1990. Características biológico-pesqueras de la cherna criolla, *Epinephelus striatus* (Bloch) (Pises:

- Serranidae) en la plataforma cubana. *Ciencias Biológicas* 23:23-43.
- Colás-Marrufo, T. Brulé y C. Deniél 1998. Análisis preliminar de las capturas de meros realizadas a través de unidades de la flota mayor en el sureste del Golfo de México. *Proceedings of the Caribbean Fisheries Institute*. 50:780-803. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Florida, EE.UU.
- Colás-Marrufo, T. A. Tuz-Sulub y T. Brulé 2002. Observaciones preliminares sobre la pesquería de meros (Serranidae: Epinephelinae) en el parque marino Nacional "Arrecife Alacranes", Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:431-445. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Coleman, F.C., C.K. Koenig y L.A. Collins 1996. Reproductive styles of shallow-water groupers (Pisces: Serranidae) in the eastern Gulf of Mexico and the consequences of fishing spawning aggregations. *Environmental Biology of Fishes* 47:129-141. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Coleman, F.C., C.C. Koenig, G.R. Huntsman, J.A. Musick, A.M. Eklund, J.C. McGovern, R.W. Chapman, G.R. Sedberry y C. B. Grimes 2000. Long-lived reef fishes: The grouper-snapper complex. *Fisheries* 25:14-21. American Fisheries Society. EE.UU.
- Colin, P.L. 1992. Reproduction of the Nassau grouper, *Epinephelus striatus* (Pisces: Serranidae) and its relationship to environmental conditions. *Environmental Biology of Fishes* 34:357-377. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- 1994. Preliminary investigations of reproductive activity of the jewfish, *Epinephelus itajara* (Pisces: Serranidae). *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 43:138-147. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Colin, P.L., D.Y. Douglas, Y. Shapiro y D. Weiler 1987. Aspects of the Reproduction of two Groupers, *Epinephelus guttatus* and *E. striatus* in the Western Indies. *Bulletin of Marine Science* 40: 220-230. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Colin, P.L., Koenig C.C. y W.A. Laroche 1996. Development from egg to juvenile of the red grouper (*Epinephelus morio*) (Pisces: Serranidae) in the laboratory. P. 399-414 in F. Arreguín-Sánchez, J.L. Munro, Balgos and Pauli (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Collins, L.A., J. H. Finucane y L. E. Barger 1979. Description of larval and juvenile red snapper, *Lutjanus campechanus*. *Fishery Bulletin* 77:965-974. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Collins, L.A., J.H. Finucane y L.E. Barger 1980. Description of larval and juvenile red snapper, *Lutjanus campechanus*. *Fishery Bulletin* 77: 965-974. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Collins, L.A., A.G. Johnson y C.P. Keim 1996. Spawning and annual fecundity of the red

- snapper (*Lutjanus campechanus*) from the northeastern Gulf of Mexico. P. 174-188 in. F. Arreguin-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos and D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Collins, L.A., Johnson, A.G., Koenig, C.C. y M.S Baker Jr. 1997. Reproductive patterns, sex ratio, and fecundity in gag, *Mycteroperca microlepis* (Serranidae), a protogynous grouper from the northeastern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 96:415-427. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Collins, L.A., G.R. Fitzhugh, L. Mourand, L.A. Lombardi-Carlson, W.T. Walling, Jr. W.A. Fable, Jr. M. R. Burnett y R. J. Allman 2001. Preliminary results from a continuing study of spawning and fecundity in the red snapper (Lutjanidae: *Lutjanus campechanus*) from the Gulf of Mexico, 1988-1999. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 52:34-47. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Collins, L.A., G.R. Fitzhugh, L.A. Lombardi, H.M. Lyon, W.T. Walling y D.V. Oliver 2002. Characterizations of red grouper (Serranidae: *Epinephelus morio*) reproduction from the eastern Gulf of Mexico. *Panama City Laboratory Contribution Series* 2002-07. National Marine Fisheries Service. EE.UU.
- Conover, D.O., J. Travis y F. Coleman 2000. Essential fish habitat and marine reserves: an introduction to the second mote symposium on fisheries ecology. *Bulletin of Marine Science* 66: 527-534. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Crabtree, R.E. y L.H. Bullock 1998. Age, growth, and reproduction of black grouper, *Mycteroperca bonaci*, in Florida waters. *Fishery Bulletin* 96:735-753. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Diario Oficial de la Federación 2000. Tomo CLXIII, 28 de agosto, 63-67 p.
- 2003. Tomo DXCIII, 13 de febrero, 48-49 p.
- Dodrill, J., Manooch III C.S. y Manooch A.B. 1993. Food and feeding behavior of adult snowy grouper *Epinephelus niveatus* (Valenciennes) (Pisces: Serranidae), collected off the Central North Carolina coast with ecological notes on major food groups. *Brimleyana* 19:101-135.
- Doi, T., D. Mendizabal y M. Contreras 1981. Análisis preliminar de la población de mero, *Epinephelus morio* (Valenciennes) en el Banco de Campeche. *Ciencia pesquera* 1:1-15 Instituto Nacional de la pesca. Secretaria de Pesca. México.
- Domeier, M.L. y P.L. Colin 1997. Tropical reef fish spawning aggregations: defined and reviewed. *Bulletin of Marine Science* 60: 698-726. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Domeier, M. L., C. Koenig y F. Coleman 1996. Reproductive biology of the gray snapper (*Lutjanus griseus*), with notes on spawning for other western Atlantic snapper

- (Lutjanidae). P. 189-201. En: F. Arreguin-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos y D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Druzhini, A.D. 1970. The range and biology of snappers (Fam. Lutjanidae). *Journal of Ichthyology* 10:717-736.
- Eklund, A.M., D.B. McClellan y D.E. Harper 2000. Black grouper aggregation in relation to protected areas within the Florida Keys National Marine Sanctuary. *Bulletin of Marine Science* 66:721-728. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU..
- Falfán-Vázquez, E. 2003. Estudio sobre la fecundidad del mero colorado *Epinephelus guttatus* (Linnaeus, 1758) del Banco de Campeche. Tesis de Maestría. Cinvestav-Universidad Mérida.
- Fischer, W. 1978. *FAO Species identification sheets for fisheries purposes*. Western Central Atlantic (fishing area 31), Vols 1-7, FAO, Rome.
- 2002. Age growth of *Red snapper Lutjanus campechanus*, in the northwestern Gulf of Mexico implications to the unit stock hypothesis *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:497-505. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Futch, R.B. y G.E. Bruger 1976. Age, Growth, and reproduction of red snapper in Florida waters. *Proceedings of the Colloquium of snapper-grouper fishery resources of the western Atlantic Ocean*. 17:165-184. Florida Sea Grant College Program.
- García-Cagide, A. y T. García 1996. Reproducción de *Mycteroperca bonaci* y *Mycteroperca venenosa* (Pisces: Serranidae) en la plataforma cubana. *Revista de Biología Tropical* 44:771-780.
- García-Cagide, A., R. Claro y B.V. Koshelev 2001. Reproductive patterns of fishes of the cuban shelf. P. 73-102. in R. Claro, K.C. Lindeman and L.R. Parenti (eds.) *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Gilmore, R.G. y R.S. Jones 1992. Color variation and associated behavior in the Epinepheline groupers, *Mycteroperca microlepis* (Goode and Bean) and *M. phenax* Jordan and Swain. *Bulletin of Marine Science* 51:83-103. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Giménez, E., B. Anderes, V. Moreno y R. Burgos 2001. Aspectos de la conducta alimentaria del mero (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche. *Ciencia Pesquera* 15: 165-170. INP. SAGARPA. México.
- Gómez, C.J., R. A. Guzmán y L.A. Marcano 1996. Biological aspects of the yellow aye snapper (*Lutjanus vivanus*) (Pisces: Lutjanidae) from the Los Hermanos Islands, Eastern Venezuela. P. 51-58. En: F. Arreguin-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos y D.

- Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- González, E. T. Damas, N. Millares y M. Borrego 1979. Desove inducido en el caballero (*Lutjanus griseus* Linné 1758) en condiciones de laboratorio. *Revista cubana de Investigación Pesquera* 4:43-63.
- González y de la Rosa M. E. 1988. Estudio de la pesquería del huachinango (*Lutjanus Campechanus* Poey) del Banco de Campeche. Tesis de Maestría Cinvestav IPN Unidad Mérida.
- González y de la Rosa M. E. y C. Ré-Regis. 2001. Aspectos de la reproducción de *Lutjanus Campechanus* en Campeche, México. *Ciencia Pesquera* No. 15. 141-146 INP. SAGARPA. México.
- Grimes, C. B. 1987. Reproductive biology of the lutjanidae: a review. P. 239-294 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Guitart-Manday, D. y M. Juárez-Fernández 1966. Desarrollo embrionario y primeros estadios larvales de la cherna criolla, *Epinephelus striatus* (Bloch) (Perciformes: serranidae). *Estudios del Instituto de Oceanografía de la Habana*. 1:35-45.
- Gulf of Mexico Fishery Management Council 2003a. *Commercial fishing regulations for Gulf of Mexico Federal Waters. January 2003*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Florida.
- 2003b. *Recreational fishing regulations for Gulf of Mexico Federal Waters. January 2003*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Florida.
- Harris, P. J., D. M. Wyanski, D. B. White y J. L. Moore 2002. Age, growth, and reproduction of scamp, *Mycteroperca phenax*, in the southwestern North Atlantic, 1979-1997. *Bulletin Marine Science* 70:113-132. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Heemstra, P. C. y J. E. Randall 1993. FAO species catalogue. Vol. 16. *Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date*. FAO Fisheries Synopsis No. 125. FAO, Roma.
- Hoese, H. D. y Moore R. H. 1998. *Fishes of the Gulf of Mexico: Texas, Louisiana, and adjacent waters*. Texas A&M University Press College Station, Texas.
- Hood P. B. y R. A. Schlieder 1992. Age, growth, and reproduction of gag, *Mycteroperca microlepis* (Pisces: serranidae) in the eastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 5:337-352. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Internacional Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). <http://>

- /www.redlist.org (29 de Julio de 2003)
- Johnson, G.D. y P. Keener 1984. Aid to identification of american grouper larvae. *Bulletin of Marine Science* 34:106-134. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Jones, R.S., E. J. Gutherz, W.R. Nelson y C. Matlock 1989. Burrow utilization by yellowedge grouper, *Epinephelus flavolimbatus*, in the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of fishes* 26:277-284. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Kendall, A.W. 1979. *Morphological comparisons of North American sea bass larvae (Pisces: Serranidae)*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 428. EE.UU.
- 1984. Serranidae: development and relationships. P 499-510. *in Ontogeny and Systematics of Fishes*. International Ahlstrom Symposium, American Society of Ichthyologists and Herpetologists.
- Kendall, A.W. Jr. y M.P. Fahay 1979. Larva of the serranid fish *Gonioplectrus hispanus* with comments on its relationships. *Bulletin of Marine Science* 29:117-121 Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- King, M. 1995 *Fisheries biology. Assessment and management*. Fishing News Books, Oxford. UK.
- Koenig, C.C., F.C. Coleman, L.A. Collins, Y. Sadovy y P.L. Colin 1996. Reproduction in gag (*Mycteroperca microlepis*) (Pisces: Serranidae) in the eastern Gulf of Mexico and the consequences of fishing spawning aggregation. P. 307-323 *in* F. Arreguín-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos and D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*, International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Koenig, C.C., F.C. Coleman, C.B. Grimes, G.R. Fitzhugh, K.M. Scanlon, C.T. Gledhill y M. Grace 2000. Protection of fish spawning habitat for the conservation of warm-temperate reef-fish fisheries of shelf-edge reefs of Florida. *Bulletin of Marine Science* 66:593-616. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Leis, J.M. 1987. Review of the early life history of tropical groupers (serranidae) and snappers (Lutjanidae). Pages 189-237 *in* J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical Snappers and Groupers: Biology and Fisheries Management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Levin P.S: y C.B. Grimes 2002. Reef fish ecology and grouper conservation and management, P. 377-389 *in* P. Sale (ed.) *Coral Reef Fishes*. Elsevier Science. San Diego, California.
- Lindeman K.C., R. Pugliese, G.T. Waugh y J.S. Ault 2000. Developmental patterns within a multispecies reef fishery: management applications for essential fish habitats and protected areas. *Bulletin of Marine Science* 66:929-956. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Longley, W. y S. F. Hildebrand 1941. Systematic catalogue of the fishes of Tortugas Florida. *Papers from Tortugas Laboratory*, Vol. 34. Carnegie Institution of Washing-

- ton Publications. Washington D.C.
- Manickchand-Dass, S.C. 1987. Reproduction, age and growth of the lane snapper, *Lutjanus sinagrys* (Linnaeus) in Trinidad, West Indies. *Bulletin of Marine Science* 40:22-28. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Manooch, C. S. 1987. Age and growth of snappers and groupers. Pages 329-373 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical Snappers and Groupers: Biology and Fisheries Management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Manooch, III, S.C. y D.L. Mason 1987. Age and growth of the warsaw grouper and black grouper from the southeast region of the United States. *Northeast Gulf Science* 9:65-75.
- Mason, D.L. y Manooch, III S.C. 1985. Age and growth of mutton snapper along the east coast of Florida. *Fisheries Research* 3:93-104. Elsevier Science Publishers.
- Matheson, III R.H. y G.R. Huntsman 1984. Growth, mortality, and yield-per-recruit models for speckled hind and snowy grouper from the United States South Atlantic Bight. *Transactions of the American Fisheries Society* 113: 607-616. American fisheries Society. EE.UU.
- Matheson, III R.H., G.R. Huntsman y C.S. Manooch, III. 1986. Age, growth, mortality, food and reproduction of the scamp, *Mycteroperca phenax* collected off North Carolina and South Carolina. *Bulletin of Marine Science* 38:300-312. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- McErlean, A.J. 1963. A study of the age and growth of the gag, *Mycteroperca microlepis* Goode and Bean (Pisces Serranidae) on the west coast of Florida. *Florida State Board of Conservation Marine Laboratory* 41:1-29.
- McErlean, A.J. y Smith, C.L. 1964. The age of sexual succession in the protogynous hermaphrodite *Mycteroperca microlepis*. *Transactions of the American Fisheries Society*. 93:301-302. American Fisheries Society. EE.UU.
- McGovern, J.C., D.M. Wyanski, O., Pashuk, C.S. Manooch II y G.S. Sedberry 1998. Changes in the sex ratio and size at maturity of gag, *Mycteroperca microlepis*, from the Atlantic coast of the southeastern United States during 1976-1995. *Fishery Bulletin* 96:797-807. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Millares, N, M. Borrego, T. Damas y E. González 1979. Desove inducido de la biajaiba. *Revista Cubana de Investigación Pesquera* 41:1-20.
- Minton, R.V., J.P. Hawke y W.M. Tatum 1983. Hormone induced spawning of red snapper, *Lutjanus campechanus*, *Aquaculture* 30:363-368. Elsevier Scientific Publishing Company. Netherlands.
- Moe, M.A. 1969. *Biology of the red grouper Epinephelus morio (Valenciennes) from the eastern Gulf of Mexico*. Florida Department of Natural Resources, Marine Research

- Laboratory, Professional Papers Series No. 10, Florida.
- Moore C.M. y R.F. Labisky 1984. Population parameters of relatively unexploited stock of snowy grouper in the Lower Florida Keys. *Transactions of the American Fisheries Society* 113:322-329. American Fisheries Society. EE.UU.
- Moseley, F.N. 1966. Biology of the red snapper, *Lutjanus aya* Bloch, of the Northwetern Gulf of Mexico. *Publis. Institute Marine Science* 11:90-101 The University of Texas .
- Muhlia-Melo, A.F. 1976. Aspectos biológico-pesqueros de *Epinephelus morio* (Val.); “mero”. *Memorias del primer Simposium Nacional sobre Recursos pesqueros de México* 2:223-265. Instituto Nacional de la Pesca. México.
- Munro J.L., V.C. Gaut, R. Thompson y P.H. Reeson 1973. The spawning seasons of caribbean reef fishes. *Journal of Fish Biology* 5:69-84. Blackwell Publishing Ltd. UK.
- Musick, J.A., M.M., Harbin, S.A. Berkeley, G.H. Burgess, A.M. Eklund, L. Findley, R.G. Gilmore, J.T. Golden, D.S. Ha, G.R. Huntsman, J.C., McGovern, S.J. Parker, S.G. Poss, E. Sala, T.W. Schmidt, G.R. Sedberry, H. Weeks y S.G. Wright 2000. Marine, estuarine, and diadromous fish stocks at risk of extinction in North america (exclusive of pacific salmonids). *Fisheries* 25:6-30. American Fisheries Society. EE.UU.
- Nelson, J.S. 1994. *Fishes of the World*. Third Edition. John and Wiley and Sons, Inc., New York.
- Parrish, J.D. 1987 The trophic biology of snappers and groupers. Pages 405-464 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Patterson, III, W. F., G.W. Walter-Ingram, Jr., R.L. Shipp y J.H. Cowan, Jr. 2002. Indirect estimation of red snapper (*Lutjanus campechanus*) and gray triggerfish (*Balistes capriscus*) release mortality. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:526-535. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Potts, J. C. y C. S. Manooch, III. 1995. Age and growth of red hind and rock hind collected from North Carolina through the Dry Tortugas, Florida. *Bulletin of Marine Science* 56: 784-794. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- 1999. Observations on the age and growth of graysby and coney from the Sotheastern United States. *Transactions of the American Fisheries Society* 128:751-757. American Fisheries Society. EE.UU.
- Powell, A.B. y J.W. Tucker, Jr. 1992. Egg and larval development of laboratory-reared nassau grouper *Epinephelus striatus* (Pisces, serranidae). *Bulletin of Marine Science* 50:171-185 Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Presley, R.F. 1970. Larvar snowy grouper *Epinephelus niveatus* (Valenciennes, 1828) from the Florida Straits. *Leaflet Series* 4:1-6 Florida Department of Natural Resources, Division of Marine Resources.
- Rabalais, N.N., S.C. Rabalais y C. R. Arnold 1980 Description of eggs and larvae of laboratory reared red snapper (*Lutjanus campechanus*) *Copeia* 4:704-708 American

- Society of Ichthyology and Herpetologists. EE.UU.
- Rabalais, N.N., R.S. Carney y E.G. Escobar-Briones 1999. Overview of continental shelf benthic communities of the Gulf of México. P. 171-195. En: H. Kumpf, K. Steidinger and K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessments, sustainability and management*. Blacwell Science, Malden, Massachusetts.
- Ralston, S. 1987. Mortality rates of snappers and groupers. Pages 375-404 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Randall, J.E. 1967. Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud. Trop. Oceanogr.* 5:665-847.
- Renán, X, T. Brulé, T. Colás-Marrufo, Y. Hauyon y C. Déniel 2001. Preliminary results of the reproductive cycle of the black grouper, *Mycteroperca bonaci* from the southern Gulf of Mexico. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 52:1-14. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Renán, X. K. Cervera-Cervera y T. Brulé 2003. Probable nursery areas for juvenile groupers along the northern coast of the Yucatan Peninsula, México *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54:1496-505. Gulf and Caribbean Fisheries Institute, EE.UU.
- Richards, W.J. y V.P. Saksena 1980. Description of larvae and early juveniles of laboratory-reared gray snapper, *Lutjanus griseus* (Linnaeus) (Pisces, lutjanidae). *Bulletin of Marine Science* 30:515-522. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Rivas, L. R. 1979. Review of the *Lutjanus campechanus* complex of red snappers. *Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences* 15:117-135.
- Roberts, D. E., Jr, y R. A. Schlieder 1983. Inducen sex inversion, maturation, spawning and embryogeny of the protogynous grouper, *Mycteroperca microlepis*. *Journal of World Mariculture Society* 14:639-649.
- Roberts, M.R., N. Quinn, J.W. Tucker Jr. y Peter N. Woodward 1995. Introduction of hatchery-reared nassau grouper to a coral reef environment. *North American Journal of Fisheries Management* 15: 159-164 The American Fisheries Society. EE.UU.
- Rodríguez-Sánchez, H. 1986. Determinación de la edad y crecimiento del mero (*Epinephelus morio* Valenciennes) del Banco de Campeche utilizando dos estructuras óseas diferentes (otolito y hueso mesopterigoides) Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas.
- Russ, G.R. 2002. Yet another review of marine reserves as reef fishery management tools. P. 421-443 in *Coral Reef Fishes* P. Sale (ed.). Elsevier Science. San Diego, California.
- Sadovy, Y. 1994. Grouper stocks of the western central Atlantic: the need for management and management needs. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 43:

- 43-64. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- 1996. Reproduction of reef fishery species. P. 15-59 in N.V.C. Polunin and C.M. Roberts (eds.) *Reef fisheries*. Chapman and Hall, London.
- 1997. Problems of sustainability in grouper fisheries. P. 321-324 in *Proc. Fourth Asian Fisheries Forum*, China Ocean Press, Beijing.
- 1999. MPAs as generic tool. With emphasis on protection of long-lived fishes, such as groupers. Proceedings of the EXPO'98 Conference on Ocean Food Webs and Economic Productivity. Fisheries Research Report 5:43-45
- 2001. The threat of fishing to highly fecund fishes. *Journal of Fish Biology* 59:90-108. Blackwell Publishing Ltd. UK.
- Sadovy, Y. y P.L. Colin 1995. Sexual development and sexuality in the Nassau grouper. *Journal of Fish Biology* 46:961-976. Blackwell Publishing Ltd. UK.
- Sadovy, Y. y M.L. Domeier 1994. Aggregation and spawning in the tiger grouper, *Mycteroperca tigris* (Pisces: Serranidae). *Copeia* 2:511-516. American Society of Ichthyology and Herpetologists. EE.UU.
- Sadovy, Y. y A.M. Eklund 1999. *Synopsis of biological data on the nassau grouper, Epinephelus striatus (Bloch, 1792), and the Jewfish, E. Itajara (Lichtenstein, 1822)* NOAA Technical Report NMFS 146, A Technical Report of the *Fishery Bulletin*. FAO Fisheries Sinopsys No. 157 Seattle, Washington.
- Sadovy, Y. y D.Y. Shapiro 1987. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia* 1:136-156. American Society of Ichthyology and Herpetologists. EE.UU.
- Sadovy, Y., M. Figuerola y A. Román 1992. Age, growth of *Epinephelus guttatus* in Puerto Rico and St. Thomas. *Fishery Bulletin* 90:516-528. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Sadovy, Y., A. Rosario y A. Román 1994. Reproduction in an aggregating grouper, the red hind, *Epinephelus guttatus*. *Environmental Biology of Fishes* 41:269-286. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Sale, P.F. 2002. The science we need to develop for more effective management. *Coral Reef Fishes*. P.16:361-376 in *Coral Reef Fishes* P. Sale (ed.). Elsevier Science. San Diego, California.
- Schirripa, M.J. y C.P. Goodyear 1994. Status of the vermilion snapper (*Rhomboplites aurorubens*), red snapper (*Lutjanus campechanus*), an gag (*Mycteroperca microlepis*) in the U.S. Gulf of Mexico. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 51:139-151. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- SEMARNAP 2000. Sustentabilidad y pesca responsable en México. Evaluación y manejo 1997-1998. SEMARNAP-INP, México, D.F.
- Shapiro, D.Y. 1987. Reproduction in groupers. P. 295-327 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: Biology and fisheries management*, Westview

- Press, Boulder, Colorado.
- Shapiro, D.Y., Y. Sadovy y M.A. McGehee 1993a. Periodicity of sex change and reproduction in the red hind, *Epinephelus guttatus*, a protogynous grouper. *Bulletin of Marine Science* 53: 1151-1162. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Shapiro, D.Y., Y. Sadovy y M.A. McGehee 1993b. Size, composition and spatial structure of the annual spawning aggregation of the red hind, *Epinephelus guttatus* (pisces: serranidae). *Copeia* 399-406. American Society of Ichtiology and Herpetologists. EE.UU.
- Sherman, K. 1994. Sustainability, biomass yields, and health of coastal ecosystems: an ecology perspective. *Marine Ecology Progress Series* 112:277-301.
- Shipp, R. 1999. Status of exploited fish species in the Gulf of Mexico. P. 196-203 in H. Kumpf, K. Steidinger and K. Shermam (eds.) *The Gulf of México carge marine ecosystem. Assessments, sustainability and management*. Blackwell Science, Malden. Massachusetts.
- Sluka, R., M. Chiappone, K.M. Sullivan y R. Wright 1997. The benefits of marine fishery reserve for nassau grouper *Epinephelus striatus* in the central Bahamas. *Proc 8th Int. Coral Reef Sysm* 2:1961-1964.
- Smith, C. L. 1959. Hermaphroditism in some serranid fishes from Bermuda. *Papers of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters* 41:111-119.
- Smith, C. L. 1961. *Synopsis of biological data on groupers (Epinephelus and allied genera) of the Western North Atlantic*. FAO Fisheries Biology Synopsis No.23, FAO, Rome.
- 1967. Contribution to a theory of hermaphroditism. *Journal of Theoretical Biology* 17:76-90.
- 1971. A revision of the american groupers: *Epinephelus* and allied genera. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 146:67-242. N.Y.
- 1997. *National Audubon Ssociety Fiel guide to Tropical marine fishes of the Caribbean , the Gulf of Mexico, Florida, The Bahamas, and Bermuda*. Alfred A. Knopf, N.Y.
- Starck, W.A. 1971. Biology of the gray snapper, *Lutjanus griseus* (Linnaeus), in the Florida Keys P.10, 224 pp. En: W. A. Stark y R. E. Shroeder (eds.) *Investigations on the gray snapper*, *Lutjanus griseus*. University of Miami Press. Florida.
- Starck, W. y R.E. Schroeder 1970. Investigations on the gray snapper, *Lutjanus griseus*. *Studies in Tropical Oceanography No. 10* Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Stevenson, D. K. 1981. A review of the marine resources of the western central atlantic fisheries comission (WECAFC) region. FAO Fisheries Technical Paper No. 211. FAO. Roma.
- Thompson, R. y J.L. Munro 1978. Aspects of the biology and ecology of Caribbean reef fishes: Serranidae (hinds and groupers). *Journal of Fish Biology*, 12:115-146. Fisheries

- of the British Isles.
- Thompson, R. y J.L. Munro 1983. The biology, ecology and bionomics of the snappers, *Lutjanidae*. in J.L. Munro (ed.) *Caribbean Coral Reef Fishery Resources ICLARM std. Rev.* 17:94-109.
- Thresher, R.E. 1984. *Reproduction in reef fishes*. T.F.H. Publications, Hong Kong.
- Torres, R. y E. Chávez 1987. Evaluación y diagnóstico de la pesquería de rubia (*Lutjanus synagris*) en el estado de Yucatán. *Ciencias Marinas* 13:7-29. Universidad Autónoma de Baja California, México.
- Trexler, J.C. y J. Travis 2000. Can marine portected areas restore and conserve stock attributes of reef fishes? *Bulletin of Marine Science* 66:853-873. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Tucker J.W. Jr. 1991. Induced Spawning of nassau grouper *Epinephelus striatus*. *Journal of the Word Aquaculture Societe* 22:187-191. World Aquaculture Society.
- 1998. *Marine fish culture*. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- Tupper, M. 2002. Essential fish habitat and marine reserves for groupers in the Turks & Caicos Islands. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53: 606-622. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Tuz-Sulub, A.N. 1999. Composición, distribución e importancia pesquera de los serránidos (Subfamilia *Epinephelinae*) en el Banco de Campeche, Yucatán, México. Tesis de Maestría. Cinvestav-Unidad Mérida, 76 pp.
- Tuz-Sulub, A.N., K. Cercera-Cervera, T. Colás-Marrufo y T. Brulé. 2003. Primeros indicios sobre la formación de agregaciones de reproducción de meros (*Epinephelinae*: *Epinephelini*) en el Banco de Campeche. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54:652-667. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Valdés, E. y G. Padrón 1980. Pesquerías de palangre. *Revista Cubana de Investigación Pesquera* 5:38-52
- Watanabe, W.O., S.C. Ellis, E.P. Ellis, V.G. López, P. Bass, J. Ginoza y A. Moriwake 1996. Evaluation of firts-feeding regimens for larval nassau grouper *Epinephelus striatus* and preliminary, pilot-scale culture through metamorphosis. *Jornal of the Word Aquaculture Society* 27:323-331. Word Aquaculture Society. EE.UU.
- Watanabe, W.O., E.P. Ellis, S. C. Ellis, J. Chavez, C. Manfredi, R.W. Hagood, M. Sparsis y S. Arneson 1998. Artificial propagation of mutton snapper *Lutjanus analis*, a new candidate marine fish species for aquaculture *Jornal of the Word Aquaculture Society*. 29:176-186. Word Aquaculture Society. EE.UU.
- Wilson, R.W. Jr. y K.M. Burns 1996. Potential survival of released groupers caught deeper than 40 m based on shipboard and in-situ observations, and tag-recapture data. *Bulletin of Marine Science* 58:234-247. Rosentiel School of Marine and

Atmospheric Science. EE.UU.

Woods, M.K., A.J. Fischer, J. H. Cowan Jr, y D. L. Nieland 2003 Size and age at maturity of female red snapper *Lutjanus campechanus* in the northern Gulf of Mexico. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54:527-537. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.

AVES DEL GOLFO DE MÉXICO

Y LAS ÁREAS PRIORITARIAS PARA SU CONSERVACIÓN

*Julio C. Gallardo Del Ángel, Enriqueta Velarde González y
Roberto Arreola Alemón*

INTRODUCCIÓN

La información que se tiene sobre las aves del Golfo de México es sorprendentemente escasa, particularmente si se compara con la que existe para otras regiones marinas e insulares del país (Anderson 1983, Cody y Velarde 2002, Velarde *et al.* en prensa a). Ya que muchas aves pueden servir como indicadores del estado del ambiente, es importante tener datos base y series de tiempo para poder llevar a cabo comparaciones e, idealmente, predicciones útiles en el planteamiento de estrategias de manejo. Los datos existentes para el Golfo de México sólo nos permiten tener listados de especies, y no permiten hacer comparaciones detalladas de cambios de distribución, ni mucho menos determinar cambios en las abundancias absolutas o relativas de las especies ahí presentes, a lo largo del tiempo.

En el caso de las aves terrestres y acuáticas se cuenta con un poco más de información, particularmente en el caso de las rapaces, debido a la sistematización de censos de estas especies que migran por la región central de Veracruz. Estos censos se han llevado a cabo durante más de diez años (Ruelas *et al.* 2000). La región se considera como el corredor migratorio más importante del mundo para este grupo de aves (Ruelas *et al.* 2000, Zalles y Bildstein 2000), habiéndose registrado más de 4 millones de aves rapaces cada otoño. El Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos de América ha

conducido, de manera sistemática censos de aves acuáticas en México desde los años 30 (DUMAC 1999b). Estos conteos han revelado que el 83% de las aves acuáticas migratorias de México se concentran en 28 área identificadas por Ducks Unlimited de México A. C., siete de las cuales se ubican en el Golfo de México (DUMAC 1999a).

MARCO GEOGRÁFICO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

MARCO GEOGRÁFICO

El Golfo de México es una cuenca de aproximadamente 1,400 km de diámetro máximo. Limita al norte con la costa sur-oriental de los Estados Unidos de América, al oeste y sur con las costas orientales de la República Mexicana y al oriente con la península de La Florida, la isla de Cuba y las aguas del océano Atlántico. Por lo tanto, abarca una zona marina con condiciones subtropicales a tropicales, propiciando una gran diversidad de condiciones climáticas y ambientales, a lo cual se suma su variada orografía e hidrología, generando complejas asociaciones bióticas al interior de su cuenca. En la región terrestre también existen diversas condiciones orográficas y climáticas, que favorecen la presencia de distintos tipos de vegetación, que van de los matorrales espinosos hasta la selva alta perennifolia (*sensu* Rzedowski 1983), así como las faunas asociadas a ellas, y muy diversas y complejas interacciones ecológicas.

Por las costas del Golfo de México se descarga aproximadamente el 60% del escurrimiento nacional. A su vez, esto origina extensiones importantes de humedales y sistemas lacustres, desde Laguna Madre en Tamaulipas hasta Ría Lagartos en la Península de Yucatán, los cuales son vitales para numerosas especies. Como ejemplo podemos citar a la Laguna Madre, dentro de cuyos límites se calcula que se concentra el 15% del total de las aves acuáticas migratorias que llegan a México (DUMAC 1999a).

De esta forma, las condiciones ambientales crean un mosaico de hábitat, tanto en la zona costera como en la región de plataforma continental y la pelágica, que favorece la presencia de una gran diversidad de especies de aves tanto migratorias como residentes. La amplia plataforma continental del Golfo de México, especialmente frente a las costas de Campeche y Yucatán, alberga una amplia gama de cayos arrecifales e islas, que son sitios de anidación de aves marinas y que representan, para algunas especies, los únicos sitios reproductivos dentro de los límites del Golfo de México. Entre

estas especies encontramos algunas enlistadas en la Norma Oficial Mexicana de especies en riesgo (NOM-059-ECOL-2000) (Semarnap 2000), como el bobo pata roja (*Sula sula*) y el charrán mínimo (*Sterna antillarum*). Estas islas y cayos también funcionan como sitios de descanso para muchas especies que atraviesan el golfo durante su migración.

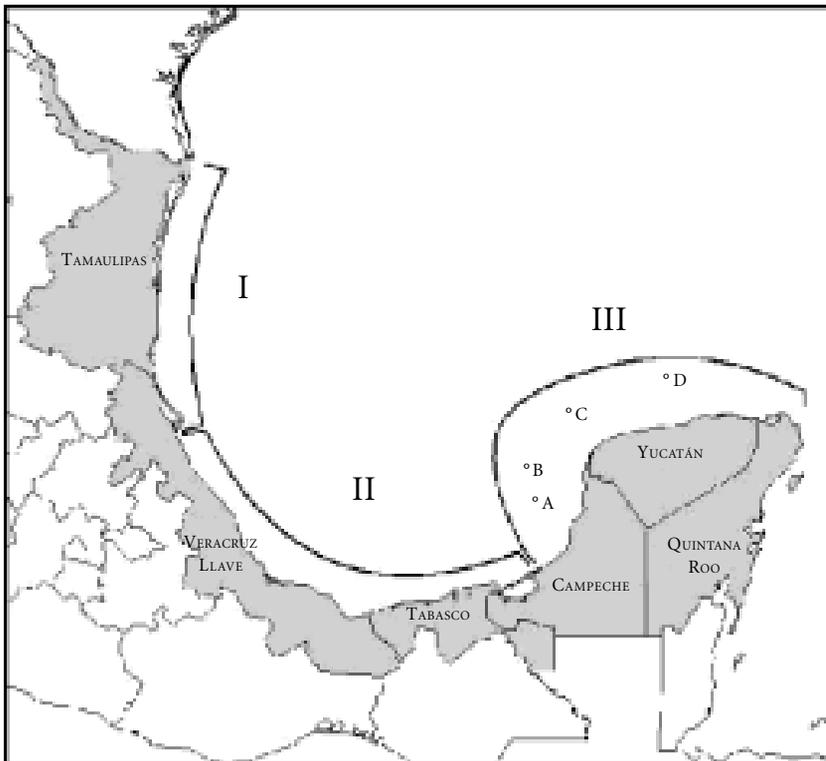
DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

Debido a que la mayoría de las especies de aves marinas dependen de organismos marinos para su alimentación, la composición de especies de la comunidad de estas aves está determinada, en gran medida, por los procesos regionales que influyen en la composición de especies de todo el ecosistema y la productividad primaria marina. A una escala menor, la distribución y abundancia de las diversas especies de aves marinas también están determinadas por las condiciones oceanográficas locales, las cuales pueden variar en cuestión de horas, y también pueden estar influidas por los cambios estacionales que determinan las características oceánicas en las diferentes estaciones del año. De la misma manera, en plazos más largos, variaciones periódicas como las de la Oscilación del Sur conocida como Fenómeno de El Niño, pueden determinar cambios en la distribución y abundancia de las aves marinas, e incluso, estrategias peculiares en su alimentación y reproducción (Anderson 1983, Velarde *et al.* en prensa a, Velarde *et al.* en prensa b).

La ubicación geográfica del Golfo de México, que va del límite norte del Trópico de Cáncer hasta colindar con las aguas del océano Atlántico y mar Caribe, y las complejas condiciones ambientales que en él prevalecen, fomentan una avifauna diversa, con distintos orígenes e influencias. En el Golfo de México podemos identificar tres regiones más o menos bien definidas, de acuerdo con las afinidades de la avifauna que presentan. La Zona I, con especies con una mayor afinidad neártica, tanto residentes como invernantes, se ubica desde la Laguna Madre hasta la Laguna de Tamiahua. Contreras-Balderas (1993) menciona que el 82% de la avifauna presente en Laguna Madre es de afinidad nortea. Esta zona representa, para varias especies, el límite más sureño de su distribución de invierno. Este es el caso, por ejemplo, para el águila calva (*Haliaeetus leucocephalus*) (Buehler 2000). La Zona II baja desde el norte de la Barra de Tuxpan (al sur de Tamiahua) hasta el sur del estado de Campeche. Se caracteriza por tener influencia de especies con afinidad neotropical, principalmente tratándose de especies

acuáticas. En su extremo norte, la zona representa el límite más norteño para algunas especies de afinidad neotropical que, como el avetoro neotropical (*Botaurus pinnatus*) (Howell y Webb 1995) o el milano caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), se distribuyen hasta centro y Sudamérica. La Zona III se ubica desde el centro y norte de Campeche hasta el extremo norte de Quintana Roo. En esta región encontramos especies de afinidad neotropical, pero con una influencia del Mar Caribe, principalmente en cuanto a aves marinas se refiere. Estas especies entran para alimentarse o anidar en las costas e islas de la zona (mapa 1).

MAPA1. FAMILIAS DE AVES, NÚMERO DE ESPECIES Y REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS AVES DEL GOLFO DE MÉXICO



DIVERSIDAD DE ESPECIES

DESCRIPCIÓN DE LA COMUNIDAD

Con base en los datos disponibles hemos podido detectar que en el Golfo de México existen 231 especies de aves, de las cuales el 44% son consideradas acuáticas, el 29 % terrestres y el 27% marinas (figura 1). Las especies se agrupan en 17 órdenes y 46 familias (cuadro 1). Los órdenes mejor representados, en cuanto a número de especies, son: Procellariiformes (pardelas y afines) con 11 especies (4.9 %), Pelecaniformes (pelicanos y afines) con 13 (5.8 %), Ciconiformes (garzas y afines) con 21 (9.4 %), Anseriformes (patos y afines) con 31 (13.8 %), Gruiformes (grullas y afines) con 15 (6.7 %), Charadriiformes (chorlitos y aves marinas afines) con 60 (27.7 %) y Passeriformes (gorriones y afines) con 44 (19.6 %) (Lowery y Dalquest 1951, Contreras-Balderas 1993, Montejo-Díaz, J.E. 1994, Ortiz-Pulido 1995, Cruz 1999, Gallardo 1999, 2003, Gallardo *et al.* 2000, Valenzuela y Vargas-Hernández 2000, Valenzuela 2001, Arreola obs. pers.). Las familias mejor representadas específicamente son: Procellariidae (pardelas) con 7 especies (3.04%), Anatidae (patos, cisnes y gansos) con 31 (13.48%), Rallidae (ralos y rascones) con 11 (4.78%), Charadriidae (chorlitos) con 8 (3.48%), Scolopacidae (playeritos) con 29 (12.61%), Laridae (gaviotas y charranes) con 26 (11.30%), Tyrannidae (mosqueros y tiranos) con 11 (4.78%) y Parulidae (chipes, mascaritas y pavitos) con 14 (6.09); estas familias agrupan el 59 % del total de las especies (figura 2) (Lowery y Dalquest 1951, Contreras-Balderas 1993, Montejo-Díaz, J.E. 1994, Ortiz-Pulido 1995, Gallardo 1999, 2003, Gallardo *et al.* 2000, Valenzuela y Vargas-Hernández 2000, Valenzuela 2001, Arreola obs. pers.).

La avifauna hasta ahora encontrada en el Golfo de México representa, aproximadamente, el 22% de las 1,060 especies de aves reconocidas para México (Navarro y Benitez 1993). Esta diversidad se puede explicar con base en las características biogeográficas y ecológicas de las regiones limítrofes del Golfo. En la región se pueden encontrar algunas especies de ocurrencia irregular o errantes, con distintas afinidades biogeográficas. Por ejemplo, en la parte norte de Tamaulipas, principalmente en invierno, suelen encontrarse algunas especies de aguas templadas, como el pato colilargo (*Clangula hyemalis*), o especies de ocurrencia regular en el Caribe como la pardela de Audubon (*Puffinus Iherminieri*) (Howell y Webb 1995).

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE AVES POR CATEGORÍA DEL USO DEL HÁBITAT EN EL GOLFO DE MÉXICO

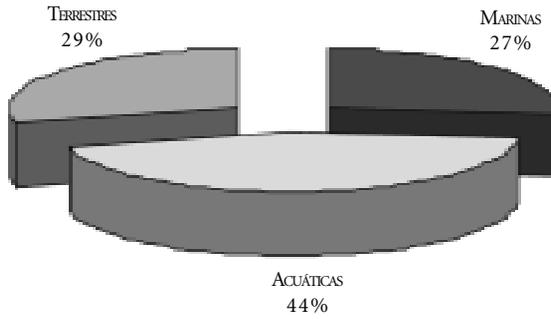
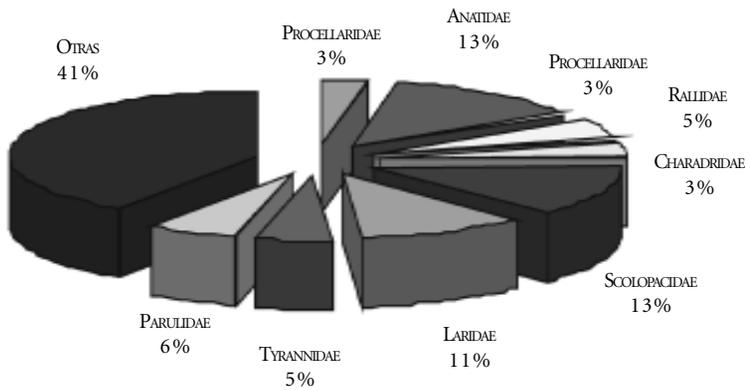


FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS FAMILIAS DE AVES MEJOR REPRESENTADAS EN EL GOLFO DE MÉXICO



CUADRO 1. FAMILIAS DE AVES, NÚMERO DE ESPECIES Y REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS AVES DEL GOLFO DE MÉXICO

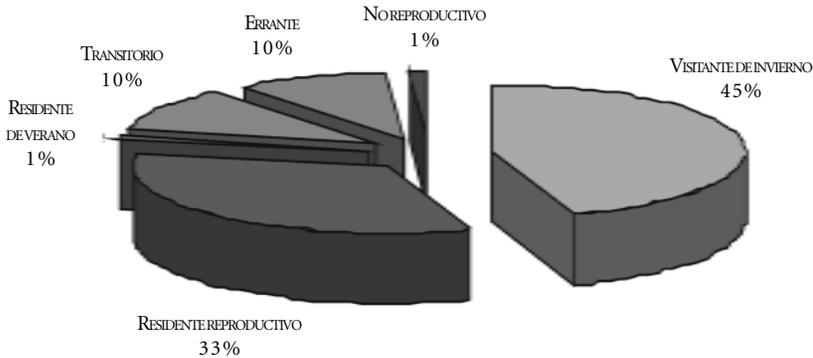
FAMILIA	ESPECIES N (%)	FAMILIA	ESPECIES N (%)	FAMILIA	ESPECIES N (%)
Gaviidae	1 (0.43%)	Accipitridae	5 (2.17%)	Alcedinidae	4 (1.74%)
Podicipedidae	3 (1.30%)	Falconidae	1 (0.43%)	Picidae	1 (0.43%)
Diomedeidae	1 (0.43%)	Rallidae	11 (4.78%)	Tyrannidae	11 (4.78%)
Procellariidae	7 (3.04%)	Heliornithidae	1 (0.43%)	Vireonidae	2 (0.87%)
Hydrobatidae	3 (1.30%)	Aramidae	1 (0.43%)	Hirundinidae	2 (0.87%)
Phaetontidae	2 (0.87%)	Gruidae	2 (0.87%)	Troglodytidae	2 (0.87%)
Sulidae	5 (2.17%)	Charadriidae	8 (3.48%)	Sylviidae	1 (0.43%)
Pelicanidae	2 (0.87%)	Hematopodidae	1 (0.43%)	Turdidae	1 (0.43%)
Phalacrocoracidae	2 (0.87%)	Recurvirostridae	2 (0.87%)	Mimidae	1 (0.43%)
Anhingidae	1 (0.43%)	Jacaniidae	1 (0.43%)	Parulidae	14 (6.09)
Fregatidae	1 (0.43%)	Scolopacidae	29 (12.61%)	Thraupidae	1 (0.43%)
Ardeidae	15 (6.53%)	Laridae	26 (11.30%)	Emberizidae	5 (2.17%)
Threskeornithidae	4 (1.74%)	Columbidae	6 (2.61%)	Cardinalidae	2 (0.87%)
Ciconidae	2 (0.87%)	Cuculidae	2 (0.87%)	Icteridae	3 (1.30%)
Phoenicopteridae	1 (0.43%)	Capromulgidae	1 (0.43%)		
Anatidae	31 (13.48%)	Trochillidae	2 (0.87%)		

ESTACIONALIDAD DE LAS ESPECIES

Las especies de la comunidad de aves del Golfo de México muestran una marcada estacionalidad, ya que el 45% son visitantes de invierno, pasando ahí los meses invernales del Hemisferio Norte, como la agachona común (*Gallinago gallinago*); el 10% son transitorios, y sólo pasan un corto tiempo en el Golfo de México, mientras llegan a sus sitios de invierno, generalmente en latitudes más sureñas, como el chorlo dorado americano (*Pluvialis dominica*); otro 10% son accidentales o errantes, cuyo presencia en el Golfo de México se encuentra poco documentada o se encuentra con registros esporádicos, como el playero púrpura (*Calidris maritima*).

Si sumamos las tres categorías anteriores observamos que el 65% del total de las especies, depende de sitios adecuados en el Golfo de México para pasar el invierno, alimentarse y descansar durante su recorrido migratorio. Solo el 33% de las especies son residentes reproductivos, que pasan la mayor parte

FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS ESPECIES DE ACUERDO CON SU ESTACIONALIDAD, EN EL GOLFO DE MÉXICO



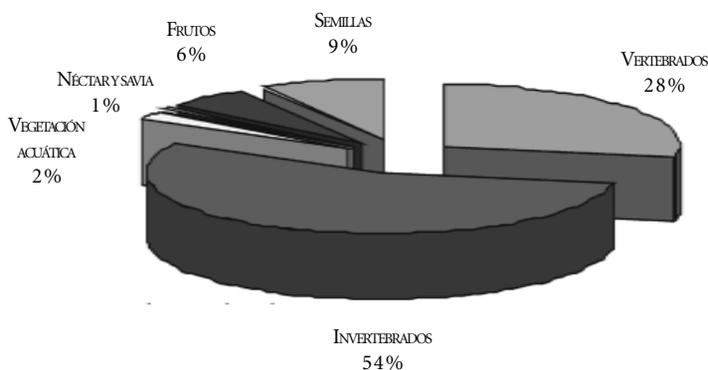
del año en la zona, y no tienen movimientos poblacionales aparentes; tal es el caso del chorlo de collar (*Charadrius collaris*), que además es una especie bajo protección especial. Las especies no reproductivas son las que se encuentran durante todo el año en la mayor parte del Golfo de México, pero se reproducen en otras áreas como los saltadores pomarino y parásito (*Stercorarius pomarinus* y *S. parasiticus*) y el charrán común (*Sterna hirundo*); las residentes de verano son aquéllas que sólo se encuentran en el Golfo durante su temporada reproductiva, y viajan al sur al finalizar ésta; ambas categorías representan sólo un 1%, cada una (figura 3). Es importante señalar que el alto porcentaje de especies no residentes se debe al hecho notable de que el Golfo de México se encuentra en la convergencia de las cuatro rutas migratorias de aves en América del Norte (Hines 1978), formando uno de los corredores más importantes a nivel mundial reconocidos hasta ahora para las aves migratorias (Zalles y Bildstein 2000).

ALIMENTACIÓN DE LAS ESPECIES

Los gremios alimentarios más importantes, por el número de especies que agrupan, son los de especies que se alimentan de vertebrados e invertebrados, representando el 82% del total. El 54% de las especies del Golfo de

México (figura 4) se alimentan de invertebrados tanto terrestres como acuáticos. Las especies de las 7 familias mejor representadas se alimentan parcial o totalmente de invertebrados, como los mosqueros (*Tyrannidae*), aunque también agregan algunas frutas en su dieta, mientras que los playeritos (*Socolopacidae*) se alimentan de crustáceos y pequeños moluscos en las riveras de los ríos, estuarios y playas. También encontramos a depredadores especializados en invertebrados, como el milano caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), que habita en pantanos, manglares y lagunas.

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS ESPECIES DE AVES DE ACUERDO CON SUS PREFERENCIAS ALIMENTARIAS EN EL GOLFO DE MÉXICO



Los vertebrados forman parte de la dieta del 28% de las especies del Golfo de México, siendo la familia Laridae la que aporta más especies a este gremio alimentario. Los peces son el alimento principal para varias especies como las gaviotas y las golondrinas marinas (*Laridae*), las garzas y gargetas (*Ardeidae*), el mergo copetón (*Mergus serrator*) y el gavilán pescador (*Pandion haliaetus*). Las especies que se alimentan de invertebrados y vertebrados son más susceptibles a los contaminantes, ya que se encuentran en los últimos niveles de las tramas tróficas, y representan al 82% de especies presentes en el Golfo de México.

El resto de gremios alimentarios es mucho menos representativo al tratarse, en su mayoría, de aves terrestres que representan, en su conjunto, el

29% del total de las especies. El 9% de la avifauna consume semillas y se trata, principalmente, de algunos patos y cercetas como el pato de collar (*Anas platyrhynchos*) o la cerceta canela (*Anas cyanoptera*). El 6% consumen frutos, entre las cuales podemos encontrar algunas especies terrestres como las calandrias o bolseros (*Icterus spp.*), o algunas especies acuáticas como las grullas americana y canadiense (*Grus americana* y *G. canadensis*). El resto son especies que se alimentan de néctar y savia (1%) como los colibríes (Trochilidae); y la vegetación acuática es consumida por el 2% de las especies, encontrando entre ellas algunos patos y gansos (Anatidae) y zambullidores (Podicipedidae).

MIGRACIONES Y HÁBITAT

En el Golfo de México confluyen las cuatro rutas migratorias de Norte América, teniendo mayor importancia la del Centro, la del Misisipí y la del Atlántico. Las condiciones que favorecen la concentración de las cuatro rutas migratorias corresponden al embudo que generan las cordilleras montañosas desde el sur de Canadá hasta México, acentuándose con la intersección del Eje Neovolcánico Transversal con la Sierra Madre Oriental en el centro del estado de Veracruz, los efectos climáticos producidos por las corrientes generadas por el movimiento de masas de aire entre zonas de alta a baja presión en el otoño, originando que se concentre el mayor número de rapaces migratorias en todo el mundo (Ruelas *et al.* 2000, Zalles y Bildstein 2000). Igualmente se concentra un gran número de individuos de otras especies en su paso migratorio por el Golfo, siendo más conspicuos en el centro de Veracruz. DUMAC (1999a) señala que las lagunas costeras que se encuentran a lo largo del Golfo de México son especialmente importantes para ciertos grupos de aves acuáticas migratorias, como para los patos, cercetas y gansos (Anatidae), y para ciertas especies de playeritos y agachonas (Scolopacidae). Algunas especies, principalmente de las rutas del Misisipí y del Atlántico, migran cruzando las aguas del Golfo, como lo hacen algunos chipes (Curson *et al.* 1994).

Los sistemas estuarinos y lagunares son una parte muy importante de los litorales en México, ya que representan más del 30% de estos. A lo largo del Golfo de México, se localizan 7 de los 28 humedales prioritarios de México (DUMAC 2000). Estos son de vital importancia tanto para aves residentes como para migratorias, ya que el 44% de las especies del Golfo de México dependen de estos hábitats. La importancia de los humedales en el Golfo de

México resalta al señalar que, tan sólo la Laguna Madre, en Tamaulipas, alberga el 15% del total de las aves acuáticas migratorias de México y el 80% de los anátidos de México (gansos, patos y cisnes). El sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, es el tercer humedal con mayor extensión en México. Para esta región, Cruz (1999) reporta 273 especies de aves (entre acuáticas, terrestres y marinas), que representan el 25.6% de las especies de aves presentes en México. Estos hábitats sin duda son muy importantes, tanto para especies residentes que se encuentran bajo alguna categoría de amenaza, como el carao (*Aramus guarauna*), como para especies migratorias. También Rappole (1995) señala que la costa y los sistemas lacustres son especialmente importantes para las aves visitantes de invierno, ya que los cuerpos de agua dulce y salobre son los hábitats utilizados por el mayor número de especies de aves migratorias neotropicales.

La mayoría de las islas del Golfo de México se encuentran sobre la extensa plataforma continental. Son sitios importantes para la reproducción de aves playeras, y el establecimiento de colonias de anidación de algunas especies de aves marinas, principalmente por ser áreas sin depredadores, o por tener una baja densidad de ellos, así como por estar aislados de la perturbación humana y cercanas a las zonas de alimentación de estas aves. Actualmente, se han encontrado aves marinas anidando sólo en muy pocas islas del Golfo de México, como en Arrecife Alacrán, Triángulo, Cayo Arcas y Cayo Arenas en Campeche pero, posiblemente, hayan sido más comúnmente ocupadas por aves marinas en épocas pasadas. Estas islas también son importantes para muchas especies de aves terrestres que migran hacia la Península de Yucatán o las Antillas, y que las utilizan para descansar y alimentarse, debido a que, como se mencionó anteriormente, la región queda incluida en el trayecto de las cuatro rutas migratorias de Norteamérica.

RIESGOS Y AMENAZAS

ESPECIES AMENAZADAS

Existen 36 especies con alguna categoría de protección o amenaza, tanto por las leyes mexicanas como por estar incluidas en las categorías internacionales de riesgo. De éstas, 33 tienen alguna categoría dentro de las leyes mexicanas (Semarnap 2000), 4 también poseen alguna categoría de la UICN (2000) y 3 corresponden exclusivamente a alguna categoría de la UICN. De las especies bajo alguna categoría de protección por las leyes mexicanas,

podemos resaltar algunos patos y cercetas (*Anas acuta*, *A. americana*, *A. discors* y *A. fulvigula*), que son especies de alto valor cinegético, tanto deportivo como de subsistencia. La grulla americana (*Grus americana*) es considerada como en peligro de extinción, tanto por las leyes mexicanas como las internacionales, ya que sus poblaciones han disminuido constantemente.

Las especies residentes reproductivas son las que tienen mayor número de taxa (hasta 16) bajo alguna categoría de protección. Mientras que las visitantes de invierno tienen 13 taxa bajo alguna de estas categorías, sólo 2 taxa entre las errantes y 5 especies entre las residentes e invernantes. Las aves acuáticas tienen 25 de las 36 especies con alguna categoría de amenaza; así como también 5 especies terrestres y 3 especies marinas. De aquí resalta la importancia, tanto nacional como internacional del Golfo de México, en la conservación de sus recursos avifaunísticos.

PESTICIDAS Y ACTIVIDAD AGROPECUARIA

Las actividades agropecuarias han afectado a las poblaciones de aves, sus recursos alimentarios y sus hábitats, en tres distintas maneras: a) la más común, pero la menos estudiada, es por envenenamiento directo debido a la aplicación de pesticidas en grandes cantidades, b) por la acumulación de algunos pesticidas, como los organoclorados, que han afectado negativamente el éxito reproductivo de algunas especies, como la garza morena (*Ardea herodias*), que se encuentra bajo protección especial y en cuyo caso se observó una correlación entre el adelgazamiento del cascarón del huevo con la presencia del DDT (Butler 1992), y c) debido a la acidificación de las aguas, que ha afectado de distinta manera y suele ser la amenaza menos conspicua. Algunas aves acuáticas, como el avetoro mínimo (*Ixobrychus exilis*), han sido afectadas por el cambio del pH en las aguas donde se alimentan (Gibbs *et al.* 1992), producto de la erosión de las tierras de cultivo, que diversos agroquímicos en los sedimentos que finalmente llegan a los cuerpos de agua.

ASENTAMIENTOS HUMANOS Y CONTAMINACIÓN

Los asentamientos humanos incrementan la demanda de servicios y recursos por la población humana, poniendo en riesgo la capacidad de recuperación y regeneración de los ecosistemas. La perturbación antropogénica en muchos de los casos es el efecto más directo y visible en las poblaciones de

aves, pues en la época reproductiva se ha observado el abandono parcial o total de los sitios de anidación en especies como el ibis de cara blanca (*Plegadis chihi*) (Ryder y Manry 1994). Existe poca información sobre los efectos directos e indirectos de las actividades humanas a lo largo del Golfo de México en las poblaciones de aves, lo cual nos impide hacer comparaciones en el tiempo y conocer sus consecuencias en las poblaciones de aves.

El desarrollo turístico en algunas partes del Golfo de México puede estar afectando a especies amenazadas, debido al aumento de la presencia humana en sitios previamente aislados, así como al incremento de los desarrollos turísticos. Un ejemplo de especies que pueden estar siendo afectadas es el charrán mínimo (*Sterna antillarum*). A pesar de que Thompson *et al.* (1997) consideran a esta especie ausente en la mayor parte del Golfo, y de que es sensible a las perturbaciones humanas, en los años 2000 y 2001 se encontraron colonias de anidación de esta especie en algunas playas del Golfo, con un alto grado de desarrollo industrial y turístico, en el centro y norte de Veracruz (Straub y Gallardo, obs. pers.). Por ello es posible considerar que la especie pudiera haber estado más ampliamente distribuida en épocas pasadas.

ACTIVIDADES PETROLERAS

Petróleos Mexicanos, a través de Pemex Exploración y Producción (PEP) se encuentra operando en la Sonda de Campeche desde el año de 1978, en la extracción del crudo pesado y ligero, así como de gas natural, en los yacimientos Cantarell, Ixtoc, Balam, Nohoch y otros más localizados en el área. Solamente en el yacimiento Cantarell se encuentran instaladas 65 plataformas y tres complejos de producción. El crudo extraído de las plataformas se transporta mediante una red de oleoductos a los complejos, donde es estabilizado. Normalmente, en las instalaciones de Cantarell el crudo ligero es separado del crudo pesado, y se envía al complejo petroquímico de Ciudad Pemex, Tabasco, y a tanques de almacenamiento en Dos Bocas. El gas producido es enviado a tierra mediante gasoductos a la estación de Atasta, Campeche.

Diferentes empresas llegan a operar (hasta 200) como contratistas de PEP en la zona del activo Cantarell, donde se encuentran emplazados los complejos de Producción Akal-C, Akal-J y Akal-N, ubicados aproximadamente a 75 km mar adentro, al noroeste de Ciudad del Carmen, en el estado de Campeche. Los complejos de producción están en un proceso de moder-

nización dentro del “Proyecto para la rehabilitación, modernización y optimización de la infraestructura del Campo Cantarell” mismo que se encuentra bajo la dirección de PEP.

Las actividades petroleras en el Golfo de México están siendo monitoreadas, en cierta medida, por instancias gubernamentales como Semarnat y Profepa; sin embargo, siempre existe el peligro potencial de derrames por hidrocarburos o emisiones contaminantes a la atmósfera, a pesar de las políticas ambientales y medidas tecnológicas que se han ido instrumentando gradualmente por parte de Pemex Exploración y Producción (Pemex 2001).

Se han registrado, al menos, 18 especies de aves migratorias y locales que utilizan los complejos de proceso como sitio de descanso (R. Arreola, obs. pers.). Estas son especies que no residen permanentemente en los complejos, sino sólo de forma temporal. Sin embargo, se les observa alimentarse en sitios tan diversos como los basureros de los complejos y las plataformas habitacionales, o pescar de los cardúmenes que se arremolinan alrededor de las estructuras de soporte de los complejos, atraídos por los desechos orgánicos provenientes de los comedores de las plataformas habitacionales. También se han observado aves exhaustas, descansando en las cubiertas de las plataformas, así como fragatas (*Fragata magnificens*) planeando con las corrientes ascendentes de aire caliente generadas por los quemadores de gas (R. Arreola, obs. pers.). Las interacciones de la avifauna con la actividad industrial marina son complejas, y algunas tienen efectos que pueden interpretarse como negativos al medio ambiente y por ende a la avifauna presente.

ÁREAS IMPORTANTES PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES

ÁREAS PROTEGIDAS

Las principales áreas naturales protegidas en la región del Golfo de México se encuentran clasificadas dentro de las categorías de Reserva de la Biosfera, Parque Nacional, Área de Protección de Flora y Fauna, Santuario y Área de Protección de Recursos Naturales. Las reservas de la biosfera de la zona son: Los Tuxtlas en Veracruz, Pantanos de Centla en Tabasco, Los Petenes en Campeche, Ría Celestún en Campeche y Yucatán y Ría Lagartos en Yucatán. Los parques nacionales de la región son el Sistema Arrecifal Veracruzano y el Arrecife Alacranes en Veracruz. En las tres últimas categorías se encuentran: Playa de Rancho Nuevo en Tamaulipas, La Mancha en Veracruz y Laguna de

Términos en Campeche, respectivamente. Estas áreas naturales protegidas no son, ni con mucho, representativas de los hábitats existentes en la región, ni lo suficientemente extensas como para cubrir las necesidades de hábitat de las aves residentes y migratorias del área, debido, entre otras razones a que muchas de ellas no han sido declaradas específicamente para la protección de la ornitofauna, sino con algún otro grupo taxonómico como justificante principal de su creación. Por ello, vemos que las poblaciones más importantes de muchas de las especies clave de aves, de los diferentes ecosistemas, no están incluidas en áreas protegidas. Como resultado, muchas regiones con hábitats esenciales para dichas especies están siendo perturbados, severamente alterados o, incluso, totalmente destruidos. Un claro ejemplo es el de la mascarita de Altamira (*Geotlypis flavovelata*), que es una especie que depende de los humedales del noreste de México y no está representada en ninguna área natural protegida, por citar sólo un caso.

ÁREAS IMPORTANTES PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES

En respuesta a esta severa problemática, un gran número de ornitólogos de México, con el apoyo de varias instancias, tanto académicas (UNAM, UBIPRO Iztacala), como de gobierno (Semarnap, Conabio), así como de organizaciones no gubernamentales (Cipamex, FMCN), y diversos organismos internacionales (Comisión para la Cooperación Ambiental, National Fish and Wildlife Foundation, BirdLife International, American Bird Conservancy, National Audubon Society), entre las más importantes, han hecho un esfuerzo paralelo para identificar las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en México (AICA) (Arizmendi y Márquez Valdelamar 2000). Se han propuesto 20 AICA (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México) en la región del Golfo de México, en las cuales se resalta la importancia de los sistemas costeros, lacustres e islas. A lo largo de estos sitios se puede apreciar la importancia del Golfo de México como un gran sistema subdividido en regiones con características propias, pero que interactúan entre sí, por medio de fenómenos ecológicos, como las migraciones, y procesos productivos de las regiones marinas y acuáticas.

CONSIDERACIONES FINALES

En lo que se refiere a la falta de información relativa a las aves marinas en la

porción mexicana del Golfo de México, es necesario enfatizar que el conocimiento de su distribución y abundancia es importante, ya que estos parámetros son un reflejo de las condiciones oceanográficas y, por lo tanto, de los recursos alimentarios que existen a su disposición, en las diferentes épocas del año o en años con diferentes condiciones oceanográficas (Anderson 1983, Velarde *et al.* en prensa a, Velarde *et al.* en prensa b). Debido a ello, las aves marinas pueden constituir excelentes elementos para el monitoreo del estado de las poblaciones de las especies marinas de las cuales se alimentan (Anderson *et al.* 1980, Anderson y Gress 1984, Furness 1984, MacCall 1984, Berruti y Colclough 1987, Furness y Nettleship 1991, Hamer *et al.* 1991, Velarde *et al.* 1994, Crawford y Dyer 1995, Montevecchi y Myers 1995, Crawford 1998, Furness y Tasker 1999, Lewis *et al.* 2001). El valor de las aves marinas como una herramienta para el monitoreo y, aún más importante, para la obtención de series de tiempo para la predicción de las capturas pesqueras, es de vital importancia en el manejo pesquero, particularmente en la actualidad, cuando la mayoría de las más importantes pesquerías del planeta se encuentran en su límite de explotación o sobreexplotadas (MacCall 1979, Radovich 1982, WRI 1994-95, Cisneros-Mata *et al.* 1995, Botsford *et al.* 1997). Para poder utilizar la información que proveen las aves marinas respecto a las pesquerías, o respecto de cualquier otro recurso marino, es necesario contar con información base y series de tiempo, que nos permitan hacer comparaciones bajo diferentes circunstancias.

En lo que se refiere a la industria petrolera y sus efectos, podemos decir que, bajo las presentes condiciones, es difícil tener una visión general del efecto sobre el medio ambiente, que está causando esta actividad. Se requiere de un esfuerzo de investigación y monitoreo por parte de personal especializado, y que se realice en el área misma de los complejos de proceso y sus plataformas, esfuerzo que, hasta ahora, no se ha llevado a cabo de la manera adecuada. A pesar de que existe ya una política de prevención y respuesta de la paraestatal a contingencias ambientales, tales como el derrame de hidrocarburos (López 2002, Guerrero 2003), es evidente que aún se requiere de un esfuerzo mayor para tener pleno control sobre los contaminantes que ahí se generan. Por todo lo anterior, consideramos que es importante que estos sitios sean monitoreados de forma directa por las instituciones gubernamentales responsables del cuidado del ambiente, para poder tener una visión más acertada de las especies del Golfo de México que son afectadas por ellos, y poder establecer estrategias para su administración y protección.

Con relación a las áreas naturales protegidas, es importante indicar que, a pesar de los grandes esfuerzos que las últimas administraciones han realizado por elaborar programas de manejo adecuados, y para obtener financiamientos suficientes para su implementación, no todas las áreas protegidas cuentan con uno, ni mucho menos con un presupuesto operativo suficiente para cumplir con sus objetivos. Aunado a esto, la perspectiva se complica si consideramos la compleja problemática socioeconómica que permea la problemática de la conservación a lo largo y ancho del país, ya que no es suficiente con decretar áreas protegidas si la población de las zonas aledañas, o la que se encuentra en su interior, sufre numerosas carencias y está inmersa en un sistema que no le permite superarlas. La conservación de los recursos naturales en estas áreas sólo será posible o, por lo menos se facilitará enormemente, si la población local se involucra, de forma comprometida, no sólo en la implementación, sino contribuyendo en la elaboración de los programas de manejo de las mismas.

Mucho hemos leído y escuchado afirmar a los especialistas que la riqueza natural del planeta es nuestro patrimonio y fuente de subsistencia, y que sin ella la especie humana está destinada a la destrucción o, por lo menos, a un nivel de empobrecimiento en todas las esferas de su existencia, que es difícil de imaginar actualmente. También hemos escuchado y leído que México se encuentra entre los cinco países más ricos de la Tierra, por lo menos en cuanto a especies de plantas, reptiles, aves y mamíferos se refiere. Esto también se aplica a la esfera cultural de nuestro país, ya que se encuentra en la región de Mesoamérica, cuna de varias de las civilizaciones culturalmente más ricas del planeta, así como de los sistemas agrícolas más complejos y eficientes. Aunque recientemente esta información se ha comenzado a difundir entre la población en general, es necesario extender esta conciencia a todo el público, particularmente entre aquellos sectores alejados de los sistemas productivos, y aún más precisamente, de los sistemas productivos tradicionales, incluyendo a todas aquellas personas que se encuentran en posiciones de toma de decisiones, en todos los niveles de gobierno, así como en la iniciativa privada.

La gran mayoría de las experiencias han demostrado que los mejores resultados se obtienen al conjugar el conocimiento tradicional y la participación social, con el conocimiento científico y técnico, encaminados a obtener un uso racional y sustentable de los recursos. El uso sustentable de nuestros recursos naturales, entendido como el uso por parte de las generaciones actuales que permita la permanencia de los recursos para uso por las generaciones venideras, al tiempo que se mantienen las especies, los elementos, y

los procesos ecológicos en los ecosistemas naturales, es el mayor reto que actualmente enfrenta nuestra sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Instituto Nacional de Ecología por estimular el esfuerzo de reunir y organizar la información aquí presentada, particularmente al Dr. Ezequiel Ezcurra y a las M. en C. Irene Pisanty y Margarita Caso. Agradecemos el apoyo del Dr. Virgilio Arenas y al Maestro Juan Manuel Vargas del Centro de Ecología y Pesquerías de la Universidad Veracruzana y a los programas Conacyt/Sigolfo y Promep, por el apoyo económico para algunas salidas de campo. Especialmente agradecemos a las personas que ayudaron a reunir los registros de las especies tanto de la literatura, por observaciones de campo y en las colecciones científicas, como Nate Rice de la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, Betty Petersen directora del programa de Birders Exchange de Manomet, Laurie J. Goodrich, Keith L. Bildstein, David Barber y Sue Wolf del Hawk Mountain Sanctuary, Sergio H. Aguilar y Jorge Montejo de Pronatura Veracruz, la Dra. Patricia Escalante, curadora de la Colección Nacional de Aves de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a los M. en C. Noemí Chávez y Marco Gurrola, también de la Colección Nacional de Aves de la UNAM; a las personas que contribuyeron con materiales y equipos como Mark Stackhouse, Richard y Federicka Heller y a todas aquellas personas que contribuyeron a la colecta de las observaciones del primer autor en el campo, particularmente a Raúl Ortiz-Pulido, Paola Rodríguez, Fernando Mata, Román Díaz, Robert Straub, Daniel A. Guerrero, Jorge Del Ángel, Manuel Del Ángel, Jorge Gonzáles y Rocío Ortega. Finalmente, agradecemos al personal y amigos de Protección al Medio Ambiente de Demar Instaladora y Constructora, S.A. de C.V. que estuvo a cargo del tercer autor, especialmente al Q.F.B. Adrián López M., y a la I.Q. Araceli Guerrero T. por compartir información del Akal-C.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D.W. 1983. The Seabirds. Pp. 246-264. En: T.J. Case y M.S. Cody (eds.). *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley, California, EE.UU.
- Anderson, D.W. y F. Gress 1984. Brown Pelicans and the anchovy fishery off southern California. Pp. 128-135. en: D.N. Nettleship, G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.).

- Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canadá.
- Anderson, D.W., F. Gress, K.F. Mais y P.R. Kelly. 1980. Brown pelicans as anchovy stock indicators and their relationship to comercial fishing. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 21: 54-61.
- Arizmendi, M.C. y L. Márquez Valdelamar (eds.) 2000. *Areas de Importancia para la Conservación de las Aves en México*. CONABIO, México .
- Berruti, A. y J. Colclough 1987. Comparisson of the abundance of pilchard in Cape Gannet diet and commercial catches off the Western Cape, South Africa. *South African Journal of Marine Sciences* 5: 863-869.
- Botsford, L.W., J.C. Castilla y C.H. Peterson 1997. The Management of Fisheries and Marine Ecosystems. *Science* 277:509-515.
- Buehler, D. A. 2000. Bald Eagle (*Haliaeetus leucocephalus*). En: A. Poole y F. Gill (eds.) *The Birds of North America*. No. 506. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologists' Union. EE.UU. 40 pp.
- Butler, R. W. 1992. Great Blue Heron (*Ardea herodias*). En: A. Poole, P. Stetternheim y F. Gill (eds.) *The Birds of North America*. No. 25. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences, Washington, D.C.: The American Ornithologist's Union. EE.UU. 20 pp.
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez y M.G. Hammann 1995. The rise and fall of the pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, México. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 36:136-143.
- Cody, M.L. y E. Velarde 2002. The Landbirds. Pp. 271-312. En: T.E. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra (eds.) *A New Island Biogeography of the Sea of Cortés*. Oxford University Press, Oxford, EE.UU.
- Contreras-Balderas, A. J. 1993. Avifauna de la Laguna Madre, Tamaulipas. Pp. 553-558, En: S. I. Salazar-Vallejo y N. E. Conzález (eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. Conbaio/ CIQRO, México. 865 pp.
- Crawford, R.J.M. 1998. Responses of african penguins to regime changes of sardine and anchovy in the Benguela System. *South African Journal of Marine Sciences* 19: 355-364.
- Crawford, R.J.M. y B.M. Dyer 1995. Responses by four seabird species to a fluctuating availability of Cape Anchovy *Engraulis capensis* off South Africa. *Ibis* 137:329-339.
- Cruz C., O.G. 1999. *Aves del humedal de Alvarado, Veracruz: Características de la comunidad, importancia y conservación*. Universidad Veracruzana, Facultad de Biología. Cordoba, Ver. México. 32 pp.
- Curson J., D. Quinn y D. Beadle 1994. *Warblers of the Americas: an identification guide*. Houghton Mifflin Company. EE.UU. 252 pp.
- DUMAC 1999a. ¿Hacia dónde vamos?: planeación estratégica. *Ducks Unlimited de México*. Año 21, Primavera. Pp. 15-24. México.

- 1999b. Voluntariado y conservación: Un vínculo esencial. *Ducks Unlimited de México*. Año 21, Verano. Pp. 19-24. México.
- Furness, R.W. 1984. Seabird-fisheries relationships in the northeast Atlantic and North Sea. Pp 162-169, en: D.N. Nettleship, G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.) *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canadá.
- Furness, R.W. y D.N. Nettleship 1991. Seabirds as monitors of changing marine environments. *Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici* 4:2239-2240.
- Furness, R.W. y M.L. Tasker (eds). 1999. *Diets of Seabirds and Consequences of Changes in Food Supply*. ICES Cooperative Research Report 232, International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Dinamarca.
- Gallardo D.A, J.C. 1999. Aves del Estado de Veracruz: observaciones de campo. Manuscrito sin publicar. México. 28 pp.
- 2003. Estudio preliminar de la comunidad de aves del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano y zonas adyacentes. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana, Facultad de Biología. Xalapa, Ver. México. 57 pp.
- Gallardo D.A., J.C., P. Rodríguez T. y F. Mata L. 2000. Reporte Preliminar de las Aves de la Isla de Sacrificios en el Sistema Arrecifal Veracruzano. 1er. Congreso Nacional de Arrecifes de Coral. México. P. 47.
- Gibbs, J.P., F.A. Reid y S.M. Melvin 1992. Least Bittern (*Ixobrychus exilis*). En: A. Poole, P. Stettenheim y F. Gill (eds.). *The Birds of North America*. No. 17. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologists' Union. EE.UU. 25 pp.
- Guerrero, T.A. 2003. Diagnóstico del Manejo de los Residuos Peligrosos de las Plataformas Akal-C1, Akal-C perforación, Akal-C Enlace, Akal-C2, Akal-C3, Akal-C4 y Akal-C6 del Complejo de Producción Akal-C del Activo Cantarell, Región Marina Noreste. Tesis de Maestría en trámite, Universidad Autónoma de Tabasco, México.
- Hamer, K.C., R.W. Furness y R.C. Caldow 1991. The effects of changes in food availability on the breeding ecology of great skuas *Catharacta skua* in Shetland. *Journal of Zoology*, London, 223:175-188.
- Hines, B. 1978. *Ducks at a distance: a waterfowl identification guide*. Department of the Interior/U.S. Fish and Wildlife Service. Washington D.C. EE.UU. 16 pp.
- Howell, S.N.G. y S. Webb 1995. *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press. Oxford, EE.UU. 851 p.
- Lewis, S., S. Wanless, P.J. Wright, M.P. Harris, J. Bull y D.A. Elston 2001. Diet and breeding performance of black-legged kittiwakes *Rissa tridactyla* at a North Sea colony. *Marine Ecology Progress Series* 221:277-284.

- López, M. A. 2002. Plan de Control Ambiental Fase Construcción, Proyecto IPC-62. Documento Interno de DEMAR Instaladora y Constructora, S.A. de C.V. 41 pp.
- Lowery, Jr., G.H. y W.W. Dalquest 1951. Birds from the State of Veracruz, Mexico. U. of Kansas. *Museum of Natural History* 3(4):531-649.
- MacCall, A.D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 20:72-82.
- 1984. Seabird-fishery trophic interactions in eastern Pacific boundary currents: California and Peru. Pp. 136-149. En: D.N. Nettleship, G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.) *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canadá.
- Montejo-Díaz, J.E. 1994. Breve información de las aves del Arrecife Triángulo Oeste, Banco de Campeche, México, con un nuevo registro para el país. Informe Interno, Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México.
- Montevecchi, W.A. y R.A. Myers 1995. *Prey harvests of seabirds reflect pelagic fish and squid abundance on multiple spatial and temporal scales*. *Marine Ecology Progress Series* 117:1-9.
- Navarro S., G. A. y D. H. Benitez 1993. Patrones de riqueza y endemismo de aves. Pp 45-54. En: O. Flores-Villela y S.G.A. Navarro (compiladores). *Biología y problemática de los vertebrados en México. Ciencias 7*.
- Ortiz-Pulido, R., H. Gómez de Silva G., F. González-García y A. Álvarez A. 1995. Avifauna del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana* 66:87-118.
- PEMEX 2001. Disposiciones en Materia de Seguridad Industrial y Protección Medio Ambiental que deben cumplir los proveedores o contratistas de Pemex Exploración y Producción (Anexo S). Dirección General de Pemex Exploración y Producción. Activo Cantarell. Documento Interno.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery: what have we learned? *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 28:56-78.
- Rappole, J. H. 1995. *The Ecology of Migrant Birds: a neotropical perspective*. Smithsonian Institution Press. EE.UU. 269 p.
- Ruelas I., E., S.W. Hoffman, L.J. Goodrich y R. Tingay 2000. Conservation Strategies for the World's Largest Known Raptor Migration Flyway: Veracruz the River of Raptors. Pp. 591-595. En: Chancellor, R.D. y B.U. Meyburg (eds.). *Raptor at Risk*. WWGBP/Hancock House. EE.UU.
- Ryer, R.A. y D.E. Manry 1994. White-faced Ibis (*Plegadis chihi*). En: A. Poole y F. Gill, (eds.). *The Birds of North America*. No. 130. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologist' Union. USA. 24 p.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México, D.F., México.

- Skyles, P.W., Jr., J.A. Rodgers, Jr., y R.E. Bennetts. 1995. Snail Kite (*Rostrhamus sociabilis*). En: A. Poole y F. Gill (eds.). *The Birds of North America*. No. 171. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologist' Union. EE.UU. 32 pp.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) 2000. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000, Protección ambiental-Especies de flora y fauna silvestres de México-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación* de 16 de octubre de 2000. P. 55
- Valenzuela O., R.R. 2001. La avifauna de Isla Verde, Veracruz, México. Tesis profesional. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 34 pp.
- Valenzuela O., R.R. y J.M. Vargas-Hernández 2000. Notas ecológicas de la avifauna de Isla Verde, Ver. México. XI Congreso Nacional de Oceanografía. México. Pp. 165.
- Velarde, E., M.S. Tordesillas, L. Vieyra y R. Esquivel 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the Gulf of California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 35:137-143.
- Velarde, E, J.E. Cartron, H. Drummond, D.W. Anderson, F. Rebón Gallardo, C. Rodríguez y E. Palacios. (en prensa a). Nesting seabirds of the Gulf of California's offshore islands: diversity, ecology and conservation. En: J. E. Cartron, G. Cevallos y R.S. Felger (eds.). *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern México*. Oxford University Press, New York.
- Velarde, E., E. Ezcurra, M.A. Cisneros-Mata y M.F. Lavín (en prensa b). Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications*.
- World Resources Institute 1994. *World Resources 1994-95*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Zalles, J.L. y K.L. Bildstein 2000. *Raptor Watch: a global directory of migration sites*. Bird Life International/Hawk Mountain. EE.UU. 419 pp.

ESTADO ACTUAL DE LOS RECURSOS MALACOLÓGICOS DEL GOFO DE MÉXICO

Erick Raúl Baqueiro Cárdenas

IMPORTANCIA

La producción de moluscos en México en 2001 fue de 135,204 ton, con un valor total de 724 millones de pesos (72 millones de dólares), correspondiente al 10.2% del volumen y 5.62% del valor de la producción pesquera nacional. El 50.8% del volumen y el 59.44% de este valor se produjeron en las costas del Atlántico, provenientes en su mayoría de pesca artesanal de rivera, con un total de 43,392 embarcaciones, de pescadores cooperativados u organizados e independientes (cuadro 1).

Las estadísticas pesqueras agrupan la producción de moluscos en seis grupos: abulón, almejas, calamar, caracol, ostión y pulpo; el abulón no se registra en las costas del Golfo de México y el Caribe.

Las 24 especies que componen estos recursos (cuadro 2) son explotadas por pescadores libres y organizados en cooperativas u otra forma de organización. A excepción de las cooperativas ostioneras que tienen la explotación de esta especie como actividad principal, para todos los otros grupos de pescadores la extracción de moluscos es una actividad secundaria, complementaria a la pesca de escama o a actividades agrícolas. La explotación de todas ellas es por métodos artesanales, empleando desde la recolección a mano, como en el caso del ostión en Laguna de Términos, y almejas de arrecife en Veracruz; tenazas, dragas y cucharas operadas desde cayucos y lanchas para la

CUADRO 1. ORGANIZACIONES SOCIALES PESQUERAS REGISTRADAS Y SU MEMBRESÍA, SEGÚN LITORAL Y ENTIDAD FEDERATIVA, 2000

LITORAL Y ENTIDAD	NÚMERO DE ORGANIZACIONES			NÚMERO DE MIEMBROS		
	TOTAL	COOPERATIVAS	OFOs	TOTAL	COOPERATIVAS	OFOs
Litoral del Golfo y Caribe	1641	737	904	48,060	27,454	20,606
Tamaulipas	133	104	29	5,986	5,176	810
Veracruz	600	166	434	16,294	6,053	10,241
Tabasco	326	179	147	12,216	8,053	4,163
Campeche	299	184	115	6,929	4,824	2,105
Yucatán	231	59	172	5,275	2,058	3,217
Quintana Roo	52	45	7	1,360	1,290	70

Fuente: Anuario estadístico de pesca 2001.

extracción de las almejas de laguna en Alvarado, Veracruz y Términos, Campeche; hasta buceo libre y autónomo con equipo Scuba y compresor para la extracción de almejas y hacha en Yucatán y Quintana Roo. El pulpo es explotado tanto por una flota artesanal compuesta por más de 10,000 lanchas en los estados de Campeche y Yucatán, como por una flota de mediana altura estimada en 600 embarcaciones para el estado de Yucatán. El calamar es producto de pesca incidental en los arrastres de camarón.

Para las costas del Golfo de México y el Caribe los diferentes grupos de bivalvos constituyen el 63% del volumen y el 7% del valor, el ostión da cuenta del 61% del volumen y 75% del valor (figura 1) (Anuarios estadísticos de Pesca 2001). De los seis estados de la costa atlántica mexicana el primer lugar en volumen lo ocupa el estado de Veracruz con el 30.8%, seguido por Yucatán con el 24.3%, mientras que el primer lugar en valor lo ocupa el estado de Yucatán con el 31%, seguido por Veracruz con el 30% (figura 2).

Las capturas de caracol se han incrementado en los últimos 10 años de poco más de 3,182 ton en 1989 a 7,362 ton en 1999, con un significativo cambio en la importancia de aportación por estado, destacándose la importancia actual del estado de Campeche, que del 2% en 1980 (Baquero 1999) pasó a producir más del 66% en 2001.

CUADRO 2. GASTERÓPODOS, BIVALVOS Y CEFALÓPODOS COMERCIALES ACTUALES Y POTENCIALES DE LA SONDA DE CAMPECHE. E) EN PELIGRO DE EXTINCIÓN COMERCIAL; C) COMERCIAL; P) POTENCIAL; +) POSIBLE CANDIDATO A CULTIVO; ++) CON POTENCIAL DE ACUACULTURA; +++) BIOTECNOLOGIA BIEN CONOCIDA

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	POTENCIAL PESQUERO	POTENCIAL ACUÍCOLA
Gasterópodos			
<i>Busycon carica</i>	Sacabocados o lix	C	+
<i>Turbinella angulata</i>	Caracol negro o tomburro	C	+
<i>Pleuroploca gigantea</i>	Trompeta maya o Chacpel	E	+
<i>Strombus costatus</i>	Lanceta	E	+
<i>Strombus pugilis</i>	Chivita	P	++
<i>Fasciolaria lilium</i>	Campechana	C	+
<i>Fasciolaria tulipa</i>	Campechana	C	+
Bivalvos			
<i>Melongena corona</i>	Molón	P	++
<i>Melongena corona bispinosa</i>	Moloncito	P	++
<i>Codakia orbicularis</i>	Almeja rayada o blanca	P	+
<i>Anadara transversa</i>	Arca transversa	P	+
<i>Atrina rigida</i>	Hacha	C	
<i>Argopecten irradians concentricus</i>	Almeja abanico	P	+++
<i>Geukensia demissa</i>	Mejillón amarillo	P	++
<i>Modiolus americanus</i>	Mejillón	P	+
<i>Mercenaria campechiensis</i>	Concha	P	+++
<i>Chione cancellata</i>	Almeja china	P	+++
<i>Rangia cuneata</i>	Almeja gallito	C	+++
<i>Rangia flexuosa</i>	Almeja chira	P	+
<i>Polymesoda carolineana</i>	Almeja negra	P	+
<i>Crassostrea virginica</i>	Ostión	C	+++
Gasterópodos			
<i>Octopus vulgaris</i>	Pulpo	C	++
<i>Octopus maya</i>	Pulpo	C	+++
<i>Loligo spp.</i>	Calamar	C	

FIGURA 1. PORCENTAJE DE LA PRODUCCIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE MOLUSCOS.

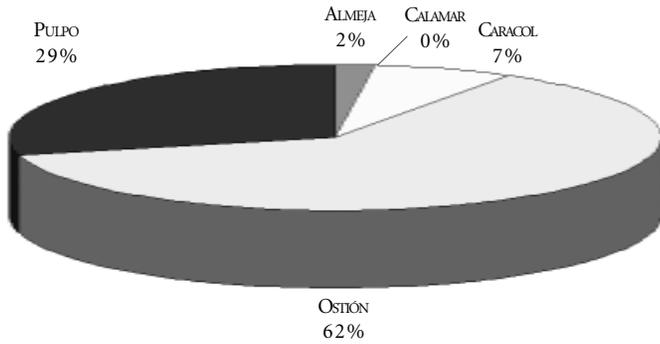
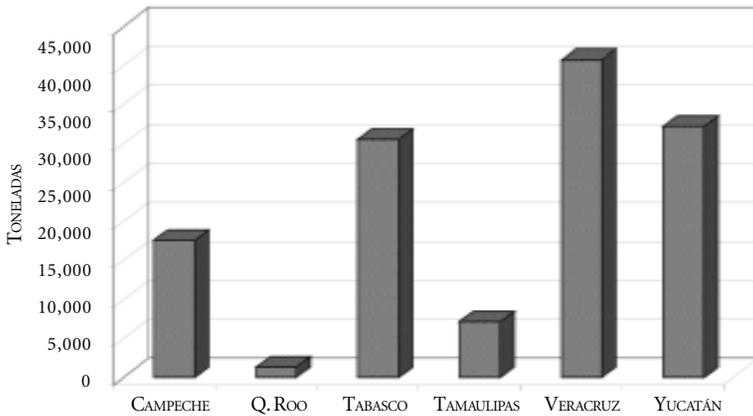


FIGURA 2. PRODUCCIÓN MEDIA DE MOLUSCOS EN LOS SEIS ESTADOS DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO MEXICANO



BIOLOGÍA

RANGIA CUNEATA (ALMEJA GALLITO), *R. FLEXUOSA*, (ALMEJA CASCO), *POLIMESODA CAROLINEANA*, (ALMEJA NEGRA)

R. cuneata es una especie estuarina que habita en rangos de 0 a 25%, tolerando una salinidad de hasta 32 % con un rango óptimo de 5 a 15 %, siendo este el mismo rango necesario para la eclosión y sobrevivencia de sus larvas, que alcanzan la metamorfosis de 6 a 7 días. Los adultos pueden vivir hasta 20 años en rangos de salinidad demasiado altos o bajos para la reproducción (Hopkins *et al.* 1973). Su distribución está dada de Bahía de Chesapeake, en la costa este de los Estados Unidos de América, hasta Texas (Abbott 1974), y se extiende hasta la laguna de Términos, abarcando todo el Golfo de México. Habita en fondos limosos con alto contenido de materia orgánica. Es el componente ecológico del bentos más importante en este rango de salinidad, como aprovechador de detritos y fitoplancton y su integración a la cadena trófica (Hopkins *et al.* 1974). En las lagunas mexicanas se le encuentra asociada con *R. flexuosa* y *Polimesoda carolineana*, habiendo detectado una proporción normal del 72% de *R. cuneata* contra 23% de *R. flexuosa* y sólo el 4% de *P. carolineana*, la cual es alterada por la presión pesquera hasta un 31% de *R. cuneata* contra 45% de *R. flexuosa* y 23% de *Polimesoda* (Baqueiro y Medina 1988).

Es una especie dioica, con el 0.1% de incidencia de hermafroditas, presenta actividad gonádica durante todo el año, con desove constante con máximos entre febrero y junio y en agosto-septiembre en la laguna de Pom y Atasta (Rogers y Garcia-Cubas 1981b), mientras que para las aguas de los Estados Unidos de América se ha registrado actividad gonádica sólo seis meses del año y el desove limitado a intervalos bien definidos por cambios en salinidad y temperatura (Cain, 1972 en Hopkins *et al.* 1974b).

Las poblaciones rara vez están compuestas por cohortes de diferentes años, siendo más comunes las poblaciones compuestas de una o dos clases de edad. En Pon y Atasta, Rogers y Garcia-Cubas (1981b) reportan dos clases de edad, mientras que Baqueiro y Medina (1988) informan para la laguna del Pom la presencia de tres grupos de cohortes, uno dominante de más de 3 años de edad y dos de reclutas de 1 y 2 años, respectivamente; para Atasta la población está compuesta por tres grupos de cohortes de 3 a 5 años de edad. Es evidente la disminución en edad máxima alcanzada por las poblaciones de las lagunas mexicanas debido a la alta presión pesquera, estan-

do muy por debajo de los 25 años de edad máxima registrada para algunas localidades de los E.U.A.

Asaphis deflorata (Almeja blanca de arrecife), *Codakia orvicularis* (Almeja Blanca), *Mercenaria campechiensis* (Concha), *Chione cancellata* (Almeja roñosa), *Geukensia demissa* (Mejillón amarillo)

Geukensia demissa es una especie de la provincia del Caribe, con distribución desde Florida y la Península de Yucatán hasta Venezuela. Habita en estrecha asociación con *Rizophora mangle*, en limo fino con alto contenido de materia orgánica, entre las raíces en la zona intermareal.

Asaphis dephlorata habita en asociación con los arrecifes coralinos, en la laguna interior de éstos, en fondos de limo con alto contenido de carbonatos y fragmentos de concha y coral. *Codachia orvicularis* se encuentra en asociación a los bancos de *Thalassia* en fondos de limo fino con alto contenido de materia orgánica. *M. campechiensis* y *Ch. cancellata* se pueden encontrar, en asociación o no con *Thalassia* en fondos de arena y concha, desde la zona intermareal hasta los 36 m de profundidad. Todas éstas son especies marinas tropicales con un limitado rango de tolerancia de salinidad y baja temperatura (Sunderlin *et al.* 1975, Menzel 1986), aunque todas ellas soportan exposiciones relativamente prolongadas a la desecación.

Son especies dioicas con sexos separados y fecundación externa con un periodo de vida larvario de 4 a 6 días. Se fijan de preferencia en localidades con las características necesarias para la sobrevivencia del adulto, pero de no encontrar áreas adecuadas, se fijarán en cualquier tipo de sustrato. Baqueiro (1991 y 1988) determina patrones de reproducción para poblaciones de moluscos que habitan en condiciones ambientales similares a lo largo de las costas de México, teniendo así poblaciones de especies similares que viven bajo condiciones ambientales diferentes, con patrones reproductivos diferentes. Hay poblaciones de reproducción continua con un pico anual, poblaciones de reproducción continua con dos o mas picos anuales y poblaciones con reproducción limitada a un periodo bien definido.

De los análisis de los ciclos reproductores que se han realizado en México para *Mercenaria campechiensis*, *Chione cancellata* y *Geukensia demissa* (Baqueiro y Castillo 1987 y Baqueiro *et al.* 1993) se encuentra que las tres poblaciones estudiadas en la misma localidad presentan el segundo caso, reproducción continua con dos periodos de máximo desove: enero-marzo

y agosto-septiembre.

Para *M. campechiensis* se ha registrado un crecimiento de 25.5 mm en 6.5 meses en condiciones de cultivo y de 13 meses en medio natural (Sunderlin *et al.* 1975). Baqueiro *et al.* (1987) determinaron las curvas de crecimiento para *M. campechiensis* y *Chione cancellata* en bancos naturales no sujetos a explotación en las costas de Campeche:

Mercenaria campechiensis

$$Lt = 127.7(1-e^{-0.1165(t+0.168)})$$

Chione cancellata

$$Lt = 36.38 (1-e^{-0.1392 (t+0.0049)})$$

Para estas especies se ha registrado una densidad media de 2.2 y 66.72, con una máxima de 8.15 y 148, mínima de 0.24 y 6.2 para *M. campechiensis* y *C. cancellata*, respectivamente. Se llegan a obtener densidades bajo condiciones de cultivo de hasta 50 organismos por metro cuadrado para *Mercenaria* (Menzel *et al.* 1975). Bosada *et al.* (1987) encuentran que en la Laguna del Ostión, en Veracruz, *M. campechiensis* alcanza la talla comercial de 47 mm en 3.8 años (cálculo a partir de la ecuación de Von Bertalanfy, muy similar a lo reportado por Baqueiro *et al.* 1987).

La sobrevivencia registrada para *M. campechiensis* en experimentos de cultivo en medio natural va de un 72.5 % a un 0.7 % para individuos desde 12 mm hasta talla comercial (Sunderlin *et al.* 1975), mientras que para los bancos naturales se registró una mortalidad media anual de 0.44 para *M. campechiensis* y de 0.46 para *Chione* (Baqueiro *et al.* 1987).

G. demissa es una especie poco estudiada, y se cuenta sólo con la información de Baqueiro *et al.* (1993), que determinan la ecuación de crecimiento para la población de la localidad de Isla Arenas, Campeche:

$$It = 146.31(1-e^{-0.0198 (t+25.36)})$$

Esto permite obtener la talla mínima de explotación de 47 mm en 6 meses, con una densidad media de 330 organismos por metro cuadrado y una mortalidad media anual de 0.068.

ATRINA RIGIDA (CALLO DE HACHA)

Su distribución va de Carolina del Norte al Caribe y el Golfo de México; se puede encontrar asociada a los bancos de *Mercenaria* y *Chione*. Es una especie marina que habita desde el nivel mínimo de mareas hasta 25 m de pro-

fundidad en fondos de limo-arenoso, a seibadales de arena-*Thalassia* (Abbot *op. cit.*). Se le encuentra formando bancos con densidades medias de .3 a 5.5 organismos por 10 metros cuadrados (Baqueiro *et al.* 1987). Algunos bancos llegan a presentar densidades de hasta 20 por metro cuadrado de juveniles y entre 47 y 56 mm de largo y de 4 por metro para adultos (Baqueiro y Medina 1993).

Es una especie dioica, que presenta su primer reproducción cuando alcanza los 110 mm de largo. La actividad gametogénica se presenta con mayor intensidad en los meses de abril a julio, con dos periodos de desove en mayo y septiembre (Baqueiro y Medina *op. cit.*). Las poblaciones en las costas de Campeche están compuestas por mas de 5 grupos de edad, siendo los grupos dominantes de 1 a 3 años.

El autor ha recomendado una talla mínima de pesca de 83 mm de ancho equivalente a 155 mm de largo, correspondiente a organismos de 3 años de edad.

STROMBUS COSTATUS (CARACOL LANCETA O BLANCO), *STROMBUS PUGILIS*, *S. ALATUS*, *S. RANINUS* Y *S. GALLUS* (CARACOL LANCETA O CHIVITA).

Estas especies se distribuyen de Florida a Venezuela, provincia del Caribe. En México se les localiza de Veracruz a Quintana Roo y habitan en fondos de arena y arena-limo, en seibadales de *Thalassia* y algas. Durante su reproducción se congrega en fondos de arena con poca vegetación y algas filamentosas de la zona intermareal a 10 m de profundidad (Bandel 1976).

Su reproducción es cruzada, sin dimorfismo sexual aparente, detectable sólo por la presencia de pene en los machos. La masa ovígera es típica del genero *Strombus*, que consiste de un cordón de huevos que va sementando arena conforme es depositado, formando una madeja oval de 5 cm de diámetro por 10 cm de largo. El desarrollo embrionario en la cápsula ovígera es individual con una duración de 12 a 16 días, dependiendo de la temperatura. Eclosiona en forma de larva Véliger, la cual dura en su fase planctónica de 15 a 20 días dependiendo de la temperatura y disponibilidad de alimento (D'Asaro *et al.* 1970, Cruz 1984.). Al alcanzar la talla de 600 micras y su total desarrollo de Pedivéliger, se inicia la metamorfosis, prefieren algas rodofitas, aunque no son especialmente selectivas. Las etapas juveniles se localizan generalmente en playas protegidas con fondo de arena y seibadales mixtos de *Thalassia* y algas. Conforme va creciendo el grupo poblacional migran hacia aguas más profundas, dispersándose gra-

dualmente.

MELONGENA MELONGENA, *M. CORONA*, *M. CORONA* (BIESPINOSA CHIVITA,
CARACOL NEGRO O MOLÓN)

Se distribuyen de Florida a la Península de Yucatán y el Caribe. Habitan en fondos de limo y areno-limoso, manglares y seibadales de *Thalassia* y macroalgas en la zona intermareal.

Son gasterópodo, prosobránquios con sexos separados y fecundación interna, no hay dimorfismo sexual exterior, a excepción del pene en los machos. Su puesta en forma de cordón con cápsulas ovígeras córneas en forma de moneda (Abbott 1974). El desarrollo embrionario en la cápsula ovígera es individual con una duración de 12 a 16 días, dependiendo de la temperatura. Eclosiona en forma de larva Véliger, la cual dura en su fase planctónica de 15 a 20 días, dependiendo de la temperatura y la disponibilidad de alimento.

Al alcanzar la talla de 600 micras y su total desarrollo de Pedivéliger, se inicia la metamorfosis, seleccionando fondos con abundancia de gusanos anélidos o bivalvos, como bancos de ostión. Permanecen la localidad mientras dura el alimento y se desplazan sólo para la búsqueda de alimento adecuado a su tamaño, seleccionando un mayor tamaño de presa conforme va creciendo. Puede realizar su maduración completa en una misma localidad.

La talla comercial es de 8 a 10 cm; sin embargo, en Celestún, Yucatán, se explotan juveniles de 4 a 6 cm en los manglares por la creencia de que se trata de otra especie.

BUSYCON CARICA, *B. CANDELABRUM*, *B. COARCTATUM*, *B. CONTRARIUM*, *B. PERVERSUM*,
B. CANALICULATUM, *B. SPIRATUM* (SACABOCADOS). *FASCIOLARIA TULIPA* Y *F. LILIUM*
(TROMPILLO O CAMPECHANA). *PLEUROPLOCA GIGANTEA* ROJO, *CHARONIA VARIEGATA*,
XANCUS ANGULATUS (NEGRO)

Estas especies son componentes de las provincias del Caribe y Luisiana, su área de distribución abarca todo el Golfo de México y el Caribe. Habitan en fondos desde cantos rodados hasta limos, donde exista cualquier otro tipo de molusco, bivalvo o gasterópodo, que componen su dieta. *Pleuroploca*, *Charonia* y *Xancus*, por ser los de mayor tamaño, suelen preñar de las otras especies menores de *Busycon*, *Fasciolaria*, *Strombus* y *Melongena*.

La reproducción es cruzada, los sexos separados, la fecundación interna, y

hay presencia en todos ellos de un espermátforo con forma específica. La puesta también presenta características específicas; *Busycon* y *Pleuroploca* presentan cápsulas ovígeras en forma de moneda con ornamentaciones en los bordes diferentes para cada especie, con un diámetro de 2 a 3 cm para *Busycon* y de hasta 7 cm para *Pleuroploca* y *Xancus*. Las cápsulas de *Fasciolaria* son individuales, colocadas en grupos que dan la apariencia de superficies rizadas, con características que permiten identificar la especie. El ciclo larvario se realiza íntegramente dentro de la cápsula ovígera, emergiendo el juvenil con la concha aún sin las características del adulto, las cuales adquiere al formarse la primer espiral en vida libre. Al igual que en otros gasterópodos carnívoros, de existir alimento suficiente permanecen en el mismo lugar durante todo su ciclo; pero como éste se agota rápidamente dada la preferencia por tamaños según va creciendo el caracol, realizan movimientos constantes.

No hay reportes sobre los periodos de reproducción de estas especies en aguas mexicanas. Para algunas especies de *Busycon* de las aguas del Atlántico de los Estados Unidos de América se ha reportado de marzo a Junio (Castagna y Krauter 1994). La presencia de puestas en las costas de Campeche a Yucatán se ha podido detectar durante todo el año, con mayor frecuencia de marzo a septiembre, mientras que Bandel (1976) informa la presencia de cápsulas ovígeras de diversas especies en el Caribe de diciembre a febrero.

LAS PESQUERÍAS

PESQUERÍAS DE CARACOL

Al analizar las estadísticas de producción pesquera, el grupo de caracoles es manejado como si se tratara de una sola especie a lo largo del litoral mexicano. Se trata de numerosas especies de gasterópodos de cuatro provincias ecológicas. Por el Atlántico la componen las provincias Carolineana y Caribeana. La primera abarca el Golfo de México y la segunda el norte de la Península de Yucatán y costa de Quintana Roo, con una zona de transición que va desde Veracruz hasta el norte de Yucatán.

HISTORIA DE LA PESQUERÍA

El caracol reina *Strombus gigas* constituye una pesquería bien diferenciada de molusco, aunque sólo representó el 26% de la captura de caracol de la región (De la Torre 1984). Es la especie objetivo en las costas del norte de Yucatán y

Quintana Roo. Hasta los años 50 sólo era explotada para consumo local, encontrándose registros de su captura únicamente a partir de esas fechas, cuando, Cozumel e Isla Mujeres son abiertas al turismo. En los años 60 se inició la exportación hacia los Estados Unidos, convirtiéndose pronto en el principal mercado y dejando poco para el consumo local. Con la creación de Cancún se incrementó el esfuerzo pesquero, lo que originó una caída de la producción a su mínimo en 1978, dos años después de haber alcanzado su máximo, en 1976, con 350 ton de pulpa.

CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOTACIÓN

Especies como *Melongena* spp. *Strombus pugilis* y *Fasiolaria* spp. son explotadas durante la bajamar en playas y lagunas costeras. *Purpura pansa* es recolectada en playas rocosas. La mayoría de los muríxidos en las costas del Pacífico son capturados con nasas con carnada. Todas las otras especies son capturadas por buceo libre, Scuba o con compresor.

El Golfo de México constituye la fuente principal de ingresos para pescadores jóvenes, que en grupos de 5 ó 6 por lancha, practican buceo libre. En las costas de Quintana Roo son los pescadores de langosta quienes realizan las capturas de caracol.

En Quintana Roo el número de pescadores registrados hasta 1980 era de 325, e incrementó a 850 en 1983, a pesar de una clara correlación entre las capturas y el esfuerzo que mostraba una captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de 1 ton por pescador al año en 1976, la cual cayó a 200 kg en 1988 y con una tendencia a la baja desde entonces (Polanco *et al.* 1988, Quijano 1988). Esta tendencia se ve reflejada a nivel nacional hasta el año de 1991, ya que para 1992 el incremento en la producción en otros estados, como Campeche, aumentaron las capturas a más de 9,000 ton, para posteriormente declinar.

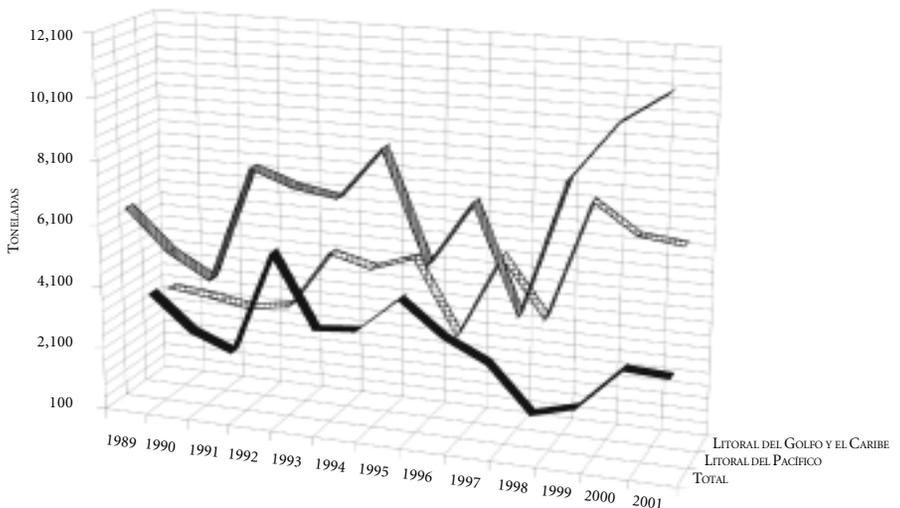
Para el estado de Campeche, Baqueiro *et al.* (1997) determinaron un esfuerzo óptimo de 18,063 viajes al año, con una captura media por viaje de 36 kg y un promedio de 3 buzos por lancha, lo cual garantiza a los pescadores un ingreso de 2 a 3 salarios mínimos por viaje.

COMPOSICIÓN ESPECÍFICA Y VOLUMENES

Los caracoles constituyen un recurso alternativo para los pescadores artesanales, y de subsistencia para los grupos costeros más pobres, convirtiéndose en especies de interés cuando otras especies escasean. Las capturas

nacionales han alcanzado más de 6,400 ton al año, y han ido ganando un mercado con mejores precios día a día, dando como resultado un incremento en el valor de la producción a pesar de la disminución en la captura (figura 3).

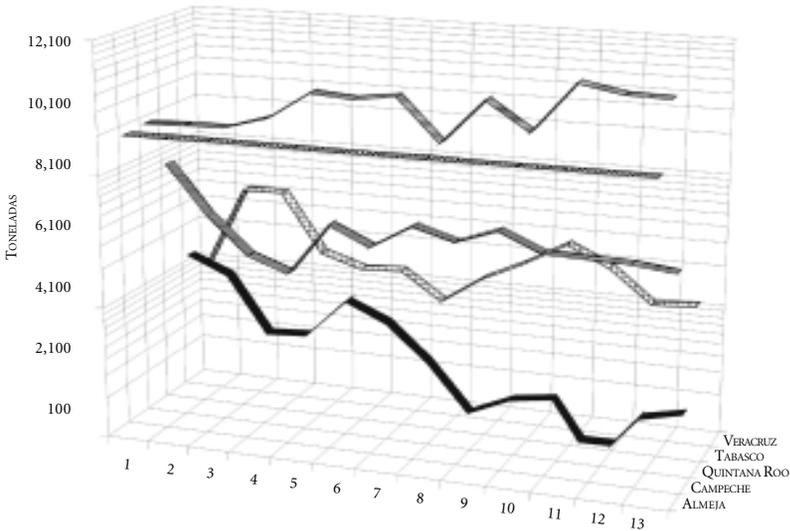
FIGURA 3. VARIACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CARACOLES POR LITORALES EN LA REPÚBLICA MEXICANA



Como se mencionó, sólo el 26% de la producción en el estado de Quintana Roo la constituye *S. gigas*, 70% por *S. costatus* y el 6% restante especies varias, entre las que dominan *Turbinbella angulata* y *Busycon carica* (De La Torre 1984).

Para el resto del Golfo de México, las capturas son multiespecíficas, con predominio de varias especies de *Busycon* en los estados de Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, y *Strombus costatus* en Yucatán y Campeche. La producción en Yucatán ha caído a tal nivel que ha sido necesaria una veda permanente a partir de 1989. Para Campeche, Baqueiro *et al.* (1997) determinaron una

FIGURA 4. VARIACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CARACOL POR ESTADOS DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO



captura sostenible de 750 ton al año, volumen alcanzado desde 1984 y fuertemente excedido en 1999, cuando se extrajeron 6,850 toneladas; a partir de entonces ha decaído gradualmente (figura 4).

MECANISMOS DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN

La captura de caracol está abierta a todos los pescadores, aunque en Quintana Roo sólo se otorgan permisos a cooperativas. El número total de permisos otorgados para la explotación de caracol es reducido en comparación con el número de pescadores y botes que se dedican a esta actividad. La regulación para el manejo de las diferentes pesquerías es definida localmente con base en evaluaciones de las existencias y estudios biológico poblacionales. Las medidas de manejo más frecuentemente empleadas son tallas mínimas, periodos de captura y cuotas.

ANTECEDENTES DE REGULACIÓN

En el año de 1988, por acuerdo del 22 de julio, se publica en el *Diario Oficial de la Federación* el 25 del mismo mes el acuerdo de veda permanente para los “caracoles blanco (*Strombus gigas*), lanceta (*Strombus costatus*), tomburro (*Xancus sp.*) y chactel (*Pleuroploca gigantea*) en aguas de la jurisdicción federal del litoral del estado de Yucatán”.

Por acuerdo del 15 de junio de 1990 se publica en el *Diario Oficial de la Federación* del 22 del mismo mes una regulación que “establece veda para la pesca de las especies de caracol blanco (*Strombus gigas*), caracol lanceta (*Strombus costatus*), caracol tomburro (*Xancus sp.*), caracol chirita (*Busycon sp.*) y caracol chactel (*Pleuroploca gigantea*) en aguas de jurisdicción federal del estado de Quintana Roo para proteger a estas especies durante la temporada de mayor actividad reproducción biológica que comprende de mayo a octubre de cada año”.

En el *Diario Oficial de la Federación* del lunes 18 de octubre de 1993 se publica el establecimiento de veda total por tiempo indefinido de los caracoles blanco (*Strombus gigas*), lanceta (*Strombus costatus*), tomburro (*Xancus sp.*) y chactel (*Pleuroploca gigantea*) en aguas de jurisdicción federal del litoral del estado de Yucatán

El 21 de abril de 1995 se publica la Norma Oficial NOM-013-1994 para el aprovechamiento de las especies de caracol en aguas de jurisdicción federal de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, en la que se determina como reglamentaria la extracción por buceo autónomo y semiautónomo, y se fijan las tallas mínimas: caracol reina o rosa (*Strombus gigas*) de 20 cm; caracol blanco o lanceta (*Strombus costatus*) de 18 cm; caracol trompillo (*Busycon contrarium*) de 22 cm y caracol chactel (*Pleuroploca gigantea*) de 30 cm. En esta misma norma se especifica que las tallas de otras especies serán fijadas con base en los estudios que se realicen y que las cuotas se fijarán de acuerdo con estudios que realice la Semarnap (cuadros 3 y 4).

CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los estudios realizados en Yucatán (Velez *et al.* 1994, Pérez y Cervera 1995) y en Campeche (Baqueiro *et al.* 1994, Baquerio *et al.* 1996) así como del análisis de la información antes presentada, se sugiere una revisión de la normatividad para que se ajuste a las especies y condiciones por estado y en regiones por estado.

Con base en las capturas y esfuerzos de las principales oficinas de pesca en

CUADRO 3. PERIODOS DE VEDA PARA GASTERÓPODOS, BIVALVOS Y PULPO EN EL LITORAL DEL ATLÁNTICO MEXICANO

			INICIO	TÉRMINO
CARACOLES				
Caracol blanco	<i>Strombus gigas</i>	Quintana Roo	01-may-	31-oct*
Caracol chactel	<i>Pleuroploca gigantea</i>		D.O.F.	D.O.F.
Caracol chirita	<i>Busycom</i> sp.		16-mzo-94	16-mzo-94
Caracol lanceta	<i>Strombus costaus</i>			
Caracol tomburro	<i>Xancus</i> sp.			
Ostión				
	<i>Crassostrea virginica</i>	Tabasco	15-sept-	30-oct-
			D.O.F.	D.O.F.
			14-sept-00	14-sept-00
Pulpo				
	<i>Octopus maya</i>	Campeche, Yucatán y Quintana Roo	16-dic	31-jul*
	<i>Octopus vulgaris</i>		D.O.F.	D.O.F.
			16-mzo-94	16-mzo-94

CUADRO 4. TALLAS MÍNIMAS DE LAS ESPECIES DE GASTERÓPODOS COMERCIALES DEL ATLÁNTICO MEXICANO

TALLA MÍNIMA (MM)	
<i>Busycon carica</i>	243
<i>Turbinella angulata</i>	205
<i>Fasciolaria tulipa</i>	139
<i>Pleuroploca gigantea</i>	370
<i>Melongena melongena</i>	104
<i>Melongena corona</i>	50
<i>Strombus costatus</i>	186
<i>Strombus pugilis</i>	78

el estado, Baqueiro *et al.* (1994) determinan una captura máxima entre 1,012,240 y 349,425 toneladas con un esfuerzo entre 13,895 y 24,633 viajes, lo que da una captura por unidad de esfuerzo (viajes por lancha) entre 145.2 y 79.27 kg por viaje para el estado de Campeche.

ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

A pesar de la importancia local y regional que tienen estos recursos, no existe ninguna medida de manejo tendiente a mejorar sus hábitat, a excepción de los parques marinos de los arrecifes de Veracruz, Cozumel y la reserva de la biosfera en Quintana Roo, donde su captura debiera estar prohibida, aunque al no existir vigilancia adecuada inclusive estas áreas son explotadas.

ACUACULTURA

Dada la drástica caída en las existencias del caracol rosa, *S. gigas*, en Quintana Roo, se implementó en 1984, en colaboración con el Gobierno del Estado y la Secretaría de Pesca, un programa de cultivo para la producción de juveniles para la repoblación de bancos (Cruz 1986, Baqueiro 1991). Sin embargo, considerando por una parte el alto costo de la conservación de los juveniles hasta tallas que garanticen baja mortalidad y por otra el bajo impacto en las poblaciones naturales (Berg 1976, Chanley 1982, Orr 1983), el programa se suspendió en 1986.

PESQUERÍAS DE ALMEJA

Al igual que en otras pesquerías de moluscos, las estadísticas oficiales no diferencian entre especies, aún cuando se trate de especies de agua dulce, estuarina o marina, habiéndose registrado 59 especies componentes de las cuatro provincias ecológicas de las costas del país. Aunque se trata de un recurso que puede alcanzar altos valores en el mercado nacional y con demanda en el mercado internacional, sus pesquerías no se han desarrollado igual en todos los estados litorales del país. Se explotan principalmente en Baja California Sur, mientras que en los otros estados su captura es mínima, cotizándose las especies del Golfo de México muy por abajo de las especies del Pacífico.

Historia de la pesquería

En el Golfo de México la única especie que se ha explotado desde los años 50 es la almeja gallito (*Rangia cuneata*), durante muchos años la única que podía conseguirse en la ciudad de México. Su producción en Campeche se incrementó gradualmente a partir de 1970, cuando se produjeron 400 toneladas, mientras que en las lagunas de Tamiahua y Alvarado, a partir de 1987, ha disminuido de 1,600 a 800 ton.

Para los años 70 se inició la explotación de almejas de arrecife en Veracruz y en 1991 la explotación comercial de almeja marina en Quintana Roo. Aunque en Campeche y Yucatán se han explotado esporádicamente algunas especies de almejas para consumo local y comercio en la ciudad de Mérida, no existe una explotación regular y son aún numerosos los bancos vírgenes (Baquero 1992). Por otra parte existe una alta demanda de callo de hacha tanto para consumo local como para el comercio en el interior del país; este recurso es poco abundante pero de amplia distribución, lo que mantiene una fuerte presión sobre los bancos.

Características de la explotación

Rangia cuneata es la especie objetivo de la pesquería de laguna del Golfo de México, mientras que *R. flexuosa* y *P. carolineana* son incidentales, la primera por su menor talla y la segunda por su baja densidad. Son extraídas con red de cuchara que consta de un rectángulo de metal de 50 x 20 cm, con bolso de paño de red de luz de 1.5 cm, fijo a una vara de 3 a 5 m de largo. La cuchara es enterrada en el fondo de 10 a 15 cm, y con el mango fijo a la lancha es remolcada durante unos minutos por una de las bandas de botes de madera o fibra de vidrio con motor fuera de borda. El contenido es enjuagado en la misma cuchara y seleccionado a bordo, separando almejas pequeñas y conchas. Su explotación en México se ha registrado desde Laguna Madre en Tamaulipas, hasta laguna de Términos en Campeche, aunque actualmente sólo se observan capturas comerciales en la laguna de Alvarado, Veracruz y lagunas de Pom y Atasta en Campeche.

Las almejas de arrecife (*Asaphis deflorata* y *Codakia orvicularis*) son extraídas durante la bajamar empleando palas y rastrillos de jardinería. *Mercenaria campechiensis* y *Chione cancellata* son extraídas también durante la bajamar, recogiénose manualmente de la superficie, siendo detectadas con el pie descalzo. En el norte de Yucatán y Quintana Roo se emplea buceo libre para la extracción entre 2 y 3 m de profundidad.

Todas las otras especies de Venéridos que constituyen este recurso, se

extraen por buceo Scuba o compresor, detectándolas por el sifón o por la arena que arrojan al retraerse este dentro de la concha al ir el buzo probando el fondo con una horquilla. La extracción por buceo libre es sólo una actividad deportiva.

Geukensia demissa se comercializa sin concha, de la que se extraen las partes blandas por cocción, actividad que se realiza en la localidad de captura. Su explotación se realiza manualmente durante la bajamar. Su precio en playa es de \$10 a \$12 por kg, se envasa en latas de 20 kg, y se transporta enfriada con hielo. Su consumo es local y en restaurantes de las ciudades de Mérida y Cancún.

Los mismos botes y tripulación son empleados para la extracción de caracol así como en la explotación de almeja, hachas y pectínidos.

Composición específica y volúmenes

La producción de almejas a nivel nacional está dominada por las costas del Pacífico, en particular por los estados de Baja California y Baja California Sur (figura 5). En el Golfo de México y el Caribe la captura es muy irregular y Veracruz es el estado con la producción más estable. En Campeche alcanzó

FIGURA 5. VARIACION NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE ALMEJA POR LITORALES

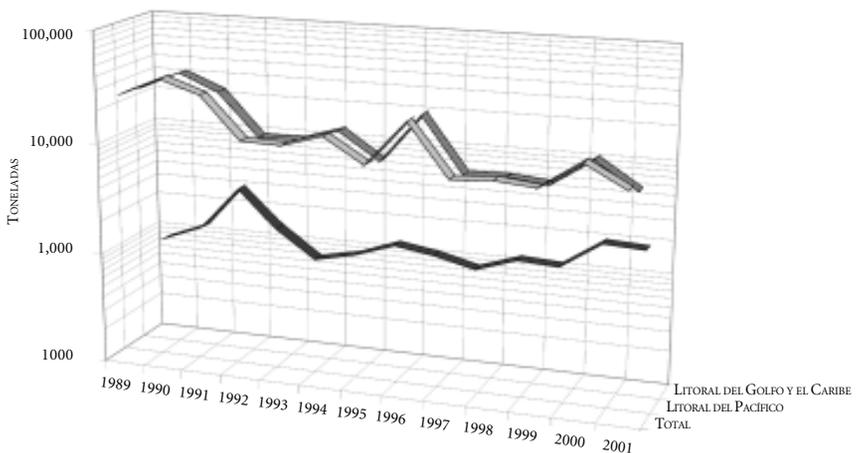
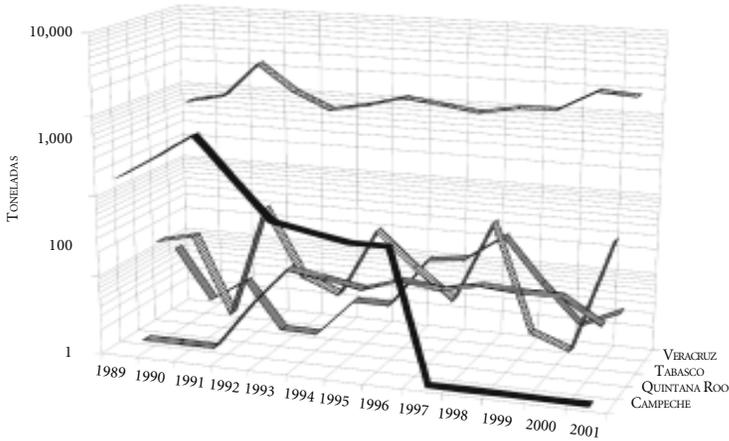


FIGURA 6. PRODUCCIÓN DE ALMEJA POR LOS ESTADOS DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO



su valor máximo en el año de 1990, decayendo hasta 1996 cuando dejó de explotarse o registrarse la producción, por ser insignificante. Tabasco presenta fuertes fluctuaciones anuales, pero siempre dentro del mismo rango, mientras que Tamaulipas y Quintana Roo han presentado una producción baja pero constante a partir de 1995 (figura 6).

MECANISMOS DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN

La explotación de *Rangia cuneata* se realiza mediante cuotas que son establecidas previa evaluación de los bancos, con registros continuos de captura sólo para las lagunas de Pom y Atasta, en donde desde 1981 existe una cuota de 2,000 ton repartidas entre cuatro cooperativas pesqueras con un total de 310 socios registrados. Baqueiro y Medina (1988) determinaron existencias explotables de *R. cuneata* de 163 ton para ambas lagunas pero sólo de cinco para Pom, donde se realiza la mayor actividad. Estos mismos autores recomiendan la explotación simultánea de las tres especies, en particular de *R. flexuosa* en las dos lagunas, con lo que se atenuaría la competencia interespecífica en beneficio de la especie objeto y se podría llegar a producir hasta 193 ton de captura mixta.

Para el Golfo de México y el Caribe la única reglamentación para la

explotación de estas especies es el requerimiento de evaluación previa de las existencias y el dictamen del potencial o cuota permitida. Sin embargo, son contadas las evaluaciones que se han realizado de estos recursos. Entre las especies estudiadas se encuentran *Codakia orvicularis* (Castillo 1985), *Mercenaria campechiensis* y *Chione cancellata* (Baquerio *et al.* 1997), *Geukensia demissa* (Baquerio *et al.* 1993), *Atrina rigida* en costas de Campeche (Baquerio *et al.* 1988) y *Rangia cuneata* en Veracruz (Echevarría *et al.* 1995).

ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

ACUACULTURA

El cultivo de bivalvos en México se remonta a principios del siglo cuando se cultivaba la madre perla *Pinctada mazatlanica* (Baqueiro y Castagna 1988). Fue hasta mediados de los años 70 cuando se creó la dirección de acuacultura que prestó atención oficial a los recursos con potencial en acuacultura, habiendo existido sólo algunos esfuerzos previos para el desarrollo de la acuacultura del ostión en 1954 (Ramírez y Sevilla 1965).

Conchas

Las conchas constituyen un grupo dentro de las estadísticas pesqueras, con un promedio anual de 1,000 ton y un valor de más de 300 millones de pesos, por lo que contribuyen significativamente al volumen de exportación. Los principales productores de conchas son Baja California Sur y Baja California.

Las conchas de exportación son, principalmente, la concha nácar provenientes de almejas de agua dulce del Golfo, y que se usan para la fabricación de cremas, concha de almeja para botones y las conchas de abulón y madreperla para joyería. Es importante también la exportación de conchas de caracoles y pectínidos para ornato, tanto conchas individuales como artículos elaborados.

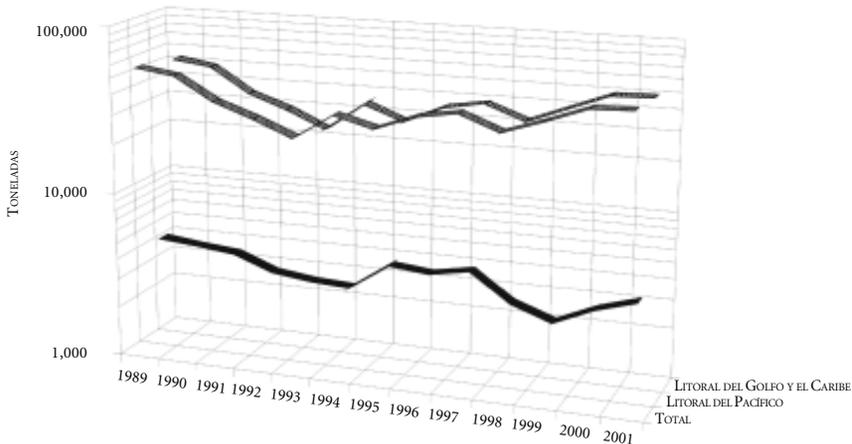
En el país se emplean como complemento en alimentos para aves, como material de construcción, artesanías y joyería (Baqueiro 1990).

Pesquería de ostión

Desde 1989, cuando la producción de ostión en México alcanzó su máximo histórico con 59,600 toneladas, la producción se ha desplomado hasta 25,800

toneladas en 1993, con un ligero incremento en los últimos años. Históricamente los estados del Golfo de México han soportado del 88 al 92% del

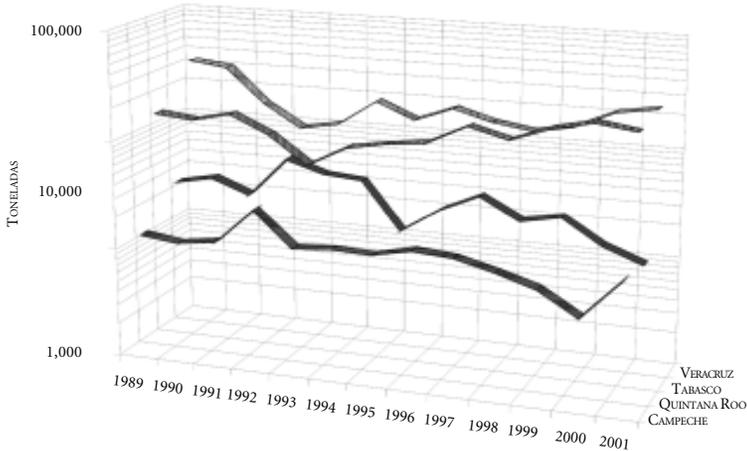
FIGURA 7. PRODUCCIÓN NACIONAL DE OSTIÓN POR LITORAL



volumen de producción nacional; sin embargo, en valor esto ha representado no más del 65% del valor de la producción, debido al alto valor que alcanza la producción ostrícola del Pacífico, la cual proviene de prácticas de acuicultura, que correspondió a sólo el 6.7% en 1997 del volumen de la producción nacional (figura 7).

El aporte por estado ha cambiado radicalmente. De ser Veracruz el primer productor de ostión hasta 1996, en la actualidad es Tabasco, seguido de Veracruz, Tamaulipas y Campeche. Esta producción no es un reflejo del potencial del litoral de cada entidad, dado que en lagunas litorales con potencial de producción de ostión se encuentra en primer lugar el estado de Tamaulipas con 274,736 ha, seguido de Campeche con 198,500 ha, Veracruz con 193,300 ha y Tabasco con 27,400 ha. Este predominio del 50% de la producción con sólo un 4% de la superficie lagunar por parte del estado de Tabasco es un

FIGURA 8. PRODUCCIÓN DE OSTIÓN POR ESTADOS DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO MEXICANO



ejemplo del potencial de producción que existe en el Golfo de México, que en teoría podría incrementarse hasta 500 mil toneladas (figura 8).

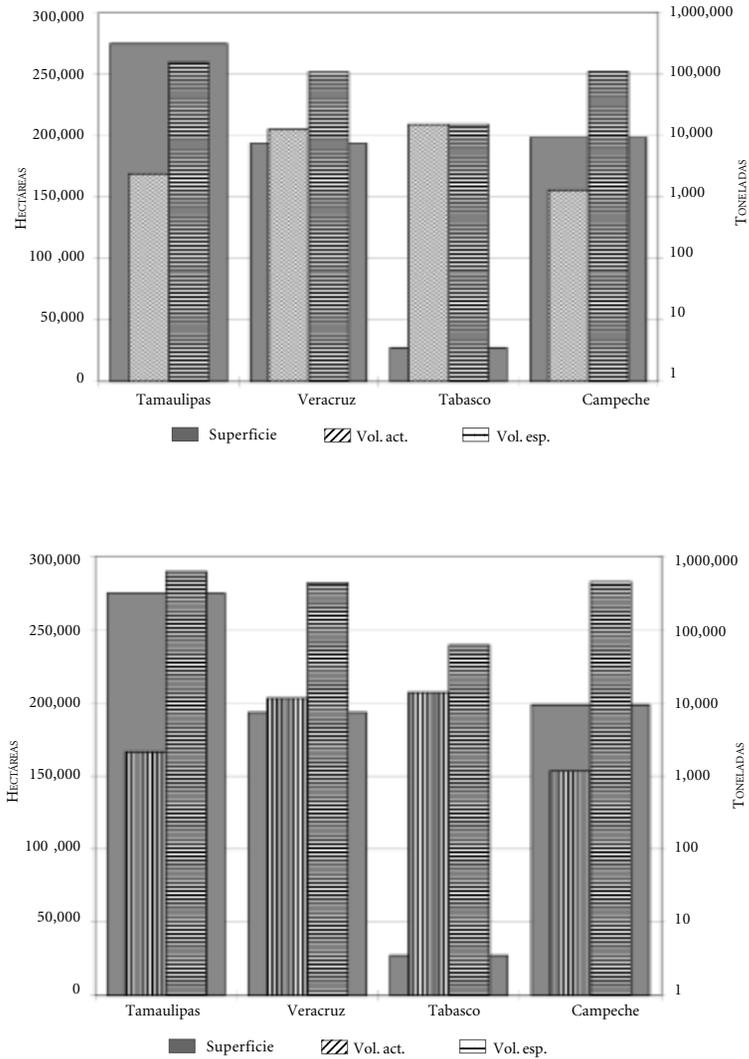
Si a esta producción potencial se le considera el valor alcanzado por la producción del Pacífico, el incremento en valor de la producción iría de 37.6 millones de pesos alcanzados en 1997 a 2,000 millones de pesos (figura 9a y b). A pesar de que la producción en el estado de Tabasco no está desarrollada en forma óptima, y se ha estimado que podría incrementarse de tres a cinco veces sin llegar a conflictos sectoriales, y hasta diez veces en sistemas intensivos.

Entre los factores que limitan el desarrollo económico de las pesquerías de ostión está la insalubridad en su manejo y presentación, así como la falta de procesos industriales que incrementen el valor de la producción. Para que esto se dé, debe iniciarse la generación de un producto de calidad, en cantidades suficientes, que garantice la demanda del mercado del producto fresco y la operación continua de la planta industrial.

HISTORIA DE LA PESQUERÍA

La pesquería de ostión está compuesta por seis especies de importancia comercial, dos nativas del Atlántico (*Crassostrea virginica*, *C. rhizophoreae*)

FIGURA 9. VOLÚMEN (A) Y VALOR (B) POTENCIAL DE LA PRODUCCIÓN DE OSTIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO. VOLUMEN ESTIMADO CON BASE EN LA PRODUCCIÓN ACTUAL DE LAS LAGUNAS DEL ESTADO DE TABASCO Y SU RELACIÓN A LA SUPERFICIE LAGUNAR DE CADA ESTADO. VALOR ESTIMADO CON BASE EN LA PRODUCCIÓN POTENCIAL Y EL VALOR ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN EN EL PACÍFICO MEXICANO



tres del Pacífico (*C. palmula*, *C. corteziensis*, *C. iridescens*) además de *C. gigas*, que ha sido introducida para cultivos intensivos.

Los ostiones han sido empleados como alimento por los pobladores de México desde tiempos prehispánicos, lo que ha quedado registrado en concheros a lo largo del litoral de ambas costas, siendo común su consumo por pobladores del interior (Lorenzo 1955, Fieldman 1969, Foster 1975, Reigadas *et al.* 1984). Eran considerados alimento para los reyes, y eran llevados frescos a Moctezuma en Tenochtitlan (Del Campo 1984).

Es la pesquería con el récord más viejo en el país. En el período 1940-1953, la producción nacional alcanzó un promedio anual de 7,277 ton, de las cuales el 23% era comercializado sin concha. De 1952 a 1963 el promedio anual rebasó las 15,000 ton (Ramírez y Sevilla 1965). Durante la década de los años 80 la producción pasó de 40,000 a 50,000 ton, sufriendo una declinación por enfermedades en los bancos de Tamiahua, Veracruz, a partir de 1990.

CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOTACIÓN

Los métodos de explotación no han cambiado mucho desde los tiempos primitivos, se colectan durante la bajamar con la ayuda de algún instrumento cortante. La extracción de los bancos de fondo se realiza desde lanchas a remo o a motor fuera de borda.

COMPOSICIÓN ESPECÍFICA Y VOLÚMENES

Los ostiones se comercializan principalmente frescos, ya sea en su concha o desconchado en hielo. Solo el 0.01% es industrializado por ahumado y enlatado en Tamaulipas y Tabasco.

La producción del Golfo de México viene principalmente de bancos naturales, donde sólo se realizan algunas prácticas de semicultivo.

MECANISMOS DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN

Los ostiones fueron hasta 1994 una de las cinco especies reservadas a las cooperativas. De las 88,015 cooperativas pesqueras del país, 561 tienen permiso de explotación de ostión (Anuario estadístico de pesca 1995).

Para *C. virginica* en las costas del Golfo de México, existe un periodo de veda del 15 de mayo al 30 de julio, con tallas mínimas de 8 cm de longitud de la concha para ambas especies.

ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

Los primeros trabajos de acuicultura se realizaron en las costas del Atlántico donde había una pesquería bien establecida, actividad que fue abandonada desde fines de los años sesenta y que no había sido retomada hasta recientemente en las lagunas litorales de Tabasco. El 10% de la producción de los estados de Campeche y Tamaulipas, 20% de Veracruz y 90% de Tabasco, proviene de bancos mejorados (Polanco *et al.* 1988, García y Mendoza 1988).

MANEJO DEL MEDIO AMBIENTE

En los años 70 se realizó una gran actividad de apoyo a los bancos ostrícolas, con dragado de bocas y canales que incrementaron el intercambio de agua marina de numerosas lagunas litorales, con lo que se logró mejorar la sobrevivencia y el periodo de crecimiento de muchos bancos.

Como se mencionó anteriormente, en las costas del Golfo de México las prácticas de cultivo más comunes se limitan al mejoramiento de bancos con el tendido de concha para incrementar las áreas de fijación, práctica común en las lagunas de Tamiahua y Términos. En el estado de Tabasco se realiza tanto el mejoramiento de los bancos como la captación de semilla en colectores de sartas de concha, que al alcanzar de 3 a 5 mm de longitud son colocadas en los fondos ya preparados (Palacios *et al.* 1983). En el Pacífico el mejorado de fondos es sólo una actividad secundaria.

ANTECEDENTES

Los primeros trabajos biológicos con rigor científico sobre el ostión se realizaron en 1930 y estuvieron enfocados al estudio de la taxonomía, biología y ecología de los bancos ostrícolas mexicanos. En ese mismo año apareció de manera oficial la pesca comercial del ostión, extraído con las llamadas «gafas» y comercializado en arpillas o costales de 35 kg (Rangel-Dávalos 1990).

Fue hasta la década de los 50 cuando la ostricultura inició oficialmente en México, con programas ostrícolas de protección, mejoramiento y cultivo de los bancos naturales de ostión. Las primeras prácticas fueron el acondicionamiento de fondos y trasplantes de semilla (Palacios y García 1988). Y siguieron otros trabajos como los realizados por Sevilla (1959), quien en Guaymas, Sonora, llevó a cabo los primeros ensayos sobre el cultivo de

osti6n y estudios para determinar el mejor colector para la fijaci6n de semilla. Ram6rez y Sevilla (1965) propusieron incrementar a gran escala la producci6n ostr6cola nacional mediante el cultivo tecnificado. Sevilla y Mondrag6n (1965) determinaron el ciclo biol6gico de *Crassostrea virginica* en la laguna Tamiahua, Veracruz. En la d6cada de los 70, tambi6n fueron realizados numerosos trabajos sobre t6cnicas de cultivo de osti6n en el Golfo de M6xico (D6az 1969). Liz6rraga (1977) prob6 diversas t6cnicas de cultivo en algunos embalses de Tabasco, Nayarit y Sinaloa. Casas (1976) estudi6 aspectos del cultivo de osti6n en relaci6n con los par6metros ambientales presentes en la laguna San Andr6s, Tamaulipas. Iracheta (1972) introdujo por primera vez una granja ostr6cola comercial a peque1a escala en Tabasco.

Todav6a en la d6cada de los 80 persist6a el inter6s por cultivar el osti6n. As6, Palacios (1983) cultiv6 *C. virginica* de manera semi-intensiva en la laguna de San Andr6s, Tamaulipas, con buenos resultados con un m6todo de cultivo en suspensi6n. Garc6a (1987) compar6 el crecimiento del osti6n *C. virginica*, cultivado en superficie en cajas tipo Nestier y en fondo en costales de malla de nylon, en el sistema lagunar Boca del R6o, Mandinga, Veracruz. Renter6a (1987) estudi6 la factibilidad del cultivo de *Crassostrea corteziensis* en Boca Camich6n, Nayarit, con un m6todo de cultivo en suspensi6n con balsas. Navarrete (1989) estudi6 la evoluci6n gon6dica y fijaci6n de *C. virginica* en el sistema lagunar, Boca del R6o-Mandinga Veracruz. De 1988 a 1989 fue realizado un proyecto de «Producci6n acuacultural de *C. virginica*» en Boca del R6o, Mandinga, Veracruz (Amador 1989, Amador *et al.* 1991). Rihan6 (1989) cultiv6 *C. virginica* en cajas tipo Nestier en R6a Lagartos, Yucat6n.

El inter6s en la ostricultura casi desaparece, si no es por el esfuerzo de algunos investigadores, que como Castro *et al.* (1990) quienes estudiaron el crecimiento de *C. virginica* en cajas de madera, Aldana-Aranda (1990) quien ha realizado diversos estudios de cultivo de *C. virginica* en la Pen6nsula de Yucat6n, con resultados favorables, y Cabrera (1993) quien evalu6 el crecimiento y sobrevivencia de dos poblaciones de *C. virginica* cultivadas en San Felipe, R6a Lagartos, Yucat6n, todos ellos con buenos resultados.

La producci6n del Golfo de M6xico, sustentada completamente por el acondicionamiento de fondos, figuraba en las estad6sticas mundiales como una producci6n por acuacultura, con un destacado promedio de 40,000 toneladas anuales. Sin embargo, a partir de 1997, esta actividad fue considerada una “pesquer6a mejorada” y no un cultivo, perdiendo su antigua categor6a dentro del 6mbito acuacultural y su lugar dentro de las estad6sticas mundiales de acuacultura. S6lo la producci6n del Pac6fico, que no represen-

ta ni el 10% de toda la producción ostrícola del país, se encuentra registrada como producción por acuicultura en las estadísticas mundiales (FAO 1999). El abandono y desinterés por fomentar los cultivos ostrícolas en nuestro país ha sido de tal magnitud que ya no puede hablarse de una ostricultura en el Golfo de México.

PROPUESTA DE DESARROLLO

Con el propósito de promover el desarrollo integral de la pesquería de ostión en el Golfo de México se propone la generación de paquetes tecnológicos que le permitan a pescadores organizados e inversionistas producir ostión de primera calidad, que cubra las normas sanitarias internacionales, así como productos industrializados para cubrir todos los nichos del mercado nacional e internacional.

Para ello se propone un plan de estudio integral que va desde la identificación del estado actual de las pesquerías y factores limitantes, el potencial de desarrollo de todo el litoral, la identificación de tecnología de manejo y cultivo adecuada para cada localidad, la generación de metodología de manejo y empaque sanitario, la generación de productos industrializados y la identificación de mercados.

PESQUERÍAS DE CEFALÓPODOS

Mientras que la captura de calamar en el Golfo de México es una pesquería incidental, asociada con la captura de camarón, con un máximo de 441 toneladas en el año de 1992 (figura 10), la pesquería de pulpo es una pesquería casi exclusiva del Golfo de México, en particular de los estados de Campeche y Yucatán (figura 11), y entre ambos aportan el 93% de la producción nacional. La captura se realiza principalmente con embarcaciones menores al gareteo y está limitada a los meses de agosto a diciembre, periodo definido por veda reproductora.

CONTAMINACIÓN

Durante la década de los 50, la Secretaría de Industria y Comercio, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras, elaboró un plan de trabajo cuyos objetivos y metas eran determinar la problemática del recurso ostrícola en el Golfo. Los problemas de contaminación petrolera en Veracruz y la veda decretada por tiempo indefinido para esta

FIGURA 10. PRODUCCIÓN DE CALAMAR EN LAS COSTAS DEL ATLANTICO MEXICANO

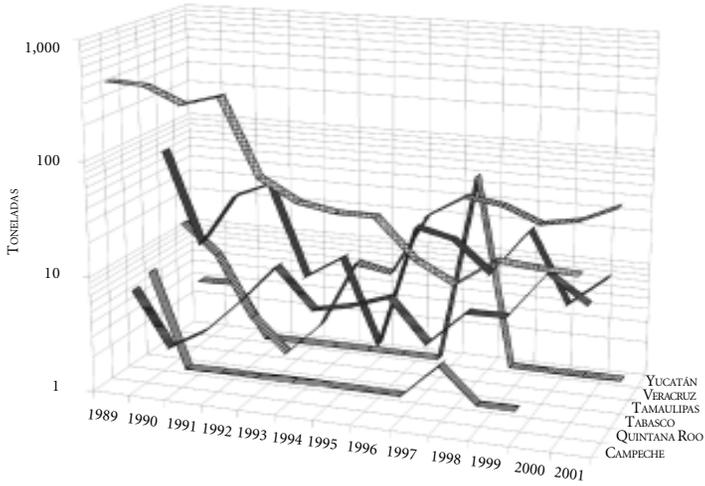
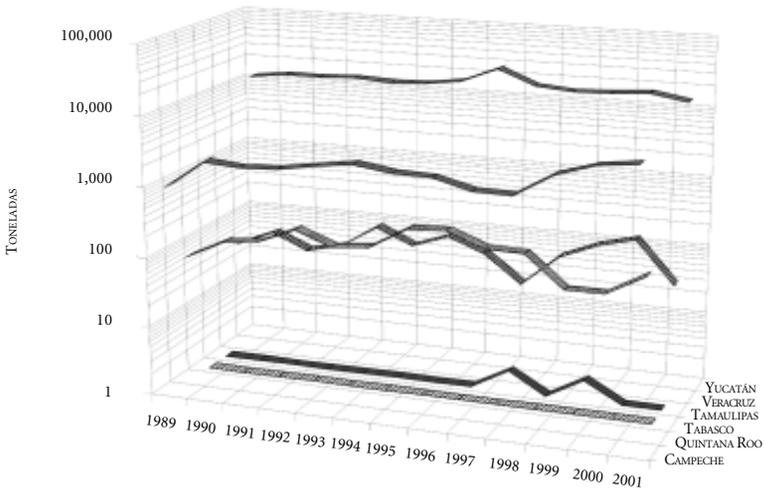


FIGURA 11. PRODUCCIÓN DE PULPO EN LAS COSTAS DEL ATLÁNTICO MEXICANO



entidad, ocasionaron una sobreexplotación del recurso en los restantes estados productores del Golfo: Tamaulipas, Tabasco y Campeche (Rangel-Dávalos 1990).

La contaminación es el factor que más impacto ha tenido sobre los bancos ostrícolas naturales y su explotación en México. Básicamente proviene de la industria petrolera, de los asentamientos urbanos y de la industria agrícola y ganadera.

La contaminación por la explotación petrolera, causada por derrames, fugas de petróleo crudo de las plataformas y fluidos de lodos provenientes de perforaciones de pozos diseminados por mareas y corrientes, ha impactado la producción ostrícola, debido a su efecto nocivo sobre los organismos y las áreas de producción, ya sea limitando su desarrollo, disminuyendo las áreas de bancos productivos o contaminando al ostión con elementos nocivos para el hombre (Arriaga-Becerra y Rangel-Dávalos 1988.).

Los contaminantes procedentes de zonas urbanas, industriales y agrícolas que estos transportan, afectan considerablemente el desarrollo de los organismos en diversas zonas costeras debido a la gran cantidad de agua que desemboca de los ríos en el Golfo de México.

Las aguas negras no solamente contienen grandes cantidades de heces fecales, sino también desperdicios de fábricas procesadoras de alimentos y pesticidas. Esto ha provocado el aumento de agentes patógenos en el medio acuático estuarino y zonas marinas adyacentes (Weibel *et al.* 1974).

Debido a que los bivalvos se desarrollan en una forma sedentaria, filtrando diariamente grandes volúmenes de agua en medios estuarinos (cinco litros por hora), estos se convierten en reservorios de agentes patógenos (Gelderich *et al.* 1968, Weibel *et al.* 1974) provenientes de las descargas de aguas negras en las lagunas costeras. Esto no sólo es un problema para los bancos de bivalvos, sino que también representa un peligro para la salud (Metcalf y Stiles 1965, Thompson y Thacher 1972). Se han reportado casos de gastroenteritis y hepatitis infecciosa después de haber consumido algunas especies de bivalvos colectados en aguas marinas contaminadas (Rodríguez 1986).

PERSPECTIVAS

En relación con el futuro de estas pesquerías, un manejo adecuado sólo podría mantener los volúmenes de explotación en los niveles actuales. Sin embargo,

las estrategias de explotación deberían cambiar, dado que debe suspenderse la explotación durante las agregaciones reproductoras, y dirigir el esfuerzo hacia la localización de áreas de alimentación, recomendándose para las especies de hábitos carnívoros el uso de artes de pesca pasivos, lo que permitiría el acceso a fondos actualmente no explotados por el buceo.

Dado que el estado de salud de muchas poblaciones ribereñas es crítico, para mantener los volúmenes de explotación o recuperar sus óptimos deben realizarse actividades de recuperación como el cierre de áreas, siembra y transplante.

Sin embargo, las perspectivas de desarrollo por acuicultura son muy alentadoras, tanto para bivalvos como para algunas especies de gasterópodos que son susceptibles de cultivo, en particular los bivalvos para los cuales la metodología desarrollada por Loosanoff y Davis (1963) para la producción de larvas en condiciones controladas permite el manejo de características genéticas en el mejoramiento de poblaciones. Existen técnicas de bajo costo y tecnología simple para el cultivo de *Mercenaria* (Castagna y Kraeuter 1981) que pueden fácilmente ser adaptadas a las condiciones del Golfo y el Caribe mexicano.

Los resultados logrados en el Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Puerto Morelos en el cultivo del caracol reina *S. gigas* (Cruz 1986, Baqueiro 1994) demuestran la factibilidad de producción de juveniles para su cultivo o repoblación, debiéndose aún determinar la factibilidad del cultivo de aquellas especies de desarrollo directo y hábitos alimenticios carnívoros.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, T. R., 1974. *American Seashells. The marine mollusca of the Atlantic and Pacific coasts of North America*. Van Nostrand Reinhold Co. New York. 663 pp.
- Aldana, A. D. 1990. Crecimiento del ostión americano *Crassostrea virginica* Gmelin (1791) en la ría de Río Lagartos, Yucatán, México. VII Simposium Internacional de Biología Marina: 36-50.
- Amador del Angel, L.E. 1989. Cantidad de alimento disponible e incidencia e larvas de ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin) en el sistema lagunar Boca del Río-Mandinga, Veracruz. México. Tesis de Licenciatura de Ing. Pesq. en Acuicultura. ITMAR, Veracruz. 110 pp.
- Amador del Angel, L.E. ; J.A. Cordero Días, O.I. Navarrete Rosas y P. Cabrera Rodríguez 1991. Crecimiento de *C. virginica* (Gmelin, 1791) en el sistema lagunar Boca del

- Río-Mandinga, Veracruz, México, en dos estratos: suspensión y fondo. Primer Congreso Latinoamericano de Malacología. Caracas, Venezuela del 15 al 21 de julio. 12 pp.
- Ambrose, G. W., D. S. Jones y I. Thompson 1980. Distance from shore and growth rate of the suspension feeding bivalve, *Spisula solidissima*. *Proc. Nat. Shellf. Ass.* 70: 207 - 215.
- Andre, C. y R. Rosenberg 1991. Adult-larval interactions in the suspension-feeding bivalves *Cerastoderma edule* and *Mya arenaria*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71: 227 - 234.
- Andrewarta, H. G., 1970. *Introduction to the study of animal populations*. Methuen & Co. London, G. B. 2 ed. 283 pp.
- Anuarios estadísticos de pesca 2001. CONPESCA. <http://www.sagarpa.gob.mx/-/conapesca/index.htm>
- Arriaga-Becerra, R. E. y Rangel-Dávalos, C. 1988. *Diagnóstico de la situación actual y perspectivas del cultivo de ostión en México*. Secretaría de Pesca. 95 pp.
- Bandel, K., 1976. Egg masses of 27 Caribbean Opisthobranchs from Santa Marta, Colombia. *Stud. Neot. Fauna and Environ.* 11: 87-118.
- Baqueiro, C. E. y C. Castillo 1987. Característica poblacionales de *Mercenaria campechensis* y *Chione cancellata*, recursos potenciales de las costas de Campeche-Yucatan. *VII Congreso Nacional de Oceanografía*, Ensenada, B. C. (resumen).
- Baqueiro, C. E. y C. Castillo, C. M. Medina y M. Huchin 1993. *Geukensia demissa* «mejillón amarillo» especie potencial de las costas del estado de Campeche. *Ciencia pesquera*. Inst. Nal. Pesca. Sria. Pesca. México, 9: 63 - 72.
- Baqueiro, C. E. y M. Castagna 1988. Fishery and culture of selected bivalves in México: past, present and future. *J. Shellf. Res.* 7: 433 - 443.
- Baqueiro, C. E., 1988. Population trends of commercial benthic molluscs from Mexican coastal waters. Joint Oceanog. Assem. Acapulco, México. (resumen).
- 1990. Características poblacionales del Hacha «*Atrina rigida*» de las costas de Campeche, México. *Mem. Cong. Nal. de Zool., México*, D.F.: 76 - 90.
- 1991. Effect of community dynamics on bivalve populations of commercial importance. *Primer congreso Latino-americano de Malacología, Caracas, Venezuela*. Julio (resumen): 6.
- 1992. Status of molluscan aquaculture on the Pacific coast of México. *Simp. Adv. Inov. on moll. Cult.*, Elsevier, New York, *Aquaculture Pub. Esp.*: 32 - 36.
- 1994. Aquaculture facilities for the Queen conch *Strombus gigas*: En: Appeldoorn R. y A. Bladimir (eds). *Biología, Pesqueía y cultivo de Strombus gigas*. Fundación los Roques, Venezuela: 136 - 142.
- Baqueiro, C. E., M. Medina 1988. Evaluación de las poblaciones de almeja *Rangia cuneata*, *Rangia flexuosa* y *Polymesoda carolineana* en las lagunas de Pom y Atasta, Campeche. Informe técnico CRIP, La Paz: 8 pp.
- Baqueiro, C. E., M. Medina, y H. Ramírez 1997. Conch fishery of Campeche. *Proc. Gulf*

and *Caribb. Fishr. Res. Inst.* 44.

- Berg, C. J. 1976. Growth of the Queen conch *Strombus gigas*, with a discussion of the practicality of its mariculture. *Mar. Biol.* 34 : 191 - 199.
- Bosada, L., 1987. Índice de crecimiento de la almeja bola *Mercenaria campechiensis* de la laguna de Ostión, Ver. Medio ambiente en Coatzacoalcos. Cent. Ecodesarrollo : 51 - 70.
- Cabrera, R. P. 1993. Crecimiento y sobrevivencia del ostión americano *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) en San Felipe, Río Lagartos, Yucatán, México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Marina. Mérida, Yucatán.
- Cain, T. M., 1974. Reproduction and recruitment of the brackish water clam *Rangia cuneata*. *Fish. Bull.* 73 : 412-430.
- Casas, J. A. 1976. Cultivo de ostión en función de los parámetros ambientales de la laguna de San Andrés, Tamaulipas. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana. 48 pp.
- Castagna, M. y J. N. Kaeuter 1981. *Manual for growing the hard clam Mercenaria*. Spec. Vir. Inst. Mar. Sci. Rep. Apl. Mar. Sci. and Ocean Enger. 249 : 110 pp.
- 1994. Age, growth rate, sexual dimorphism and fecundity of knobbed whelk *Busycon carica* (Gmelin, 1791) in western Mid-Atlantic lagoons systems, Virginia, *J. Shellf. Res.* 13 : 581 - 586.
- Castillo, R. C., 1985. Evaluación de la almeja blanca *Codachia orvicularis* en costas de Campeche. Informe Técnico, CRIP, Lerma, Campeche: 8 pp.
- Castro, G. O., V.N. Fajardo y M. P. Vera. 1990. Evaluación de la variación de crecimiento del ostión *Crassostrea* sp. en cultivo, en un sistema de cajas flotantes, en Estero Pargo, Isla del Carmen, México. Reporte Interno. Fac. de Ciencias Pesqueras. Universidad Autónoma del Carmen. 20 pp.
- Cruz, A. R., 1984. Algunos aspectos reproductivos y variación mensual del índice de condición de *Anadara similis* (Pelecypoda : Arcidae) de Jicaral, Punta Arenas, Costa Rica. *Bremesia.* 22 : 95 - 105.
- Cruz, S. J. R. 1986. Evaluación de la pesquería del caracol reina *Strombus gigas* (Linnaeus, 1758), y alternativas para el resurgimiento de las poblaciones naturales en el Caribe mexicano. Tesis prof. Fac. Cienc. Univ. Nal. Autón. México. 87 pp.
- Chanley, P. 1982. Queen conch culture: is it practical?. *Catch'82*: 12 - 13.
- Chávez, M. E. y A. García-Cubas 1978. Reproducción y ciclo larvario de la almeja comercial *Rangia cuneata* en el sistema fluvio lagunar Atasta Pom, Camp. VI Cong. Nal. Ocean. Ensenada, B. C. México. (resumen)
- D'Asaro, C. N. 1970. Egg capsules of prosobranch mollusks from South Florida and the Bahamas and notes on spawning in the laboratory. *Bull. Mar. Sci.* 20 : 414-440.
- De la Torre, R. 1984. Pesquería de caracoles en el estado de Quintana Roo. Inst. Nal.

- Pesca, México: 25 pp.
- Del Campo, R. M. 1984. Etnomalacología Mexicana antigua. Mem. I Reun. Nal. Malacol. Conquiliol. U.A.B.C.S.R.: 10 - 39.
- Díaz, C. 1985. Biología poblacional del caracol reyna *Strombus gigas* en Quintana Roo, Tesis de Licenciatura Mex. Esc. Nal. Est. Prof. Ixtacala. UNAM. 79 pp.
- 1969. Cultivo experimental de madreperla *Pinctata mazatlanica*, en la Bahía de la Paz, B.C. México.
- Echevarría, V., E. Baqueiro C., C. Regis R. y A. Torres 1995. Evaluación del recurso almeja en el cuenca baja del río Papaloapan. Cong. Nal. Oceanog. Ver. Méx. (resumen)
- Fieldman, L. H. 1969. Panamic sites and archeological mollusks of lower California. *Veliger* 122: 107 - 168.
- Flores, F. 1981. Estudio biológico de una población de *Melongena melongena* en laguna del Carmen, Camp. Méx. Tesis prof. Fac. Cienc. Univ. Nal. Autón. Méx. 31 pp.
- Foster, J. W. 1975. Shell middens, paleoecology and prehistory, the case from estero Morua, Sonora, México. *The Kiva* 415 : 182-194.
- García, Valdez S. 1987. Crecimiento de *C. virginica* cultivado en suspensión en el estero de El Conchal, del sistema lagunar Boca del Río-Mandinga, Veracruz. Tesis Profesional. ITMAR, Boca del Río Veracruz. 93 pp.
- Hopkins, S, H., J. W. Anderson, y K. Horvath 1973. The brakish water clam *Rangia cuneata* as indicator of ecologica effects of salinity changes in coastal waters. Dept. Biol. Res Fund. 35 pp.
- Hopkins, S, H., J. W. Anderson, y K. Horvath 1974, Biology of the clam *Rangia cuneata*: what we now know and what it means. *Proc. Nat. Shellf. Ass.* 64: 4.
- Iracheta, F. 1972. Ostricultura en el estado de Tabasco. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias. UNAM México.
- Lizárraga, M. 1977. Técnicas aplicadas en el cultivo de moluscos en América Latina en : La acuicultura en América Latina. Actas del Simposio sobre América Latina, Vol. 2. Documentos de Reseña Montevideo, Uruguay. 26 de noviembre-2 de diciembre de 1974. FAO. inf. Pesca (159). Vol 2, 130 p.
- Loosanoff, V. L. y H. C. Davis 1963. Rearing of bivalve mollusks. En: Russell, F. S. (ed.). *Advances in Marine Biology*. Academic Press, New York 1: 2-136.
- Lorenzo, J. L., 1955. *Los concheros de la costa de Chiapas*. Ann. Inst. Nal. Antropol. e Hist. México. VII: 40 - 52.
- Menzel, R. W. 1986. Hybridization of oysters and clams. En: *Proc. World Symp. on Selection, hybridization and genetic engeneering in aquaculture*, Bordeaux II: 27-30.
- Menzel, W. R., E. W. Cake, M. L. Haines, R. E. Martin y L. A. Olsen 1975. Clam mariculture in Northewest Florida: field studies on predation. *Proc. Nat. Shellf. Ass.* 65: 59-62

- Metcalf, T.C. y W.C. Stiles 1965. The Accumulation of enteric viruses by the oyster *Crassostrea virginica*. *J. Infect. Dis.* 115 : 68-76.
- Navarrete Rosas, O.I. 1989. Evolución gonádica y determinación del índice de fijación del ostión americano *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) en el sistema lagunar Boca del Río-Mandinga, Veracruz. Tesis Profesional. ITMAR, Veracruz. 90 pp.
- Orr, K. S., 1983. Projected economic feasibility of conch (*Strombus gigas*) mariculture in the Caribbean. Manuscrito. 26 pp.
- Palacios, F. M. R. 1983. Experimentación al semicultivo de ostión *Crassostrea virginica*, en la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, México. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias. UNAM. México. 118 pp.
- Palacios, F. M. y S. García 1988. *Manual técnico para la operación de centros acuícolas productores de ostión*. Comité Coord. para la operación acuícola. Sria. de Pesca. México.
- Polanco, E. J., R. Mimbela S., L. Belendez M., M. Angel F. y A. Reynoso A. 1988. Situación actual de las principales pesquerías Mexicanas. Sec. Pesca, Mex.: 169-300, 415 - 426.
- Polanco, E. J., R. Mimbela S., L. Belendez M., M. Angel F. y A. Reynoso A. 1988. *Situación actual de las principales pesquerías mexicanas*. Sec. Pesca, Mex.: 169-300, 415 - 426.
- Quijano, F. J. 1988. El recurso caracolero en el Caribe Mexicano. En: Inst. Nal. Pesca (ed.). *Los Recursos Pesqueros del País*. Sec. Pesca, Mex.: 497-512.
- Ramirez, G. R. y M. L. Sevilla 1965. Las ostras de México. *Sec. Ind. y Com. Inst. Nal. de Pesca. Pub. 7* : 107 pp.
- Rangel-Dávalos, C. 1990. El cultivo de moluscos marinos en México. La acuicultura en México : de los conceptos a la producción. Compiladores : Guadalupe de la Lanza-Espino y José Luis Arredondo Figueroa. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. p. 107-138.
- Reigadas, D. F., G. Vázquez, E. Amador y R. S. Mendoza 1984. Especies de moluscos en concheros de la región del Cabo, Baja California Sur. CIBCASIO Reun. An. (resumen): 35.
- Rentería, G. L. 1987. Estudio de la factibilidad del cultivo de ostión *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) en suspensión con balsas, en Boca de Camichín, Nayarit. Tesis Profesional. ITMAR, Veracruz. 103 pp.
- Rihani, V.A. 1989. Información básica de la actividad pesquera en Yucatán 1988. Delegación Federal de Pesca y Departamento de Desarrollo Pesquero del estado de Yucatán. 59 pp.
- Rodríguez, H. S. 1986. Bacterias coliformes en el procesamiento de ostiones (*Crassostrea virginica*) en Tabasco, México. An. Inst. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 13 (1) : 445-448.
- Rogers, N. P. 1970. Ciclo gonádico del «ostión de roca» *Crassostrea iridescens* Hanley

- 1854, de Salina Cruz, Oaxaca, México, Tesis de Licenciatura, Fac. Cienc. U. N. A. M. México. 40 pp.
- Rogers, N. P. y A. García-Cubas 1981a. Evaluación gonádica a nivel histológico del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971) del sistema fluviolagunar. Atasta, Pom, laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del mar y Limnol.* UNAM, 8 : 21 - 42.
- Rogers, N. P. y A. García-Cubas 1981b. Evaluación gonádica a nivel histológico de *Rangia cuneata* (Gray, 1931) de la laguna de Pom, Campeche, México Mollusca: Bivalvia). *An. Inst. Cienc. del mar y Limnol.* UNAM. México 8 : 1 - 20.
- Sevilla, M. L. 1959. Datos biológicos para el cultivo de ostión en Guaymas, Sonora. SIIC Dir. Gral. de Pesca.
- Sevilla, M. L. y E. Mondragón 1965. Desarrollo gonádico de *Crassostrea virginica* Gmelin, en la laguna de Tamiahua. *An. Inst. Nal. Invest. Biológico Pesquero*, México 1: 52-59.
- Sunderlin, J. B., M. Brenner, M. Castagna, J. Hiroita, R. W. Menzel y A. O. Roels 1975. Comparative growth of hard shell clams (*Mercenaria mercenaria* Linne and *M. campechiensis* Gmelin) and their F1 cross in temperate, subtropical and natural waters and in a tropical artificial upwelling mariculture system. *Proc. World. Mar. Soc.*: 171 - 183.
- Weibel, S.R. Anderson y R. Woodward 1974. Urban land run off as a factor in stream pollution. *J. Water Poll. Contr. Fed.* 36 : 914-924.

Tercera parte
LOS ECOSISTEMAS DEL GOLFO DE MÉXICO

EL GOLFO DE MÉXICO: PASADO, PRESENTE Y FUTURO.
UNA COLABORACIÓN ENTRE ESTADOS UNIDOS DE
AMÉRICA, MÉXICO Y CUBA

John W. Tunnell Jr., Darryl L. Felder y Sylvia A. Earle

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es uno de los cuerpos de agua más productivos del mundo a nivel ecológico y económico. Conocido como el Mar de América o el Mediterráneo americano, está rodeado por tres países: Estados Unidos, México y Cuba. Sin embargo, los conocimientos y el manejo de este enorme ecosistema marino (Kumpf *et al.* 1999) generalmente han sido aplicados de manera independiente por cada uno de los tres países a lo largo de la historia. Aunque ha habido cierta colaboración y cooperación, regularmente seguía una línea de investigación o área de interés específica. El avance de las comunicaciones y los transportes en el siglo XXI exigen mejor cooperación y colaboración, tanto para el conocimiento como para el manejo de esta región. El Instituto de investigación Harte para estudios acerca del Golfo de México ha lanzado una nueva iniciativa, *El Golfo de México. Pasado, presente y futuro*, para contribuir al logro de la síntesis y expansión de los conocimientos, de las nuevas investigaciones exploratorias, de la extensión y educación, así como al manejo del Golfo de México de manera trilateral.

El Instituto de investigación Harte (HRI, por sus siglas en inglés) para estudios acerca del Golfo de México fue fundado en septiembre de 2000 en la Universidad A&M de Texas, plantel Corpus Christi (TAMU-CC, por sus siglas en inglés), en Corpus Christi, Texas. Un consejo consultivo de primer

nivel formado por expertos en temas de negocios, académicos y de conservación apoyan a la TAMU-CC en el desarrollo del nuevo instituto de investigación.

El HRI pretende ser un centro de investigación de excelencia que proporcione liderazgo internacional en la generación y difusión de los conocimientos acerca del ecosistema del Golfo de México y el papel crítico que juega en las economías de la región de América del Norte. La misión del HRI es apoyar y fomentar el uso sustentable y la conservación a largo plazo del Golfo de México, misión que se logrará mediante los siguientes mecanismos:

- Crear un entorno propicio para llevar a cabo programas de investigación y de educación exitosos y significativos, con profesores, personal y alumnos calificados.
- Promover la excelencia y la innovación en la investigación científica interdisciplinaria, las iniciativas de políticas públicas y la educación del público en torno al Golfo de México.
- Fomentar una responsabilidad y un enfoque trinacional para comprender el ecosistema del Golfo de México.
- Colaborar y cooperar con otras organizaciones que se dedican a tratar temas relacionados con el Golfo de México, para lograr objetivos comunes.
- Difundir libremente los resultados de las investigaciones entre la comunidad científica, las agencias de manejo, el público en general y los creadores de políticas, con el fin de fomentar el uso sensato y apropiado del Golfo de México.
- Construir un centro de investigación de tres pisos y 5,000 m² (55,000 pies²), cuya edificación se inició en junio de 2003 y será concluida en 2005.

NUEVOS COMPONENTES DE LA INICIATIVA

El Instituto de investigación Harte (www.hri.tamucc.edu) promoverá y patrocinará la iniciativa *El Golfo de México. Pasado, presente y futuro* en sus años de formación, para avanzar en su cometido de lograr el uso y la conservación sustentable del Golfo de México. Los componentes de esta iniciativa que se desarrollará a lo largo de varios años entre Estados Unidos, México y Cuba incluyen:

1. el diseño y mantenimiento de una base de datos de investigación acerca del Golfo de México entre los países de la zona, con acceso vía internet;
2. la colaboración con otras instituciones y organizaciones para copatrocinar expediciones anuales de exploración en el Golfo de México;
3. el patrocinio de un taller acerca del estado del conocimiento, con la participación de destacados científicos, administradores y ambientalistas de la zona del Golfo de México, en octubre de 2003;
4. el inventario de la biodiversidad del Golfo de México, mediante la preparación de una lista de control de todas las especies, en la que se incluya hábitat, distribución y referencias clave de cada especie;
5. la preparación de una actualización de los 50 años del *Bulletin 89 (Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life)*, (Galtsoff, 1954);
6. el patrocinio de una conferencia acerca del estado del Golfo de México en octubre de 2005, en la que participen todos los usuarios y las entidades (científicos, encargados del manejo, responsables de políticas, industrias, negocios, turistas);
7. el patrocinio anual de reuniones de trabajo temáticas regulares en HRI sobre temas actuales necesarios o de interés;
8. la creación de una Alianza del Golfo de México con todos los grupos de interés; y,
9. el uso de todos los mecanismos anteriores con el fin de desarrollar iniciativas de políticas públicas que afecten de manera positiva el estado del Golfo de México.

El HRI busca ser lo más incluyente posible, y cooperar y colaborar con otras instituciones para llevar a cabo estos componentes. Un comité estratégico de planeación y dirección en toda la zona ayuda a desarrollar ciertos elementos de la iniciativa. Algunos de los puntos anteriores ya operan (números 1 y 2) o ya ocurrieron (número 3), algunos están en etapa de planeación (números 4 a 6), y los restantes se desarrollarán conforme el HRI esté funcionando por completo. A continuación se proporciona más información, que se ampliará conforme se desarrollen los planes (véase la página de Internet de HRI en www.hri.tamucc.edu).

1. Base de datos de investigación. La base de datos de HRI en internet, la *GulfBase* (Base del Golfo), ubicada en www.gulfbase.org, comenzó a operar en octubre de 2002. En la actualidad, *GulfBase* es una página de Internet que pueden utilizar todos los investigadores así como los institutos y proyectos de investigación del Golfo de México para buscar y clasificar información. Se seguirá ampliando con más bases de datos.

2. Expediciones de exploración. Un sello distintivo de HRI serán los cruceros anuales en colaboración con otras entidades y de exploración a varios puntos del Golfo de México. La primera expedición de exploración copatrocinada fue a los arrecifes de coral de Veracruz, México, en 2002. Este crucero, que utilizó la embarcación de investigación oceanográfica Antares, de la marina mexicana, fue una colaboración entre HRI, el *National Geographic Society's Sustainable Seas Program* (Programa de Océanos Sustentables de la Sociedad National Geographic) y el Instituto de Oceanografía de la marina mexicana. Se planean cruceros de exploración a futuro a la parte noroccidental de Cuba y a las cumbres topográficas del Golfo de México.

3. El taller *El estado del conocimiento*. El taller *El estado del conocimiento acerca del Golfo de México* llevó a cabo el 14 y 15 de octubre de 2003 en Corpus Christi. La nueva base de datos de investigación de HRI en Internet, *GulfBase*, en www.gulfbase.org, será utilizada para fomentar la cooperación y la colaboración entre los profesionales de los países colindantes del Golfo: Cuba, México y los Estados Unidos.

El propósito de este taller era iniciar un plan para determinar el estado del conocimiento acerca del área. Científicos marinos de los tres países iniciarán el proceso de sintetizar y determinar los conocimientos desde una perspectiva holística de todo el Golfo. Han pasado casi 50 años desde que se publicó el documento en un volumen *Gulf of Mexico - Its Origin, Waters, and Marine Life* (Galtsoff 1954) que resumía lo que se conocía en la época acerca del Golfo de México. Más de 50 científicos contribuyeron a este trabajo que cubre los temas de historia, geología, meteorología, oceanografía física y química, biota y contaminación del Golfo. Aunque la cobertura de cada tema varía ampliamente en términos de la profundidad y la extensión con la que se abordaron, y que se centró principalmente en la parte norte del Golfo de México, el *Bulletin 89* fue una de las principales fuentes de consulta de los investigadores durante varias décadas. La mayor parte de los conocimientos obtenidos y presentados en el *Bulletin 89* se obtuvo de cruceros y expediciones de investigación realizadas a finales del siglo XIX y principios del XX, así como de algunos incipientes laboratorios científicos marinos y programas oceanográficos de finales de la década de 1940 y principios de la década de 1950.

Durante los 50 años siguientes, una serie de trabajos publicados se han centrado en ciertos temas, regiones o grupos taxonómicos. En el cuadro 1 se resumen algunos de los más sobresalientes.

CUADRO 1. LISTA DE LOS PRINCIPALES TRABAJOS ACERCA DE TEMAS, REGIONES O GRUPOS TAXONÓMICOS SELECTOS EN EL GOLFO DE MÉXICO EN LOS ÚLTIMOS 50 AÑOS (1954-2003), DESDE LA PUBLICACIÓN DE GALTISOFF (1954)

FECHA	AUTOR(ES)	TEMA / COMENTARIOS
<i>Por tema</i>		
1970	Pequegnat y Chace (eds.)	Principalmente biología marina de gran altura; volumen 1 de 3
1972	Capurro y Reid (eds.)	Oceanografía física; volumen 2 de 3
1972	Rezak y Henry (eds.)	Oceanografía geológica y geofísica; volumen 3 de 3
1989	Britton y Morton Salvador (ed.)	Ecología costera, principalmente sobre la parte noroeste del golfo, y algo sobre la parte sur
1991	Bianchi (et al., eds.)	Geología de la Cuenca del Golfo de México
1999	Kumpf (et al., eds.)	Biogeoquímica Serie sobre ecosistemas marinos de grandes proporciones
<i>Por región</i>		
1973	SUSFIO	Resumen de los conocimientos de la parte este del Golfo
1981	Flint y Rabalais	Estudio del ecosistema de la plataforma continental exterior del sur de Texas
1983	Darnell <i>et al.</i>	Atlas de distribución de peces y camarones selectos en la parte noroeste del golfo
1985	Ehler <i>et al.</i>	Data atlas of northern Gulf coastal and ocean zones
1987	Berryhill <i>et al.</i>	Atlas de superficie y estructura del Periodo Cuaternario Tardío, parte norte del golfo
1987	Darnell <i>et al.</i>	Atlas de distribución de peces y camarones selectos en la plataforma oriental del golfo
<i>Por grupo taxonómico</i>		
1998 +	McEachron y Fechhelm	Volumen 1 (1998) contiene 40 de 44 órdenes y cerca de la mitad de las 1,468 especies; volumen 2 en impresión
2000	Wursig <i>et al.</i>	Cubre las 31 especies conocidas en el Golfo

En los albores del nuevo siglo, los investigadores de los laboratorios y las universidades marinas engloban todo el Golfo de México en Cuba, México y Estados Unidos, y la instrumentación, la tecnología y la comunicación han ampliado considerablemente nuestros conocimientos acerca de él. El Gulf of Mexico Program (Programa del Golfo de México) (www.epa.gov/gmpo/) de la Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; EPA, por sus siglas en inglés) ha identificado los problemas prioritarios que afectan la parte norte del Golfo de México, y recientemente publicó las necesidades de investigación de la región (EPA 2002). Una red de organizaciones de la Organización de las Naciones Unidas declaró al Golfo de México uno de los 64 ecosistemas marinos de gran tamaño, del mundo (Kumpf *et al.* 1999). HRI facilitó este taller El estado del conocimiento con el fin de empezar a establecer qué se sabe acerca de esta zona. El taller, en el que participarán destacados científicos de los tres países, dará inicio a la organización y preparación formales de un nuevo compendio de información acerca del Golfo de México (véase el punto 5, más adelante).

4. Proyecto de biodiversidad .Se creará un inventario de la biodiversidad del Golfo de México, revisado por colegas, mediante la preparación de una lista de control de todas las especies vivientes. Dicha lista incluirá hábitat, distribución y referencias clave para cada especie. En este momento se reúne al personal apropiado para trabajar cada uno de los principales grupos taxonómicos y se estima que se necesitan de uno a dos años para preparar la lista de control. El producto de este esfuerzo será un libro (o libros, véase el punto 5, más adelante) de todas las especies, con un resumen antes de cada grupo taxonómico. Además, este proyecto es una encuesta regional afiliada de ecosistemas del programa U.S. Census of Marine Life (Programa del censo de la vida marina) (www.coml.org), y se incluirá la lista de control en el Ocean Biogeographic Information System (Sistema de Información Biogeográfica Marina; OBIS, por sus siglas en inglés) (www.iobis.org) como un atlas taxonómico digital dinámico del Golfo de México.

El *Fishery Bulletin* 89, mencionado anteriormente en el punto 3, enumeró más de 25 grupos taxonómicos principales (filum o grandes clasificaciones) y casi 50 grupos taxonómicos en total. El 65% del libro cubre la biota y a las comunidades bióticas. En comparación, 6% está dedicado a la historia de la exploración y la investigación, 7% a la geología/oceanografía geológica, 1% a la meteorología, 10% a la oceanografía física y química, y 4% a la contaminación.

Para que los responsables del manejo de los recursos naturales manejen adecuadamente los que existen en el Golfo de México, resulta absolutamente necesario contar con una evaluación precisa de las especies, por hábitat y por distribución. Es adecuado tomar como parámetro y punto de partida temporal el inicio del siglo XXI.

5. *Bulletin 89*. Actualización de 50 Años. Al combinar los resultados de los puntos 3 y 4 mencionados anteriormente, haremos una actualización del *Bulletin 89, Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life* (Galtsoff, 1954). Es factible que aumente de un volumen a por lo menos cuatro.

Antecedentes. Hace apenas 50 años, un grupo de importantes científicos marinos acordaron crear un compendio con los conocimientos que se tenían a la fecha acerca del Golfo de México. La propuesta fue hecha por Lionel A. Walford, del Fish and Wildlife Service (Servicio de Pesca y Vida Silvestre) y Waldo L. Schmitt, del U.S. National Museum (Museo Nacional de los Estados Unidos) durante una reunión del Gulf and Caribbean Fisheries Institute (Instituto de Pesquerías del Golfo y el Caribe) en Miami. Paul S. Galtsoff, del Fish and Wildlife Service, aceptó coordinar el proyecto, cuya magnitud, como se percató más adelante, excedía por mucho sus expectativas. Sin embargo, tres años de esfuerzo realizado por 55 colaboradores y unos meses más de edición, dieron como resultado la publicación, en 1954, de la obra clásica de consulta *Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Fishery Bulletin 89* (Galtsoff, 1954). La portada de esta obra señala que fue: “Preparado por científicos norteamericanos bajo el auspicio Fish and Wildlife Service, United States Department of the Interior (Servicio de Pesca y Vida Silvestre del Departamento del Interior, de los Estados Unidos) y que el esfuerzo fue “coordinado por Paul S. Galtsoff”, a quien, por lo general, se indica como editor en las referencias bibliográficas a dicha obra.

Este volumen de referencia, al que comúnmente se le refiere sólo como *Bulletin 89* por gran cantidad de científicos marinos, personal de agencias y estudiantes que lo conocen, ha proporcionado durante 50 años un parámetro sobre el cual seguir construyendo. El planteamiento que hace de la historia de la exploración, la geología, la meteorología, la oceanografía física y química, la biota y el impacto humano siguen siendo sumamente valiosos como obras de consulta, en algunos casos principalmente por su contexto histórico. Entre los colaboradores se encontraban los científicos marinos más renombrados de la época, quienes se hicieron aún más conocidos por los capítulos tan ampliamente citados que contribuyeron a dicha obra. En el grupo se incluyeron los científicos de agencias federales, curadores museográficos,

investigadores de laboratorios marinos y profesores universitarios más calificados que se pudieron reunir. Representaba ampliamente a las autoridades taxonómicas seleccionadas para cubrir a casi todos los grupos bióticos posibles, con omisión explícita de algunos grupos para los que no se encontró un experto disponible.

Hasta donde sabemos, al momento de la elaboración de este texto, sólo cuatro de los 55 colaboradores iniciales siguen con vida; todos ellos están retirados, y únicamente dos siguen activos en el campo de la investigación. Sin embargo, los 55 colaboradores iniciales, y sobre todo el mucho mayor número de alumnos de los que fueron mentores, han contribuido a generar una enorme cantidad de información acerca del Golfo de México desde 1954. Además de este grupo medular, otros profesionales –de los cuales muchos trabajan ahora en laboratorios, agencias y programas universitarios que no existían hace 50 años– han contribuido enormemente a la información de base acerca del Golfo de México a partir de que se publicó este volumen.

El Plan. Aunque se trate de un reto de enormes proporciones, ya es imperioso contar con una actualización del *Bulletin 89*. Conforme se acerca el quincuagésimo aniversario de su publicación, el rango y el ámbito del material primario publicado acerca del Golfo de México se ha vuelto tan extenso que resulta casi inmanejable para la mayoría de los encargados. No han aparecido compendios serios en torno al Golfo de México para casi ninguno de los temas desde la publicación del *Bulletin 89* y, sin embargo, muchos de los planteamientos en dicha obra son tan anticuados que su valor se limita a servir como puntos de partida históricos. Más aún, parece existir la necesidad de empezar a reunir las compilaciones para el compendio actualizado, antes de que la comunidad científica marina sufra mayores pérdidas para la continuidad de sus conocimientos. Así como hemos perdido a casi todos los colaboradores iniciales del *Bulletin 89*, también a lo largo de estos últimos 50 años, gran parte de la siguiente generación de trabajadores se ha ido, y otros muchos están por terminar sus vidas profesionales. Quizá esto se evidencia más por el hecho de que cada vez se cuenta con un menor número de encargados calificados y con suficientes conocimientos para sistematizar la diversidad y taxonomía de la biota del Golfo de México.

Con esto, presidiremos un esfuerzo conjunto para identificar colaboradores, formular procedimientos de investigación, establecer formatos de colaboración, y marcar calendarios para lo que vemos como una actualización de 50 años de *Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life*. Nuestros esfuerzos serán incrementados por comités de vigilancia que in-

cluyan representación adicional del National Museum of Natural History (Museo Nacional de Historia Natural) del Smithsonian Institution (Instituto Smithsonian), en Washington D.C., diversas instituciones en estados de Estados Unidos de América que colindan con el Golfo de México, e instituciones clave de Cuba y de México. Nuestra intención es apartarnos de una limitante que existía en el volumen original, en cuanto a que los colaboradores contemplados en esta ocasión no serán exclusivamente científicos nativos de los EE.UU.

Proponemos que cada colaborador de este esfuerzo contribuya al volumen de 1954 mediante una revisión exhaustiva del material publicado y de otros archivos verificables, con el fin de integrar los datos y registros relevantes hasta el año 2003. Dada la magnitud de esta cobertura, y ahora, la enorme cantidad de material publicado que se debe revisar, sugerimos que este nuevo compendio se publique en por lo menos cuatro volúmenes: uno que se enfoque en el tema del origen (historia, arqueología, geología); otro, en el tema del agua (oceanografía química y física); otro a la vida marina (biota, hábitats y comunidades), y un cuarto a los efectos antropogénicos. Opinamos que no se deben publicar en ningún orden específico, sino que simplemente deben llevar el número de volumen y la fecha de publicación, de acuerdo con la secuencia en la que fueron completados. Además, proponemos que, a reserva de que se desarrollen acuerdos de publicación mutuamente benéficos, que estos volúmenes sean publicados bajo el auspicio del Instituto de Investigación Harte para estudios acerca del Golfo de México, que patrocina este plan. También se pretende que esta información constituya un recurso de partida para el desarrollo simultáneo de una base de datos en la zona del Golfo, cuyo funcionamiento y actualización estará a cargo del Instituto de Investigación Harte.

6. La conferencia Estado del Golfo de México. En octubre de 2005, la conferencia Estado del Golfo de México será un evento importante que aborde y presente públicamente la situación (condición o salud) actual de todos los aspectos del Golfo de México (biota, hábitats y comunidades bióticas, pesquerías, calidad de agua y de sedimentos, desarrollo costero, exploración y desarrollo petrolero y gasífero, turismo, manejo de los recursos naturales, etcétera). Dicha conferencia será la primera de una serie continua que se llevará a cabo cada cinco años, cada vez en una ciudad principal diferente del Golfo de México. Se establecerán diez indicadores de la salud del ecosistema que permitirán la medición de los resultados (positivos o negativos) en el estado del Golfo de México. Dichos criterios se desarrollan

en este momento.

7. Reuniones de trabajo temáticas anuales. Cada año, HRI patrocinará una pequeña reunión de trabajo con destacados científicos acerca de temas actuales e importantes que afecten al Golfo de México (por ejemplo, especies invasivas, floraciones dañinas de algas, desarrollo costero, áreas muertas, etcétera). Dichas conferencias se llevarán a cabo en el nuevo centro de conferencias de HRI en la Universidad A&M de Texas, plantel Corpus Christi, en Texas.

8. Alianza del Golfo de México. Se establecerá una alianza entre todos los grupos de interés o entidades que tengan preocupaciones, interés, uso o jurisdicción en la zona. Dicha alianza incluirá a miembros de empresas privadas (pesquerías, turismo, petróleo y gas, etcétera), agencias gubernamentales estatales y federales, académicos, ambientalistas y otros grupos no gubernamentales y ciudadanos particulares. La alianza trabajará en forma cooperativa y colectiva en favor del uso y la conservación sustentables del Golfo de México en el largo plazo.

9. Iniciativa de políticas públicas. Conforme se desarrolle y crezca, HRI pretende ubicarse a la cabeza de los esfuerzos por fomentar y lograr la cooperación entre múltiples socios, con el fin de influir sobre las políticas públicas para que contemplen el uso y la conservación sustentables del Golfo de México en el largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- H. L. Berryhill, Jr. (ed.) 1986. *Late Quaternary Facies and Structure, Northern Gulf of Mexico: Interpretations from Seismic Data*. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists.
- T. S. Bianchi, J. R. Pennock, y R. R. Twilley (eds.) 1999. *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley and Sons.
- J. C. Britton y B. Morton 1989. *Shore Ecology of the Gulf of Mexico*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- L. R. A. Capurro y J. L. Reid (eds.) 1972. *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A&M University Oceanographic Studies, Vol. 2. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2002. *Critical Scientific Research Needs Assessment for the Gulf of Mexico Program*. USEPA, Gulf of Mexico Program, Stennis Space Center, Mississippi.
- R. W. Flint y N. N. Rabalais 1981. *Environmental Studies of a Marine Ecosystem: South*

- Texas Outer Continental Shelf*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- P.S. Galtsoff (ed.) 1954. *Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life*. Fishery Bulletin 89, Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service, Vol. 55.
- H. Kumpf, K. Steidinger, y K. Sherman (eds.) 1999. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science Inc., Malden, Massachusetts.
- J. D. McEachran y J. D. Fechhelm 1998. *Fishes of the Gulf of Mexico, Volume 1*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- W. E. Pequegnat y F. A. Chace, Jr. (eds.) 1970. *Contributions on the Biology of the Gulf of Mexico. Texas A&M University Oceanographic Studies, Vol. 1*. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- R. Rezak y V. J. Henry (eds.) 1972. *Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Texas A&M University Oceanographic Studies, Vol. 3*. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- A. Salvador (ed.) 1991. *The Gulf of Mexico Basin*. Boulder, Colorado: Geology Society of America.
- SUSFIO (State University System of Florida Institute of Oceanography) 1973. A Summary of Knowledge of the Eastern Gulf of Mexico.
- R. E. Turner 1999, 'Inputs and outputs of the Gulf of Mexico', en H. Kumpf, K. Steidinger, y K. Sherman (eds.), *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Malden, Massachusetts*: Blackwell Science.
- B. Würsig, T. A. Jefferson, y D.J. Schmidly 2000. *The Marine Mammals of the Gulf of Mexico*. College Station, Texas: Texas A&M University Press.

LAS LAGUNAS COSTERAS Y ESTUARIOS DEL
GOLFO DE MÉXICO: HACIA EL ESTABLECIMIENTO
DE ÍNDICES ECOLÓGICOS

Francisco Contreras E. y Ofelia Castañeda L.

Las lagunas costeras y ecosistemas similares se caracterizan por poseer un ambiente de cambio continuo derivado de los efectos hidrológicos ocasionados por el encuentro de dos masas de agua de diferente origen y propiedades físico químicas, lo que en principio limita la diversidad específica. En cambio, y desde otra perspectiva, este encuentro trae como consecuencia la presencia de diversos hábitats que permiten el establecimiento de organismos, poblaciones e inclusive comunidades con diferentes requerimientos. Desde un enfoque espacial, el hecho de que existan normalmente áreas de influencia dulceacuícola permanente, propicia la colonización de organismos de origen acuático continental y, por otro lado, la persistencia del efecto mareal provee de especies de estirpe marina. Además de lo anterior, hay que destacar la presencia casi siempre permanente de extensas áreas en donde las condiciones salobres de 10 a 25 ppm propician un entorno hidrológico idóneo para el desarrollo de organismos típicamente estuarinos y/o eficientemente adaptados a éste. Así, la cantidad de especies de peces por laguna varía en promedio entre 50 y 100, la de moluscos entre 50 y 90 y la de crustáceos entre 40 y 70. Por otra parte, las lagunas están en su mayoría estrechamente ligadas con bosques de manglar, que constituyen hábitats particularmente ricos para las aves (se reconocen 1,038 especies de aves en México representando a 86 familias), reptiles y mamíferos.

Por otro lado, la importancia socio-económica de la actividad pesquera que se lleva a cabo en las lagunas costeras, particularmente en el Golfo de México, es indiscutible. Con base en la estadística oficial y en un análisis realizado del período 1988 a 1999, es posible establecer que en los estados del Golfo el porcentaje de la pesca ribereña, en comparación con el volumen de la pesca total (que incluye a la de alta mar), es mayoritaria y mantiene el primer lugar en 19 especies comerciales provenientes todas de su captura dentro de las lagunas o de áreas muy cercanas a ellas, y donde la abundancia de algunas especies se debe a la presencia de ecosistemas costeros. La proporción entre la pesca ribereña y de alta mar en términos de porcentajes es: Tamaulipas, 91.2; Veracruz, 80.4; Tabasco, 91.1; Campeche, 83.4 y Yucatán con 85 %. A lo anterior habría que agregar que, en términos económicos, las especies ribereñas son comúnmente más preciadas que las oceánicas (camarón, langosta, langostino, etc.) e involucran una cantidad considerable de personas y actividades relacionadas.

En resumen, las lagunas costeras y estuarios constituyen un efecto hidrológico producto del encuentro de dos tipos de agua y representan el mejor índice de la calidad de la cuenca. Así, el conocimiento de los principales parámetros físicoquímicos ofrece claves invaluable para el manejo de las cuencas y ecosistemas costeros. En este sentido, la generación de bases de datos basadas en las características de nuestros propios sistemas acuáticos, tanto abióticos como bióticos, se vuelve imprescindible para establecer índices en el monitoreo y control de la salud de dichos sistemas.

En el presente trabajo se exponen, por primera vez de forma integrada, los resultados derivados de una considerable cantidad de años de muestreos realizados en varias lagunas del Golfo de México que permiten establecer algunos valores "normales" de algunos parámetros abióticos. Existen datos inéditos que a continuación se presentan, no siendo todos (se especifica las fuentes cuando corresponda) propios de los autores. Además, en las breves descripciones que se hacen por cada sistema lagunar, se presenta el resumen de los datos hidrológicos para cada uno de ellos, con el fin de colaborar con otros investigadores.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

La línea costera del Golfo de México comprende desde el estado de Tamaulipas hasta el de Yucatán. Su extensión total es de 1,910 km y las lagunas costeras cubren una superficie aproximada de 5,767 km². En este litoral

se ubican los ríos mas caudalosos (Grijalva Usumacinta, Papaloapan) y los ecosistemas estuarinos mas grandes del país (lagunas Madre y Términos con 200,000 y 196,000 ha, respectivamente). En la costa se llevan a cabo diversas actividades económicas, sobresaliendo las pesquerías ribereñas, turismo, ganadería, agricultura y extracción de petróleo.

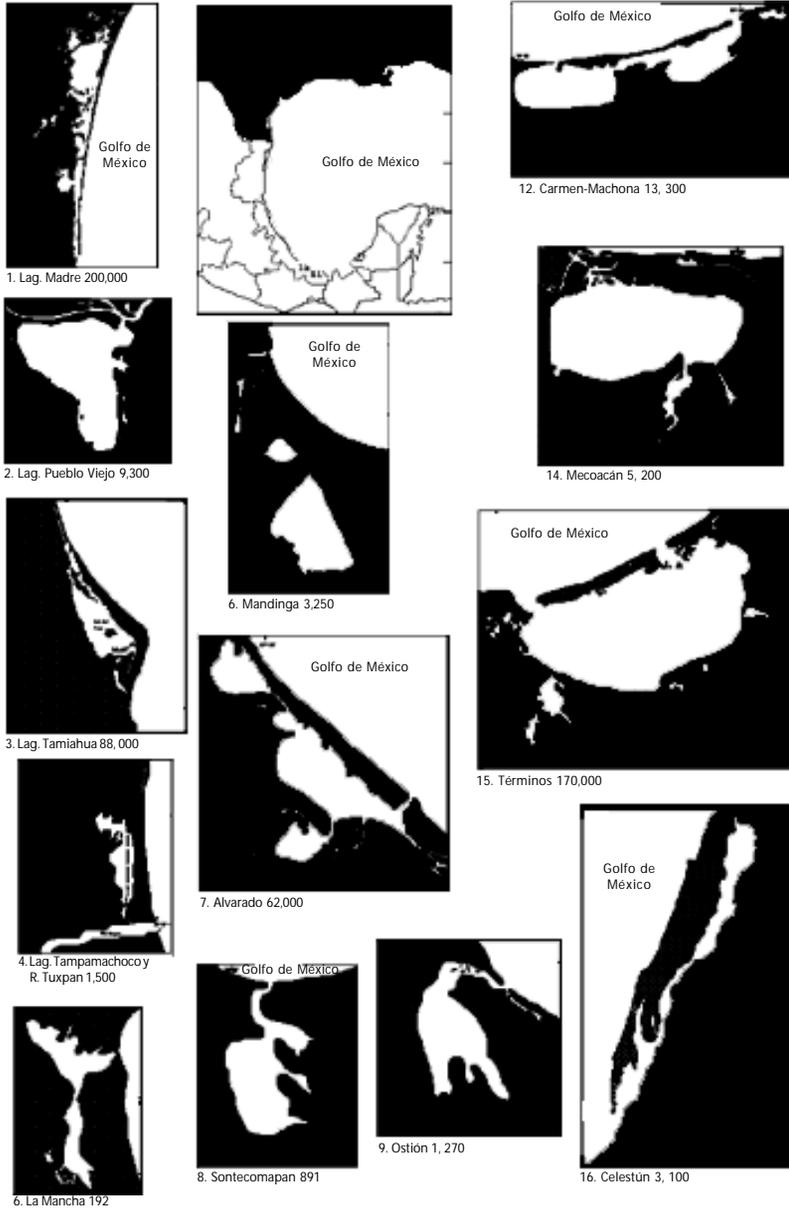
El origen geológico del litoral del Golfo de México da como resultado la presencia de planicies costeras y plataformas continentales extensas que alcanzan de 170 a 269 km en la sonda de Campeche y la Plataforma Yucateca. A excepción de la porción norte de Tamulipas y parte de la Península de Yucatán, la evaporación y precipitación son similares, además de los importantes aportes dulceacuícolas de los numerosos ríos, lo que hace que los cuerpos acuáticos manifiesten tendencias a la estuarinidad y en algunos casos a la oligohalinidad, como en los pantanos de Centla en Tabasco.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS LAGUNAS Y ESTUARIOS DEL GOLFO DE MÉXICO

Desde la perspectiva biológica, las lagunas costeras del Golfo (figura 1) poseen características propias y con diversidades diferentes propiciadas por factores hidrológicos y por la tasa de recambio de agua, así como de la influencia dominante, ya sea la marina o la dulceacuícola, debido a la estacionalidad (Nixon 1981, Knoppers *et al.* 1991, Knoppers y Kjerve 1999, Alber 2002). Sin embargo, hay algunos componentes que son compartidos, como la presencia de bosques de manglar constituido por las especies conocidas (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*), aunque no en todas coexisten las cuatro. También en la mayoría hay presencia importante de pastos marinos, en especial hacia la región de Yucatán. El fitoplancton es dominado por diatomeas y en el zooplancton la presencia de copépodos es preponderante. La frecuencia de *Acartia tonsa* es común en todas; de la misma forma, por ejemplo, la existencia de peces como *Mugil cephalus* y *M. curema* es común. El número de especies de crustáceos, moluscos y peces varía de una laguna a otra y frecuentemente se debe a las características propias, aunque en otras ocasiones se explica por el método de muestreo empleado por el investigador. El cuadro 1 presenta un inventario resumido de las lagunas del Golfo de México.

LAGUNA MADRE. Es la laguna costera mas grande de México con una extensión de 200,000 ha. En áreas con elevada salinidad, la vegetación circundante es dominada por la asociación *Suaeda nigra*- *Salicornia ambigua*; ésta

FIGURA 1. PRINCIPALES LAGUNAS COSTERAS DEL GOLFO DE MÉXICO



CUADRO 1. INVENTARIO RESUMIDO DE LAS LAGUNAS DEL GOLFO DE MÉXICO

	HA	LAT. N	LON. W		HA	LAT. N	LON. W
<i>Tamaulipas</i>				<i>Tabasco</i>			
Lag. Madre	200,000	25° 48'	97° 54'	Lag. El Carmen	8,800	18° 18'	93° 53'
Lag. El Catán	24° 01'	97° 23'		Lag. La Machona	6,500	18° 14'	93° 45'
Lag. Morales	3,200	23° 46'	97° 47'	Lag. Tupilco	800	18° 26'	93° 27'
Lag. San Andrés	9,700	22° 47'	97° 54'			18° 24'	93° 25'
		22° 32'	97° 41'	Lag. Mecoacán	5,200	18° 28'	93° 14'
Lag. El Chairel	4,200	22° 10'	97° 51'			18° 16'	93° 04'
Est. río Pánuco		22° 28'	98° 38'	Pantanos de Centla	300,000	18° 39'	92° 47'
						17° 57'	92° 06'
Total de ecosistemas:	19			Total de ecosistemas:	37		
<i>Veracruz</i>				<i>Campeche</i>			
Lag. Pueblo Viejo	9,300	22° 13'	97° 57'	Lag. Atasta	3,600	18° 40'	92° 14'
		22° 05'	97° 50'	Lag. Porn	5,200	18° 33'	92° 01'
Lag. Tamiahua	88,000	22° 06'	97° 46'	Lag. Términos	170,000	19° 00'	92° 00'
		21° 15'	97° 23'			18° 20'	91° 10'
Lag. Tampamachoco	1,500	21° 02'	97° 22'				
		20° 18'	97° 19'	Total de ecosistemas:	12		
Estuario Tecolutla		20° 29'	97° 04'	<i>Yucatán</i>			
		20° 27'	97° 00'	Lag. Celestún	3,100	20° 59'	90° 28'
Lag. Casitas-Naufla		20° 15'	97° 00'			20° 46'	90° 19'
		20° 06'	96° 00'	E. Yucalpetén		21° 19'	89° 47'
Lag. Grande	2,250	20° 06'	96° 41'	Lag. Chelém		21° 15'	89° 40'
		20° 02'	96° 38'	Dzilam de Bravo	400	21° 22'	88° 59'
Lag. San Agustín	172	19° 56'	96° 35'	Ria Lagartos	10,000	21° 34'	88° 15'
		19° 55'	96° 30'			21° 32'	87° 35'
Lag. Verde	110	19° 43'	96° 25'	Total de ecosistemas	5		
Lag. El Llano	2,360	19° 36'	96° 21'				
Lag. El Farallón	800	19° 38'	96° 24'	Total Sist. Golfo:	174		
Lag. La Mancha	192	19° 42'	96° 32'				
		19° 34'	96° 27'				
Est. La Antigua	270	19° 29'	96° 18'				
Lag. Mandinga	3,250	19° 06'	96° 06'				
		19° 00'	96° 02'				
Lag. Alvarado	6,200	18° 59'	95° 57'				
Lag. Camaronera	3,900	18° 43'	95° 42'				
Lag. Sontecomapan	891	18° 34'	95° 04'				

(Continúa)

CUADRO 1. INVENTARIO RESUMIDO DE LAS LAGUNAS DEL GOLFO DE MÉXICO

HA	LAT. N	LON. W	HA	LAT. N	LON. W
	18° 30'	95° 00'			
Lag. El Ostión	1,270	18° 15'	94° 42'		
	900	18° 07'	94° 37'		
Est. río		18° 10'	94° 25'		
Coatzacoalcos					
Est. río Tonalá		18° 14'	94° 08'		
Total de ecosistemas: 101					

Nota: Por total de ecosistemas se entiende el número total de cuerpos lagunares asociados.

última con frecuencia es sustituida por *Batis maritima* y en ocasiones por un pastizal halófito de *Distichlis spicata* y *Monanthochloe littoralis*. En las llanuras ligeramente mejor drenadas, sobre dichas asociaciones se establecen *Spartina spartinae* y *Spartina desinflora*. En el ictioplancton se determinaron 17 familias, 25 géneros y 29 especies, y la mayor abundancia la presentaron las familias Engraulidae, Gobiidae y Sparidae (Ocaña y Sánchez 1991). Los carideos se incluyen en seis géneros y nueve especies, dominando *Hippolyte pleurocantharus* y *Tozeuma carolinense* (Barba *et al.* 1993). Se identificaron 38 especies de moluscos. El conjunto faunístico dominante en la laguna está formado por los pelecípodos *Mulinia lateralis*, *Anomalocardia auberiana* y el gasterópodo *Acteon punctostriatus*, que son muy abundantes (García Cubas 1978). Se reportan 78 especies de peces, entre las que sobresalen: *Lagodon rhomboides*, *Anchoa mitchilli*, *Leiostomus xanthurus*, *Membras martinica*, *Micropogonias undulatus*, *Gobiosoma robustum*, *Hyporhamphus unifasciatus* y *Eucinostomus argenteus* (Gómez y Contreras 1991, Barba *et al.* 1991). La avifauna se compone de un total de 11, 430 individuos y 27 especies, de las cuales seis son residentes permanentes, 19 son visitantes invernales y dos transeúntes migratorias. Cabe mencionar que el 86% de los individuos registrados presentan un estatus migratorio. La mayor tendencia observada fue para la zona norte y centro respecto del número de especies e individuos, con 23 y 8,734; 24 y 1,518, respectivamente. Por su parte, la zona sur

presentó los valores más bajos; 13 especies con 1,178 individuos: entre las que sobresalen las especies *Calidris mauri*, *Calidris alpina*, *Charadrius montanus*, *Haematopus palliatus*, *Himantopus mexicanus*, *Charadrius alexandrinus* y *Charadrius wilsonia* (González et al. 2001). La hidrología de la Laguna Madre se muestra en el cuadro 2.

CUADRO 2. HIDROLOGÍA E LA LAGUNA MADRE, TAMPS.

L. MADRE	MÍN.	MÁX.	Med.	D Sta.	n
Salinidad	33.5	63.0	41.2	5.2	52
Temperatura	14.6	28.0	25.9	5.3	52
O. Disuelto	4.0	9.2	5.0	1.4	51
% Sat.	72	164	106	24.6	51
pH	7.90	9.40	8.90	4.4	28
Clor. a	0.01	54.7	5.3	13.2	39
Prod. Prim.	2.1	603.1	81.0	158.9	33
N-NH ₄	0.8	20.7	3.6	4.1	51
N-NO ₃ +NO ₂	0.4	5.9	2.4	1.4	52
N Tot.	2.9	22.9	6.8	4.1	51
NH ₄ /N Tot.	21	98	62	19.5	51
P-PO ₄	0.1	7.6	2.1	2.3	52
P Tot.	0.9	29.5	6.9	7.6	43
P Org.	0.0	27.7	1.4	7.5	43
Relación N:P	0.5	18.8	2.7	3.6	50
Indice trofico	25.2	69.8	48.2	10.4	36
C/Cl	0.3	63.0	7.3	19.0	18

LAGUNA MORALES. No hay información publicada.

LAGUNA SAN ANDRÉS. El elenco de moluscos está integrado por 35 especies de gasterópodos y 25 de bivalvos; las especies con mayor abundancia relativa y distribución en el sistema son: *Diastoma varium*, *Anomalocardia auberiana*, *Cerithidea pliculosa*, *Mulinia lateralis*, *Acteocina canaliculata*, *Rangia flexuosa*, *Odostomia weberi*, *Laevicardium mortoni*, *Neritina virginea* y *Acteon punctostriatus* (García Cubas et al. 1990).

ESTUARIO DEL RÍO PÁNUCO. Está asociado a las lagunas del Chairel, Pueblo

Viejo, Cerro Pez, Dulce, Tortugas, Chila Marlano, Los Moros, Quimin Camalote, Herradura y Tancoco. La cuenca hidrológica cubre aproximadamente 107,200 km². Su longitud es de 510 km. Nace en el estado de México, corre de suroeste a noreste, por los estados de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Querétaro, Guanajuato y Veracruz. En todas estas entidades recibe cauces para su formación.

LAGUNA DE PUEBLO VIEJO. Se han identificado 35 especies de moluscos (Reguero y García Cubas 1992) y 67 de peces. Las especies de mayor dominancia fueron: *Bairdiella chrysoura*, *Anchoa mitchilli*, *Cathorops melanopus*, *Mugil curema*, *Opsanus beta*, *Brevoortia patronus*, *Ariopsis felis*, *Bairdiella ronchus* y *Dorosoma cepedianum* (Kobelkowsky 1991). La laguna ha resentido la influencia del río Pánuco y de los desechos industriales y domésticos que acarrean sus aguas, cuyo impacto ha sido tal que la producción de ostión des-

CUADRO 3. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE PUEBLO VIEJO, VER. (1995)

L. MADRE	Mín.	Máx.	Med.	D Sta.	n
Salinidad	0.7	38.1	13.4	7.7	34
Temperatura	19.0	34.0	28.0	4.1	35
O. Disuelto	3.5	9.2	7.2	1.5	35
% Sat.	73	235	127	33.0	34
pH	7.80	8.75	8.10	0.2	32
Clor. a	0.01	64.1	5.9	16.3	21
Prod. Prim.	2.1	552.1	127.6	237.3	12
N-NH ₄	1.3	31.3	5.6	7.1	31
N-NO ₃ +NO ₂	0.3	18.0	3.6	3.3	34
N Tot.	3.1	38.0	10.9	7.8	32
NH ₄ /N Tot.	12	92	67	25.5	31
P-PO ₄	1.0	9.1	2.3	1.8	34
P Tot.	2.5	16.1	5.2	2.6	33
P Org.	0.4	14.3	2.5	2.8	31
Relación N:P	0.9	15.7	5.2	4.6	31
Indice trofico	30.0	71.4	49.7	11.5	16
C/Cl	0.0	87.6	34.6	29.8	10

ceñió considerablemente. El cuadro 3 muestra la hidrología de esta laguna.

LAGUNA DE TAMIAHUA. En la vegetación sumergida domina *Ruppia maritima*, pero hay una importante presencia de *Halodule beaudetti*. Por lo que respecta al ictioplancton, se encontraron 15 familias y 26 especies de las cuales sobresalen *A. mitchilli*, *B. chryosura*, *C. nebulosus*, *G. bosci*, *M. gulosus*, *M. Vagrans*, *A. linaetus*, *S. louisianae* y *S. scovelli* (Barba y Sánchez 1981). Las especies zooplanctónicas detectadas incuyen a: *Acartia tonsa*, *Labidocera aestiva*, *Oithona plumifera*, *Corycaeus flaccus*, *C. speciosus*, *Caligus* sp. y *Labidocera aestiva* (Alvarez y Gómez 1993). Se han identificado 62 especies de moluscos *Littoridina (Texadina) sphinctostoma* y *Retusa canaliculata*, y los bivalvos *Rangia (Rangianella) flexuosa* y *Mulinia lateralis* (Bravo et al. 1987), 26 de crustáceos (Raz Guzmán et al. 1991), 64 de poliquetos cuya dominancia fue: *Spio pettibonae*, *Pectinaria gouldi*, *Capitella capitata*, *Malacoceros vanderhorsti*, *Glycinde solitaria*, *Mediomastus californiensis* y *Sigambra bassi* (Nava et al. 1989) y 56 de otros organismos. Se conocen 120 especies de peces, las más sobresalientes son: *Bairdiella chryosura*, *Anchoa mitchilli*, *Anchoa hepsetus*, *Cynoscion nebulosus*, *Oligoplites saurus*, *Diapterus olisthostomus*, *Menidia beryllina*, *Hyporhamphus unifasciatus*, *Membras vagrans*, *Ariopsis felis*, *Strongylura notata*, *Mugil curema*, *Bairdiella chryosura*, *Cynoscion nebulosus*, *Hyporhamphus unifasciatus* y *Sphoeroides greeleyi*. A partir de los resultados obtenidos hasta el momento, se han incluido seis nuevas especies a la lista ictiofaunística que se tenía de estudios anteriores, que son: *Lutjanus griseus*, *Porichthys porosissimus*, *Fundulus grandis*, *Menticirrhus littoralis*, *Harengula pensacolatae* y *Lutjanus apodus* (De la Cruz et al. 1985). Es notoria la presencia de bacterias coliformes relacionadas con

CUADRO 4. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. (1996)

L. TAMIAHUA	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Salinidad	14.4	37.5	18.1	6.2	52
Temperatura	23.0	34.0	29.5	2.8	52
O. Disuelto	2.1	8.1	6.0	1.6	51
% Sat.	43	155	124	31.7	51
pH	7.51	9.41	8.41	2.6	47
Clor. a	0.02	64.1	10.1	14.8	38

(Continúa)

CUADRO 4. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. (1996)

L. TAMIAHUA	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Prod. Prim.	7.1	360.6	21.3	52.1	15
N-NH ₄	0.7	32.0	6.7	10.1	48
N-NO ₃ +NO ₂	0.7	12.3	2.6	2.3	52
N Tot.	1.5	35.2	10.3	10.1	48
NH ₄ /N Tot.	7	97	74	26.5	48
P-PO ₄	0.1	7.0	2.5	1.8	51
P Tot.	1.9	9.3	4.3	1.9	49
P Org.	0.1	5.0	1.6	1.2	49
Relación N:P	0.5	35.3	3.2	8.5	40
Indice trofico	3.0	71.4	53.5	17.5	36
C/Cl	0.5	17.7	1.2	6.4	12

los asentamientos humanos ribereños (Barrera 1995).

LAGUNA DE TAMPAMACHOCO. Un total de 23 especies de macroalgas fueron identificadas: 9 Chlorophyceae, 2 Phaeophyceae y 12 Rhodophyceae. La riqueza algal por área es relativamente alta (60 a 100 veces) en comparación con otras lagunas costeras (Laguna Madre y Tamiahua con 29 y 22 especies, respectivamente) (Dreckmann y Pérez 1994). Con respecto al zooplancton, dominan los copépodos, *Acartia paracalanus* y *Temora* sp. Asimismo, se registraron ambientes lagunares propios de determinados zooplanctones como las medusas *Blackfordia virginica*, *Bougainvillia niobe*, *Aurelia aurita* y *Dactylometra* y los ctenóforos, *Beröe ovata* y *Mnemiopsis leidy*, entre otros. Se han identificado 66 especies de moluscos entre los que destacan: *Cerithidea pliculosa*, *Acteocina canaliculata*, *Mulinia lateralis*, *Littoridina sphinctostoma*, *Mytilopsis leucophaeata* y *Neritina reclinata* (Reguero et al. 1991); 14 de crustáceos (Chávez 1967) y 53 de otros organismos (Mendez 1989). Las especies de peces más comunes son *Diapterus auratus*, *Bairdiella ronchus*, *Citharichthys spilopterus*, *Arius melanopus*, *Gobionellus hastatus*, *Centropomus parallelus*, *Centropomus undecimales*, *Mugil curema*, *Dormitator maculatus* y *Syngnathus scovelli* (Kobelkowsky 1991). El registro combinado de 171 especies ubica a la región de Tuxpan Tampamachoco como la segunda área estuarina lagunar del Golfo de México en cuanto a la riqueza específica, sólo por debajo de

la Laguna de Términos en Campeche. Se han obtenido 18 nuevos registros para el área, destacándose la presencia de una nueva familia (Cichlidae) con una especie autóctona y 10 nuevos géneros de familias ya reportadas (Pérez *et al.* 1994). Recibe descargas importantes de aguas residuales y son frecuentes las bacterias asociadas a coliformes como: *Shigella*, *Salmonella* y

CUADRO 5. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO, VER. (CICLO 1980)

L. TAMPA	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	28.6	38.5	34.0	8.0	36
Temperatura	20.7	34.0	28.6	7.2	36
O. Disuelto	2.2	6.6	4.1	1.5	36
% Sat.	42	155	86	35.1	36
pH	7.80	8.40	8.00	4.1	17
Clor. a	0.30	16.1	4.8	4.2	27
Prod. Prim.					
N-NH4	0.07	15.1	4.5	3.7	31
N-NO3+NO2	0.2	4.5	0.6	0.8	32
N Tot.	0.5	15.6	5.7	3.9	29
NH4/N Tot.	15	97	87	22.8	29
P-PO4	0.1	1.4	0.6	0.4	33
P Tot.	0.8	9.9	1.6	2.7	32
P Org.	0.2	8.5	1.0	2.4	32
Relación N:P	1.0	26.1	10.0	6.9	25
Indice trofico	18.8	57.8	45.9	9.6	27

CUADRO 5. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO, VER. (CICLO 1990)

L. TAMPA	MIN	MAX	MED	D Sta.	n
Salinidad	8.9	44.5	29.4	10.3	113
Temperatura	17.0	34.5	29.6	6.3	117
O. Disuelto	1.8	9.0	4.5	1.9	114

(Continúa)

CUADRO 5. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO, VER. (CICLO 1990)

L. TAMPA	MIN	MAX	MED	D Sta.	n
% Sat.	11	196	100	46.9	100
pH	6.68	9.32	8.11	1.9	114
Clor. a	0.1	90.4	12.6	19.3	104
Prod. Prim.	9.4	527.0	104.0	115.9	88
N-NH4	0.04	39.4	5.3	8.4	119
N-NO3+NO2	0.4	55.6	2.7	7.5	120
N Tot.	0.8	74.7	8.4	11.9	119
NH4/N Tot.	1	93	63	27.3	119
P-PO4	0.1	37.2	6.9	8.3	118
P Tot.	0.3	99.6	13.8	14.8	104
P Org.	0.0	63.1	3.6	8.5	104
Relación N:P	0.1	36.3	1.7	9.4	113
Indice trofico	1.2	74.8	55.4	15.4	93
C/Cl	0.5	75.5	7.1	14.8	60

Vibrium. Su hidrología se muestra en el cuadro 5.

ESTUARIO TUXPAN. Se forma al unirse el río Vinazco con el Pantepec, que bajan de la Sierra Madre Oriental. Corre de oeste a este por la llanura costera del Golfo de México; recibe por el sur los arroyos de Mequetla y de Cañas; por el norte al río Buenavista que viene de la Sierra de Otontepec, al arroyo Hondo y las aguas de la laguna de Tampamachoco. Desemboca en el Golfo de México formando la barra de Tuxpan. Es navegable en 67 km. Presenta una circulación estuarina típica la mayoría del año (Contreras 1983)

ESTUARIO TECOLUTLA. Nace en la Sierra de Puebla, formado por la confluencia de los ríos Necaxa, Axacal, Cempoala y San Pedro; cerca de su desembocadura recibe al arroyo de Chichicatzapa, formando la barra de Tecolutla. Las especies más frecuentes y abundantes de poliquetos fueron *Polyphthalmus* sp, *M. californiensis* y *C. candida*. De la ictiofauna como habitantes temporales del componente estuarino están: *Anchoa mitchilli mitchilli*, *Mugil cephalus*, *Mugil curema*, *Centropomus undecimalis*, *Bagre marinus* y *Erotelis smaragdus*; como habitantes permanentes del componente estuarino solamente *Gobionellus hastatus*, y como especies eurihalinas del

CUADRO 6. HIDROLOGÍA DEL ESTUARIO TUXPAN, VER. (1980)

R. TUXPAN	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Salinidad	1.5	36.0	16.6	8.3	68
Temperatura	16.5	32.5	27.7	4.4	82
O. Disuelto	2.3	7.6	5.3	1.0	61
% Sat.	45	145	102	19.8	54
pH	7.30	8.90	8.2	0.4	33
Clor. a	0.4	76.5	4.7	15.7	46
N-NH ₄	0.2	16.0	3.4	4.2	42
N-NO ₃ +NO ₂	0.1	15.9	0.5	3.7	41
N Tot.	0.7	27.6	3.5	7.3	34
NH ₄ /N Tot.	10	97	80	27.6	34
P-PO ₄	0.1	1.5	0.3	0.4	41
P Tot.	0.2	7.9	1.5	2.0	31
P Org.	0.0	6.7	1.1	1.6	31
Relación N:P	1.3	96.5	8.3	19.0	33
Indice trofico	21.6	73.1	45.8	10.4	46

componente marino, *Diapterus olisthostomus*, *Arius felis*, *Oostethus lineatus*, *Strongylura marina*, *Caranx hippos*, *Gobiomorus dormitator* y *Opsanus beta* (Rodríguez 1990). El total de especies de peces es de 57 (Martínez 1993). Se presentan 106 especies de aves incluídas en 77 géneros y 39 familias pertenecientes a 15 órdenes (Moreno 1986, De Sucre *et al.* 1985). La hidrología de este estuario se muestra en el cuadro 6.

ESTUARIO CASITAS-NAUTLA. El río Nautla mantiene una conexión libre con el mar abierto por medio de una abertura en la Barra de Nautla, que es una franja de tierra frente a la costa. La boca del río comunica simultáneamente al estero Tres Bocas de Casitas. El río Nautla nace en la Sierra de Teziutlán con el nombre Altotonga o Alsesecá; corre de sur a norte y recoge por su margen derecha al río Bobos que desciende del Cofre de Perote; gira al noreste y recibe al río Quila; ya en la llanura costera recibe por la izquierda las aguas del río María Martínez de la Torre y a la derecha al Chapachapa. En el ictioplancton dominan *Syngnathus* sp., *Anchoa mitchilli*, la familia Engraulidae, *Hypsoblennius hentzi*, *Cynoscion* sp., *Gobiosoma* sp., *Haemulon plumieri*, *Gobionellus boleosoma*, *Bairdiella chrysura*, *Trinechtes maculatus* y *Orthopristis chrysoptera*. Se han identificado 34

especies de peces, entre las cuales las más abundantes son: *Arius melanopus*, *Mugil curema* y *Polydactilus octonemus* y 17 de crustáceos (Franco *et al.* 1982).

LAGUNA GRANDE. Se ha identificado un total de 37 especies de moluscos, entre los que las especies más abundantes fueron *Littoridina* (Texadina) *sphinctostoma*, *Cyrenoida floridina*, *Neritina* (Vitta) *virginea* (García Cubas *et al.* 1992) y 36 de crustáceos con la frecuencia de *Macrobrachium acanthurus*, *Penaeus setiferus*, *Callinectes exasperatus*, *C. danae*, *Cardisoma guanhumi*, *Octonema cuadrata*, *Pilumnus pannosus* y *Uca mordax* (González *et al.* 1985). Hay 39 especies de peces siendo las dominantes *Bathygobios soparator*, *Dormitator maculatus*, *Eleotris abacurus*, *Eleotris pisonis*, *Eleotris smaragdus*, *Gobioides broussoneti*, *Gobionellus boleosoma*, *Gobionellus hastatus*, *Gobiomorus dormitator* y *Dormitator maculatus* (De la Cruz *et al.* 1985).

LAGUNA SAN AGUSTÍN. Se han identificado 33 especies de peces, siendo las mejor representadas *Anchoa mitchilli* y *Diapterus rhombeus* (Sánchez 1989).

LAGUNA VERDE. No hay información publicada.

EL LLANO (CAMARÓN). Se identificaron 26 especies de crustáceos (Oliva 1991) y 46 de peces, las especies más abundantes son: *Anchoa mitchilli*, *Gobionellus boleosoma*, *Diapterus olisthostomus*, *Gobionellus hastatus*, *Eucinostomus melanopterus* y *Poecilia latipunctata* (Morales 1984).

EL FARALLÓN. En la ictiofauna sobresalen los cíclidos *Tilapia rendalli* (mojarra) y *Cichlasoma gadovii*, (guapote); el caracínido *Astyanax fasciatus*, (sardinita plateada); el poecílido *Poecilia latipunctata*, (topote) y el clupeido *Dorosoma petenense*, (doradita) (Serrano y Juárez 1988).

LA MANCHA. Del zooplankton se identificaron las siguientes especies: *Paracalanus aculeatus*, *Pseudodiaptomus coronatus*, *Temora turbinata*, *Centropages furcatus*, *Labidocera aestiva*, *Acartia tonsa*, *A. lilljeborgii*, *Tortanus setacaudatus*, *Euterpina acutifrons*, *Diosaccus tenuicornis*, *Corcycaeus lautus*, *Ergasilus* sp. y *Cymbasoma* sp. El grupo más numeroso fue el de los copépodos calanoides, siendo *Acartia tonsa* y *Tortanus setacaudatus* las especies dominantes (Alvarez 1988). Se han detectado 44 especies de moluscos, las de importancia comercial en el área son: *Crassostrea virginica*, *Isognomon alatus* y *Melongena melongena*, *Mytilopsis leucophaeata*, *Ischadium recurvum*, *Crassostrea virginica* y diversos gasterópodos, característicos de áreas lagunares mesohalinas (5 a 18 ppm); *Melongena melongena*, *Cerithidea pliculosa*, *Mulinia lateralis* y algunas otras especies características de áreas lagunares polihalinas (18 a 30 ppm); *Odostomia impresa* y *Nassarius vibex* son especies características de áreas lagunares polihalinas o eurihalinas (25 a 40 ppm) (Flores *et al.* 1988) y 24 de otros organismos (Reyes 1986). Se han

identificado 43 especies de peces, y la comunidad íctica se encontró tipificada por: *Eucinostomus melanopterus*, *Gobionellus boleosoma*, *Bathygobios*

CUADRO 7. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE LA MANCHA, VER. (2002)

LA MANCHA	MIN	MAX	MedD	D Sta.	n
Salinidad	1.0	35.0	19.7	9.4	84
Temperatura	21.0	36.5	28.7	3.6	84
O. Disuelto	0.3	5.8	3.4	1.4	84
% Sat.	7	128	71	30.2	84
pH	6.82	8.07	7.48	0.4	60
Clor. a	0.0	38.7	3.9	7.3	82
Prod. Prim.	5.9	313.4	45.3	79.0	68
N-NH ₄	1.4	44.6	7.0	6.3	72
N-NO ₃ +NO ₂	0.0	19.0	1.5	2.6	71
N Tot.	2.5	50.0	8.6	6.9	72
NH ₄ /N Tot.	7	100	84	19.5	72
P-PO ₄	2.3	27.4	5.7	5.7	71
Relación N:P	0.2	10.8	1.3	1.6	71
Indice trofico	23.3	66.4	48.4	9.0	68
C/Cl	0.8	88.7	10.6	22.2	52

soporator, *Gobionellus boleosoma* y *Eucinostomus melanopterus* (Ramírez *et al.* 1993). La hidrología de la laguna de la Mancha se muestra en el cuadro 7.

LA ANTIGUA. Nace en la vertiente este de la Sierra Madre Oriental al norte del Pico de Orizaba, con el nombre de río Chichiquila; corre por una barranca profunda, se le unen numerosos ríos que bajan del Cofre de Perote y cambia su nombre por el de río Jacumulco o Pescados; continúa de oeste a este; por su margen derecha recibe a los ríos Santa María, Paso de Ovejas y San Juan desembocando en el Golfo de México en donde forma la barra de la Antigua. En el estuario existen: *Cardisoma guanhumi*, *Gecarcinus lateralis*, *Uca pugilator*, *Sesarma cinereum* y *Ocypode sp.*, de estos *Sesarma cinereum*, es la más frecuente (Díaz y Chávez 1987). El género de cangrejos violinistas está representado por tres especies y una subespecie: *Uca rapax*, *Uca*

CUADRO 8. HIDROLOGÍA DEL ESTUARIO DE LA ANTIGÜA, VER. (1982)

LA ANTIGÜA	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Salinidad					
Temperatura	28.2	29.5	29.0	0.5	8
O. Disuelto	2.9	5.0	3.5	0.8	8
pH	5.9	7.1	6.2	0.6	6
Clor. a	0.0	18.7	6.7	5.7	19
N-NH4	3.2	16.4	7.4	3.4	19
N-NO3+NO2	1.1	49.6	10.6	12.3	19
N Tot.	7.1	56.5	19.2	11.2	19
NH4/N Tot.	12	91	48	26.2	19
P-PO4	1.8	4.7	4.0	0.9	8
P Tot.	1.8	3.0	2.7	0.4	8
Relación N:P	4.8	13.4	7.6	2.7	8
Indice trofico	15.4	59.3	49.6	10.5	18

marguerita, *Uca spinicarpa* y *Uca vocator vocator* (Díaz 1992). Se han identificado 37 especies de peces sobresalen: *Diapterus rhombeus*, *Caranx latus*, *Mugil curema*, *Cichlasoma ellioti* y *Arius melanopus* (Cubillas *et al.* 1987). La hidrología de este estuario se muestra en el cuadro 8.

LAGUNA DE MANDINGA. La laguna está asociada al río Jamapa, el cual nace con los deshielos del Pico de Orizaba, y recorre 150 km; corre de oeste a este y recibe varios afluentes de los ríos Huatusco, Cotaxtla, Totolapan, desemboca en el Golfo de México, en el lugar conocido como Boca del Río próximo a la ciudad de Veracruz. Se han identificado 32 especies de moluscos (Reguero y García Cubas 1993) y 40 especies de peces, siendo las más comunes: *Diapterus olisthostomus*, *Diapterus rhombeus* *Arius melanopus*, *Mugil curema*, *Anchoa hepsetus*, *Arius felis* y *Anchoa mitchilli* (De la Cruz *et al.* 1985), 185 de aves y 25 de otros organismos. Se obtuvo el registro de 18 órdenes, 42 familias, 131 géneros y 185 especies de aves, de las cuales aproximadamente 60 ocupan la vegetación acuática y subacuática, el resto corresponden manglar y a otros tipos de vegetación, habiendo especies comunes para ellos (Alafita y Martínez 1993).

LAGUNA DE ALVARADO. Está formada por la Laguna de Alvarado propiamente dicha, Buen País, Camaronera y Tlalixcoyan, principalmente, aun-

CUADRO 9. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. (1996)

L. MANDINGA	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	4.4	32.9	23.5	9.25	42
Temperatura	26.2	33.0	29.0	2.0	42
O. Disuelto	2.6	6.7	4.5	1.00	41
% Sat.	59	133	97	18	41
pH	6.63	8.75	8.32	0.45	41
Clor. a	7.2	65.3	18.2	15.7	41
PN	1.4	391.7	69.8	94.2	40
N-NH4	1.0	14.9	5.6	3.4	42
N-NO3+NO2	0.7	13.3	3.0	3.5	42
N Tot.	3.7	21.7	10.6	4.7	42
NH4/N Tot.	25	87	62	19	42
P-PO4	0.1	3.4	0.9	0.7	42
P Tot.	0.2	10.2	2.2	2.2	42
P Org.	0.1	9.9	1.5	2.0	42
Relación N:P	3.6	42.8	8.9	7.1	36
Indice trofico	49.9	96.1	59.2	8.3	42
C/Cl	0.2	21.1	4.5	3.9	39

que presenta un gran número de otros pequeños cuerpos acuáticos y zonas inundables. El sistema lagunar está asociado con el río Papaloapan, cuya cuenca cubre una extensión aproximada de 39,189 km², se extiende por los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz y recorre un total de 445 km. La vegetación sumergida es fundamentalmente *Ruppia maritima*, la cual forma algunas praderas de pequeña extensión en las cercanías de Barra Vieja. Se han identificado 62 especies de moluscos destacando por su valor de importancia relativa *Rangia flexuosa*, *Neritina reclivata*, *Mulinia lateralis* y *Littoridina sphinctostoma* (Reguero y García Cubas 1990, 1991). El catálogo de anomuros y braquiuros de la laguna comprenden a: *Clibanarius vittatus*, *Callinectes similis*, *Callinectes rathbunae*, *Callinectes sapidus*, *Eurypanopeus depressus*, *Hexapanopeus* sp., *Dyspanopeus texanus*, *Panopeus lacustris*, *Rhithropanopeus harrisi*, *Cardisoma guanhumii*, *Pachygrapsus gracilis*, *Sesarma (Holometopus) ricordi*, *Goniopsis cruentata*, *Aratus pisonii*, *Pinnotheres ostreum*, *Uca (Minuca) rapax rapax*, *Uca (Minuca) vocator vocator*

y *Uca marguerita* (Raz Guzmán *et al.* 1991). Se han identificado mas de 100 especies de peces y sobresalen: *Dormitator maculatus*, *Diapterus rhombeus* y *Cichlasoma urophthalmus*, en tanto que para la boca artificial, cinco fueron las más abundantes: *Ulaema lefroyi*, *Evorthodus lyricus*, *Gobionellus*

CUADRO 10. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. (CICLO 1984)

L. ALVARADO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.1	39.0	9.3	8.4	87
Temperatura	22.5	33.0	29.5	2.1	88
O. Disuelto	2.0	7.4	5.2	1.0	81
% Sat.	38	160	103	20.7	81
pH	7.00	9.00	8.30	0.4	76
Clor. a	0.0	174.5	13.7	45.4	81
Prod. Prim.	8.5	437.5	64.8	112.7	24
N-NH4	0.2	84.2	8.9	12.5	72
N-NO3+NO2	0.3	61.7	1.8	10.7	80
N Tot.	0.3	123.2	13.9	20.8	80
NH4/N Tot.	28	97	78	22.3	72
P-PO4	0.2	25.3	2.0	3.0	78
P Tot.	0.1	16.4	2.8	3.6	47
P Org.	0.0	7.0	1.4	1.5	23
Relación N:P	0.2	45.5	6.6	10.7	73
Indice trofico	32.0	81.2	56.5	13.7	76
C/Cl	0.4	25.9	3.5	7.5	20

CUADRO 10. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. (CICLO 1996)

L. ALVARADO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.3	33.6	5.0	6.8	50
Temperatura	25.0	33.0	27.6	2.1	51
O. Disuelto	2.7	7.9	5.5	1.1	51

(Continúa)

CUADRO 10. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. (CICLO 1996)

L. ALVARADO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
% Sat.	52	147	108	20.8	51
pH	6.93	8.80	8.25	1.2	50
Clor. a	4.9	138.8	15.2	23.2	46
Prod. Prim.	0.6	183.3	51.3	47.7	42
N-NH ₄	1.2	44.8	10.0	10.1	51
N-NO ₃ +NO ₂	0.5	20.1	5.2	4.1	51
N Tot.	4.9	45.8	15.6	10.0	51
NH ₄ /N Tot.	13	98	57	25.7	51
P-PO ₄	0.01	13.4	1.4	2.3	51
P Tot.	0.17	14.0	4.4	2.9	51
P Org.	0.04	7.2	2.9	1.9	51
Relación N:P	0.89	35.2	8.3	9.6	42
Indice trofico	46.2	83.5	57.7	7.7	47
C/Cl	0.1	23.9	3.3	5.0	39

boleosoma, *Dormitator maculatus* y *Bathygobios soporator* (Cruz y Rodríguez 1991, Chávez y Franco 1992). Se han identificado 154 especies de aves (Carmona *et al.* 1987) y 18 de otros organismos acuáticos. Se ha detectado la presencia de 13 plaguicidas como Endosulfan II, Endrín y Aldrin, entre otros. La hidrología de la Laguna de Alvarado se muestra en el cuadro 10.

LAGUNA DE SONTECOMAPAN. En total se detectaron siete fanerógamas: *Ruppia maritima*, *Najas guadalupensis*, *Pistia statiotes*, *Lemna* sp, *Potamogeton interruptus* y *Potamogeton foliosus*; a excepción de la primera, las otras especies se encontraron sólo en algunas épocas del año. En estudios sobre el ictioplancton, se determinaron 14 familias, 17 géneros y 16 especies; la mayor abundancia relativa corresponde a la familia Gobiidae con el 82.78 %, seguida de la familia Engraulidae con el 12.37 % y de la familia Sciaenidae con el 3.74 %. Se registró un total de 60 especies de moluscos, por su distribución y abundancia relativa las especies representativas son: *Neritina reclinata*, *Neritina virginea*, *Mulinia lateralis* y *Mytilopsis leucophaeata* (García Cubas y Reguero 1995). Se han identificado 68 especies de peces, y las de mayor frecuencia fueron *Anchoa hepsetus*, *Cathorops aguadulce*, *Gobionellus hastatus* y *Achirus lineatus* (De la Cruz *et al.* 1985). El cuadro 11 resume su

CUADRO 11. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE SONTECOMAPAN, VER. (1992)

L. SONTECOMAPAN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.26	37.76	12.31	12.5	36
Temperatura	25.0	34.8	30.5	2.3	36
O. Disuelto	3.51	8.53	5.99	1.2	36
% Sat.	75	175	124	22.2	36
pH	6.84	8.70	8.00	0.4	36
Clor. a	0.08	50.40	13.00	15.0	28
Prod. Prim.	1.1	409.1	106.8	109.9	13
N-NH ₄	1.75	32.70	6.85	8.0	35
N-NO ₃ +NO ₂	0.72	14.80	3.12	4.4	36
N Tot.	3.53	47.50	11.13	11.2	35
NH ₄ /N Tot.	29	92	72	15.8	35
P-PO ₄	0.96	5.25	2.30	1.3	36
P Tot.	1.85	9.29	3.86	1.6	36
P Org.	0.07	4.82	1.19	1.0	36
Relación N:P	0.74	28.44	5.67	7.9	35
Índice trófico	5.79	69.03	55.73	16.5	27
C/Cl	0.34	5.93	3.16	1.9	10

hidrología.

LAGUNA DEL OSTIÓN. Se han identificado 7 especies de crustáceos y 36 de peces entre las que sobresalen: *Brevoortia patronus*, *Anchoa lamprotaenia*, *Anchoa mitchilli*, *Arius melanopus*, *Centropomus parallelus*, *Oligoplites saurus*, *Lutjanus apodus*, *Eucinostomus melanopterus*, *Eucinostomus gula*, *Diapterus rhombeus*, *Archosargus probatocephalus*, *Bathygobius soporator* y *Citharichthys spilopterus* (García 1988). Su ubicación dentro de una de las zonas industriales petroleras más importantes de México trajo como consecuencia que sus características ecológicas fueran alteradas sensiblemente. Su hidrología se muestra en el cuadro 12.

ESTUARIO COATZACOALCOS. Nace en la Sierra Atravesada y después de correr hacia el oeste gira hacia el norte y luego al noreste, para desembocar al Golfo de México. Es navegable por 222 km. Sus principales afluentes son los ríos de Jaltepec, que baja de la Sierra de los Mijes y que se une en la margen izquierda y el río Uxpanapa que nace en la vertiente norte de la Sierra Atra-

CUADRO 12. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DEL OSTIÓN, VER. (1985)

L. OSTIÓN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.16	33.90	12.96	12.95	45
Temperatura	20.5	30.8	28.3	3.7	45
O. Disuelto	3.19	5.73	5.00	0.60	45
% Sat.	59	122	100	14.9	45
pH	6.70	9.30	7.95	0.74	45
Clor. a	0.01	38.15	5.53	8.77	45
Prod. Prim.	2.1	133.3	27.0	36.7	35
N-NH4	6.25	40.06	11.13	10.71	45
N-NO3+NO2	0.25	13.71	1.51	3.11	45
N Tot.	1.47	43.29	12.53	11.47	45
NH4/N Tot.	40	98	92	14.6	45
P-PO4	0.35	37.25	4.52	13.11	3
Relación N:P	0.08	30.53	2.13	7.02	30
Indice trofico	35.8	66.3	50.3	8.7	45
C/Cl	0.16	17.66	1.81	5.30	30

vesada y se une en la margen derecha antes de su desembocadura. Se determinaron 58 especies de larvas de peces, incluidos en 91 géneros y 58 familias (León 1990). Se reconocieron 51 especies de crustáceos, entre las que las dominantes fueron *Penaeus (Farfantepenaeus) aztecus* y la jaiba *Portunus spinicarpus*. En la zona costera se reconocen a *Callinectes similis*, *Gecarcinus lateralis*, *Cardisoma guanhumi* y *Ucides cordatus* y 22 de otros organismos acuáticos (Bozada y Páez 1986). Se reportan 46 especies de peces sobresaliendo: *Dorosoma anale*, *Ictalurus meridionalis*, *Bagre marinus*, *Arius felis*, *Arius melanopus*, *Centropomus parallelus* *Selene vomer*, *Diapterus rhombeus*, *Stellifer lanceolatus*, *Bairdiella chrysur*, *Citharichthys spilopterus*, *Trinectes maculatus* y *Achirus lineatus*. Los resultados de varias investigaciones destacan la importancia de los humedales de Coatzacoalcos para aves residentes y migratorias (Herzig 1986). Esta región es el área con la mayor concentración industrial vinculada a la refinación de hidrocarburos, la producción de petroquímicos y al transporte de estos productos en las costas mexicanas del Golfo de México.

ESTUARIO TONALÁ. Está formado por los ríos Tancochapa y Zanapa, el pri-

mero está formado por la unión de los ríos Playas y Pedregal que nacen en la Sierra Atravesada y el segundo, que viene del este, está formado por el arroyo de San Juan, el río Costijapa y las aguas de la laguna del Rosario. En el río Tonalá se han identificado 50 especies de peces, las especies *Arius melanopus*, *Diapterus rhombeus* y *Achirus lineatus* tipifican la comunidad íctica pues representan la mayor abundancia del total de organismos capturados. Se reportan además *Dorosoma anale*, *Bagre marinus*, *Arius felis*, *Arius melanopus*, *Centropomus parallelus*, *Bairdiella ronchus*, *Chaetodipterus faber*, *Citharichthys spilopterus*, *Trinectes maculatus* y *Monacanthus hispidus*. ocho de crustáceos, 202 de aves (Herzig 1986) y 22 especies de otros organismos acuáticos (Bozada y Páez 1986). Navegable por 200 km.

LAGUNA DEL CARMEN MACHONA. Se han identificado 95 especies de moluscos (Antolí y García Cubas 1985), y los gasterópodos más abundantes fueron *Cerithidae pliculosa*, *Neritina virginea*, *Crepidula plana*, *Nassarius vibex* y *Nassarius acutus*; de los bivalvos fueron: *Rangia flexuosa*, *Donax variabilis texasiana*, *Rangia cuneata*, *Crassostrea virginica* y *Ostrea equestris*. Ocho especies de crustáceos fueron capturadas, de las cuales *Callinectes similis*, *Callinectes rathbunae*, *Callinectes sapidus* y *Penaeus setiferus* fueron los más abundantes (Granados *et al.* 1991). En relación con la fauna carcinológica, Urbina (1996) identificó trece familias y diecinueve géneros, que agrupan a veinticinco especies, de las cuales seis son de importancia comercial, tres de la familia Portunidae, *Callinectes sapidus*, *Callinectes rathbunae* y *Callinectes similis* y tres de la familia Penaeidae, *Penaeus aztecus*, *Penaeus duorarum* y *Penaeus setiferus*. La especie que presentó mayor abundancia y distribución más amplia fue *Clibanarius vittatus*, que se encontró en casi todo el sistema. Cabe notar que del total de las especies, dos (*Heterocrypta granulata* y *Pinnixa cristata*) resultan de gran interés, por ser los primeros reportes para el Golfo de México y por ende para el estado de Tabasco. Reséndez (1980) enlistaba a *Aetobatus marinari*, *Peprilus paru*, *Ophichthus pomesii*, *Callechelys perryae*, *Myrophis punctatus*, *Anchoa hepsetus*, *Mugil curema* y *Diapterus olisthostomus*, como las especies de peces más comunes. Años después, a fin de conocer el impacto que ha causado el notable ensanchamiento de la barra de Alacranes sobre la composición de la fauna íctica en esta área, se realizó un trabajo en un ciclo anual encontrándose hasta la fecha 54 especies que corresponden a 43 géneros y 28 familias, de las cuales sólo 40 especies coinciden con las anteriores. Entre las especies encontradas por Reséndez no capturadas cabe destacar aquellas que viven en aguas menos salinas como *Gambusia yucatanica*, *Cichlasoma urophthalmus* y *Gobionellus boleosoma*, entre otras (Granados

CUADRO 13. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE CARMEN Y MACHONA, TAB. (1985)

CARMEN-MACHONA	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	27.2	35.0	32.6	2.5	17
Temperatura	26.1	29.9	28.9	0.8	17
O. Disuelto	3.2	5.3	4.5	0.5	16
% Sat.	70	118	100	11	16
Clor. a	6.2	135.9	14.0	32.1	15
Prod. Prim.	8.3	239.9	59.3	67.3	12
N-NH4	1.3	13.4	3.7	4.1	17
N-NO3+NO2	0.5	2.3	1.2	0.5	15
N Tot.	2.3	14.6	4.3	4.1	17
NH4/N Tot.	42	100	83	18.5	17
P-PO4	0.8	10.3	3.4	2.6	17
P Tot.	2.4	21.6	6.3	4.5	17
P Org.	0.3	12.4	1.8	3.2	17
Relación N:P	0.3	7.1	1.6	2.1	17
Indice trofico	48.5	78.8	56.5	7.7	15
C/Cl	0.4	14.8	4.0	5.0	12

CUADRO 14. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TUPILCO, TAB. (1987)

TUPILCO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	8.9	41.2	17.7	11.9	12
Temperatura	30.5	36.6	32.7	1.9	12
O. Disuelto	1.6	4.6	3.9	1.0	12
% Sat.	38	106	89	21	12
pH	7.1	7.8	7.5	0.3	6
Clor. a	2.1	35.6	10.7	13.0	12
Prod. Prim.	21.9	469.1	96.9	176.0	5
N-NH4	2.7	22.2	5.5	5.9	11
N-NO3+NO2	0.6	2.6	0.9	0.6	12
NTot.	3.4	83.0	6.8	22.1	12
NH4/NTot.	56	98	87	11.1	12
P-PO4	6.3	19.0	14.3	3.4	12

CUADRO 14. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TUPILCO, TAB. (1987)

TUPILCO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
P Tot.	8.1	22.1	14.8	4.1	9
P Org.	0.1	3.4	1.9	1.3	7
Relación N:P	0.3	7.0	0.6	1.9	12
Indice trofico	37.8	65.6	53.3	9.9	12
C/Cl	4.0	20.5	10.5	6.5	5

et al. 1991). La hidrología de esta laguna se muestra en el cuadro 13.

LAGUNA TUPILCO. Hábitat de 62 especies de moluscos, entre los que destacan por su abundancia, frecuencia y densidad relativas *Mytilopsis leucophaeata*, *Rangia flexuosa*, *Acteocina canaliculata* y *Littoridina spinctostoma* (García Cubas y Reguero 1990). Su hidrología se resume en el cuadro 14.

LAGUNA DE MECOACÁN. Se localizan 42 especies de moluscos, 20 de ellas

CUADRO 15. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE MECOACÁN, TAB. (1985)

MECOACÁN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	22.3	34.0	31.8	5.3	6
Temperatura	26.2	29.0	27.8	1.2	6
O. Disuelto	4.1	4.5	4.2	0.2	6
% Sat.	89	97	92	4	6
Clor. a	0.9	4.6	2.3	1.3	6
Prod. Prim.	3.1	105.2	49.0	44.5	4.0
N-NH ₄	4.4	10.3	5.3	2.6	6
N-NO ₃ +NO ₂	0.5	1.7	1.1	0.4	5
N Tot.	4.4	11.4	6.7	2.6	6
NH ₄ /N Tot.	75	100	87	9.7	6

(Continúa)

CUADRO 15. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE MECOACÁN, TAB. (1985)

MECOACÁN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
P-PO4	1.1	3.2	2.5	0.8	6
P Tot.	2.4	3.8	3.3	0.5	6
P Org.	0.2	1.7	0.6	0.6	6
Relación N:P	1.5	5.4	3.3	1.6	6
Indice trofico	29.5	45.5	38.8	5.7	6
C/CI	3.5	29.3	22.2	11.1	4

correspondientes a la clase Gasteropoda y 22 a la clase Bivalvia. Sobresalen *Littoridina sphinctostoma*, *Acteocina canaliculata*, *Odostomia impressa*, *Mytilopsis leucophaeata*, *Rangia flexuosa* y *Mulinia lateralis* (García Cubas *et al.* 1990). Granados (1992) afirma que de los crustáceos se obtuvieron 26 especies, entre las que se hallan: *Callinectes similis*, *C. sapidus*, *C. rathbunae*, *C. vittatus* y *Penaeus setiferus*. Se identificaron 49 especies de peces, de las cuales las más importantes fueron: *Diapterus rhombeus*, *Eucinostomus gula*, *Arius melanopus*, *Diapterus auratus*, *Anchoa hepsetus*, *Lutjanus griseus* y *Bairdiella ronchus* (Granados *et al.* 1991). El cuadro 15 resume su hidrología.

PANTANOS DE CENTLA. Representa una importante reserva de la biosfera y sitio Ramsar con una extensión total de 302,706 ha. Predominantemente es una llanura fluvio deltáica con sistemas acuáticos que ocupan extensas depresiones entre llanuras fluviales, con características tales como acumulación de agua permanente, escasa profundidad, bordes irregulares, sustrato de sedimentos finos y de origen aluvial, acumulación de capas orgánicas desde unos centímetros hasta más de 1 m de espesor, sin acumulación de sales de origen marino y con varias comunidades hidrófitas emergentes. Según varias fuentes se han reportado por lo menos 52 especies de peces, 68 de reptiles, 27 de anfibios, 104 de mamíferos y 255 de aves (Castañeda y Contreras 2001).

LAGUNA DE TÉRMINOS. Se halla en la zona de transición entre las calizas de la Península de Yucatán y los terrenos aluviales del Golfo de México. Se identificaron un total de 173 especies de moluscos, entre las que sobresalen por su abundancia y distribución generalizada los gasterópodos (95), entre los

que dominan número y frecuencia *Diastoma varium*, *Turbonilla (Chemitzia) aequalis*, *Acteocina canaliculata*, *Rissoina catesbyana*, *Caecum (Micranellum) pulchellum*, *Mitrella (Astyris) lunata*, *Triphora melanura*, *Melanella (Balcis) conoidea* y *Vitrinella multistriata*. Entre los bivalvos dominan *Nuculana (Sacella) acuta*, *Mulinia lateralis*, *Laevicardium mortoni*, *Corbula (Caryocorbula) contracta*, *Anadara (Lunarca) ovalis*, *Abra aequalis*, *Anadara (Larkinia) transversa*, *Macoma (Austromacoma) constricta*, *Macoma (Rexithaerus) mitchelli* y *Brachiodontes (Hormomya) exustus* (García Cubas 1981). Cabe destacar la macrofauna bentónica asociada a las praderas de *Thalassia testudinum* en donde fueron identificadas 123 especies de poliquetos, 57 de moluscos y 68 de crustáceos (Reveles y Escobar 1987); los poliquetos resultaron el grupo dominante. *Capitella capitata*, *Mediomastus californiensis*, *Laeonereis culveri*, *Streblospio benedecti*, *Lembos* sp., *Lucina pectinata*, *Palaemonetes vulgaris*, *Melinna maculata*, *Tellina lineata*, *Xenanthura* sp., *Tellina alternata tayloriana* y *Parandalia vivianneae* fueron las especies más abundantes, (Hernández y Solís 1995). En las comunidades de peces hay 5 especies residentes permanentes: *Orthopristis chrysopterus*, *Haemulon plumieri*, *Archosargus rhomboidalis*, *Corvula sanctae-luciae* y

CUADRO 16. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMP. (1974)

L. TÉRMINOS	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Sal.	27.7	33.5	30.1	2.4	95
Temp.	27.4	29.4	29.0	0.9	95
O. Dis.	4.6	5.0	4.7	0.2	95
% Sat.	96	105	98	4.2	95
pH	8.2	8.3	8.2	0.0	95
NH4	4.3	25.7	5.2	10.4	95
NO3+NO2	0.1	1.4	0.2	0.6	95
N Tot.	5.3	25.9	5.6	10.2	95
NH4/N Tot.	76	99	96	10.5	95
PO4	0.3	0.7	0.5	0.2	95
N:P	8.4	16.5	10.2	4.2	95

Sphoeroides testudineus. Se han detectado 150 especies (Yañez Arancibia y Zarate 1999). Ayala *et al.* (2000) reporta 107 especies de las cuales 18 son consideradas como dominantes: *Arius melanopus*, *Diapterus rhombeus*, *Eucinostomus gula*, *Bairdiella chrysura*, *Archosargus rhomboidalis*, *Bagre marinus*, *Cetengraulis edentulus*, *Eugerres plumieri*, *Arius felis*, *Stellifer lanceolatus*, *Chloroscombrus chrysurus*, *Anchoa mitchilli*, *Cynoscion arenarius*, *Chaetodipterus faber*, *Bairdiella ronchus*, *Sphoeroides nephelus*, *Dasyatis sabina*, e *Himantura schmardae*. Se reportan 138 especies de aves (Rico Gray *et al.* 1988). La única hidrología completa proviene de Botello (1978), y se muestra en el cuadro 16.

LAGUNA DE CELESTÚN. La vegetación subacuática está constituida por 28 especies, principalmente por las algas *Chara fibrosa*, *Bathophora oerstedii* y *Chaetomorpha linum* en la porción norte. En la porción centro y sur las especies que sobresalen son: *Diplantera (Halodule) wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Ruppia cirrhosa* y el alga *Chaetomorpha linum*, que se encuentran en los márgenes de la laguna formando densas alfombras (Herrera 1988). Cerca de la boca y en aguas litorales el pasto dominante es *Thalassia testudinum*. Cabe destacar que las macroalgas dominan (en más del 70 % de la biomasa) sobre los pastos marinos. Los gasterópodos estuvieron representados por 20 especies agrupados en 17 géneros y 14 familias; los bivalvos por 13 especies, agrupados en 11 géneros y 7 familias (Lizárraga y Ardisson 1995). Hay 41 especies en la ictiofauna: *Eucinostomus gula*, *Eucinostomus argenteus*, *Archosargus rhomboidalis*, *Sphoeroides testudineus*, *Serranus atrobronchus*, *Sparisoma radians*, *Lutjanus griseus*, *Monocanthus hispidus*, *Chloroscombrus chrysurus*, *Caranx hippos*, *Chilomycterus schaeffii*, *Syngnatus*

CUADRO 17. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE CELESTÚN, YUC. (1985)

CELESTÚN, YUC	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	5.5	32.0	16.5	7.6	17
Temperatura	23.0	30.2	27.9	2.3	17
% Sat.	44	139	95	27.5	17
Clor. a	1.1	56.2	2.3	14.8	15
Prod. Prim.	14.8	338.0	121.0	99.4	11

(Continúa)

CUADRO 17. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE CELESTÚN, YUC. (1985)

CELESTÚN, YUC	MIN	MAX	MED	D STA.	N
N-NH4	3.0	10.2	5.1	2.1	15
N-NO3+NO2	1.8	9.8	3.5	2.5	15
N Tot.	2.3	18.4	9.8	3.6	15
NH4/N Tot.	30	78	57	15.6	14
P-PO4	0.3	7.1	2.7	1.9	14
Relación N:P	1.3	26.4	4.6	7.7	14
Indice trofico	33.1	70.1	39.3	12.0	14
C/Cl	5.1	49.7	13.3	19.4	6

louisianae, *Orthoprists chrysoptera*, *Arius melanopus*, y *Lagodon rhomboides* (Mena y De la Cruz 1993). Se han registrado 304 especies de aves y 179 géneros pertenecientes a 45 familias y 20 órdenes de aves y se considera como un hábitat importante, tanto para residentes como migratorias. Entre las aves nidificantes están *Phalacrocorax olivaceus* y *Dendrocygna autumnalis* (Correa y García 1993). Otras especies comunes son *Anas discors*, *Aythia affinis*, *Nareca americana*, *Anas acuta*, *Spatula clypeata*, *Aythia collaris*, *Fulica americana*, *Bucephala alveola*, *Oxyura jamaicensis*, *Mergus serrator*, *Cairina moschata*, *Anas carolinensis*, *Anas cyanoptera* y *Aix sponsa*. La hidrología proviene de Batllori (1988). La hidrología de la laguna de Celestún se resume en el cuadro 17.

YUCALPETÉN. En la fauna macrobentónica que habita las praderas de *Thalassia testudinum*, se encontraron organismos pertenecientes a 7 phylla, 12 clases, 29 órdenes, 37 familias, 61 géneros y 60 especies identificadas. La fauna encontrada en estas praderas es muy abundante y diversa y está representada principalmente por el phylum Arthropodaa, siguiendo en abundancia los phylla Echinodermata, Mollusca, Vertebrata y Annelida. Los phylla Nematoda y Cnidaria constituyen los grupos más escasos. Las especies importantes son *Cladonema radiatum*, *Sabella microphthalma*, *Cerithidea costata* y *Crepidula maculosa* (Hernández y May 1990).

DZILÁM DE BRAVO. Es área natural protegida estatal. Presenta una franja de esteros que abarca unos 20 km e incluye los esteros de El Paso, Yolbe y El Islote. Cubren el 90 % del fondo *Ruppia maritima* y *Halodule wrightii*. Entre

las algas destacan *Bryothamnium seafortii*, *Chaetomorpha linum*, *Bathophora oerstedii* y *Polisiphonia* sp. Se han registrado 31 especies de peces, entre las que dominan *Lagodon rhomboides*, *Eucinostomus guia*, *Spherooides testudinus*, *Eucinostomus argenteus*, *Orthopristis chrysoptera* y *Sphyraena barracuda* (Chumba y Barrientos 2000).

RÍA LAGARTOS. Es una reserva de la biosfera (RB) y un sitio Ramsar. El sistema se divide en tres porciones, la primera abarca de la boca de San Felipe a la boca del canal; la segunda va de los vasos de evaporación de la salinera a la Angostura y la tercera de la Angostura al extremo oriental del estero. Se determinó un total de 46 taxa, que incluyeron 26 especies de la división Rhodophyta, 18 de la Chlorophyta y 2 de la Phaeophyta, en un estudio ficoflorístico realizado por Ortegón *et al.* (2001). En el bentos existen *Cerithidae pliculosa*, *Anomalocardia auberiana*, *Tellina tampaensis*, *Carditamera floridana* y *Limulus polyphemus*. Sobresalen, desde la perspectiva comercial, la presencia de *Panulirus argus*, *Octopus maya*, *Octopus vulgaris* y *Penaeus aztecus*. Se identificaron 84 especies de invertebrados megabentónicos marinos en la reserva, de las cuales 8 eran poríferos (2 esponjas costrosas, 2 esponjas ramificadas y 4 esponjas masivas), 11 cnidarios (3 hexacorales masivos, 3 hexacorales ramificados, 4 octocorales y 1 anémona), 49 moluscos (25 gasterópodos, 22 bivalvos, 1 cefalópodo, 1 opistobránquio), 6 crustáceos y 9 equinodermos (4 estrellas de mar, 2 galletas de mar, 2 erizos y un pepino) (Maldonado *et al.* 2000). De la ictiofauna hay 49 especies (69 según Vega *et al.* 1998), 40 géneros y 30 familias. Las especies más abundantes fueron: *Floridichthys carpio*, *Eucinostomus argenteus*, *Strongylura notata*, *Spherooides testudineus* y *Elops saurus* (De la Cruz 1997).

LA BASE DE DATOS

PARÁMETRO 1	PARÁMETRO 2	... PARÁMETRO 17	PARÁMETROS
Laguna 1			1 Salinidad
Estaciones			2 Temperatura
1			3 Oxígeno Dis.
2			4 % Sat.
3			5 pH
4			6 Clor. a

(Continúa)

	PARÁMETRO 1	PARÁMETRO 2	... PARÁMETRO 17	PARÁMETROS
Laguna 2				7
Productividad Prim.				
1				8 N-NH4
2				9 N -
NO3+NO2				
3				10 N Tot.
4				11 NH4/NT.
... Laguna 19				12 P-PO4
				13 P Tot.
Min				14 P Org.
Max				15 Relación N:P
Mediana				16 Índice trófico
Desv. Sta.				17 C/Cl
n				

El Laboratorio de ecosistemas costeros de la UAM Iztapalapa comenzó sus actividades de muestreo en lagunas costeras en el año 1979, y a la fecha se

RESUMEN DE LA MATRIZ DE DATOS DEL GOLFO DE MÉXICO

	MIN	MAX	MEDIANA	D STA.	N
Salinidad	0.0	63.0	22.6	12.2	933
Temperatura	14.6	36.8	28.7	5.1	990
O. Disuelto	0.3	12.7	5.0	1.7	915
% Sat.	7	235	101	37.6	868
pH	5.10	9.50	8.11	2.74	709
Clor. a	0.01	174.5	9.5	21.7	759
Prod. Prim.	0.39	603.1	64.3	100.8	416
N-NH4	0.04	39.4	6.2	6.7	904
N-NO3+NO2	0.05	55.6	2.1	5.5	929

CUADRO 18. RESUMEN DE LA MATRIZ DE DATOS DEL GOLFO DE MÉXICO

	Min	Max	Mediana	D Sta.	n
N Tot.	0.07	75.6	9.0	9.5	913
NH ₄ /N Tot.	1	100	75	24.3	891
P-PO ₄	0.01	37.3	2.0	5.3	906
P Tot.	0.06	99.6	3.7	7.7	630
P Org.	0.00	63.1	1.5	5.0	574
Relación N:P	0.02	42.8	4.0	8.0	831
Índice trófico	1.18	81.2	53.2	12.8	726
C/Cl	0.04	39.8	4.3	7.7	299

Unidades: Salinidad en partes por mil; oxígeno disuelto en ml/L; nutrientes en $\mu\text{g-at/L}$; productividad primaria en $\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1}$; clorofila *a* en mgm^{-3} ; la relación C/Cl (carbono/clorofila) es $\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1}:\text{mg.clor.m}^{-3}$, el índice trófico fue calculado según Carlson (1977) y aplicado con anterioridad (Contreras 1994).

han realizado ciclos anuales de muestreo básico hidrológico en 41 ecosistemas (17 del Golfo y 24 del Pacífico) a lo largo del país.

En el caso del Golfo de México, y con base en la información proveniente de 19 sistemas lagunares diferentes y, en algunos casos, con ciclos realizados en distintos años, como sucede con las lagunas de Tampamachoco, La Mancha, Tamiahua y Mandinga (algunos de estos ciclos se presentan en las diagnónisis lagunares previas), se realizó una matriz de datos con las siguientes características:

La matriz de datos resumida para el Golfo de México con sus valores mínimo, máximo, mediana y el número de datos total (n) para cada parámetro se muestra en el cuadro 18.

La matriz de datos anterior permite obtener un valor medio para cada característica y acercarse así al valor *normal* para las lagunas. Por otro lado, los valores de las medianas de cada uno de los parámetros abióticos y para cada laguna costera propician un acercamiento para fines de clasificación, ya que estos resultados permiten conocer las tendencias de cada ecosistema con respecto a alguna característica en particular; por ejemplo, el valor de la mediana de la salinidad para laguna Madre es de 41.2 ppm y refleja la tendencia a la hipersalinidad, comparado con el valor medio de la laguna

de Alvarado de 9.3 ppm que indica la permanencia de la oligohalinidad. En ambos casos existen variaciones considerables asociadas a la temporalidad climática (lluvias y secas), pero conservan al final tendencias hacia un valor propio. De este modo, el manejo de los datos para otras características como los fosfatos o la clorofila mostrarían tendencias a la oligotrofia o contrariamente a la eutroficación.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS. Los ecosistemas costeros del Golfo de México, con base en el número de determinaciones realizadas, reflejan valores que son considerados normales para áreas estuarinas. Así, la salinidad, cuyo promedio es de 22.9 ppm, muestra la permanencia de la estuarinidad como rasgo fundamental; las salinidades elevadas corresponden principalmente a la laguna Madre. El cálculo de la mediana para el oxígeno disuelto refleja aguas con elevada cantidad del gas (5 ml/L); la variación del pH (cuyo valor mediano es de 8.11) es causada por variantes estacionales, ya que los valores cercanos a 7.0 están asociados al agua continental proveniente de los ríos y lluvias, contrariamente al agua de mar, que posee valores de 8.20 en promedio. Cabe destacar la homogeneidad (basado en el cálculo de la desviación estándar) en la medición de estos dos últimos parámetros, 1.8 y 2.8, respectivamente.

NUTRIENTES. A pesar de que muchos investigadores han insistido en la *amplia variación* de los nutrientes en lagunas costeras y ecosistemas similares, resulta interesante observar que con base en la cantidad de datos recabados y su desviación estándar no sean tan variables como se podría esperar, a pesar de los valores detectados como mínimos y máximos que, principalmente en las fuentes de nitrógeno, son contrastantes. Esta particularidad podría indicar que estos valores extremos son ocasionales y ubicados en tiempos y espacios determinados, pero no permanentes.

La principal forma de nitrógeno es la de $N-NH_4$, que constituye una forma reducida y relacionada con condiciones reductoras (bajos valores de oxígeno y pH), es considerada como un indicativo de nitrógeno renovado, usado o proveniente de actividades humanas, ya que su presencia se incrementa en la medida de un uso más ganadero que agrícola de los suelos adyacentes (Paerl *et al.* 2002). Lo anterior se infiere al calcular la proporción porcentual NH_4/N_{tot} , y cuyo valor mediano es de 76%.

Sin embargo, en áreas costeras no es tanto la presencia sino la relación entre nutrientes lo que adquiere relevancia (Redfield 1958; Redfield *et al.* 1963). De esta forma, una relación N:P menor a 5 es interpretada como una limitación de nitrógeno, una mayor a 10 se considera como indicativa de

una limitación de fósforo y se establece que de 5 a 10 es indiferente (Rinaldi *et al.* 1992). El índice N:P en los ecosistemas costeros del Golfo de México tiende a ser bajo (4.0), esto es, manifiesta una relativa limitación de formas nitrogenadas. Cabe destacar que valores elevados de N:P (mayores a 10) se dan usualmente en ecosistemas asociados a la dominancia de aguas marinas sobre los aportes dulceacuícolas.

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA. La productividad primaria constituye el proceso fundamental de los sistemas acuáticos. En el caso de las lagunas costeras tropicales, este proceso está conformado por varios componentes básicos: el fitoplancton (Grindley 1981, Boynton *et al.* 1982, Knoppers 1994, Cloern 1996), el microfitobentos (Hargrave y Conolly 1978, Webster 2002), los pastos marinos (Zieman 1982, Ibarra y Ríos 1993, Kaldy *et al.* 2002), la vegetación de macrofitas (Den Hartog 1982, Moreno Casasola *et al.* 2001), la quimiosíntesis (Odum y Heald 1975, Klump y Martens 1981) y eventualmente las macroalgas (Dreckmann y Pérez 1994). Sin embargo, la cuantificación de la producción primaria fitoplanctónica, exclusiva en la columna de agua, sigue siendo un parámetro fundamental en la interpretación de la salud de un sistema acuático.

Por otro lado, la presencia de clorofila *a* en el agua ha sido tomada como un índice de biomasa fitoplanctónica y es medida rutinariamente en los estudios relacionados con la productividad primaria en la columna de agua (Contreras 1994). Aunque no exista una relación directamente proporcional entre estos dos elementos debido, entre otras causas, al estado fisiológico del fitoplancton o al momento de sucesión temporal, a la variabilidad ambiental, a la presencia proporcional y significativa de formas muy pequeñas como el nanofitoplancton ($< 22 \mu$), todo parece indicar una mayor eficiencia fotosintética (Malone 1971; Mc Carthy *et al.* 1974). Sin embargo, la clorofila *a* está relacionada con la cantidad de nutrientes, especialmente de fosfatos (Vollenweider y Kerekes 1982, Contreras y Kerekes 1992). De hecho con base en estas dos características se estableció una clasificación trófica (Carlson 1977, Contreras *et al.* 1994b). Esta conceptualización de causa efecto ha sido utilizada inclusive para detectar problemas de eutroficación, ya que este fenómeno es, en primera instancia, una respuesta de la biomasa algal a insumos adicionales de nutrientes (Giovanardi y Tromellini 1992).

En la matriz de datos, resalta la heterogeneidad de la productividad primaria en la columna de agua. De hecho, la desviación estándar calculada rutinariamente para cada sistema es siempre elevada, generalmente por arri-

ba de 100, aún en sistemas pequeños. Lo anterior indica la extrema particularidad, tanto temporal como espacial, de este proceso. Bajo esta perspectiva, resalta el comportamiento de la clorofila *a*, que no sigue el mismo patrón con respecto a la heterogeneidad de la productividad primaria, siendo este pigmento, al menos en teoría, causante fundamental de este proceso.

A pesar de estas diferencias, la relación C/Cl ($\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1}.\text{mg.clor.m}^{-3}$) ha sido empleada como un índice del potencial fotosintético (Beerman y Pollinger 1974), y podría ser considerada como una medida de la eficiencia ecológica por parte del fitoplancton (Strickland 1960, Cloern 1996, Banse 1974, 1977), ya que como puede deducirse, un valor alto significa una optimización de las condiciones abióticas en el desarrollo de los productores primarios; sin embargo, valores bajos estarían relacionados con diversas limitaciones como nutrientes, luz o algún otro factor. El seguimiento de esta relación dentro de los datos generados en un solo sistema ofrece información útil y clave de algunos aspectos. Aunque existe gran cantidad de datos de C/Cl en México, son locales e incidentales y se encuentran dispersos en numerosos trabajos de investigación. Sin embargo, Millán y Lara Lara (1995), en una excelente recopilación de información sobre productividad primaria, presentan valores del C/Cl para 20 lagunas costeras mexicanas, algunas tomadas de Gilmartin y Relevante (1978).

En la matriz de datos se tienen 242 determinaciones del índice C/Cl , y los valores son muy similares a los reportados por los autores mencionados; tanto el valor de la mediana como de la desviación estándar son aceptables, tratándose de un índice tan variable y dependiente de otras determinaciones. En relación con la temporalidad, los valores más altos están asociados a la época primaveral, cuando las condiciones abióticas son propicias para un óptimo desarrollo de formas fitoplanctónicas como las diatomeas y, especialmente, están relacionados con áreas dentro del sistema lagunar con tiempos de renovación más rápidos y eficientes, contrariamente a los valores menores que usualmente se asocian con áreas aisladas y de un lento intercambio de sus aguas.

Finalmente, la información aquí presentada permite, por primera vez, un acercamiento estadístico a la comprensión del papel fundamental que juegan algunos parámetros considerados hasta ahora como poco confiables y muy relativos en relación al carácter ecológico de las lagunas costeras. Obviamente, hace falta una gran cantidad de información para un acercamiento más confiable y establecer una posible clasificación o jerarquización de los ecosistemas estuarinos de nuestro país, pero aquí se propone el primer paso para lograr este objetivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alafita V., H. y J. E. Martínez G. 1993. La avifauna de Arroyo Moreno, Veracruz, México. Res. XII Congr. Nal. Zool. 120. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Alber, M. 2002. A conceptual model of estuarine freshwater inflow management. *Estuaries* 25 (6b):1246-1261.
- Alvarez S., C. 1988. Contribución al estudio de los copépodos de la laguna de La Mancha, Ver., México (1981-1982). Mem. IX Congr. Nal. Zool. 165-175. (res. 112). En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Alvarez S., C. y Gómez, A., S. 1993. Seasonal behavior of *Labidocera* spp in Tamiahua lagoon, Veracruz, Mexico. Fifth International Conference on Copepoda. Baltimor, Maryland. Junio 6-12. Cartel pp. 49. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Antolí F., A. y A. García-Cubas. 1985. Sistemática y ecología de moluscos en las lagunas costeras Carmen y Machona, Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* 12 (1): 145-198.
- Ayala P., L. A., B. A., Gómez M., J. Ramos M. y D. Flores H. 2000. Los peces dominantes de la laguna de Términos, Campeche, México. Res. XII Congr. Nal. de Oceanogr. 22 al 26 de mayo, Huatulco, Oax., México. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Banse, K. 1974. On the interpretation of data for the carbon-to-Chlorophyll ratio of phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 19: 695-699.
- 1977. Determining the Carbon-to-Chlorophyll ratio of natural phytoplankton. *Marine Biology* 41: 199-212
- Barba M., E., J. A. Sánchez y A. Raz-Guzmán. 1991. Peces asociados a vegetación sumergida de la región sur-central, laguna Madre, Tamaulipas. Res. II Congr. Nal. Ictiol. 1-29. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Barba, M., E. A. Raz-Guzmán, y A. J. Sánchez. 1993. Patrones de distribución de los carideos de laguna Madre, Tamaulipas y laguna de Términos, Campeche. Res. XII Congr. Nal. Zool. 43. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Barba T., J. F. y J. Sánchez, R. 1981. Abundancia, distribución y estructura de la comunidad ictiplanctónica, en la laguna de Tamiahua, Veracruz a través de un ciclo anual. Tesis profesional. Fac. Ciencias. 57 pp.

- Barrera E., G. 1995. Contaminación exógena de origen fecal en la laguna de Tamiahua, Veracruz y su influencia en tres especies de importancia comercial. Tesis de maestría. Fac. de Ciencias, UNAM. 60 pp.
- Batllore S., E. A. 1988. Producción secundaria en el estero de Celestúm, Yuc. Tesis de maestría. IPN. 140 pp.
- Beerman, T. y U. Pollinger. 1974. Annual and seasonal variations of phytoplankton, chlorophyll, and photosynthesis in lake Kinneret. *Limnol. and Oceanogr.*, 19 (1): 31-53.
- Botello V., A. 1978. Variación de parámetros hidrológicos en las épocas de sequías y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la laguna de Términos, Campeche, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 5 (1): 159-177.
- Boynton, W. R., W. M. Kemp y C. W. Keeke. 1982. A comparative analysis of nutrient and other factors influencing estuarine phytoplankton production. En: Kennedy, V. S. (ed.). *Estuarine Comparison*. Academic Press. Nueva York.
- Bozada, L. y M. Páez. 1986. *La fauna acuática del río Coatzacoalcos*. Ser. Med. Amb. Coatza. 8. CECODES, México. 162 pp.
- Bozada, L. y M. Páez. 1986. *La fauna acuática del río Tonalá*. Ser. Med. Amb. Coatza. 7. CECODES, MÉXICO. 172 pp.
- Bravo B., C., Bringas, S., C., Duarte R., M. A., Durán T., L., Monroy R., Y., Rodríguez N., J. y Soyano F., L. A. 1987. Abundancia y distribución malacológica en relación con el tipo de sedimento de dos sistemas costeros del estado de Veracruz. Mem. XI Simp. Biol. de Campo. ENEP-Iztacala. 31. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. and Oceanogr.* 22 (2): 361-368.
- Carmona M., R., M. Guzmán M., G. Ibáñez H., A. López Q., L. Rivera R. y R. Sánchez A., 1987. Aspectos generales de la biología de las aves de Alvarado, Ver. Mem. XI Simp. Biol. de Campo. ENEP-Iztacala. 14. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- CECODES 1981. *Las lagunas costeras de Tabasco*. Centro de Ecodesarrollo, México. 109 pp.
- Cloern, J. E. 1996. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics* 34 (2): 127-168.
- Contreras B., A. J. 1993a. Avifauna de Laguna Madre, Tamaulipas. En: Salazar V., S. I. y N. E. González (Eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. 553-558. Conabio y CIQRO, México, 865 p.
- Contreras E., F. 1981. Algunos índices y relaciones de la productividad primaria en la laguna

- de Tamiahua, Ver., México. *Mem. VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol.* 183-200.
- 1983. Variación en la hidrología y las concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpam-Tampamachoco, Ver., México. *Biótica* 8 (2): 201-213.
- 1993b. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CONABIO-UAMI. México. 415 p.
- 1994. Producción primaria fitoplanctónica en lagunas costeras. *Rev. Investigaciones Marinas* 16 (1): 11-21.
- Contreras E., F., O. Castañeda L., y A. García N. 1994. La clorofila a, como base para un índice trófico en lagunas costeras. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 21 (1-2): 55-66.
- Contreras, E. F. y L. Zabalegui M. 1988. *Aprovechamiento del litoral mexicano*. CECODES-SEPESCA. 132 pp.
- Contreras E., F. y J. Kerekes. 1992. Total phosphorus-chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25 : 448-451.
- Correa S., J. y J. García B. 1993. Avifauna de Ría Celestún y Ría Lagartos. En: Salazar V., S. I. y N. E. González (eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. 641-649. CONABIO y CIQRO, México. 865 p.
- Cruz G., A. y A. Rodríguez V. 1991. Estructura y composición de la ictiofauna inmadura del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Res. II Congr. Nal. Ictiol. I-35. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Cubillas H., L. F. E. Arce, C., G. Benítez, R. y Z. Chávez, R. 1987. Aspectos ecológicos de la ictiofauna del río La Antigua, Veracruz, México. Resúmenes IX Congr. Nal. Zool. 54. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Chávez O., E. A. 1967. Estudio ecológico parcial de un sistema estuarino en la costa oriental de México. Res. III Congr. Nal. Oceanogr. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Chávez L., R. y J. Franco, L. 1992. Ecología de la comunidad de peces asociada a pastos sumergidos de la laguna de Alvarado, Veracruz. Res. III Congr. Nal. Ictiol. 62. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Chumba S., L. y R. C. Barrientos M. 2000. Patrones espaciales en la composición de la comunidad de peces costeros de la reserva estatal de Dzilám de Bravo, Yucatán. Res. del XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oax. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- De la Cruz A., J. J. Franco, L. y L. G. Abarca, A. 1985. Caracterización ictiofaunística de los sistemas estuarinos del estado de Ver., México. *Mem. VIII Congr. Nal. Zool.* 175-187.

- De la Cruz, A., J y J. K Mena, A. 1997. Composición y abundancia de la comunidad de peces de la laguna de Celestún, Yucatán. Res. V Congr. Nal. de Ictiol. 56. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- De Sucre M., A., E., C. Carmona, M. y J. Montiel T. 1985. Notas sobre la avifauna de Tecolutla, Ver. Mem. VIII Congr Nal. Zool. 771-781. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Den Hartog, C. 1982. Architecture of macrophyte-dominated aquatic communities. En: J. J. Symoens, S. S. Hooper y P. Compre (Eds.). *Studies on aquatic vascular plants*. R. Bot. Soc. Belgium, Brussels: 222-234.
- Díaz R., R. 1992. Revisión taxonómica de los cangrejos violinistas (Familia Ocypodidae: Género *Uca* Leach, 1814) de la zona estuarina del río "La Antigua", Veracruz. Res. IX Congr. Nal. Oceanogr. 194. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Díaz R., R. y Z. Chávez A. 1987. Etapas del desarrollo embrionario y el primer estadio de zoea en *Sesarma (Holometopus) cinereum*. Res. VII Congr. Nal. Oceanogr. pag. 199. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Dreckmann, K. M. y M. A. Pérez H. 1994. Macroalgas bentónicas de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Rev. Biol. Trop.* 42 (3): 715-717.
- Flores A., F. A. García-Cubas y A. Toledano, G. 1988. Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la laguna de La Mancha, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 15 (2): 235-258.
- Franco L., J. M. A. Jiménez, V., C. Pérez, B., M. A. Galván, H. y A. Rodríguez, V. 1982. Estudio de las comunidades nectónicas y bentónicas del estero de Casitas, Ver. Res. VI Cong. Nal. Zool. 72. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- García N., J. A. 1988. Determinar la composición de la ictiofauna y sus relaciones tróficas representativas de la laguna del Ostión, Veracruz, México. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 37 pp.
- García-Cubas, A. 1978. Ecología y distribución de los micromoluscos de tres lagunas litorales del Golfo de México. Tesis doctoral. Depto. de Biología. Fac. de Cienc. UNAM. 256 pp.
- 1981. Moluscos de un sistema lagunar tropical en el sur del Golfo de México (laguna de Términos, Campeche). *Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. Pub. Esp. 5.: 1-182.
- García-Cubas, A., A. Covarrubias y M. Reguero. 1990. Aspectos ecológicos de moluscos marino-salobres de la laguna litoral de San Andrés, Tamaulipas. Res. IV Reunión sobre Malacología y Conquiliología. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001.

- Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- García-Cubas, A, F. Escobar, L., L. V. González, A. y M. Reguero. 1990. Moluscos de la laguna Mecoacán, Tabasco, México: sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 17 (1): 1-30.
- García-Cubas, A. y M. Reguero. 1990. Moluscos del sistema lagunar Tupilco-Ostión, Tabasco, México: Sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 17 (2): 309-343.
- García-Cubas, A., A. Covarrubias, y M. Reguero. 1990. Aspectos ecológicos de moluscos marino-salobres de la laguna litoral de San Andrés, Tamaulipas. Res. IV Reunión sobre Malacología y Conquiliología. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- García-Cubas, A, M. Reguero y R. Elizarrarás. 1992. Moluscos del sistema lagunar Chica-Grande, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar. y Limnol.* UNAM 19 (1): 71-121.
- García-Cubas, A y M. Reguero. 1995. Moluscos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: sistemática y ecología. *Hidrobiológica* 5 (1-2): 1-24.
- Gilmartin, M. y N. Relevante. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Est. Coast. Mar. Sci.* 7: 29-47.
- Giovanardi, G. y E. Tromellini. 1992. Interrelationships between phytoplankton biomass and nutrients in the eutrophicated areas of the north-western Adriatic Sea. En: R. A. Vollenweider, R. Marchetti y R. Viviani. (Eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 211-234.
- Gómez S., A. y S. Contreras B. 1991. Comparación ictiogeográfica de la laguna Madre y sus nuevos registros. Res. II Congr. Nal. Ictiol. 1-43. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- González V., N., R. M. Torres y J. Franco L. 1985. Contribución al conocimiento de las comunidades bentónicas de la laguna Grande Ver. Mem. VIII Congr. Zool. 323-332. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- González R., J. I., A. Olalla K., I. Ruvalcaba O. y A. J. Contreras B. 2001. Aves playeras de la laguna Madre, Tamaulipas, México. Res. XVI Congreso Nacional de Zoología. 28 de Oct. al 1ro. de Nov., Zacatecas, Zac. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Granados B., A, J. L. Ramos, P., J. Priego, M., J. Alvarado, A., I. Madrigal, D. y N. Alfaro, S. 1991. Composición faunística de las lagunas Del Carmen, Pajonal y La Machona, del estado de Tabasco, México. Res. XI Congr. Nal. Zool. Cartel 119. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Granados B., A. A. 1992. Composición faunística de la laguna de Mecoacán, Tabasco.

- Res. III Reunión Alejandro Villalobos. 10. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Grindley, J. R. 1981. Estuarine plankton. En: Day, J. J. (Ed.). *Estuarine ecology with particular reference to Southern Africa*. A. A. Balkem, Rotterdam, 117.
- Hargrave, B. T. y G. F. Conolly. 1978. A device to collect supernatant water for measurement of the flux of dissolved compound across sediment surface. *Limnol. and Oceanogr.* 23: 1005-1010.
- Hernández S., J. M. y E. V. May, A. 1990. Algunos aspectos ecológicos de la macrofauna bentónica de las praderas de *Thalassia testudinum* (König, 1805) del estero de Yucalpetén, Yucatán. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 73 pp.
- Hernández A., P y V. Solís W. 1995. Algunas comunidades de macrobénticas asociadas al manglar (*Rhizophora mangle*) en laguna de Términos, Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* 43 (1-3): 117-129.
- Herzig, M. 1986. *Las aves*. Ser. Med. Amb. Coatzacoalcos. 4. CECODES. 230 pp.
- Herrera S., J. A., 1988. Productividad primaria fitoplanctónica de la laguna de Celestún, Yucatán. Tesis de maestría. CINVESTAV-IPN. Mérida
- Ibarra O., S. E. y R. Ríos. 1993. Ecosistemas de fanerógamas marinas. En: Salazar V., S. I. y N. E. Gonzalez (eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. 54-65. CONABIO y CIQRO, México, 865 pp.
- Kaldy, J. E., C. P. Onuf, P. M. Eldridge y L. A. Cifuentes. 2002. Carbon budget for a subtropical seagrass dominated coastal lagoon: How important are seagrasses to total ecosystem net primary production?. *Estuaries* 25 (4a):528-539.
- Klump, J. V. y C. S. Martens. 1981. Biochemical cycling in an organic-rich coastline marine basin 2. Nutrient sediment-water exchanges processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45: 101-121.
- Knoppers, B., B. Kjerfve y J. P. Carmouze. 1991. Trophic state and water turn-over time in six chooked coastal lagoons in Brazil. *Biogeochemistry* 14: 149-166.
- Knoppers B. 1994. Aquatic primary production in coastal lagoons 243-286. En: Kjerfve, B. (Ed.) 1994. *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanography Series, 60. 577 pp.
- Knoppers B. y B. Kjerfve. 1999. Coastal lagoons of southeastern Brazil: Physical and biochemical characteristics 35-66. En: Perillo y Piccolo (Eds.) *Estuaries of South America. Their Geomorphology and Dynamics*. Springer. 150 pp.
- Kobelkowsky, A. 1991. Ictiofauna de las lagunas costeras del estado de Veracruz. En: Figueroa, T. M. G., C. Alvarez, S., A. Esquivel, H. y M. E. Ponce, M. (eds.). *Fisicoquímica y biología de las lagunas costeras mexicanas*. UAM-I. 74-93.
- León A., C. A. 1990. Distribución y abundancia del ictioplancton en la zona nerítica bajo la influencia de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, Veracruz, México. Tesis profesional.

Universidad Veracruzana.

- Lizárraga V., J. A y P. L. Ardisson. 1995. Los gasterópodos y bivalvos de la Reserva Especial de la Biósfera «Ría Celestún», Yucatán. *Res. XIII Congr. Nal. de Zool.* 163. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Maldonado, A., N. Cárdenas, H. Cárdenas, O. Reyes, M. Cabrera, M. T. Zapata y E. Cuevas. 2000. Invertebrados megabentónicos marinos en la zona costera de la reserva de la biósfera de río Lagartos, Yucatán. *Res. XII Congr. Nal. de Oceanogr.* 22 al 26 de mayo, Huatulco, Oax., México. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Malone, T. C. 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. *Limnol. and Oceanogr.* 16: 633-639.
- Martínez P., J. A. 1993. Estudio de la ictiofauna del sistema estuarino de Tecolutla, Veracruz, México. *Res. V Congr. Latinoamer. de Cienc. del Mar.* 1. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Mc Carthy, J.J., W. Rowlanat y M. E. Loftus. 1974. Significance of nanoplankton in the Chesapeake Bay Estuary and problems associated with the measurements of nanoplankton productivity. *Mar. Biol.* 24: 7-16.
- Mena A., J. K. y G. De la Cruz, A. 1993. Variaciones temporales en la estructura de la comunidad de peces de la laguna de Celestún, Yucatán, México. *Res. V Congr. Latinoamer. de Cienc. del Mar.* 5. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Méndez U., M. N. 1989. Anélidos poliuetos en sedimentos de la laguna de Tampamachoco, Ver., Méx. *Res. X Congr. Nal. Zool.* 83. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Millán N., R. y J. R. Lara-Lara. 1995. Productividad primaria del fitoplancton del Pacífico Mexicano: un diagnóstico. En: González-Farías, F y J. De la Rosa (Eds.): 31-60. *Temas de oceanografía biológica en México*. Vol II. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México.
- Morales A., P. 1984. Variación estacional de los componentes de la ictiofauna en la laguna del Llano, Veracruz, México. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 40 pp.
- Moreno R., L. G. 1986. Descripción de algunas especies de poliuetos del sistema estuarino de Tecolutla, Ver. y su relación con el sustrato. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 75 pp.
- Moreno-Casasola, P. López, H. y S. Garza. 2001. La vegetación de los humedales mexicanos Cap. 7. En: Abarca, F. y M. Herzig (Eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales en México*. SWS/UFW/SEMARNAT/DUMAC/PRONATURA/

NAWCC/RAMSAR.

- Nava M., A. D. 1989. Los anélidos poliquetos de la laguna de Tamiahua, Ver. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 82 p.
- Nixon, S. W. 1981. Freshwater inputs and estuarine productivity. *En: Cross, R. D. y D. L. Williams (Eds.). Proceedings of the National Symposium on Freshwater inflow to Estuaries.* 31-57. U. S. Fish and Wildlife Service.
- Ocaña, A. y M. Sánchez, R. 1991. Abundancia y distribución del ictioplancton en la región central de la laguna Madre, Tamaulipas. Res. II Congr. Nal. Ictiol. I-14. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos.* CD ROM, UAM-I. México.
- Odum, E. P. y E. J. Heald. 1975. The detritus-based food webs of an estuarine mangrove community. *En: Cronin, E. I. (ed.). Estuarine Research I:* 265-286.
- Oliva R., J. J. 1991. Composición taxonómica, abundancia y distribución de los macrocrustáceos de la laguna de LLano, Ver. Tesis profesional. Universidad Veracruzana.
- Ortegón A., I., J. González G. y A. Senties G. 2001. Estudio ficoflorístico de la laguna de Río Lagartos, Yucatán, México. *Hidrobiológica* 11 (2): 97-104.
- Paerl, H.W., R. L. Dennis y D. R. Whitall. 2002. Atmospheric deposition of nitrogen: implications for nutrient over-enrichment of coastal waters. *Estuaries* 25 (4b): 677-693.
- Pérez H., M. A. E. Peralta, A. y P. S. Cárdenas, L. 1994. Análisis comparativo de la composición de especies de la ictiofauna del sistema lagunar Tuxpam-Tampamachoco, Veracruz. Res. IV Congr. Nal. Ictiol. 86. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos.* CD ROM, UAM-I. México.
- Ramírez L., B., C. Mora P. y F. Ramírez F. 1993. Composición y estructura espacio-temporal de la fauna ictiológica de la laguna de la Mancha, Veracruz. Res. XII Congr. Nal. Zool. 101. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos.* CD ROM, UAM-I. México.
- Raz-Guzmán, A. A. J. Sánchez, F. Mondragón, G. y E. Macías, B. 1991. Catálogo ilustrado de cangrejos braquiuros y anomuros de laguna de Tamiahua, Veracruz y laguna Madre, Tamaulipas (Crustacea: Brachyura, Anomura). Res. XI Congr. Nal. Zool. Cartel 14. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos.* CD ROM, UAM-I. México.
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.*, 46: 206-221.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum y F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. *En: M. N. Hill (E.). The sea, 2:* 26-77. Wiley-Interscience.
- Reguero, M. y A. García-Cubas, 1990. Estructura de la comunidad malacológica en el

- sistema lagunar Alvarado-Buen País, México. Res. II Congr. Cienc. del Mar. 126. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Reguero, M. y A. García-Cubas. 1991. Moluscos de la laguna Camaronera, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 18 (1): 1-23.
- Reguero, M., A. García-Cubas y G. Zuñiga, 1991. Moluscos de la laguna Tampamachoco, Veracruz, México: Sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 18 (2): 289-328.
- Reguero, M. y García-Cubas, A. 1992. Estructura comunitaria de moluscos bénticos en la laguna Pueblo Viejo, Veracruz. Res. V Reunión sobre Malacología y Conquiliología. 33. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Reguero, M. y A. García-Cubas. 1993. Moluscos del complejo lagunar Larga-Redonda-Mandinga, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *Hidrobiológica* 3 (1 y 2): 41-70.
- Reveles G., M. B. y Escobar B., E. 1987. Comunidades bénticas de *Thalassia testudinum* en la laguna de Términos, Campeche, Sur del Golfo de México. Res. VII Congr. Nal. Oceanogr. 249. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Reyes B., M. P. 1986. Estudio de la variación estacional de la fauna asociada al ceibadal de *Halodule beaudettei* (Den Harton) en la laguna de La Mancha, Mpio. Actopan, Ver., México. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 38 p.
- Rico-Gray, V., R. Domínguez y G. Cobb. 1988. Avifauna de la zona costera inundable del noroeste de Campeche, México: Lista de especies y su distribución con respecto a la vegetación. *Biótica* 13 (1 y 2): 81-92.
- Rinaldi A., G. Montanari, A. Ghetti., C.R. Ferrari y A. Ferrari. 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon. En: Vollenweider, R. A., R. Marchetti y R. Viviani. (Eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 457-470.
- Rodríguez P., A. 1990. Estudio de la alimentación de la ictiofauna del sistema estuarino de Tecolutla, Veracruz, México. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 101 p.
- Sánchez-Chávez, J. 1989. Estructura de la comunidad íctica de la laguna de San Agustín, Mpio. de Alto Lucero, Veracruz, México, período sept. 1985-nov. 1986. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 49 pp.
- Serrano G., S. J. y A. Juárez E. 1988. La ictiofauna de la laguna El Farallón, Veracruz. Res. I Congr. Nal. Ictiol. 109. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Strickland, J. D. H. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 122: 1-172.
- Urbina C., A. 1996. Fauna carcinológica del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona,

- Tabasco, México. Tesis de licenciatura. División Académica de Ciencias Biológicas, Unidad Sierra, UJAT.
- Vega C., M. E., Hernández, De S., J. M. y V. C. Castillo, E. 1998. Contribución al conocimiento de la estructura de la comunidad íctica en la reserva de la biosfera de Ría Lagartos, Yucatán. Res. VI Congreso Nacional de Ictiología. 21-24 de Octubre, Tuxpam, Ver. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Villalobos F., A., M. E. Zamora, R. De la Parra, V., O. Cacho R., V. Galván P. y M. A. Izaguirre, P. 1982. Estudio hidrobiológico en la laguna de La Mancha, Mpio. de Actopan, Ver. 1979-1980. *Inst. Nal. de Investigaciones sobre Rec. Bióticos*. 15: 51 pp.
- Vollenweider, R. A. y J. Kerekes. 1982. Eutrophication of waters, monitoring, assesment and control. Final report. OECD Coperative program on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate, OECD. Paris. 154 p.
- Webster, I. T., P. W. Ford y B. Hodgson. 2002. Mycrophytobenthos contribution to nutrient-phytoplankton dynamics in a shallow coastal lagoon. *Estuaries* 25 (4a): 540-551.
- Yáñez-Arancibia., A. y D. Zarate, L. 1999. The pattern of estuarine dynamics in the Southern Gulf of Mexico and the mexican caribbean. 15th Biennial International Conference Estuarine Research Federation '99, Conference Abstracts. New Orleans, September, 25-30. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Zieman, J. C. 1982. The ecology of the seagrass of south Florida: a community profile. USFWS, FWS/OBS-82/25. 158 p.

LOS IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN EN ZONAS COSTERAS.
CASO DE ESTUDIO: ZONA CONURBADA ALTAMIRA-
MADERO-TAMPICO, TAMAULIPAS, MÉXICO

Sergio Jiménez, Wilver Salinas y Jesús Campos

LA URBANIZACIÓN DE ZONAS COSTERAS

La conquista urbana de las zonas costeras se dio desde los inicios de la humanidad y a raíz de la consolidación de sus actividades sustantivas, como la pesca y la agricultura ribereña, entre otras (Ducci 1995).

Las regiones que el hombre fue colonizando para establecer sus comunidades siempre han estado asociadas al agua, directa o indirectamente, siendo éste uno de los elementos vitales para la subsistencia de sus pobladores. Debido a este vínculo vital, las sociedades humanas fueron aprendiendo a obtener más beneficios, como la explotación de sus recursos bióticos mediante la pesca y los abióticos con la navegación, entre otros.

A medida que las necesidades de las comunidades se fueron incrementando y aumentaron los niveles de conocimiento que la humanidad adquirió de su medio natural, las zonas costeras representaron un excelente medio natural para el establecimiento de algunos de los más importantes desarrollos culturales de la humanidad: mayas, egipcios, incas, entre otros (Ceruti 2002).

Desde su concepción intuitiva hasta el modernismo, la urbanización de las zonas costeras ha sido un reto para la gente, ya que si bien las regiones costeras son ricas en recursos naturales, también representan un alto riesgo para las comunidades que en éstas se establecen (riesgos de salud, riesgos por eventos climatológicos extremos como huracanes, marejadas, inundaciones, etc.).

Las tendencias mundiales indican que la gente se está mudando a las grandes ciudades y a las costas. Timmerman (1997), estableció que a partir del año 2000, por primera vez en la historia, más del 50% de la población del mundo estaría viviendo en ciudades, y el 50% de esta población lo haría en ciudades costeras, lo cual se ha cumplido.

Como región, la zona costera (ZC) es una delgada franja territorial que acopla los ecosistemas marinos con los continentales, donde las desembocaduras de los ríos al mar representan su rasgo biológico más característico por la gran biodiversidad que inducen. En el contexto de transferencia de contaminantes de zonas continentales a la costa, los ríos son la principal vía de transportación, aunados por supuesto al que se da por la vía atmosférica. Tan sólo en la cuenca del Río Bravo-Río Grande (en la frontera de México y los Estados Unidos) se descargan cada año más de 2.6 millones de kilogramos de sustancias activas que van a dar, directa o indirectamente, al Golfo de México. Las principales fuentes de estos desechos plaguicidas son, en orden de importancia los cultivos de sorgo, caña de azúcar, maíz, arroz y piña, y las campañas de fumigación contra el paludismo.

Entre los ríos Bravo y Pánuco (que enmarcan la zona costera de Tamaulipas), se da un gran manejo de plaguicidas agrícolas tanto en volumen como en intensidad de aplicación (promedio de 219 kg/1,000 ha). La mayoría de estos compuestos son insecticidas y, en menor grado, fungicidas.

La exploración y las intensas actividades petroleras en el frente marino de Tamaulipas (sobre todo las de producción y transporte), y las actividades portuarias de refinación y petroquímicas en los litorales y las planicies de inundación, han ocasionado profundas tensiones ecológicas y sociales en la zona costera de dicha entidad.

En el Golfo de México tienen lugar las principales actividades petroleras del país; en sus aguas se localizan la mayoría de sus pozos de extracción, monoboyas de suministro, oleoductos, terminales de carga y descarga, centros de recepción, refineries e industrias petroquímicas. Las entidades que tienen mayor número de estas instalaciones e infraestructura industrial petrolera son Veracruz, Tabasco y Campeche, por lo que resisten los efectos de derrames petroleros accidentales.

INDICADORES DE URBANIZACIÓN DE ZONAS COSTERAS

México tienen más de 11 mil kilómetros de litorales, distribuidos en 17 estados costeros, 11 sobre el Pacífico y 6 sobre el Golfo de México, que ocupan

una superficie total de 1,113,442 km² (el 56.6% del territorio nacional). Además, se tiene una concentración de población de 44,652,896 habitantes (ver cuadro 1).

Para identificar, bajo una primera aproximación, la vocación costera, se estableció el Índice costero de frente litoral (I_c), que se obtiene al dividir la longitud de costa entre la extensión territorial de una región asociada (por 100). De esta manera, de acuerdo con los datos presentados en el cuadro 1, se tiene que a nivel nacional, Baja California Sur, Colima y Baja California tienen la mayor vocación costera con un $I_c = 3.68$, 2.68 y 2.22, respectivamente. Los estados con menor I_c son Chiapas, Michoacán, Jalisco y Tamaulipas, con un valor de 0.34, 0.41, 0.43 y 0.58, respectivamente. Destaca el caso de Baja California, que presenta uno de los porcentajes menores de cobertura vegetal natural con una alta densidad poblacional.

La densidad de habitantes por km² en los estados costeros de México es en promedio, de 46.2 hab/km². Es contrastante, el análisis de I_c en relación con la densidad de población muestra que el estado de Baja California Sur presenta la menor densidad de pobladores (6 hab/km²) y el mayor valor para el $I_c = 3.68$, mientras que la mayor densidad poblacional la presenta el estado de Colima (105 hab/km²) con el segundo valor más alto de $I_c = 2.68$. Jalisco, Michoacán, Tamaulipas y Veracruz presentan el mayor déficit costero al soportar una mayor densidad de población con menor índice de vocación costera (ver cuadro 1).

Tomando como referencia las estrategias plasmadas en el *Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006*, se establece un indicador costero relativo a la relación agua-bosque. En el cuadro 2, se presentan las relaciones de cobertura vegetal, selva, cuerpos de agua y asentamientos humanos para cada uno de los 17 estados costeros de México. En el ámbito nacional se tiene una cobertura de 32.4% de bosques y selvas, porcentaje que se incrementa a 36.6% para los estados costeros. La condición crítica en este indicador costero de cobertura de vegetación natural es para Michoacán, Baja California, Baja California Sur, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz (2.55%, 2.93%, 5.66%, 7.42%, 16.48% y 16.94%, respectivamente). Los estados con mayor índice de cobertura vegetal natural son: Campeche, Oaxaca y Guerrero (77.8, 65 y 64.4%, respectivamente). Destaca el caso de Baja California, que presenta uno de los porcentajes de cobertura vegetal natural menores con una alta densidad poblacional.

La definición de un indicador bosque-selva-agua presenta resultados muy interesantes. A nivel nacional este indicador muestra que cada km² de cuer-

CUADRO 1. INDICADORES COSTEROS DE MÉXICO

ESTADO COSTERO DE MÉXICO	LONGITUD DE CORDÓN LITORAL ¹ [KM]	SUPERFICIE ESTATAL [KM ²]	POBLACIÓN [INEGI, 2000]	ÍNDICE COSTERO DE FRENTE LITORAL (LITORAL / SUPERFICIE)*100 [KM ⁻¹]	HABITANTES POR KM ²
<i>Pacífico</i>	1,555	69,921	2,487,367	2.22	36
Baja California	2,705	73,475	424,041	3.68	6
Baja California Sur	1,208	180,723	2,216,969	0.67	12
Sonora	640	58,328	2,536,844	1.10	43
Sinaloa	300	27,621	920,185	1.09	33
Nayarit	342	80,836	6,322,002	0.42	
Jalisco	139	5,191	542,627	2.68	78
Colima	247	59,928	3,985,667	0.41	105
Michoacán	485	64,281	3,079,649	0.75	67
Guerrero	598	95,364	3,438,765	0.63	48
Oaxaca	256	75,634	3,920,892	0.34	36
Chiapas					52
<i>Golfo de México</i>	458	79,384	2,753,222	0.58	35
Tamaulipas	745	72,815	6,908,975	1.02	95
Veracruz	184	25,267	1,891,829	0.73	75
Tabasco	523	50,812	874,963	1.03	17
Campeche	342	43,379	690,689	0.79	16
Yucatán	865	50,483	1,658,210	1.71	33
Quintana Roo	11,593	1'113,442	44'652,896	1.2	46.2
Totales					

¹ Extensión litoral y superficies estuarinas de México (INEGI 1984).

pos de agua es soportado por 58 km² de cobertura vegetal natural; para los estados costeros este indicador se eleva a 73 km². Igualmente aquí, los casos extremos son críticos: Baja California, Baja California Sur, Tabasco y Tamaulipas soportan cada km² de cuerpos de agua que poseen con menos de 10 km² de bosques y selva. Por otro lado, los estados de Campeche, Yucatán, Michoacán, Sonora, Quintana Roo y Oaxaca soportan cada km² de cuerpos de agua que poseen con más de 100 km² de bosques y selvas.

Los estados con mayor cobertura espacial de asentamientos humanos son Jalisco, Veracruz, Tamaulipas, Sonora y Baja California, con más de 550 km², mientras que los que presentan menores asentamientos humanos son Colima, Tabasco, Campeche, Baja California Sur y Michoacán con menos de 200 km². Resulta ilustrativo aquí establecer la carga de agua, bosque y selva que se dispone actualmente para sustentar los asentamientos humanos en zonas costera. El caso crítico, extremo, lo presenta Baja California, con tan sólo 4 km² de agua, bosque o selva por cada km² de asentamientos humanos, le siguen Michoacán, Veracruz, Tabasco y Tamaulipas. La condición más favorable la presentan los estados de Campeche, Guerrero, Quintana Roo, Oaxaca y Chiapas, con 310, 176, 161, 142 y 131 km² de agua, bosque y selva por cada km² de asentamientos humanos, respectivamente (ver cuadro 2).

En el balance agua-bosque y soporte de asentamientos humanos, el estado de Campeche presenta la condición ambiental más favorable para sustentar el desarrollo costero, contra la condición crítica que manifiestan los estados de Baja California, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.

RIQUEZA Y RIESGO AMBIENTAL EN LAS ZONAS COSTERAS

Es indudable el papel estratégico que han representado los recursos naturales para sustentar los más de 6,000 mil años de la colonización de la zona costera por el hombre. El conocimiento cada vez más claro de su medio y los avances tecnológicos han llevado de una explotación rudimentaria a una explotación extensiva e intensiva de los recursos costeros (bióticos y abióticos).

Los servicios ambientales que los humedales costeros representan son considerables y vitales: riqueza biológica (mayor biodiversidad); barrera contra efectos de huracanes y marejadas (disminuyen los riesgos por inundaciones); retención y exportación de sedimentos y nutrientes; su conservación y protección ayudan a proteger las costas de los cambios climáticos globales (principalmente a los incrementos del nivel medio del mar).

Los humedales costeros, de acuerdo con Costanza *et al.* (1997) pueden valorarse en un 45% del costo monetario que representan el total de los ecosistemas del mundo (equivalente a 14.9 billones de dólares americanos). Este marco de referencia tiene necesariamente que establecerse como referente de lo que representa perder una hectárea de humedales. Por ejemplo, una hectárea de estuarios está valuada, según estos autores, en 22,382 dólares americanos por año mientras que las marismas y manglares en 19,004 dólares

CUADRO 2. RELACIÓN DE COBERTURAS AGUA-BOSQUE Y ASENTAMIENTOS HUMANOS POR ESTADO COSTERO EN MÉXICO

ENTIDAD FEDERATIVA	SUPERFICIE TERRITORIAL	BOSQUES	SELVAS	BOSQUE+SELVA
Estados Unidos Mexicanos	1,964,382	328,510	307,005	635,515
<i>Pacífico</i>				
Baja California	69,921	2,050	0	2,050
Baja California Sur	73,475	782	3,374	4,156
Sonora	180,723	19,977	32,722	52,699
Sinaloa	58,328	8,635	20,193	28,828
Nayarit	27,621	8,342	7,327	15,669
Jalisco	80,836	22,527	17,684	40,211
Colima	5,191	532	2,274	2,806
Michoacán	59,928	472	1,058	1,530
Guerrero	64,281	21,692	19,731	41,423
Oaxaca	95,364	33,844	28,175	62,019
Chiapas	75,634	17,711	20,316	38,027
<i>Golfo de México</i>				
Tamaulipas	79,384	6,046	7,038	13,084
Veracruz	72,815	3,148	9,185	12,333
Tabasco	25,267	25	1,850	1,875
Campeche	50,812	0	39,526	39,526
Yucatán	43,379	0	19,551	19,551
Quintana Roo	50,483	0	31,973	31,973
Total por estados costeros	1,113,442	145,783	261,977	407,760

americanos por año. De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio: www.conabio.gob.mx, 3 de julio de 2001), existen 32,406 hectáreas de humedales prioritarios en los estados costeros de México, lo que representa, tomando lo expuesto por Costanza et

RELACIÓN BOSQUE+SELVA / CUERPO DE AGUA
RELACIÓN BOSQUE+SELVA+AGUA / ASENT. HUMANO

ASENTAMIENTOS HUMANOS	CUERPOS DE AGUA	RELACIÓN BOSQUE+SELVA / SUPERFICIE TERRITORIAL	RELACIÓN BOSQUE+SELVA / CUERPO DE AGUA	RELACIÓN BOSQUE+SELVA + AGUA / ASENT. HUMANOS
12,459	10,997	32.35%	58	52
560	277	2.93%	7	4
151	398	5.66%	10	30
600	435	29.16%	121	89
492	732	49.42%	39	60
163	234	56.73%	67	98
765	1,205	49.74%	33	54
92	79	54.06%	36	31
188	11	2.55%	139	8
238	428	64.44%	97	176
440	584	65.03%	106	142
298	926	50.28%	41	131
709	1,264	16.48%	10	20
732	415	16.94%	30	17
126	432	7.42%	4	18
128	172	77.79%	230	310
447	126	45.07%	155	44
200	298	63.33%	107	161
6,329	8,016	36.62%	73	82
			[promedio]	[promedio]

al. (1997), que se tiene un capital ambiental anual de 680 millones de dólares americanos, aproximadamente 7,485 millones de pesos mexicanos.

La sobreexplotación de los recursos costeros y los diversos agentes de contaminación del agua, aire y suelo, que se manifiestan ya con consecuen-

cias globales, ponen en riesgo la sustentabilidad del desarrollo integral de las zonas costeras. De seguir así, por ejemplo, la tasa de deforestación reportada por la Semarnat en diciembre de 2001, de 600,000 hectáreas por año, implicará que algunos estados costeros pierdan una parte importante de su cubierta vegetal natural. Tal fue el caso del estado de Campeche que perdió el 100% de sus bosques (200 mil hectáreas), Yucatán el 35% (272 mil hectáreas) y Veracruz el 22% (270 mil hectáreas). De mantenerse esta tendencia, las selvas, que cubren una superficie de 30.8 millones de hectáreas a nivel nacional, desaparecerán en 58 años, mientras los bosques, que actualmente suman 32.9 millones de hectáreas, bajarán a 26 millones en 25 años y se acabarán en 127 años.

El papel que juegan la atmósfera y el océano en la regulación del clima mundial es determinante. Los cambios climáticos globales están generando modificaciones a los balances energéticos a escala mundial, aunque es muy difícil predecir cuáles son o serán sus verdaderas manifestaciones y sobre todo, sus consecuencias. Sin duda, las zonas costeras y sus ecosistemas son y serán importantes elementos moduladores de los cambios ambientales que se den.

Los cambios (incrementos) del nivel medio de mar a causa de los deshielos y la expansión térmica de los océanos, como consecuencia del calentamiento global, se manifestarán de manera gradual. En los próximos 45 años, el nivel del mar podría aumentar lo suficiente como para inundar ciudades costeras en zonas bajas y deltas de ríos. También alteraría drásticamente la producción agrícola internacional y los sistemas de intercambio, y al parecer, aunque frenáramos totalmente los agentes antropogénicos que están generando los cambios globales, éstos ya no se detendrán, al menos en sus primeras manifestaciones. En este sentido, se prevé una elevación del nivel del mar de entre 15 cm y 95 cm para el año 2100, teniendo presente que una crecida de sólo 15 cm tendría consecuencias devastadoras en muchas zonas costeras, las cuales son extremadamente vulnerables a este cambio físico. Se estima que el aumento de un metro en el nivel del mar puede causar pérdidas de tierras de 0.05% en Uruguay, 1% en Egipto, 6% en los Países Bajos, 17,5% en Bangladesh, y hasta de un 80% en el Atolón Majuro de las Islas Marshall (Gallardo 1997). En el caso de la zona costera de Tamaulipas, mucha de la actual infraestructura portuaria quedaría bajo condiciones inoperantes ante este escenario.

Otros efectos del incremento del nivel de mar en zonas costeras serían: inundaciones y erosión costera de mayores proporciones, daño a sectores económicos clave, riesgo a la salud humana, pérdida de valiosos ecosistemas

costeros como matorrales de manglares, arrecifes de coral y extinción de especies marinas.

CASO DE ESTUDIO: ZONAS COSTERAS DEL SUR DE TAMAULIPAS, MÉXICO

La Zona costera tamaulipeca (ZCT) está integrada por un litoral de 430 km de longitud aproximadamente, conformada por importantes cuerpos de agua costeros como son: Laguna Madre, Laguna de Morales, Laguna de San Andrés, Marismas de Altamira y por el Sistema Lagunario de la Desembocadura del río Tamesí y del río Pánuco. La costa está constituida en su mayoría por playas arenosas y dunas antiguas, con una plataforma continental muy extendida y suave, característica de la zona central del Golfo de México. La parte continental de la ZCT está conformada básicamente por tierras bajas modeladas principalmente por los ríos Bravo (al norte de ZCT), Soto La Marina (en la parte central de la ZCT) y Pánuco (al sur de ZCT). Las tierras bajas que conforman la porción sur de la ZCT están principalmente influidas por el litoral marino, conformando extensas planicies costeras y marismas.

La parte norte de la ZCT es frontera con Estados Unidos de Norteamérica, en particular, con el estado de Texas –franja delimitada por el río Bravo-, y al sur colinda con el estado de Veracruz –frontera delimitada el río Pánuco-. La ZCT queda bajo la jurisdicción de siete municipios del estado de Tamaulipas que son, de norte a sur: Matamoros, San Fernando, Soto La Marina, Aldama, Altamira, Cd. Madero y Tampico (éste último, ribereño), (ver figura 1).

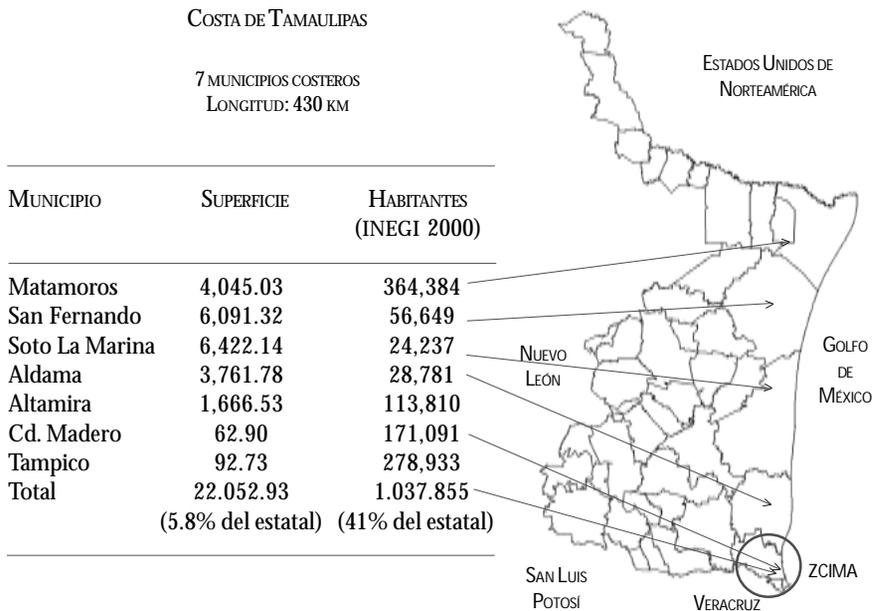
REGIÓN ZONA CONURBADA TAMPICO-MADERO-ALTAMIRA

Actualmente, en el sur de Tamaulipas se da la segunda concentración de población y desarrollo urbano más importante del estado, integrada por tres municipios que dan nombre a la zona conurbada: Tampico, Madero y Altamira (ZCTMA). De acuerdo con los resultados preliminares de XII Censo General de Población y Vivienda 2000, la ZCTMA cuenta con el 22% de la población estatal, equivalente a 604,291 habitantes. Igualmente, la ZCTAM alberga el segundo desarrollo industrial del estado, concentrado principalmente en el municipio de Altamira y Cd. Madero.

El desarrollo industrial y portuario que se ha dado durante los últimos 15 años en el sur de Tamaulipas ha tenido asociado un crecimiento econó-

mico, urbano, poblacional, turístico y comercial que convierte a esta región en un polo de desarrollo de proyección nacional e internacional.

FIGURA 1. MUNICIPIOS COSTEROS DE TAMAULIPAS



Un aspecto importante en el desarrollo de la ZCTMA son los puertos comerciales de Tampico e industrial de Altamira, que operan desde principios de siglo el primero, y desde 1985, el segundo.

Sin duda, la acción que más ha contribuido al desarrollo y proyección actual de la ZCTMA es el complejo industrial y portuario inducido por el Puerto Industrial de Altamira (PIA), actualmente denominado Complejo Industrial Portuario Altamira (CIPA).

El panorama político de la ZCTMA es complejo, pues los tres municipios, que la integran pueden estar gobernados por presidentes municipales

de distintos partidos políticos (como lo es en la actualidad). Lo anterior ha generado, por ejemplo, que acciones en beneficio del desarrollo social y económico de la ZCTMA se vean frenadas. Un caso concreto es el relleno sanitario conurbano, proyecto urgente en la zona y que lleva más de nueve años en su gestión, por lo que no hay acuerdo entre las autoridades de los tres municipios. El principal vector de presión y deterioro ambiental en la ZCTMA es, sin duda, la actividad industrial y el desarrollo urbano anárquico asociado (Jiménez *et al.* 2001).

Actualmente, es el municipio de Altamira el que resiente la mayor presión y el ambiental más serio de la ZCTMA. Esto se debe, entre otras cosas, al agotamiento de la reserva territorial del municipio de Tampico (94%) y de Cd. Madero (89%) (INEGI 2000).

El municipio de Altamira ha tenido un incremento poblacional de 1980 al 2000 de 350%, mientras que Tampico y Madero sólo de 10% y 37% durante el mismo periodo, respectivamente. Altamira mantiene una de las tasas de crecimiento poblacional más altas del país (5.8%), lo que ha generado que cerca del 80% de sus asentamientos urbanos no cuenten con servicios públicos básicos como son agua potable y drenaje, principalmente (INEGI 2000).

El municipio de Altamira cuenta con un territorio de 1,657 km² y con una reserva territorial para la promoción de su desarrollo equivalente al 70% de su superficie (INEGI 2000). Además, posee recursos naturales valiosos para esto, como lo es la disponibilidad de agua, línea de costa, infraestructura de comunicaciones y un polo de desarrollo industrial y portuario de gran relevancia nacional, como es el Complejo Industrial Portuario Altamira (CIPA).

Las unidades económicas del tipo industrial, manufacturero, turístico, comercial y financieros son las actividades predominantes en la ZCTMA. La infraestructura con que cuenta la ZCTMA favorece el desarrollo económico y comercial, y también el acceso a los centros turísticos y la facilidad de comunicarse al interior del país y a otros países. La red carretera, como elemento de integración regional, ha permitido que más del 50% del tráfico comercial entre México y Estados Unidos se realice a través de los puentes internacionales. La zona conurbada cuenta con la carretera federal No. 180 que comunica la ciudad de Tampico hacia el norte con Matamoros, pasando por Altamira, Estación Manuel, Aldama, Soto la Marina, San Fernando, y al sur con el estado de Veracruz. La carretera interestatal No. 81 comunica con Cd. Victoria, y la carretera federal No. 70 con Cd. Valles S.L.P. Hay un aeropuerto internacional en Tampico así

como dos puertos de altura, Tampico y Altamira.

Esta región se localiza en la parte sur de la franja costera, que es la de mayor importancia económica ya que cuenta con un corredor industrial muy extenso, y posee toda una infraestructura comercial y de servicios para satisfacer las necesidades prioritarias del corredor. Este desarrollo industrial, comercial y turístico ha generado un crecimiento de la tasa de crecimiento poblacional en los últimos años. Se considera también como una ventana comercial hacia el *hinterland* extranjero y nacional, ya que cuenta con dos puertos de altura, uno de tipo comercial y el otro de tipo industrial, así como con todos los servicios de transporte terrestres y aéreos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los indicadores de desarrollo para la zona costera de México presentan situaciones contrastantes y algunas de ellas son críticas. El estado de Baja California tiene la menor capacidad de soporte de su desarrollo costero por un déficit de sustentabilidad de sus fuentes de agua respecto a su disponibilidad de bosques. Campeche presenta el caso contrario, con mayor capacidad de sustentar sus recursos de agua al tener mayor cobertura de selvas, pero desafortunadamente es uno de los estados con elevados índices de deforestación.

Respecto a las consecuencias que trae consigo el incremento del nivel del mar para las costas tamaulipecas y en general para las costas mexicanas, pueden implementarse acciones para asimilar el aumento del nivel del mar, como políticas de adecuación de infraestructura portuaria y de seguridad ante peligros por inundación, que deberán ser acciones prioritarias que los gobernantes en turno (de aquí y para los próximos 50 años) les corresponderán ir implementando sistemáticamente para minimizar estas condiciones de riesgo ambiental.

El valor de los servicios ambientales que prestan los ecosistemas costeros tendrá que ser garantizados a través de acciones de control del deterioro y pérdida de su calidad ambiental, sobre todo ante externalidades e impactos ambientales sinérgicos y acumulativos.

El manejo integral de la zona costera, bajo el marco de planificación de un ordenamiento ecológico, puede ofrecer una excelente alternativa para enfrentar las expectativas de desarrollo sustentable de las costas mexicanas. Puede ser un marco de referencia para dar solución a los actuales conflictos ambientales al considerar acciones y medidas sociales, culturales, legales, estructurales, financieras, económicas e institucionales.

La ZCTMA enfrenta problemáticas ambientales que, en algunos casos

(basura y aguas residuales, principalmente), han superado la capacidad de atención de las autoridades gubernamentales correspondientes en sus tres niveles (federal, estatal y municipal). El aumento natural de la población, aunado al acelerado flujo de la inmigración producto del crecimiento económico, industrial y portuario, hace necesaria la formulación y aplicación de acciones derivadas de políticas ambientales normativas. Solo así, se podrán enfrentar con éxito los múltiples problemas derivados de las deficiencias en la dotación de suelo urbano, infraestructura, vivienda, equipamiento y servicios en general, en el marco de una planificación ambiental que promueva el desarrollo integral y sustentable de la región.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro profundo aprecio a la L.C.C. Gabriela Hernández Mendoza, a la Dra. Esperanza Martínez Cano y al P.I. Aarón Martínez por su ayuda y comentarios en la edición y revisión de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ceruti, C.N. (2002). *Ríos y praderas; los pueblos del litoral*. Argentina: Sudamérica 2002. 48 pp.
- Costanza, R., Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Sutton y Marjan van den Belt (1997). The value of the world's ecosystem services and nature capital. *Nature* 387: 253-260.
- Ducci, María Elena 1995. *Introducción al urbanismo. Conceptos básicos*. Ed. Trillas México. 94 pp.
- Gallardo, M. 1997. *Cambio Climático Global*. Tesis de doctorado. Universidad de Concepción, Centro Eula-Chile, Chile. 27 pp.
- INEGI 2000 «XII Censo General de Población y Vivienda. Tabulados Básicos». Tamaulipas, México.
- Jiménez, S., H. Worbis, M. Cervantes y J. Reynoso 2001. Plan Parcial de Ordenamiento Ecológico del Puerto Industrial de Altamira, Tam. Informe Técnico Final. Administración Portuaria Integral de Altamira, Tamaulipas, México. 324 pp.
- Timmerman, P. 1997. Ciudades costeras: una nueva agenda. Simposio de Ciudades Costeras del Cono Sur, June 26-28, 1997. Instituto de Estudios Ambientales, Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados (IFIAS), Universidad de Toronto, Canadá.

INTERACCIONES ECOLÓGICAS ESTUARIO-MAR: MARCO CONCEPTUAL PARA EL MANEJO AMBIENTAL COSTERO

*Alejandro Yáñez-Arancibia, Ana Laura Lara-Domínguez,
Patricia Sánchez-Gil y John W. Day*

INTRODUCCIÓN

La costa mexicana del Golfo de México soporta actividades humanas que se incrementan en variedad e intensidad. Esta costa es significativa en términos de sus valores económicos, sociales y ambientales, incluyendo: actividades portuarias, producción pesquera, agropecuaria e industrial petrolera, turismo, expansión urbano-comercial y ciclaje de contaminantes. Muchos de sus usos y recursos implican intereses en conflicto debido a su carácter de “propiedad común” y a que los efectos de las actividades humanas se resienten de preferencia en ecosistemas lagunares-estuarinos, que son ambientes de depósito previo a la intrusión al mar.

En muchos casos las prácticas de manejo costero están marcadas por algunas de estas actividades que son reactivas o coyunturales, *ad hoc* y por lo general no integradas con los diferentes niveles de gobierno o usuarios, dando como resultado propuestas de manejo fragmentado, particularmente a escalas subregionales (Cicin-Sain y Knecht 1998, Zárate Lomeli y Yáñez-Arancibia 2003). Con un enfoque de ecología funcional, el manejo exitoso del sistema lagunar-estuarino, ambientes clásticos de depósito costero, a la vez de “*áreas de mezcla*” de las aguas, comienza por la comprensión de las interacciones ecológicas estuario-mar, y requiere que la toma de decisiones se haga basado en sus características físicas y procesos biológicos, integran-

do “*pulsos ecológicos estacionales*” con el desarrollo social y económico de las costas.

En el caso de grandes extensiones latitudinales (ca. 3,200 km desde Tamaulipas hasta Quintana Roo) que contiene numerosos tipos de ambientes costeros, la gestión ambiental y planificación (*i.e.*, Semarnat, INE, Profepa, CNA) se enfrenta cotidianamente con el dilema de formular políticas y prácticas de manejo con datos ambientales fraccionados y de difícil acceso, o disponibles solamente para un número restringido de ecosistemas, al tiempo que no hay una comprensión integrada de macro/meso escala de la estructura funcional de las costas del Golfo, en sus interacciones estuario-mar y los procesos que modulan esas interacciones desde las cuencas hidrológicas hasta las plumas estuarinas sobre la plataforma continental nerítica en el mar (figura 1).

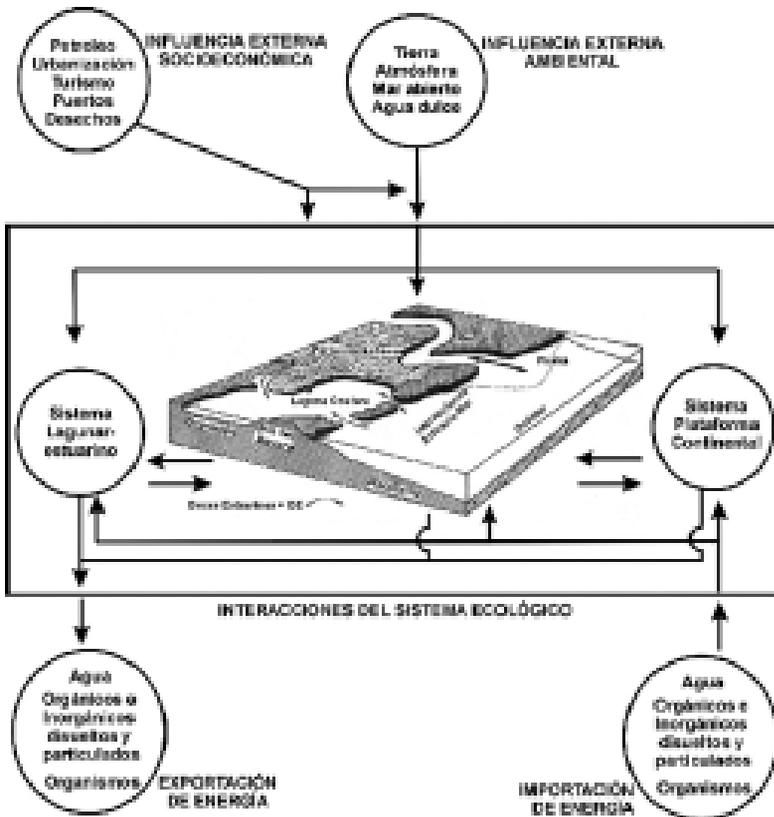
Por lo tanto, de acuerdo con la figura 1 y su explicación, hablar de interacciones ecológicas costeras implica hablar de conexiones entre la tierra, el mar, la atmósfera y las aguas epicontinentales; entender la estructura funcional e interdependencia recíproca entre los componentes principales de la zona costera; comprender el vínculo entre los humedales de la llanura costera y la plataforma continental a través de las bocas estuarinas e interpretar el sentido ecológico de la zona de mezcla y la magnitud de la exportación *versus* la importación de materiales y energía.

En este capítulo se mostrará el valor que tiene el entendimiento de la estructura funcional de la zona costera del Golfo de México a través de la comprensión geomorfológica, climático-meteorológica, hidrodinámica y biológica, de ecosistemas representativos pero contrastantes, lo cual es fundamental en lo que respecta a la gestión ambiental y las prácticas de manejo basadas tanto en los atributos físicos y biológicos integrados (por ejemplo, descarga fluvial, estacionalidad climática, biodiversidad, metabolismo estuarino, entre otros), como procesos ecológicos en pulsos estacionales, que condicionan la productividad natural de la zona costera (figura 2). El objetivo central es comparar procesos ecológicos en un gradiente latitudinal, entre humedales oligo y meso-halinos y la plataforma continental, destacando la función de las bocas estuarinas en las interacciones ecológicas estuario-mar.

DEFINICIONES COMPACTAS PARA COMPRENDER INTERACCIONES ECOLOGICAS ESTUARIO-MAR

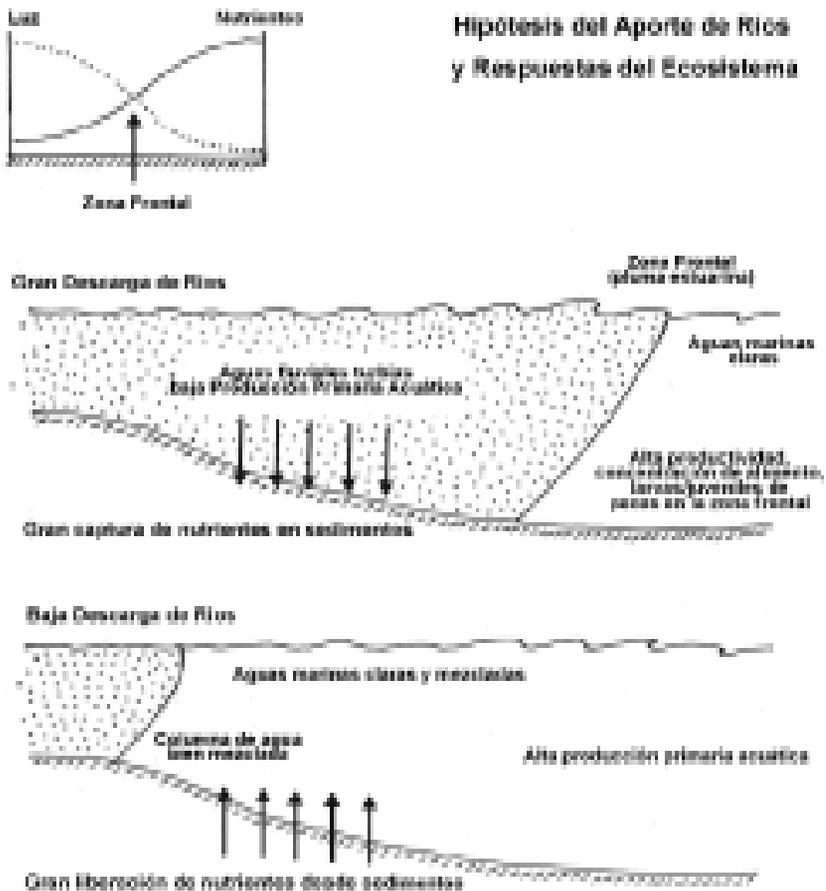
Para a) contar con un diagnóstico ambiental, y con fines de manejo dirigido al sector político y a los tomadores de decisiones, las fronteras de áreas

FIGURA 1. MODELO CONCEPTUAL QUE ILUSTR A LOS COMPONENTES QUE FORMAN PARTE DE LA ZONA COSTERA COMO ECOSISTEMA. LAS FLECHAS SEÑALAN EL SENTIDO DE LAS INTERACCIONES. LAS “BOCAS ESTUARINAS” TIENEN LA PRINCIPAL FUNCIÓN EN LAS INTERACCIONES ECOLÓGICAS ESTUARIO-MAR. LAS ISLAS DE BARRERA ESTÁN INTERRUMPIDAS POR BOCAS ESTUARINAS PERO TAMBIÉN EL ENCUENTRO DE LOS RÍOS Y EL MAR CONSTITUYE UNA BOCA ESTUARINA. EN ESTE SUBSISTEMA OCURRE ACTIVO INTERCAMBIO DE AGUA, CONTAMINANTES, NUTRIENTES, MATERIA ORGÁNICA, SEDIMENTOS Y ORGANISMOS. LA CONECTIVIDAD INVOLUCRA PROCESOS DE TRANSPORTE Y MEZCLA, EXTENSIÓN DE LA PLUMA ESTUARINA, MOVIMIENTOS MIGRATORIOS, VARIACIONES EN BIODIVERSIDAD Y ABUNDANCIA, CAMBIOS ONTOGENÉTICOS EN CICLOS BIOLÓGICOS, DINÁMICA TRÓFICA, CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS, CAMBIOS EN PRODUCTIVIDAD



Modificado de Yáñez-Arancibia (1986).

FIGURA 2. HIPÓTESIS DEL APORTE DE RÍOS Y RESPUESTA DEL ECOSISTEMA COSTERO. LARVAS, JUVENILES Y ADULTOS DE PECES Y MACROINVERTEBRADOS UTILIZAN EL SISTEMA DE AGUAS ABIERTAS Y PROTEGIDAS Y EL GRADIENTE DE LA ZONA FRONTAL EN LA PLUMA ESTUARINA, COMO HÁBITATS ESENCIAL, ANTES Y DESPUÉS DE SUS MOVIMIENTOS HACIA LOS HUMEDALES O HACIA LA PLATAFORMA CONTINENTAL. LOS FACTORES DE FUERZA AMBIENTAL Y SUS EXTREMOS CONDICIONAN EL FUNCIONAMIENTO ECOLÓGICO DE LOS SISTEMAS LAGUNARES-ESTUARINOS



costeras involucradas deben ser definidas idealmente por la extensión del área de interacciones relevantes, incluyendo factores físicos, biológicos, económicos, sociales, y jurídico-normativos, entre otros. Para los propósitos de este capítulo, se presentan definiciones muy compactas para comprender interacciones ecológicas estuario-mar: a) zona costera, b) estuario, c) laguna costera, d) sistema lagunar-estuarino, e) ambiente clástico de depósito, f) facies, g) pluma estuarina, y h) pulsos ambientales.

Zona costera. Debe establecerse un criterio funcional por lo tanto consideramos a la zona costera como una amplia ecoregión con intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas donde ocurre un dinámico intercambio de energía y materiales entre el continente, el agua dulce, la atmósfera y el mar adyacente. Incluye por lo general la planicie costera, la cuenca baja de ríos, humedales hidrófitos, manglares, selva baja inundable, dunas, lagunas costeras, estuarios, playas y la pluma estuarina sobre la plataforma continental nerítica. En la práctica y para propósitos de manejo en un marco legal, tanto México como Estados Unidos incorporan municipios y condados como frontera geográfico-política hacia el continente, y la plataforma continental como extensión hacia el mar. En México la Zona Federal Marítimo Terrestre (Zofemat) de 20 m queda incluida como una pequeña franja dentro de este concepto de zona costera. (Chua y Pauly 1989, Chua y Scura 1992, Yáñez-Arancibia 1999, 2000, Yáñez-Arancibia y Day 2003).

Llanura costera. La llanura o planicie costera es el conjunto de atributos naturales a nivel de ecosistemas y recursos que se ubican geográficamente en las planicies próximas al litoral, adentrándose tierra adentro hasta donde la fisiografía plana y la vegetación palustre y lacustre están bien representada, su cobertura está modulada por el efecto de inundaciones naturales estacionales. Esta subregión costera: a) contiene importantes humedales, b) estructura diversos hábitats críticos de flora y fauna específicas, c) retiene el flujo de agua y recarga el manto freático, d) modula el balance entre humedales dulceacuícolas y salobres dependiendo del régimen de mareas y del volumen de descarga de agua dulce, e) amortigua la cuenca baja de los ríos antes de llegar al mar, f) actúa como filtro controlando la calidad del agua, reteniendo nutrientes, sedimentos, contaminantes y disminuyendo la eutroficación, y g) sostiene importantes actividades económicas en la zona costera. (Yáñez-Arancibia 1986; Day *et al.* 1989).

Estuario. Hidrodinámicamente, es una entrada de mar que inunda un valle de río, donde las aguas dulces y marinas se mezclan y diluyen. Es un

encuentro de aguas epicontinentales que genera “condiciones estuarinas”. Desde una perspectiva geológica es un ambiente clástico de depositación costera que recibe sedimentos fluviales y marinos, determinando facies influenciadas por la marea, el oleaje y la descarga de ríos. En la comprensión integrada de un estuario, los gradientes y los procesos de dilución y mezcla de aguas (hidrodinámica) se complementan con los gradientes de ambientes sedimentarios (facies de geología ambiental) (Harris *et al.* 2002, Harris y Heap 2003, Dalrymple *et al.* 1992, Boyd *et al.* 1992, Officer 1976, Kjerfve 1978, Dyer y Orth 1994, Yáñez-Arancibia 1987). Utilizando esta definición oceanográfica, los estuarios y los deltas no se diferencian unos de otros, aunque presentan variaciones evidentes respecto de sus procesos físicos (Lauff 1967, Yáñez-Arancibia 1987, David y Kjerfve 1998).

Laguna costera. Geomorfológicamente, es una depresión costera por debajo del nivel medio de las mareas más altas, comunicada con el mar de manera permanente o efímera y que presenta algún tipo de barrera; con o sin aporte fluvial y con facies sedimentarias condicionadas por la marea, el oleaje, las corrientes litorales y la descarga de ríos (Lankford 1977, Lasserre y Postma 1982, Bird 1968, Yáñez-Arancibia 1987, Boyd *et al.* 1992, Kjerfve 1994, David y Kjerfve 1998, Harris *et al.* 2002). Por el encuentro de aguas dulces y marinas, en esa depresión geomorfológica se presentan “condiciones estuarinas”.

Sistema lagunar-estuarino. Ecológicamente, es una depresión conectada con la llanura costera y el mar; zona de mezcla e interacciones hidrodinámicas y geomorfológicas, donde prevalecen gradientes de productividad primaria acuática, salinidad, turbidez, facies sedimentarias y biodiversidad, en presencia de gran variabilidad de “pulsos estacionales”, condicionados por vientos, descarga de ríos, mareas y corrientes litorales. La flora y la fauna están muy adaptadas morfofisiológicamente a la variabilidad ambiental y a la productividad natural, y se tipifican ciclos biológicos programados estacionalmente que interactúan entre los humedales oligohalinos y el océano adyacente (Day y Yáñez-Arancibia 1982, Yáñez-Arancibia 1987, Day *et al.* 1989, Kjerfve 1994).

Ambiente clástico de depósito costero. (ACDC) Se define como área de la costa donde se acumulan los sedimentos provenientes de fuentes terrestres o marinas (Kjerfve 1994, Harris y Heap 2002). En este capítulo se excluyen las costas rocosas, los acantilados erosivos, las playas y las dunas. Se reconocen dos tipos principales: ACDC-1 aquellos que reciben un gran aporte de sedimentos y progredan activamente hacia el mar (*i.e.*, deltas, llanuras de inundación, bajos de mareas), y ACDC-2, aquellos con pequeño suministro de

sedimentos que exhiben características geomórficas asociadas con el nivel del mar Holocénico y tienen completamente lleno su paleovalle (Bird 1968, Boyd *et al.* 1992, Harris *et al.* 2002). La variación del nivel medio del mar, la cantidad relativa de aporte sedimentario terrestre/marino, y el tamaño de la cuenca receptora condicionan la variabilidad y persistencia de las interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia y Day 1982, 1988).

Facies. Se definen como un conjunto de atributos geomórficos y sedimentológicos que son elementos diagnósticos de un ambiente sedimentario y sus procesos físicos, químicos y biológicos. Por sí mismas, las facies individuales tienen poco valor interpretativo. Sin embargo, cuando se analizan en combinación con diferentes ambientes sedimentarios, en escalas laterales y verticales, su fuerza interpretativa es mucho mayor y el conjunto de facies sugiere generalizaciones para cierto tipo de ambientes de depósito (Yáñez-Arancibia y Day 1982), *i.e.*, llanuras de inundación intermareales, bancos de arena, marismas salobres, manglares y selvas inundables, humedales con pastizales, cuencas centrales lodosas, islas de barrera, bocas estuarinas y deltas de mareas flujo-reflujo. Más aún, desde una perspectiva de manejo, es importante enfatizar que el concepto de “facie” es utilizado en este capítulo como análogo del conjunto de factores en un “hábitat” ecológico, en la mayoría de los ambientes clásticos de depósito costero, en el sentido de Day *et al.* (1989, 1997) y Kjerfve (1994).

Pluma estuarina. Se define como el área de influencia de las “condiciones estuarinas”, extendida sobre la plataforma continental. Se caracteriza por salinidades menores a 35, alta turbidez, gran disponibilidad de orgánicos e inorgánicos disueltos y particulados, y en la zona frontal se genera la mayor producción primaria acuática de la plataforma continental. Su extensión y estacionalidad dependen de la amplitud y dinámica de las bocas estuarinas, descarga de ríos, mareas, corrientes litorales, y régimen de vientos (figuras 2 y 5A). Esta pluma tiene gran correlación con sistemas deltáicos y su productividad primaria es un indicador de la sustentabilidad ambiental de los deltas y su correlación con pesquerías demersales (Pauly 1986, Day *et al.* 1997, Cardoch *et al.* 2002).

Pulsos ambientales. Son eventos que tienen una distribución jerárquica expresada en la estacionalidad de aportes externos e internos tanto de energía como de materiales en la zona costera. Estos pulsos no son constantes, pero ocurren como aportes que tienen lugar a diferentes escalas temporales y espaciales (cuadro 1, figura 4). Estos eventos de pulsos producen beneficios sobre diferentes escalas ecológicas y están integrados a la estructura

funcional de la zona costera; por ello los *pulsos ambientales* son *pulsos ecológicos*. La mayor importancia de estos eventos es en las grandes depositaciones sedimentarias en sistemas costeros y los grandes cambios espaciales en geomorfología. Los eventos más frecuentes tienen un papel muy destacado para mantener el gradiente salino, aportar nutrientes, estabilizar los hábitats, regular procesos biológicos, y condicionar el reclutamiento de especies dependientes o asociadas a condiciones estuarinas (Yáñez-Arancibia y Pauly 1986, Yáñez-Arancibia *et al.* 1991, Day *et al.* 1997, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997). Los sistemas lagunares-estuarinos siempre han estado frente a cambios naturales de pulsos diarios (*i.e.*, productividad), diarios (*i.e.*, mareas), decadales (*v. gr.* El Niño), o más largos (*i.e.*, ascenso del nivel del mar), y más recientemente la acción antrópica que induce una presión adicional con pulsos de sedimentos, enriquecimiento de nutrientes, hipoxia y efecto invernadero.

EL MOLDE DEL ESCENARIO AMBIENTAL

Las lagunas costeras y los estuarios han sido parte del registro geológico, al menos durante los últimos 200×10^6 años (Schroeder y Wiseman 1999). Sin embargo, los sistemas lagunares-estuarinos modernos son de perfiles recientes formados en los últimos 5,000 a 6,000 años durante la estabilización del periodo interglacial en el Holoceno medio, a lo cual siguió la extensa elevación del nivel del mar al final del Pleistoceno (Kjerfve 1978, 1994). La fisiografía e hidrodinámica de estos sistemas es muy variable, y el Golfo de México es una expresión clara de la organización biológica costera condicionada por la geomorfología (Bianchi *et al.* 1999; Kumpf *et al.* 1999; Yáñez-Arancibia 2003 a). La formación de la cuenca del Golfo de México se inició en el Triásico tardío (alrededor de 200×10^6 años).

Desde el Holoceno los sedimentos estuarinos se derivan de: a) fuentes fluviales, b) erosión de la línea de costa, c) fuentes marinas, d) fuentes eólicas, y e) fuentes biológicas. La composición y distribución de las facies sedimentarias está en función: a) del tipo y cantidad del material sedimentario disponible para depositación, b) procesos hidrodinámicos, y c) la geometría de la cuenca. El conjunto de estos ambientes sedimentarios, normalmente está asociado con las características de la barrera arenosa que los protege del mar, la boca estuarina que comunica las aguas estuarinas con el océano, la dinámica del influjo de ríos, normalmente localizados en la cabecera del sistema estuarino, y el borde somero a lo largo de la línea de costa

CUADRO 1. ESCALA TEMPORAL DE LOS EVENTOS Y PULSOS EN SISTEMAS DELTÁICOS, Y EFECTOS DE IMPACTOS ECOLÓGICOS EVIDENTES APLICADOS AL SISTEMA GRUJALVA/USUMACINTA (PCdGU y LTdU) Y AL DELTA PAPALOAPAN (LAdP)

EVENTO	ESCALA DE TIEMPO	IMPACTOS
Cambios drásticos en el curso del río	1,000 años	Formación de lóbulos deltáicos. Avance neto de la masa continental deltáica.
Grandes inundaciones del río	50-100 años	Iniciación drástica de canales. Formación dispersa de hondonadas y fisuras. Grandes depositaciones sedimentarias.
Grandes tormentas	5-20 años	Grandes depositaciones sedimentarias. Erosión del litoral deltáico. Aumento de productividad acuática y de los humedales. Aumento de productividad acuática marina adyacente.
Flujo promedio del río	Anual	Aumento depositaciones sedimentarias Disminución de la salinidad. Balance hidráulico del delta. Aporte de nutrientes. Integridad ecológica de hábitats. Inmigración/emigración de fauna estuarina. Aumento de producción primaria y secundaria en el delta y mar adyacente.
Eventos normales de tormenta (frentes fríos y tormentas tropicales)	Semanal	Aumento de la depositación. Erosión de bordos y derrame del río. Erosión del litoral deltáico. Transporte de organismos. Transporte neto de materiales.
Mareas	Diarias	Drenaje de la productividad del humedal. Balance hidráulico del delta.

donde ocurre la erosión litoral.

Generalmente la circulación estuarina es el resultado de cuatro procesos dominantes: a) suministro neto de agua dulce al sistema, b) el *momentum* local transferido por los vientos, c) la variabilidad de la boca estuarina causada por procesos oceánicos costeros y d) las corrientes litorales combinado con mareas y oleaje (Kjerfve 1978, 1994).

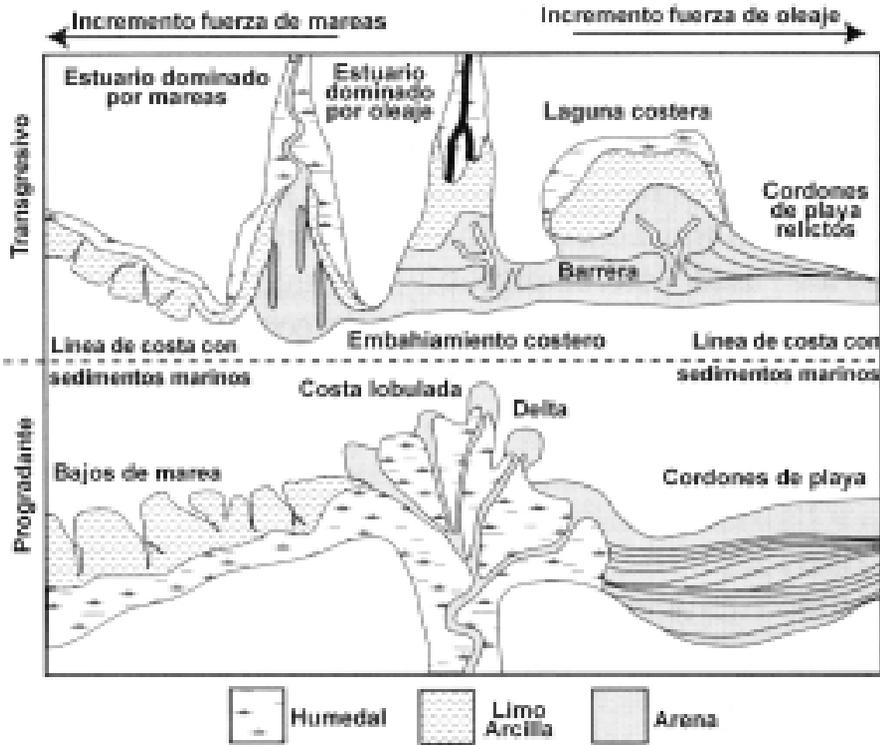
La geomorfología general de los ambientes clásticos de depósito costero resulta afectada por la importancia relativa del oleaje y las mareas, que controlan la cantidad, naturaleza, distribución y transporte de sedimentos a lo largo de la costa. Un tren de oleaje significativo genera transporte activo de sedimentos a lo largo de la costa, produciendo perfiles sedimentarios paralelos de tipo "*spits*", barras arenosas o islas de barrera. En contraste, las mareas significativas asociadas con fuertes corrientes de mareas generalmente producen perfiles sedimentarios normales en la costa incluyendo bancos arenosos alargados, amplias bocas estuarinas, vigorosos canales distributarios deltáicos, y amplias llanuras de inundación intermareales. De esta forma, es posible distinguir entre costas dominadas por oleaje (*i.e.*, deltas dominados por oleaje, estuarios dominados por oleaje, entrantes de mar hacia la planicie costera, y lagunas costeras); y costas dominadas por mareas; *i.e.*, deltas dominados por mareas, estuarios dominados por mareas, y deltas mareales progradantes (figura 3).

DIAGNOSTICO Y PERFIL DE ECOSISTEMAS REPRESENTATIVOS

En el gradiente latitudinal en la costa atlántica de México, desde Tamaulipas (en la frontera con los EE.UU.) hasta Quintana Roo (en la frontera con Belice), se pueden observar contrastes geomorfológicos e hidrodinámicos los cuales están representados por ocho sistemas lagunares-estuarinos. De norte a sur: 1) Sistema Laguna Madre, Tamaulipas (LMT), 2) Sistema Laguna Tamiahua, Veracruz (LTV), 3) Sistema Laguna Alvarado delta Papaloapan, Veracruz (LAdP), 4) Sistema Pantanos de Centla delta Grijalva-Usumacinta, Tabasco (PCdGU), 5) Sistema Laguna de Términos delta Usumacinta, Campeche (LTdU), 6) Sistema Laguna Celestún, Yucatán (LCY), 7) Sistema Laguna Arrecifal Puerto Morelos, Quintana Roo (LAPQ), 8) Sistema Lagunar Sian Ka án, Quintana Roo (LSQ) (cuadro 2, figura 4).

En cuatro sistemas prevalece la corriente litoral como el mayor factor de fuerza ambiental (*i.e.*, LMT, LTV, LAPQ y LSQ), lo cual se infiere por la configuración de la línea de costa, el sentido progradante de las islas de

FIGURA 3. DIAGRAMA DE AMBIENTES DE DEPÓSITO COSTERO. LA FUERZA AMBIENTAL DEL OLEAJE EROSIONA LOS CORDONES DE PLAYA. LA FUERZA AMBIENTAL DE LAS MAREAS EROSIONA LOS BAJOS DE MAREA. UNA COSTA DE DELTA LOBULADO ES LA IMAGEN CONTRARIA DEL EMBAHIAMIENTO DE UN ESTUARIO DOMINADO POR OLEAJE



Fuente: Según Boyd *et al.* 1992.

barrera en el caso de LMT y LTV, y la disposición paralela a la costa de las líneas batimétricas de la laguna arrecifal en el caso de LAPQ y LSQ, representado por la línea de puntos en los diagramas del cuadro 2. Hay tres integrantes claros de sistemas dominados por ríos (i.e., LAdP, PCdGU, y LtdU) y un sistema dominado por mareas (i.e., LCY). La distribución de facies en los sistemas dominados por mareas está organizada en bancos

arenosos mareales, dunas activas de poca altura, y llanuras intermareales arenosas colonizadas por halofitas. En los sistemas dominados por oleaje se reconocen al menos tres facies distintivas: **1)** barrera-boca mareal-delta mareal de flujo-reflujo; **2)** cuenca central-zona de baja energía, y **3)** bahía frontal del delta hacia la pluma estuarina. Solamente LTdU pudiera acercarse a este modelo en un momento restringido del año (*i.e.*, Nortes, según Yáñez-Arancibia y Day 1982, 1988). La extensión espacial relativa de cada una de estas facies varía entre sistemas, dependiendo de la tasa relativa del poder del oleaje sobre la marea y en función del aporte relativo de sedimentos marinos *vs.* fluviales, la forma y profundidad de la cuenca y su grado de asolve. Ninguno de los ocho sistemas diagnosticados en el cuadro 2 está dominado por el oleaje. Por el contrario, largos canales de marea a menudo contienen bancos de arena y dunas móviles, pero se distinguen de los dominados verdaderamente por mareas por la ausencia de distributarios.

El Sistema Laguna Madre Tamaulipas (LMT). Es característico por su extensa barrera arenosa con múltiples bocas de conexión y escurrimiento de ríos ausente o muy localizado y escaso. La forma y batimetría está modificada por la acción de la marea, la corriente litoral es una fuerza ambiental importante, su tasa de evaporación es muy alta, y la precipitación pluvial es baja, por tanto, es predominantemente hipersalino y de baja productividad primaria acuática (cuadro 2, figura 4). Su déficit de agua es de más de 500 mm/día, la trampa de sedimentos es baja y el tiempo de residencia de las aguas es largo, razón por la cual su interacción ecológica con el océano es muy limitada. Su origen geológico (Lankford 1977, Tunnell y Judd 2002) se debe a un frente de barrera en la plataforma interna somera modulada por la corriente litoral y los vientos (cuadro 2).

El Sistema Laguna Tamiahua Veracruz (LTV). Es característico por su origen de barrera cuspada en la plataforma interna formada por sedimentación de sus barras apoyadas en arrecifes coralinos relictos (Lankford 1977). Presenta dos bocas estuarinas, la del norte, influenciada de manera relativa por la cuenca baja del río Pánuco; y la del sur, por la cuenca baja del río Tuxpan (cuadro 2, figura 4). La forma y batimetría están moduladas por principalmente corrientes litorales, en efecto sinérgico con vientos y mareas. Su déficit diario de agua y rango de precipitación pluvial la acerca más a las condiciones de LMT, lo cual se refleja en el perfil de hábitats y modelo trófico (cuadro 2, figura 4). La trampa de sedimentos es de moderada a baja y el tiempo de residencia de las aguas es largo, por lo cual su interacción ecológica con el océano es limitada (cuadro 2).

Sistema Laguna Alvarado delta Papaloapan Veracruz (LAdP). Es característico en su formación por presentar sedimentación terrígena diferencial en una depresión marginal de carácter tectónico (Lankford 1977). Se conecta con el mar formando una boca estuarina; la barrera física y la cuenca central están modificadas en su forma y batimetría por lagunas deltáicas y sublagunas, reflejo de un delta progradante, modulado por ríos como la principal fuerza ambiental. Por su dinámica pluviométrica, descarga de agua dulce y evapotranspiración, se acerca bastante al perfil de ecosistema de PCdGU y LTdU. Esto se refleja claramente en el perfil de hábitats y modelo trófico (cuadro 2, figura 4). La trampa de nutrientes es muy eficiente y el tiempo de residencia de aguas es medio, pero por el pulso de descarga fluvial su interacción ecológica con el océano es muy alta (cuadro 2).

Sistema Pantanos de Centla delta Grijalva Usumacinta Tabasco (PCdGU). Comprende los principales sistemas deltáicos y estuarinos de la costa mexicana del Golfo. Conformar el área de humedales y llanura costera más extensa de Mesoamérica. Se conecta con el mar por la boca estuarina del Usumacinta (agregándose el Grijalva o viceversa) y la boca del San Pedro. Su formación de planicies deltáicas y llanuras de inundación son caracteres de una activa sedimentación terrígena diferencial en una amplia depresión de la llanura costera (Lankford 1977, Yáñez-Arancibia *et al.* 2002). En el cuadro 2 y figura 4, se observa que la precipitación pluvial excede a la evaporación y se parece mucho al perfil de hábitats y modelo trófico de LAdP y LTdU. La trampa de sedimentos es muy eficiente y el tiempo de residencia de las aguas es medio, por lo cual su interacción con el océano es muy alta (cuadro 2).

Sistema Laguna de Términos delta Usumacinta Campeche (LTdU). Tiene dos componentes en su origen geológico: sedimentación terrígena diferencial y frente de barrera arenosa (Lankford 1977). La explicación es muy clara, puesto que LTdU se encuentra exactamente frente a donde se separa la provincia terrígena moldeada por el Usumacinta y la provincia carbonatada kárstica de la Península de Yucatán. La corriente litoral balancea la erosión-depósito de la barrera, pero la principal fuerza ambiental es la descarga de ríos y el efecto sinérgico con vientos. El sistema se comunica con el mar por dos bocas naturales (Puerto Real y El Carmen) y una menor artificial (Sabancuy). LTdU forma parte integral de los humedales del sistema PCdGU y es típico porque la precipitación excede a la evaporación (cuadro 2, figura 4). Por sus condiciones ambientales se parece al perfil de hábitat y modelo trófico de LAdP y PCdGU. La trampa de sedimentos es muy eficiente y el

CUADRO 2. PERFIL DE ECOSISTEMAS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE: DIMENSIONES, GEOMORFOLOGÍA, METEOROLOGÍA Y CLIMA, OCEANOGRAFÍA, HIDROLOGÍA, BIOLOGÍA, ECOLOGÍA, ESTRUCTURA FUNCIONAL



ÁREA (KM ²)	2450	880	150	3027
Espejo de agua (ha)	200,978	63,430	1,428	10,224
Plataforma continental y sedimentos	Estrecha. Arenas finas mezcladas	Estrecha. Arenas finas mezcladas	Estrecha. Terrígenos	Amplia. Terrígenos
Clima	Semiárido	Subhúmedo	Lluvioso húmedo	Lluvioso húmedo
Vientos predominantes	SE Mar-Sep NO Oct-Feb	SE Mar-Sep NO Oct-Feb	SE Mar-Sep NO Oct-Feb	SE Mar-Sep NO Oct-Feb
Precipitación (mm/año)	700	1,200	2,322	2,879
Ríos/ cuencas importantes	Bravo/Grande Sn Fernando Soto la Marina	Tuxpan Nautla	Papaloapan Blanco Sn Juan Limonero Jamapa	Usumacinta Grijalva
Descarga de agua dulce (Golfo)		146 x 109 m ³ /año		
Descarga de agua dulce (Yuc/Caribe)				
Evapotranspiración potencial (mm)	1,283	1327	1392	1401
Evapotranspiración actual (mm)	761	1209	1269	1356

7061	2113	nd	5281
260,000	nd	nd	nd
Amplia. Terrígenos/ calcáreos Lluvioso húmedo SE Mar-Sep NO Oct-Feb 1,800 Usumacinta Palizada Candelaria Chumpan	Amplia. Calcáreos Árido subhúmedo SE Mar-Sep NO Oct-Feb 500 Cuenca Subterránea	Estrecha. Calcáreos Seco subhúmedo SE Mar-Sep NO Oct-Feb 800 Cenotes Litorales	Estrecha. Calcáreos Seco subhúmedo SE Mar-Sep NO Oct-Feb 1,100 Cenotes Litorales
146 x 109 m ³ / año		9.0 x 10 ⁶ m ³ //km/año	
1586	1444	1502*	1502*
1471	466	898*	898*

(Continúa)

CUADRO 2. PERFIL DE ECOSISTEMAS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE: DIMENSIONES, GEOMORFOLOGÍA, METEOROLOGÍA Y CLIMA, OCEANOGRAFÍA, HIDROLOGÍA, BIOLOGÍA, ECOLOGÍA, ESTRUCTURA FUNCIONAL

ÁREA (KM ²)	2450	880	150	3027
Déficit diario de agua (mm)	522	118	123	45
Ganancia diaria de agua (mm)	0	31	1053	1523
Salinidad	Hipersalino	Mesohalino	Oligo/Meso halino	Oligohalino
Micromareas	Diurnas	Diurnas	Mixta diurna	Mixta diurna
Oleaje	Intermedio	Intermedio	Bajo	Bajo
Factores de fuerza ambiental	Corrientes> Vientos> Mareas	Corrientes> Vientos> Mareas	Ríos> Mareas> Corrientes	Ríos> Mareas> Corrientes
Tiempo de residencia	Largo	Largo	Medio	Medio
Circulación	Bien mezclada	Parcial mezclada	Cuña salina Parcial mezclada	Cuña salina Parcial mezclada
Turbidez	Baja	Moderada	Alta	Alta
Eficiencia trampa de sedimentos	Baja	Moderada	Alta	Alta
Alteración de hábitats por sedimentos	Alto riesgo	Alto riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
Vegetación emergente (ha)	8461	908	56550	200000
Peces (spp/año)	65	80	90	62
Moluscos (spp/año)	76	67	49	nd
Crustáceos (spp/año)	42	32	36	nd
Productividad primaria acuática (mg Cm ³ /hr)	78	150	200	220

7061	2113	nd	5281
115	978	604*	604*
267	0	0	0
Oligo/Meso halino Mixta diurna Bajo Ríos> Mareas> Vientos> Corrientes Medio	Marino/Meso halino Semidiurna Intermedio a Bajo Mareas> Corrientes Corto	Marino Semidiurna Intermedio a Bajo Corrientes> Mareas Corto	Marino/Meso halino Semidiurna Intermedio a Bajo Corrientes> Mareas Corto
Cuña salina Parcial mezclada	Cuña salina Parcial mezclada	Bien mezclada	Bien mezclada
Alta Alta	Baja Baja a moderada	Baja Baja	Moderada Moderada
Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo
130000	3379	nd	nd
214	125	60	73
174	nd	nd	nd
60	nd	nd	nd
333	80	70	90

(Continúa)

CUADRO 2. PERFIL DE ECOSISTEMAS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE: DIMENSIONES, GEOMORFOLOGÍA, METEOROLOGÍA Y CLIMA, OCEANOGRAFÍA, HIDROLOGÍA, BIOLOGÍA, ECOLOGÍA, ESTRUCTURA FUNCIONAL

ÁREA (KM ²)	2450	880	150	3027
Modelo trófico ECOPATH-II (Figuras 7, 8, y 9)	Cadenas cortas vía macrobentos	Cadenas cortas vía macrobentos Golfo delta	Cadenas largas vía detritus y macrobentos	nd
Perfil de Hábitats (Figura 5 A, B)	Golfo delta transgresivo selva seca y matorrales	transgresivo selva mediana	Golfo delta progradante humedales y selva	Golfo delta progradante humedales y selva

LMT Sistema Laguna Madre Tamaulipas; LTV Sistema Laguna Tamiahua Veracruz; LADP Sistema Laguna Alvarado delta Papaloapan Veracruz; PCdGU Sistema Pantanos Centla delta Grijalva/Usumacinta Tabasco; LTdV Sistema Laguna de Términos delta Usumacinta Campeche; LCY Sistema Laguna Celestún Yucatán; LAPQ Sistema Laguna Arrecifal Puerto Morelos Quintana Roo; LSQ Sistema Laguna Sian Ka'an Quintana Roo. Clima y cuencas según CNA México, SE Sur sureste; NO Nor noroeste. Línea de puntos frente de mareas y tendencia de circulación litoral. (*) Estimado de Bianchi *et al.* 1999. **(nd) No disponible. Tiempo de residencia en referencia a David y Kjerfve (1998). Trampa de sedimentos en referencia a Kjerfve *et al.* (1988). Productividad primaria acuática J. W. Day datos no publicados. Clima, biodiversidad, cobertura vegetal, oceanografía estuarina A. Yáñez-Arancibia datos no publicados. Presupuesto climático de agua y áreas Deegan *et al.* (1986), Bianchi *et al.* (1999). Modelos tróficos Abarca y Valero (1993), Arreguín *et al.* (1993), Barba Macías (2003). Base de datos Programa de Recursos Costeros, Instituto de Ecología A.C. (CONACyT).**

tiempo de residencia de las aguas mezcladas es medio pero, por la enorme dinámica de sus bocas estuarinas (Yáñez-Arancibia y Day 1982 1988, Yáñez-Arancibia *et al.* 1983 y 1991, David y Kjerfve 1998), el sistema LTdU es el que presenta la mayor interacción ecológica estuario-mar en todo el litoral mexicano del Golfo (cuadro 2), y su producción primaria neta es mayormente exportada a la plataforma continental (Day *et al.* 1982, 1987, 1988; Moore y Wetzel 1988).

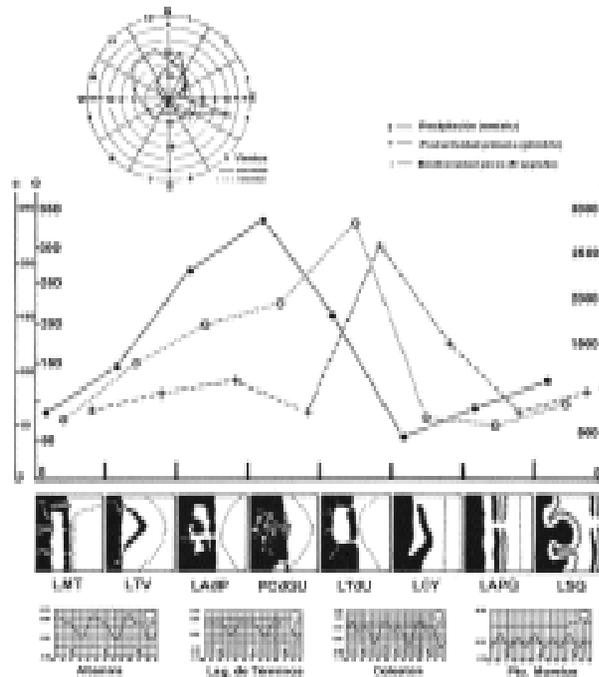
Sistema Laguna Celestún Yucatán (LCY). Se origina por una barrera arenosa en la plataforma interna moldeada por el transporte litoral (Lankford 1977). Se comunica con el mar por una boca estuarina y el relie-

7061	2113	nd	5281
Cadenas largas vía detritus y macrobentos	Cadenas cortas vía macrobentos	Cadenas cortas vía macrobentos	Cadenas moderadas vía detritus y macro-bentos
Golfo delta progradante humedales y selva	Caribe karstico selva seca. Cenotes	Caribe karstico corales selva seca y matorra- les. Cenotes	Caribe karstico selva mediana. Cenotes

ve periférico es muy bajo. En toda la Península de Yucatán no hay ríos superficiales, pero la descarga freática a través de cavernas calizas pleistocénicas es considerable (cuadro 2), por lo tanto, la cuenca hidrológica es interna en el subsuelo debido a la percolación de la topografía kárstica. La evaporación excede por mucho a la precipitación al igual que en el sistema LMT (cuadro 2, figura 4), y por el déficit sedimentario terrígeno su modelo trófico se asemeja a LTV y LMT. Aún cuando la marea y el oleaje son bajos, la circulación litoral es la principal fuerza ambiental. La trampa de sedimentos es de moderada a baja por el poco suministro sedimentario, pero por el corto tiempo de residencia de las aguas mezcladas, su interacción ecológica con el mar es muy dinámica, y es modulada por mareas y corrientes, lo cual se refleja en su ganancia diaria de agua. Por sus condiciones ambientales, su perfil de hábitats se asemeja a LAPQ y LSQ, sistemas representativos de la Península kárstica de Yucatán (cuadro 2).

Sistema Laguna Arrecifal Puerto Morelos Quintana Roo (LAPQ). Se ha formado por erosión diferencial en una depresión kárstica, en una sutil barrera arenosa submarina modulada por el oleaje y la marea, combinado con una barrera orgánica de *coralga* (Lankford 1977). La barrera arrecifal y el umbral arenoso entre la barrera de *coralga* y la línea de costa (cuadro 2) se disponen paralelos a la línea de costa. La comunicación de esta laguna que presenta pastos marinos, con los humedales efimeros continentales es por

FIGURA 4. GEOMORFOLOGÍA BÁSICA DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS: LMT LAGUNA MADRE TAMAULIPAS, LTV LAGUNA TAMIAHUA VERACRUZ, LADP LAGUNA ALVARADO DELTA PAPALOA PAN VERACRUZ, PCdGU PANTANOS CENTLA DELTA GRIJALVA/USUMACINTA TABASCO, LTdU LAGUNA DE TÉRMINOS DELTA USUMACINTA CAMPECHE, Lcy LAGUNA CELECTÚN YUCATÁN, LAPQ LAGUNA ARRECIFAL PUERTO MORELOS YUCATÁN, LSQ LAGUNAS SIAN KA'AN QUINTANA ROO. LA DISTRIBUCIÓN LATITUDINAL DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y LA BIODIVERSIDAD DE PECES, SE CORRELACIONAN CON MÁXIMOS VALORES EN LA REGIÓN DELTAICA DESDE LADP HASTA LTdU. OTROS PARÁMETROS EN EL CUADRO 2 TAMBIÉN MUESTRAN ESTA TENDENCIA. EL VALOR DE PECES DE PCdGU ES ANÓMALO PROBABLEMENTE POR SUBMUESTREOS Y LA TENDENCIA DEBE DE SER MAYOR. LOS VIENTOS DEL SUR SURESTE PREDOMINAN DE MARZO A SEPTIEMBRE, LOS DEL NOR NOROESTE DE OCTUBRE A FEBRERO (LA VELOCIDAD Y FRECUENCIA SE OBSERVA EN LA ROSA DE VIENTOS). SE ILUSTRAN CUATRO PUNTOS DE MAREAS PARA EL GOLFO Y CARIBE Y OTROS PARÁMETRO EN EL CUADRO 2



Fuente: Base de datos del Programa de Recursos Costeros, INECOL, A.C. (CONACYT).

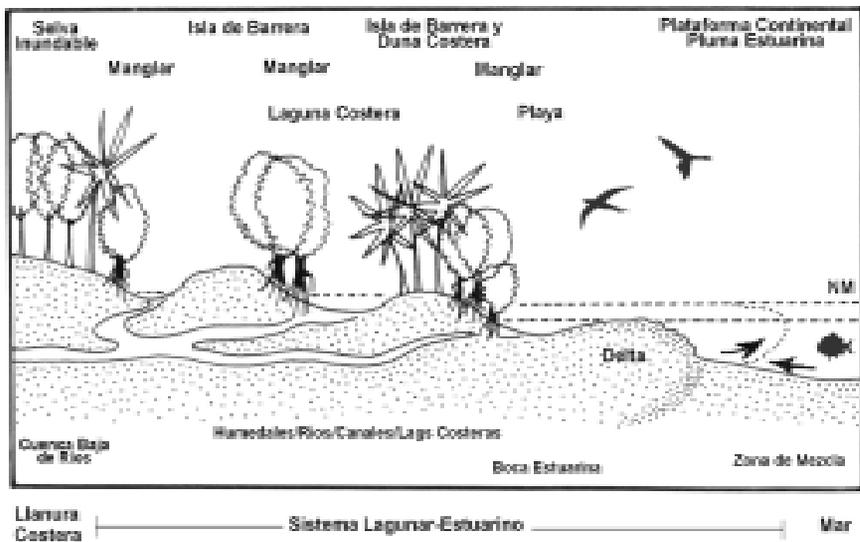
descarga del manto freático (Alvarez-Guillén *et al.* 1986). No hay una boca de conexión típica sino que la interacción con el mar se da a todo lo largo, condicionado principalmente por el ritmo de las mareas y la circulación litoral (cuadro 2).

Sistema Lagunar Sian Ka'an Quintana Roo (LSQ). Se formó como resultado de erosión diferencial en una depresión kárstica, colonizada por manglares achaparrados pero densos que actúan como barrera orgánica entre las aguas protegidas y el mar adyacente, además de la barrera arrecifal de *coralga* paralela a la línea de costa (Lankford 1977, López-Portillo *et al.* 1999). La laguna se halla también colonizada por pastos marinos hacia el mar y, al igual que LAPQ, presenta aporte de agua dulce a través de la cuenca freática. La planicie es calcárea asociada a cenotes. La comunicación con el mar condicionada por corrientes litorales y mareas es amplia. La trampa de nutrientes es moderada y se vincula con la actividad metabólica de sedimentos orgánicos provenientes del manglar. Por esta razón el modelo trófico es más complejo que LAPQ. En la figura 4 se observa un pulso mayor que en LCY y LAPQ para la pluviometría y la producción primaria acuática, lo cual lo hace distintivo de la costa de la Península de Yucatán y a través del litoral Caribe de México, aún cuando el perfil de hábitats es similar para todos los sistemas de la península. Sin duda la interacción ecológica manglar/pastos marinos/ corales, es el sello distintivo (cuadro 2).

PATRÓN LATITUDINAL, PERFIL DE HÁBITATS E HIPÓTESIS DE PROCESOS COSTEROS
Y FERTILIDAD ACUÁTICA

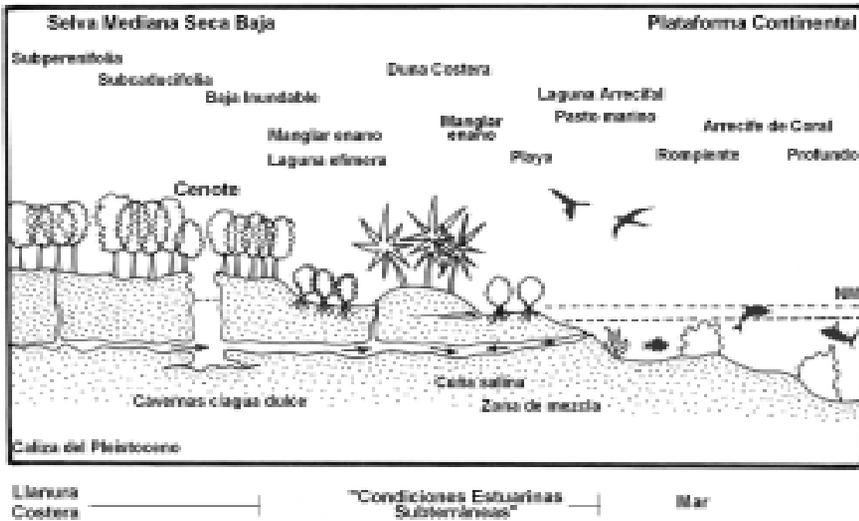
La figura 4, basada sólo en algunos de los parámetros de diagnóstico ambiental del cuadro 2 permite observar el "*pulso ecológico*" desde Tamaulipas hasta Quintana Roo, con: a) analogías entre Tamaulipas y Yucatán, b) la región de mayor interacción ecológica estuario-mar desde el delta del Papaloapan hasta el delta del Usumacinta, abarcando las costas de Veracruz, Tabasco y Campeche, y c) el perfil diferente desde Yucatán hasta Quintana Roo, mostrando la elevación de los pulsos, que podría incrementarse aún más frente al sistema Laguna de Chetumal (no estudiada en este capítulo). Las figuras 5 a y b ilustran y describen el perfil de hábitat para el Golfo y Caribe basado en los sistemas estudiados. Todos los sistemas del Golfo responden a este esquema (figura 5 A), con menor o mayor representatividad del sistema deltáico. Esto contrasta notablemente desde el norte de Yucatán y los arrecifes de coral del litoral del Caribe. El cuadro 2 muestra los valores estima-

FIGURA 5 A. PERFIL DE ECOSISTEMAS COSTERO EN LA COSTA ATLÁNTICA DE MÉXICO. A) EN EL GOLFO DE MÉXICO LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS ESTÁN ASOCIADOS A IMPORTANTE DESCARGA FLUVIAL Y EXTENSA LLANURA COSTERA. DESDE EL CONTINENTE HASTA EL MAR, LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS SON: SELVA BAJA, LLANURA COSTERA, CUENCA BAJA DE RÍOS, HUMEDALES, LAGUNAS COSTERAS Y MANGLARES DE MEDIANOS A BIEN DESARROLLADOS, ISLAS DE BARRERA, DUNAS/PLAYAS, Y DELTAS SIGNIFICATIVOS CONDICIONANDO UN FRENTE DE PLUMA ESTUARINA. LOS PRINCIPALES PROCESOS ECOLÓGICOS QUE CONDICIONAN LA PRODUCTIVIDAD SON COSTEROS: DESCARGA DE RÍOS, METABOLISMO DE LOS MANGLARES, APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS Y VIENTOS. NM= NIVEL DE MAREAS. VER CUADRO 2



dos de descarga de agua dulce para todo el litoral mexicano del Atlántico. Es sorprendente la descarga de cuencas subterráneas en la península kárstica de Yucatán (J.Herrera-Silveira, Cinvestav, comunicación personal). A su vez, la descarga de ríos en el litoral del Golfo es enorme. Yáñez-Arancibia *et al.* (2003) señalan entre 7 y 10 mil m³/seg, con la contribución de importantes ríos como el Bravo, 162 m³/seg, Cazones, 43 m³/seg, Candelaria, 45 m³/seg, Nautla, 55 m³/seg, Antigua, 60 m³/seg, Tuxpan, 80 m³/seg, Tecolutla, 200 m³/seg, Coatzacoalcos, 440 m³/seg, Pánuco, 630 m³/seg, Papaloapan,

FIGURA 5 B. PERFIL DE ECOSISTEMAS COSTEROS EN LA COSTA ATLÁNTICA DE MÉXICO. B) EN EL MAR CARIBE LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS ESTÁN ASOCIADOS A UNA FISIOGRAFÍA KÁRSTICA, CALIZAS DEL PLEISTOCENO Y CUENCA HIDROLÓGICA SUBTERRÁNEA. DESDE EL CONTINENTE HASTA EL MAR, LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS SON: SELVA BAJA-SECA, CENOTES, MANGLARES ENANOS, LAGUNAS Y ACUÍFEROS ESTACIONALES, DUNAS/PLAYAS, LAGUNA ARRECIFAL CON PASTOS MARINOS Y ARRECIFE PROFUNDO. LAS CAVERNAS DE AGUA DULCE TRANSPARENTES DESCARGAN EN LA LAGUNA ARRECIFAL Y UNA CUÑA SALINA PUEDE PROVOCAR “CONDICIONES ESTUARINAS SUBTERRÁNEAS” LOS PRINCIPALES PROCESOS ECOLÓGICOS QUE CONDICIONAN LA PRODUCTIVIDAD SON MARINOS: VIENTOS, CORRIENTES LITORALES EN BALANCE CON DESCARGA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, Y METABOLISMO DE LOS PASTOS MARINOS Y CORALES. NM= NIVEL DE MAREAS. VER CUADRO 2

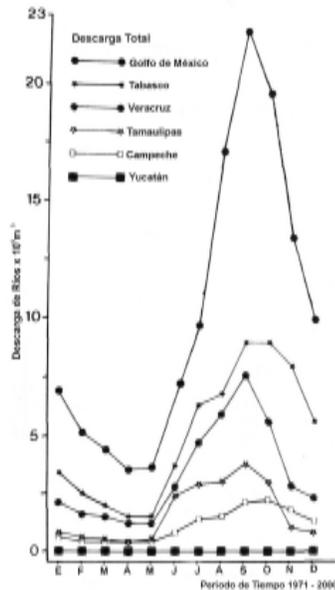


1360 m³/seg, Usumacinta/Grijalva, 4,400 m³/seg /datos redondeados), entre otros.

La figura 6 muestra el pulso estacional de la descarga de ríos al Golfo de México para cada entidad federativa y el total anual. En los meses de septiembre y octubre ocurre el pulso principal, después del noveno mes, que es el más lluvioso, en la vertiente del Golfo Esto tiene un sentido ecológico muy importante porque en octubre se registran los valores más altos de produc-

tividad primaria acuática en la zona costera del sur del Golfo (J. W. Day, LSU, datos no publicados). Los pulsos de: a) vientos nortes que comienzan en octubre, b) vientos del sureste en verano durante la época de lluvias, c) el nivel del mar más bajo en mayo, época de secas extremas, d) el nivel del mar más alto en octubre al comienzo de los nortes, e) las lluvias de junio a septiembre, y f) la principal descarga de ríos en octubre, actúan integradamente como procesos ecológicos clave en las interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia *et al.* 1991).

FIGURA 6. LA DESCARGA TOTAL EN EL LITORAL MEXICANO DEL GOLFO. DATOS CORTESÍA DE INEGI Y COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. SEPTIEMBRE Y OCTUBRE SON LOS MESES DE MAYOR DESCARGA, DESPUÉS DE LA PLUVIOMETRIA MÁXIMA DE JUNIO A SEPTIEMBRE. OCTUBRE TAMBIÉN ES EL MES DE MAYOR PRODUCCIÓN PRIMARIA ACUÁTICA EN EL FRENTE DE LA PLUMA ESTUARINA SOBRE LA PLATAFORMA CONTINENTAL. EN LA FIGURA NO ESTÁ CONSIGNADA LA DESCARGA SUBTERRÁNEA DE YUCATÁN (VER CUADRO 2). ESTO CONTRASTA CON LA MAYOR DESCARGA FLUVIAL DE LAS COSTAS DE EUA PARA EL GOLFO, QUE OCURRE ENTRE ABRIL Y MAYO. ES DECIR TODO EL GOLFO PARECE MOSTRAR UNA PROGRAMACIÓN ESTACIONAL DE PULSOS SECUENCIALES.



Por ejemplo, en los sistemas donde prevalece un perfil de delta transgresivo (cuadro 2, figura 3), la organización de las comunidades está condicionada por la poca producción de detritus orgánico, lo cual condiciona que la comunidad ictiofaunística se sostenga vía macrobentos. Las cadenas tróficas normalmente son cortas y los consumidores de tercer orden pueden estar ausentes estacionalmente (figura 7). Esta figura de Abarca *et al.* (1993) muestra datos estimados de biomasa (g/m^2) y flujos ($\text{g}/\text{m}^2/\text{año}$) para el sistema Laguna de Tamiahua Veracruz, pero por el perfil integrado en el cuadro 2 y el pulso ecológico de la figura 4, se puede esperar una estructura análoga con el Sistema Laguna Madre Tamaulipas, y en el Sistema Laguna Celestún Yucatán. Sin embargo, por la dinámica de LTV, exporta menos ($11.4 \text{ g}/\text{m}^2/\text{año}$) que LCY ($1483 \text{ g}/\text{m}^2/\text{año}$) a través de sus respectivas bocas estuarinas hacia la plataforma continental. Barba Macías (2003) coincide en la analogía entre LMT con LTV y LCY basado en interacciones tróficas (figura 8), estimando una exportación de $250.8 \text{ gm}^2/\text{año}$ hacia el mar adyacente, valor intermedio entre LTV y LCY.

En contraste, en sistemas más productivos donde prevalece un perfil de delta progradante (cuadro 2, figura 3), la organización de las comunidades está condicionada por la gran producción de detritus orgánico, lo cual a su vez condiciona que la comunidad ictiofaunística se sostenga por la vía detritus, pero también consumiendo macrobentos. Las cadenas tróficas son largas y los consumidores de tercer orden nunca dejan de estar presentes aún cuando su abundancia estacional varía (figura 9). Esta figura de Arreguín *et al.* (1993) muestra datos estimados de biomasa ($\text{g peso seco}/\text{m}^2$) y flujos ($\text{g peso seco}/\text{m}^2/\text{año}$) mayores de 15% para la zona costera de Veracruz en afinidad con LAdP, LTdU y Sonda de Campeche, donde la exportación en $\text{gm}^2/\text{año}$ puede ser tres veces mayor (o más) que en los sistemas que importan detritus orgánico (D. Pauly, UBC, comunicación personal).

La complejidad de los modelos de las figuras 7 a 9 muestran una relación importante con la descarga de ríos, pluviometría, productividad acuática primaria y biodiversidad (cuadro 2, figura 4), observándose de manera evidente la región que incluye LTdP, PCdGU y LTdU y su separación de los otros sistemas estudiados (cuadro 2). El efecto ecológico de estos deltas hacia la plataforma continental es importante en estas interacciones ecológicas estuario-mar (figura 4).

La literatura ha comentado reiteradamente el sistema de surgencia en la plataforma continental noreste de Yucatán (Lohrenz *et al.* 1999), y de manera muy general se ha inferido su efecto fertilizador hacia el resto de la

FIGURA 7. MODELO DE ESTRUCTURA TROFICA (ECOPATH-II) EN SISTEMAS DE MENOR PRODUCTIVIDAD O QUE IMPORTAN DETRITOS ORGÁNICOS. LOS DATOS CORRESPONDEN AL SISTEMA LTV (BIOMASAS g/m^2 Y FLUJOS $g/m^2/año$), Y SU ANALOGÍA ES CON LOS SISTEMAS LMT Y LCY. VER CUADRO 2, FIGURA 4. MODELO SEGÚN ABARCA Y VALERO (1993).

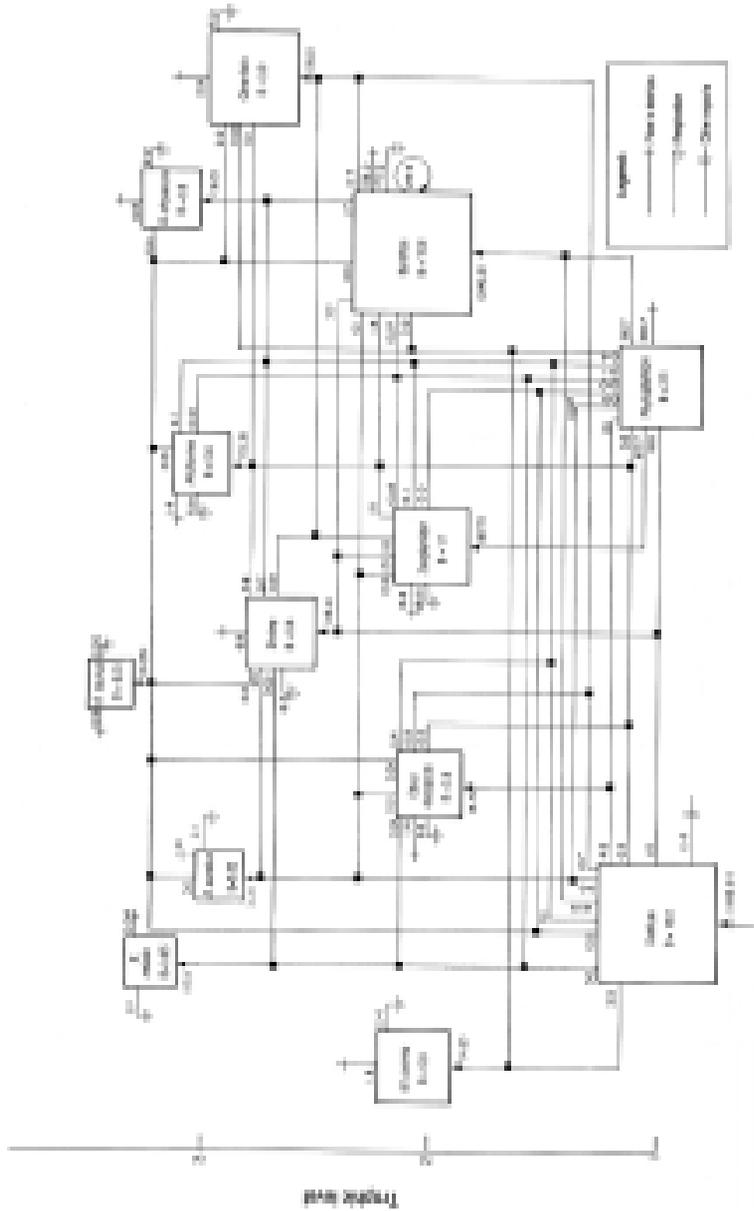


FIGURA 8. MODELO DE ESTRUCTURA TRÓFICA (ECOPATH-II) EN SISTEMAS DE MENOR PRODUCTIVIDAD O QUE IMPORTAN DETRITUS ORGÁNICO. LOS DATOS CORRESPONDEN AL SISTEMA LMT (BIOMASAS G/M² Y FLUJOS G/M²/AÑO), Y SU ANALOGÍA ES CON LOS SISTEMAS LTV Y LCY. VER CUADRO 2, FIGURA 4. MODELO SEGÚN BARBA MACÍAS (2003), SU INCLUSIÓN EN ESTE CAPÍTULO ES CORTESÍA DEL AUTOR.

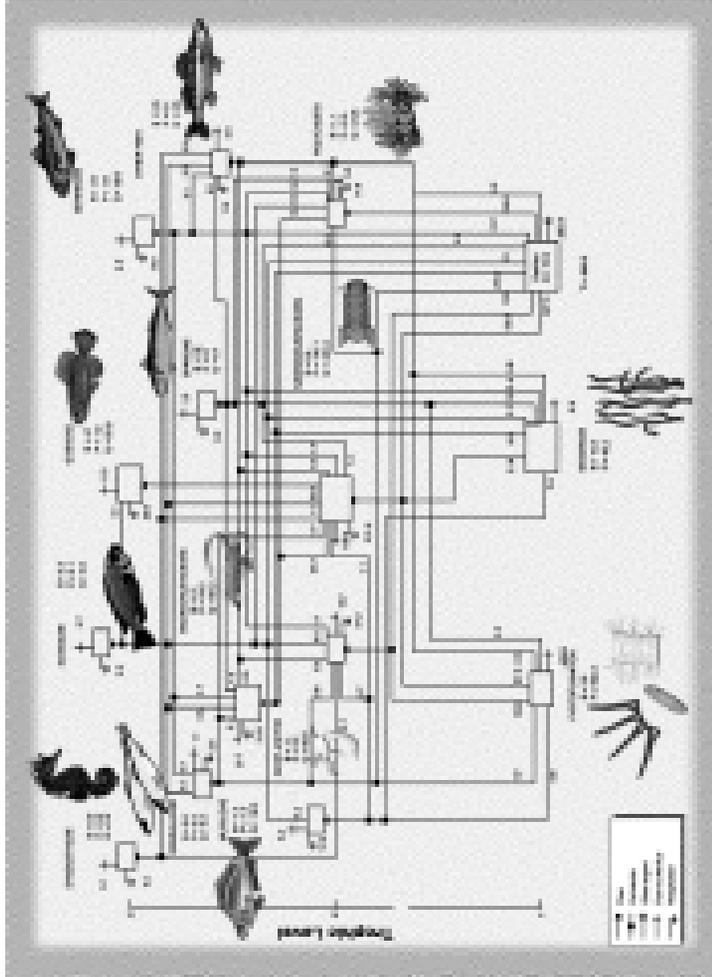
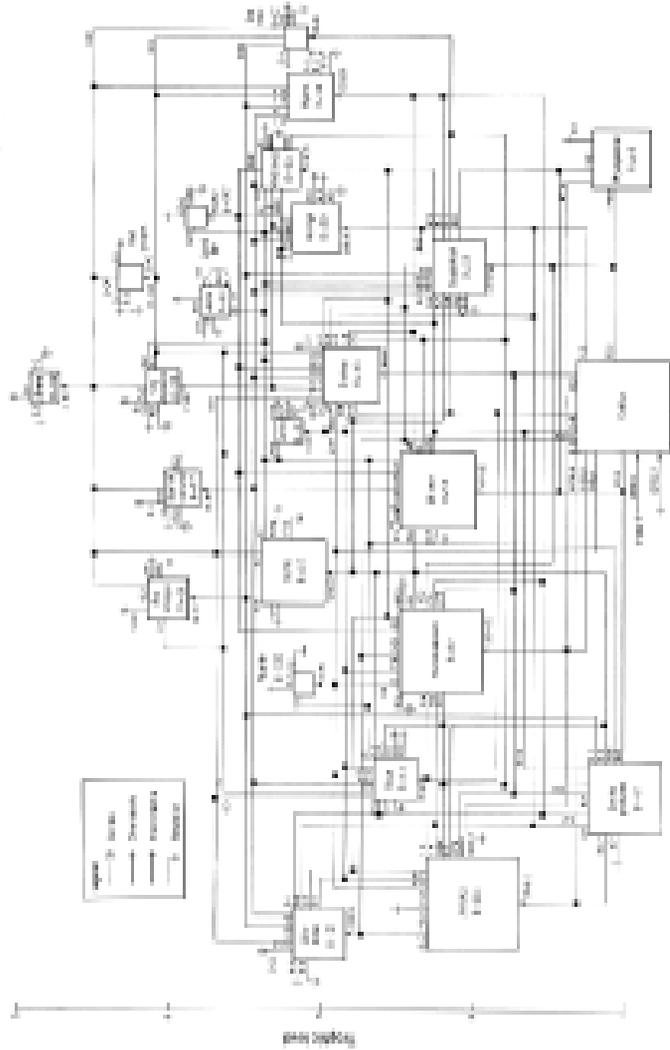


FIGURA 9. MODELO DE ESTRUCTURA TRÓFICA (ECOPATH-II) EN SISTEMAS DE MAYOR PRODUCTIVIDAD QUE EXPORTAN DETRITUS ORGÁNICO. LOS DATOS CORRESPONDEN AL SUR DE VERACRUZ AFIN AL SISTEMA LADP (FLUJOS > 15% G PSECO M²/AÑO, BIOMASAS G/M²), Y SU ANALOGÍA ES CON LOS SISTEMAS LADP, LTdU Y SONTA DE CAMPECHE. VER CUADRO 2, FIGURA 4. MODELO SEGÚN ARREGUÍN ET AL. (1993).



superficie del Golfo. Sin embargo, en realidad, poco o nada se sabe de la interacción ecológica de ese afloramiento hacia la plataforma continental nerítica y zona costera mexicana del Golfo. Más aún, las imágenes de satélite de Lohrenz *et al.* (1999) no respaldan la idea primaria del efecto de esas surgencias sobre la costa nerítica, por ejemplo, de la Sonda de Campeche.

Por una parte, este capítulo refuerza la idea que la productividad acuática de la plataforma continental nerítica desde Yucatán hasta Quintana Roo sí está condicionada por procesos marinos (*i.e.*, corrientes, mareas, vientos) (cuadro 2, figura 5B), y esto se correlaciona con la provincia kárstica. Pero, por otra parte, este artículo plantea la *hipótesis* que por la dirección que toma la corriente del Lazo al cruzar por el canal de Yucatán e introducirse al Golfo, su vínculo ecológico debería ser mucho mayor con las costas del centro, pero sobre todo con el norte del Golfo de México (imagen de satélite en Lohrenz *et al.* 1999 y en Yáñez-Arancibia 2003 b), y su vínculo con la fertilidad acuática nerítica del sur del Golfo es débil (esto se refuerza con evidentes desconectividades biológicas existentes entre la costa Caribe de México y la plataforma nerítica del sur del Golfo). Hay suficiente información para entender que la productividad acuática de la plataforma continental, desde la Sonda del Misisipi y hasta la Sonda de Campeche está condicionada por procesos costeros (*i.e.*, descarga de ríos, circulación litoral, mareas, corrientes residuales, vientos, cobertura vegetal costera), correlacionada con la provincia sedimentaria terrígena, todos en dinámica interacción ecológica estuario-mar, como reflejo de importantes frentes de plumas estuarinas (figuras 2 y 5 A, cuadro 2). Diversas imágenes de satélite del Coastal Studies Institute (Louisiana State University), del Coastal Ocean Services (NOAA), y análisis en Day *et al.* (1995, 1997) apoyan nuestro planteamiento de *hipótesis* de “*procesos costeros modulando la fertilidad acuática y su estacionalidad en la zona costera mexicana del sur del Golfo.*”

PROYECCIÓN DE LOS RESULTADOS: INTERACCIONES ECOLÓGICAS CON IMPLICACIONES EN MANEJO AMBIENTAL

En el marco del diagnóstico ambiental del Golfo de México (cuadro 2, figura 4), al menos cuatro indicadores ecológicos son importantes en el soporte de la hipótesis de la mayor productividad acuática en la zona frontal de la pluma estuarina (figura 2), modulado por procesos costeros (figura 5 A) e interacciones ecológicas estuario-mar. Estos son: a) eficiencia de la trampa de sedimentos, b) sobrecarga de nutrientes, c) hipoxia, y d) procesos costeros

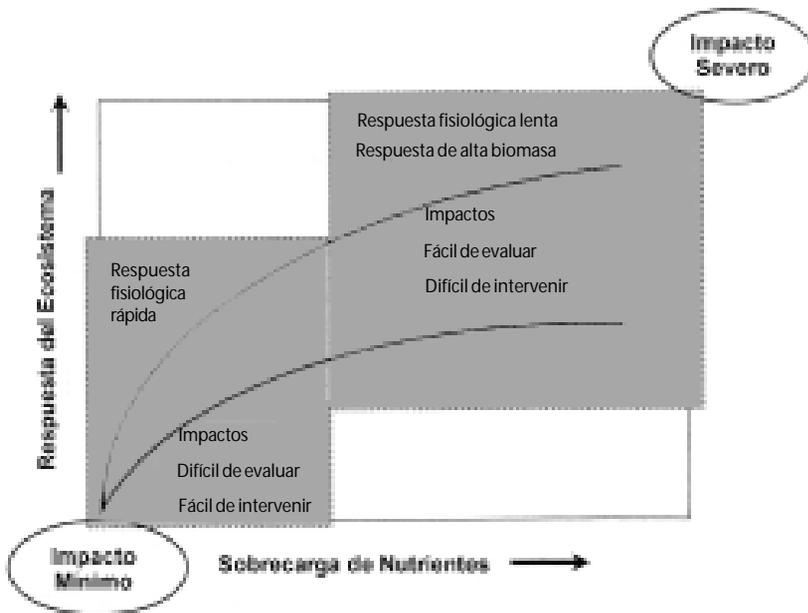
y recursos pesqueros. Estos aspectos tienen implicaciones directas con el manejo ambiental de la zona costera.

Eficiencia de la trampa de sedimentos. Este fenómeno difiere según los tipos de sedimentos dominantes en la zona de estudio, dependiendo de si el sistema es progradante o transgresivo (cuadro 2, figura 3). La tasa de retención o exportación de sedimentos en la zona costera está ligada a estas dos características pero también al tipo de circulación estuarina (Schroeder y Wiseman, 1999, Solis y Powell 1999). Por lo tanto, la eficiencia del entrapamiento de sedimentos depende: a) del tipo de sedimentos y la proporción terrígenos/carbonatados, b) del volumen de sedimentos fluviales y marinos, c) de la floculación de coacervados, y d) del tipo de circulación estuarina. Como diversos contaminantes se asocian a los granos finos de sedimentos, las implicaciones de manejo de la eficiencia del entrapamiento es inmediatamente obvio (figuras 2, 3 y cuadro 2). Desde luego las implicaciones en turbidez, circulación y alteraciones de los hábitats debido a la sedimentación son directas (Kjerfve *et al.* 1988, David y Kjerfve 1998). Las costas progradantes, caracterizadas por deltas de importantes ríos y bajos de mareas, exportan la mayoría de su carga sedimentaria hacia el mar y generalmente su eficiencia de trampa sedimentaria en la cabecera del estuario es baja; contienen un conjunto de hábitats que no se afectan significativamente por exceso de sedimentación (Day *et al.* 1989, 1995, 1997). En contraste, las costas transgresivas caracterizadas por lagunas y estuarios son altamente eficientes como trampa de sedimentos, por lo tanto, son más susceptibles a la acumulación de partículas asociadas a contaminantes químicos y sus hábitats cambian por ser más sensibles a las perturbaciones que afectan la carga de sedimentos fluviales en pulsos estacionales (Solis y Powell 1999, cuadro 2).

Sobrecarga de nutrientes. La sobrecarga (enriquecimiento) de nutrientes ha sido frecuentemente vinculada a la estimulación de algunas especies nocivas en los florecimientos algales; pero esto no está absolutamente claro y en ocasiones puede ser sólo un factor de liga aparente (Anderson *et al.* 2002). Aunque importantes, los nutrientes no son la única explicación a los florecimientos de algas tóxicas. Los florecimientos de algas, incluyendo los eventos tóxicos, en ocasiones se deben a fenómenos naturales y la decoloración o coloración de las aguas costeras ha sido mencionado desde hace alrededor de doscientos años (Anderson *et al.* 2002). Con esta visión, para la comprensión del impacto, de la disponibilidad de nutrientes y de la sobrecarga de nutrientes en las interacciones ecológicas estuario-mar, es impor-

tante hacer la distinción entre efectos sobre procesos fisiológicos o de productividad vs. acumulación de biomasa, y las respuestas a la carga de nutrientes puede ser observada de manera análoga a la curva de respuesta de saturación (figura 10).

FIGURA 10. RESPUESTA GENERALIZADA DEL ECOSISTEMA A LA SOBRECARGA DE NUTRIENTES. A BAJO NIVEL DE SOBRECARGA, LA RESPUESTA ORGANÍSMICA PUEDE SER RÁPIDA, PERO LOS CAMBIOS DE BIOMASAS PUEDEN SER MENORES. A ALTO NIVEL DE SOBRECARGA, SE ESPERARÍA QUE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LOS ORGANISMOS ESTUVIERA CERCA DE LA TASA DE SATURACIÓN Y MOSTRAR POCO INCREMENTO, PERO EN UN PERIODO DE TIEMPO LARGO, LA BIOMASA PODRÍA INCREMENTARSE. SEGÚN ANDERSON *ET AL.* (2002).

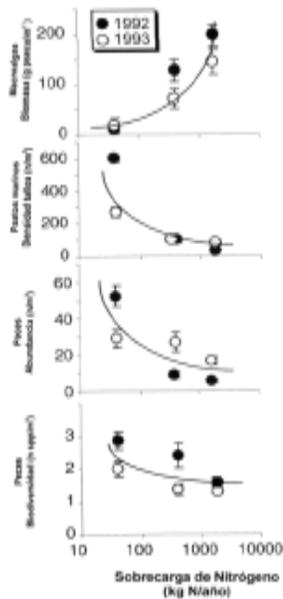


El efecto de los nutrientes puede ser en la región de mínima respuesta, la cual es dominada por rápidos ajustes fisiológicos y baja acumulación de biomasa o, alternativamente, en la región de respuesta máxima, en la cual los procesos fisiológicos están saturados, pero la acumulación de biomasa continúa (Moore y Wetzel 1988). También la región de respuesta mínima representa el período de inicio del florecimiento, mientras que la región de respuesta máxima representa el soporte del florecimiento. Aquí hay un aspecto de controversia, puesto que si el inicio del florecimiento se caracteriza por un mínimo incremento en biomasa, entonces el papel de los nutrientes en el inicio del florecimiento es mucho menos entendido que el período en el cual se mantiene el florecimiento. Este proceso tiene enorme relevancia en términos de un diagnóstico ambiental con implicaciones en manejo, vinculado con: a) el patrón de circulación, b) tiempo de residencia, c) trampa de sedimentos, d) descarga de ríos, y e) producción primaria acuática (cuadro 2, figura 4). Dentro de este marco, es importante reconocer que en la región de respuesta mínima los impactos son pocos, difíciles de detectar y fáciles de revertir con medidas de mitigación, mientras que en la región de respuesta máxima, los impactos son grandes y a menudo fáciles de detectar, pero sustancialmente mucho más difíciles de reducir y controlar (figura 10).

La eutroficación es un problema global y los sistemas lagunares-estuarinos del Golfo se insertan poco a poco en ello. Incluso la zona costera de Yucatán está siendo afectada (Herrera-Silveira *et al.* 2002). Hay poco cuestionamiento, de que la carga de nutrientes sea el combustible de los florecimientos de algas con alta biomasa, y el incremento en clorofilas que muestran un aumento en paralelo en la concentración de nutrientes. Pero no son claras las evidencias que correlacionan de manera directa la eutroficación con florecimiento de algas nocivas. Y esto se debe al impacto de la carga de nutrientes que depende de muchos factores (algunos de ellos en cuadro 2), a) de la composición de las especies del florecimiento, b) del estado nutricional de la macrofauna, c) del tiempo que dure el sobre-enriquecimiento, y d) de la dinámica ambiental y factores físicos del sistema, entre otros. La gran productividad vegetal, compleja estructura física y hábitats característicos se combinan para crear áreas de gran productividad y ambientes esenciales para el soporte de diferentes ciclos biológicos; pero si se quiere tener éxito en el manejo ambiental y la restauración de estos sistemas, es fundamental entender los mecanismos por los cuales el necton puede ser afectado por el enriquecimiento de nutrientes.

Por ejemplo, Deegan (2002) y Deegan *et al.* (1994, 2002) establecen con claridad que los sistemas costeros con pastos marinos y marismas salobres siempre han sido valorados por su alta productividad e importante presencia de peces y crustáceos pero poco se conoce su vínculo con el enriquecimiento de nutrientes. La figura 11 muestra que la carga de nutrientes altera la complejidad estructural dentro de los bajos de mareas con pastos marinos, porque se modifica la composición y abundancia de la cobertura vegetal. El sobre-enriquecimiento estimula la proliferación de algunos fitoplanctones de rápido crecimiento, algas epífitas y macroalgas que compiten con los pastos marinos por luz y espacio. En sistemas profundos como LTdU, el florecimiento del fitoplancton puede dominar (Day *et al.* 1982, 1988), mientras que en sistemas muy someros y de muy baja energía las macroalgas pueden reemplazar a los pastos marinos (*i.e.*, LTV, LMT).

FIGURA 11. CAMBIOS EN LAS PLANTAS Y ANIMALES EN UN ECOSISTEMA DE PASTOS MARINOS, EN RESPUESTA AL ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES



Fuente: según Deegan 2002.

La declinación en la complejidad estructural en la pradera de pastos marinos puede alterar las interacciones predador-presa resultando en un incremento en la mortalidad del necton, o de la declinación neta de la abundancia, biomasa o diversidad nectónica (Deegan 2002, Deegan *et al.* 1994, 2002, cuadro 3). Este cuadro muestra las diferentes respuestas entre pastos marinos y marismas salobres, frente a la pérdida de las funciones del ecosistema. Por lo tanto, se requiere de un mejor entendimiento de la variabilidad geográfica en las funciones de los ecosistemas descritos en el cuadro 2 para predecir las respuestas del enriquecimiento de nutrientes y proteger el funcionamiento del ecosistema, preservando las interacciones ecológicas estuario-mar.

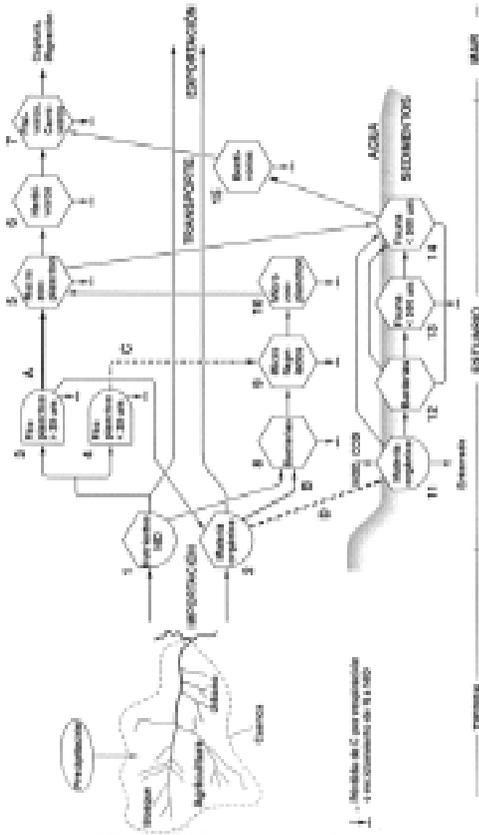
CUADRO 3. SIMILITUDES Y DIFERENCIAS EN EL EFECTO DE ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES SOBRE LA ESTRUCTURA, SENSIBILIDAD QUÍMICA Y TRAMA TROFICA DE LOS PASTOS MARINOS Y MARISMAS SALOBRES. *INICIAL* Y *FINAL* INDICAN SI EL EFECTO SE ESPERA QUE OCURRA CERCA DEL FINAL O DEL COMIENZO DEL PROCESO DE EUTROFICACIÓN.

FUNCIÓN	HÁBITAT LAGUNAR-ESTUARINO	
	PASTOS MARINOS <i>Inicial</i>	MARISMAS SALOBRES <i>Final</i>
Estructura de hábitat	Decrece en toda el área y el tamaño de los parches, e incrementa en los bordes. Localización en la lámina estuarina hacia la boca. Ocurre rápidamente; años	Subsidencia potencial relativo al nivel del mar. Incremento en bordes y fragmentación. Se afectan primero humedales cerca de la cabecera del estuario. Proceso lento; décadas.
Sensibilidad química	<i>Final</i>	<i>Inicial</i>
Oxígeno disuelto bajo	Resultado de carga acumulativa de exceso de materia orgánica de algas	Resultado de descomposición natural de <i>Spartina</i> y estimulación de la comunidad algal y microbiana
Trama trófica	Importante incremento de algas para consumidores primarios pero no para el necton. Cambios en la estructura química y física del ecosistema, limitando al necton utilizar la producción algal.	Alguna evidencia que en el estado Inicial las algas pueden incrementar en importancia en la trama trófica. No está bien estudiado.

La comprensión del tópico de la sobrecarga de nutrientes aún enfrenta vacíos grandes (Deegan 2002), pero también hay avances enormes (Rabalais y Nixon 2002). Anteriormente, Deegan *et al.* (1994) consideraron que para enfrentar comprensivamente este problema es práctico el desarrollo de un modelo conceptual como el de la figura 12. Se consideran al menos 15 compartimentos para el modelo del ciclo de nitrógeno en sistemas lagunares-estuarinos. Los compartimentos y las flechas describen 4 patrones principales para el flujo de la materia orgánica y los nutrientes: a) la cadena clásica del pastoreo desde los nutrientes inorgánicos hasta el fitoplancton $> 20 \mu\text{m}$, luego el macrozooplancton, los planctívoros y los piscívoros; b) un patrón microbiano desde la materia orgánica a las bacterias, luego microflagelados a microzooplancton, macrozooplancton, planctívoros y piscívoros; c) un patrón híbrido de la cadena del pastoreo y patrón "microbiano" desde nutrientes inorgánicos, y d) la cadena trófica béntica desde la materia orgánica a los sedimentos, las bacterias y luego meio y macrofauna béntica, a los bencívoros y a los piscívoros. El grado y la tasa a la cual la materia orgánica fluye a través de un patrón u otro probablemente depende de la calidad de la materia orgánica (evaluada por la proporción C : N) y la disponibilidad de nutrientes inorgánicos. Cómo participa cada uno de los 4 patrones en la estructura funcional del sistema frente a la sobrecarga de nutrientes es un tema de muy reciente desarrollo en el estudio de las interacciones ecológicas estuario-mar. Evidentemente, por la dinámica ambiental de LAdP, PCdGU y LTdU (cuadro 2), las rutas 1 y 2 de la figura 12, son esencialmente viables hacia la plataforma continental del Golfo de México. En este tópico, es fundamental integrar la ecología de la descarga de agua dulce con la ecología del enriquecimiento de nutrientes en el manejo de los recursos estuarinos (Montagna *et al.* 2002).

Hipoxia. La reducción del oxígeno disuelto es uno de los efectos directos más importantes sobre los peces, por el excesivo-enriquecimiento de nutrientes en las aguas costeras. Esto es porque la hipoxia puede : a) causar mortalidad en ciertas especies, b) reducir la tasa de crecimiento, c) alterar la distribución y comportamiento de los peces, d) cambiar la importancia relativa de los organismos, e) alterar el patrón del flujo del carbono dentro de la estructura trófica, y f) provocar una gran reducción en la abundancia, diversidad y captura de peces en las aguas afectadas. Sin embargo, el sobre-enriquecimiento de nutrientes generalmente incrementa la abundancia de la presa en la mayoría de las aguas superficiales bien oxigenadas y más allá de la frontera de la zona hipóxica, lo cual determina un mosaico de

FIGURA 12. MODELO DIAGRAMÁTICO DEL FLUJO DE NITRÓGENO EN UN SISTEMA LAGUNAR-ESTUARINO, HACIENDO ÉNFASIS EN LOS APORTES DE NITRÓGENO ORGÁNICO E INORGÁNICO HACIA LA CUENCA HIDROLÓGICA HACIA LA ZONA COSTERA, Y LOS CUATRO PRINCIPALES PATRONES TRÓFICOS PELÁGICO Y BENTÓNICO QUE CONDUCEN A LA PRODUCCIÓN DE CARNÍVOROS SUPERIORES. NID = NITRÓGENO INORGÁNICO DISUELTO, NOD = NITRÓGENO ORGÁNICO DISUELTO, COD = CARBONO ORGÁNICO DISUELTO. SE ILUSTRAN CÓMO LOS ECOSISTEMAS ESTUARINOS PUEDEN PROCESAR N Y LA FIGURA HA AYUDADO EN EL DESARROLLO DE HIPÓTESIS ACERCA DEL DESTINO FINAL DEL NITRÓGENO.



Fuente: modelo según Deegan et al. 1994.

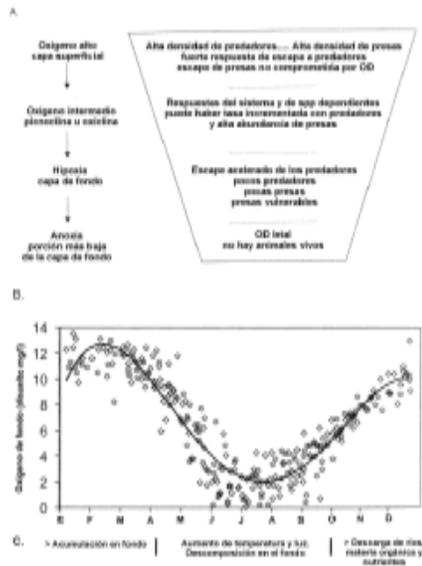
interacciones de altas y bajas de oxígeno dentro de un sistema y el reacomodo de las relaciones interespecíficas (figura 13). Los efectos negativos de la hipoxia sobre los peces, hábitats y trama trófica potencial, hacen tanto a los peces como al sistema en general mucho más susceptible al agregar sensores antropogénicos o naturales (Chestney y Baltz 2001). La figura 13 ilustra el efecto último de la baja de oxígeno sobre las poblaciones de peces, pero al mismo tiempo describe el mosaico de interacciones entre el comportamiento interespecífico y la caída del oxígeno disuelto hacia el fondo.

Importantes zonas hipóxicas de los EE.UU. se localizan en el río Patuxen (estuario templado) asociado a bahía de Chesapeake y en la Sonda del Misisipi (templado subtropical), asociado a la cuenca del río Misisipi (Breitburg 2002, Rabalais *et al.* 1999). En el caso del sistema estuarino del Patuxen (figura 13) es muy ilustrativa la caída del oxígeno en los meses de junio a septiembre, que corresponden al verano del hemisferio norte, lo cual coincide con la gran descarga fluvial previa de primavera que abarca los meses de marzo y abril (figura 14). En el caso de la plataforma continental frente a Luisiana y Texas la extensión de la hipoxia ha variado en un área de 16,000 km² en 1993 a 18,000 km² en 1995 (Rabalais *et al.* 1999), lo cual la sitúa como un problema muy importante, con una gran severidad en los meses de junio, julio y agosto, en exacta analogía con el río Patuxen (Fig. 13). Rabalais *et al.* (1999) establecen como causas principales la magnitud relativa en cambios en la descarga de agua dulce y flujo de nutrientes del río Misisipi hacia la zona costera. Esto afecta: a) la estabilidad de la columna de agua, b) la productividad de las aguas superficiales, c) el flujo del carbono, y d) el ciclo del oxígeno en el norte del Golfo de México. La descarga de aguas dulces desde las plumas del Atchafalaya y Misisipi, rápidamente forma la corriente costera de Luisiana, una corriente altamente estratificada que fluye principalmente hacia el oeste, a lo largo de la costa de Luisiana y hacia el mar a lo largo de la costa de Texas. Actualmente se reconoce que la zona hipóxica frente a Luisiana y Texas es de 20,000 km² (Rozas *et al.* 1999).

HIPOXIA POTENCIAL EN MÉXICO

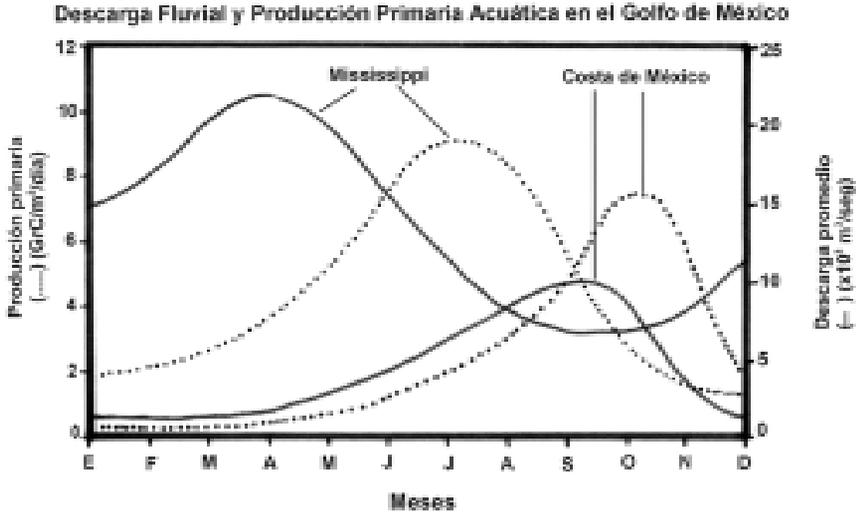
Desde esta perspectiva, el área más susceptible de hipoxia potencial en la plataforma continental mexicana del Golfo de México es la Sonda de Campeche, especialmente la región que se extiende desde LAdP a LTdU incluyendo PCdGU (cuadro 2, figura 4) y la mayor severidad debería pre-

FIGURA 13. EJEMPLOS DE ESTRUCTURA ESPACIAL Y VARIABILIDAD TEMPORAL, PROVOCADA POR LA BAJA DEL OXÍGENO DISUELTO, EN UN SISTEMA ESTUARINO TEMPLADO (A Y B), Y PLANTEAMIENTO HIPOTÉTICO PARA EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO (C). A). ESTRUCTURA VERTICAL ESPACIAL Y VARIACIÓN ESPACIAL RESULTANTE EN EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS POR LA DISMINUCIÓN DEL OD.



El diagrama muestra el efecto de la concentración del oxígeno en varios aspectos de interacciones depredador-presa y abundancias en diferentes porciones de una columna de agua estratificada con hipoxia en la capa del fondo. B). Variación diurna del OD en la capa del fondo, en una zona mesohalina del estuario del Río Patuxent USA. Los datos muestran las concentraciones de OD cerca de Bromees Island en Maryland. Las variaciones en torno a la línea continua (4° orden polinomial $r^2=0.87$) representan la tendencia intra e interanuales para 15 años de datos. La concentración de OD en el fondo puede cambiar rápidamente si la estratificación se rompe por mezcla turbulenta de vientos de tormenta. Los datos son del Chesapeake Bay Program <www.chesapeake.net>. Modificado de Breitburg (2002). C). La analogía del patrón B) para el sur del Golfo de México, se refiere a que en octubre es el pulso máximo de mayor descarga fluvial, materia orgánica y nutrientes de los sistemas LAdP, PCdGU y LTdU; de febrero a mayo es el periodo de secas, mayor luminosidad y aumento de temperatura y, presumiblemente acumulación en el fondo de la zona frontal de la pluma estuarina; y de junio a septiembre es el periodo de verano con lluvias y mayor descomposición de materia orgánica en el fondo. Es razonable suponer que la hipoxia potencial en la Sonda de Campeche podría presentarse en la plataforma continental desde LAdP y hasta LTdU prevaleciendo con mayor severidad en los meses de junio a agosto. Esta hipótesis se explica en el texto y debe ser estudiada en el futuro inmediato.

FIGURA 14. RESULTADOS COMPILADOS DE LA DESCARGA DEL RÍO MISSISSIPPI, MOSTRANDO LOS DATOS DE PRODUCCIÓN PRIMARIA INTEGRADOS A LA COLUMNA DE AGUA PARA CADA MES, EN RELACIÓN A LA DESCARGA MENSUAL PROMEDIADA DESDE 1930 A 1994



Fuente: los datos de descarga cortesía de U.S. Army Corps of Engineers; los de producción primaria de Lohrenz *et al.* (1999). Los datos de descarga para la costa mexicana del Golfo cortesía de la Comisión Nacional del Agua, periodo 1971 a 2000; los de producción primaria, estimación inferida de NOAA's Coastal Service Center, U.S. Department of Commerce. Diagrama elaborado en el Programa de Recursos Costeros, INECOL A.C. (CONACYT).

sentarse entre los meses de junio a septiembre, después de la mayor descarga fluvial (septiembre a noviembre, figuras 6, 13 y 14) y después que la columna de agua se ha estabilizado, posterior al periodo de nortes (octubre a febrero). En realidad la caída del oxígeno disuelto debería comenzar en marzo en una disminución sostenida hasta septiembre (figura 13 C). Esta *hipótesis* ha sido corroborada por la Dirección de Oceanografía y Biología Marina de la Secretaría de Marina de México, con datos aún no publicados (Capt. de Fragata CG, Fernando A. Angli Rodríguez, comunicación personal). Al igual que en los Estados Unidos, probablemente hay una correspondencia con grandes sistemas deltáicos frente a las áreas de

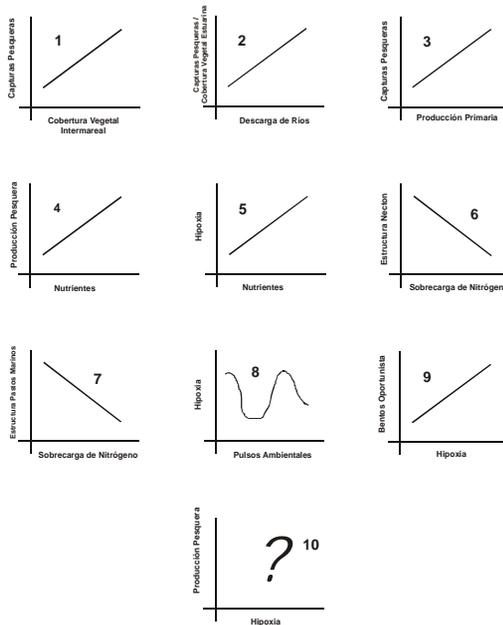
principal importancia pesquera, asociada a fondos terrígenos, e influidas por cuencas hidrológicas de extenso uso agropecuario.

Sobre este tema, Chestney *et al.* (2000) y Chestney y Baltz (2001) discuten con claridad los factores de hábitats y producción pesquera, colocando elementos interesantes de controversia sobre el impacto real de la hipoxia en los recursos pesqueros del Golfo. Esos autores establecen que, como las capturas pesqueras en Louisiana no han declinado en los últimos 40 años, no se puede atribuir a la hipoxia efectos deletéreos. Son evidentes algunos cambios en la estructura de las comunidades nectónicas, pero es muy complicado atribuirlos solamente a la hipoxia. Es probable que los efectos de la hipoxia sobre el necton en el norte del Golfo de México sean amortiguados por las características fisiográficas y geomorfológicas de la cuenca (Caddy 1993), por el tipo de recurso pesquero (Chestney y Baltz 2001) y por la dinámica del ecosistema y sus pulsos ambientales (Day *et al.* 1995, 1997).

Aplicado al escenario del sur del Golfo de México (Fig. 13 C y Fig. 14), el enfoque de Chestney y Baltz (2001) es particularmente cierto. La estacionalidad de las capturas pesqueras ha variado, pero no hay información que esto se deba a efectos deletéreos por hipoxia. En el sur del Golfo de México la productividad pesquera es importante, sostenida, variable y vinculada fuertemente a la dinámica del ecosistema, con interacción entre grupos ecológicos funcionales alternativos, la fisiografía, estrategias de los ciclos biológicos y los pulsos físico-ambientales (Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997). Por lo tanto, de existir hipoxia potencial, nada se conoce sobre su relación o efectos sobre los recursos pesqueros actuales en la Sonda de Campeche. Tal vez lo pertinente es ubicar la hipoxia y los recursos pesqueros, frente a relaciones que ya se conocen y que intervienen en la discusión actual de controversia. Por ejemplo, se conoce que la producción pesquera y el enriquecimiento de nutrientes se correlacionan positivamente en diversos ecosistemas costero marinos (Nixon 1982, Nixon y Thomas 2001, Nixon y Buckley 2002, Nixon *et al.* 1986, Caddy 1993). El enriquecimiento de nutrientes y la hipoxia también se correlacionan y acoplan fuertemente (Rabalais *et al.* 1999). Pero, conforme el enriquecimiento de nutrientes se transforma en una sobrecarga, aumenta la producción primaria instantánea permitiendo una gran producción secundaria, mayor producción y captura pesqueras, previo a la declinación abrupta asociada con excesiva eutroficación o factores colaterales (Deegan *et al.* 1994, Deegan 2002). También se conoce que las capturas pesqueras se correlacionan con la vegetación intermareal (Turner 1977), pero también con la descarga de ríos y la

cobertura vegetal integrada a la superficie lagunar-estuarina (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985). Los efectos de la estacionalidad de los pulsos ambientales condicionados por sistemas deltáicos (Day *et al.* 1995, 1997)son un factor importante en la atenuación, estacionalidad o desaparición de la hipoxia. La literatura reciente avanza en el sentido de la controversia de la correlación positiva entre vegetación costera y capturas pesqueras; descarga de ríos y producción pesquera, nutrientes y producción pesquera, o nutrientes e hipoxia; la discusión de esta década está abierta en el tema hipoxia y producción pesquera (figura 15).

FIGURA 15. SÍNTESIS DE TREINTA AÑOS DE PROBLEMAS, PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE CARACTERÍSTICAS DEL ECOSISTEMA COSTERO Y LOS RECURSOS PESQUEROS, MOSTRANDOSE LA TENDENCIA PARA LA DÉCADA DEL 2000



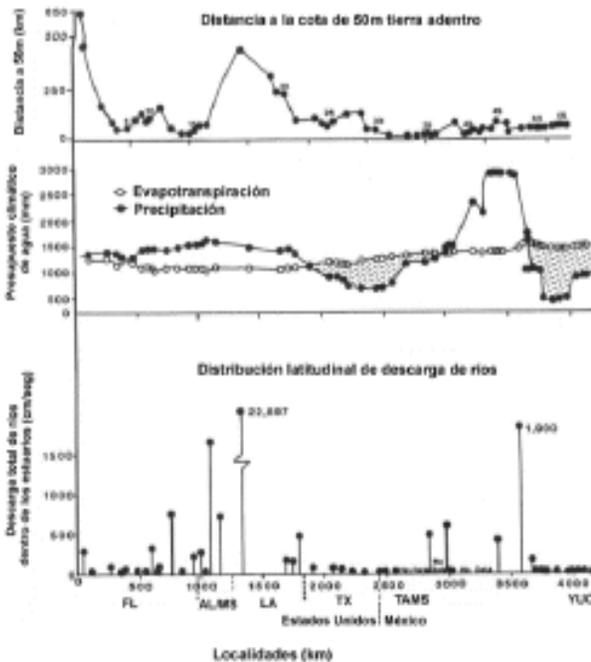
Fuente: las gráficas son conceptuales derivadas de datos reales: (1) Turner 1977, (2) Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, (3) Nixon *et al.*1986, (4) Deegan *et al.* 1994, (5) Rabalais *et al.* 1999, (6) y (7) Deegan 2002, (8) Day *et al.* 1997, (9) Chestney *et al.* 2000, (10) Chestney y Baltz 2001.

Procesos costeros y recursos pesqueros. Ecológicamente, el sur del Golfo de México es una amplia región donde los procesos costeros y ecológicos están estrechamente interconectados. Los procesos a) climático-meteorológicos, b) sedimentarios, así como c) la descarga de los ríos son las principales variables físicas que mantienen el control de los procesos biológicos en los recursos pesqueros. Los principales hábitats de la zona costera regional (figuras 5 A y B) están en estrecha interacción ecológica estuario-mar propiciando el escenario ambiental para los recursos pesqueros (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1983, 1986, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.* 1983) los cuales son abundantes y biodiversos aún cuando los sistemas lagunares-estuarinos son altamente dinámicos y físicamente variables (cuadro 2).

Por ejemplo, la figura 16 ilustra el gradiente del presupuesto climático del agua para toda la costa del Golfo y destaca con claridad la evaporación mucho mayor que la pluviometría en el área Texas/Tamaulipas y en Yucatán así como la gran precipitación del área Veracruz/Tabasco/Campeche; correlacionado con la enorme descarga de los ríos Misisipi y Usumacinta/Grijalva. Este escenario climático-meteorológico condiciona en gran medida los parámetros diagnosticados en el cuadro 2. Esta caracterización puede sustentar la *hipótesis* de la alta biodiversidad de peces descrita por Lara-Domínguez *et al.* (1993) para la zona costera del Golfo de México, y además, sustentar a la plataforma nerítica de Louisiana/Texas y de la Sonda de Campeche, como los dos principales centros de abundancia pesquera del Golfo de México; esto como consecuencia de la gran adaptación morfofisiológica de los organismos a un extenso ecosistema costero de enorme heterogeneidad de hábitats neríticos (Deegan *et al.* 1986, Pauly 1986, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997, Chestney *et al.* 2000, Chestney y Baltz 2001).

La utilización de los hábitats por peces costeros en las interacciones ecológicas estuario-mar no es resultado del azar. Muchas especies (particularmente las dominantes) benefician significativamente su alimentación, reproducción y estados juveniles, explotando tiempo y espacio de alta productividad en el sistema costero mediante importantes adaptaciones evolutivas (Day *et al.* 1989, Rojas-Galavíz *et al.* 1992; Yáñez-Arancibia *et al.* 1980, 1985, 1993). Al interpretar ecológicamente la dinámica ambiental del sistema, se encuentran las respuestas y explicaciones a las pautas de comportamiento de los recursos biológicos, a los mecanismos de su productividad y a la interacción (física y biológica) de la plataforma continental con las aguas protegidas del litoral. Por ejemplo, Yáñez-Arancibia y Pauly (1986) sinteti-

FIGURA 16. GRADIENTE DEL SUR DE FLORIDA AL NORTE DE YUCATÁN EN EL GOLFO DE MÉXICO. A) DISTANCIA DE LA LÍNEA DE COSTA HASTA LA COTA DE 50M TIERRA ADENTRO. CADA PUNTO CORRESPONDE A UN SISTEMA LAGUNAR ESTUARINO (N=64) EN DEEGAN *ET AL.* (1986). B) EL PRESUPUESTO CLIMÁTICO DE AGUA (ÁREA SOMBRADA REPRESENTA LA EVAPOTRANSPIRACIÓN QUE EXCEDE A LA PLUVIOMETRÍA). C) DESCARGA FLUVIAL EN SUMATORIA ANUAL (M³/SEG). SE DESTACA LA EXTENSA LLANURA COSTERA DEL ÁREA MISSISSIPPI/LOUISIANA. LA EVAPORACIÓN MUCHO MAYOR QUE LA PLUVIOMETRÍA EN EL ÁREA TEXAS/TAMAULIPAS Y EN YUCATÁN. LA GRAN PRECIPITACIÓN DEL ÁREA VERACRUZ/TABASCO/CAMPECHE. Y LA ENORME DESCARGA FLUVIAL DEL DELTA DEL MISSISSIPPI Y DELTA GRIJALVA/USUMACINTA. VER CUADRO 2 Y FIGURAS 4 Y 6



zan los resultados de un taller de expertos que ejemplifican con claridad que en las costas tropicales como las del Golfo de México, los procesos ecológicos costeros modulan y condicionan el éxito del reclutamiento biológico en primer lugar, y enseguida el pesquero. En este sentido, las figuras 17 y 18 de Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia (1997) muestran, para dos grupos ecológicos

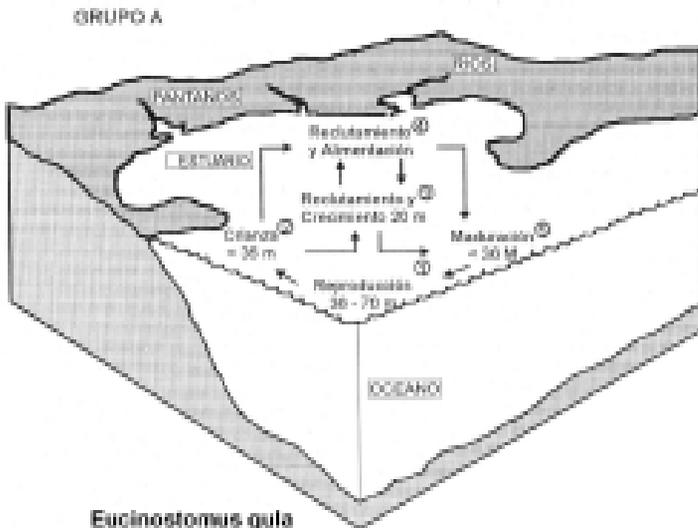
funcionales diferentes, la correlación positiva entre el reclutamiento biológico en sistemas lagunares-estuarinos, con la descarga fluvial y productividad primaria acuática descritos en las figuras 6 y 14. Esto es evidente para especies del Grupo A (figura 17), pero también la correlación se sostiene con el desplazamiento de la productividad primaria acuática hacia la plataforma continental vía la pluma estuarina, en especies del Grupo D (figura 18), cuyo reclutamiento tanto biológico como pesquero ocurre en la plataforma condicionado no sólo por batimetría y ambiente sedimentario, sino por la estacionalidad de la productividad primaria acuática y pluviometría/descarga de agua dulce, descrito en las figuras 4, 6 y 14.

Es razonable suponer que este planteamiento también puede ser válido, en mayor o menor medida, en la zona costera de la Laguna Madre en Tamaulipas, las lagunas de Tamiahua y Alvarado en Veracruz, los pantanos costeros en Tabasco, la ría Celestún en Yucatán y algunos sistemas como Bahía Chetumal en el Caribe Mexicano, en función del gradiente latitudinal descrito en el cuadro 2.

El Golfo de México es uno de los sistemas más importantes del mundo para comprender científicamente las pesquerías tropicales y subtropicales en el contexto del ecosistema costero (Pauly 1986, Yáñez-Arancibia y Pauly 1986, Longhurst y Pauly 1987). La plataforma continental del sur del Golfo de México es una región con grandes perspectivas de expandir sus capturas, puesto que actualmente se estiman unas 350 mil toneladas anuales de capturas incidentales en la pesca del camarón y pesca de arrastre, que finalmente no se utilizan, abarcando desde Tamaulipas hasta Yucatán. Pero lo más notable es que estos recursos de múltiples especies utilizan intensamente la zona costera para actividades de alimentación, refugio, crecimiento o reproducción, reconociéndose más de 300 especies de peces en la plataforma nerítica del Golfo, de las cuales cerca del 75% utilizan o dependen de las lagunas costeras y estuarios para completar parte de su ciclo de vida en intensas interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil 1986, 1988; Yáñez-Arancibia 1985, 1994, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997).

Otros aspectos ecológicos notables que se conocen del Golfo son las relaciones de los volúmenes de captura de los recursos pesqueros con el ecosistema. Por ejemplo, se han podido estimar correlaciones logarítmicas importantes entre los volúmenes de las capturas de peces y crustáceos y la descarga de ríos, la vegetación litoral de las aguas protegidas y la superficie de sistemas lagunares-estuarinos (Turner 1977, Yáñez-Arancibia *et al.* 1985,

FIGURA 17. MODELO DEL CICLO DE VIDA DE PECES EN EL “GRUPO ECOLÓGICO FUNCIONAL A” DE SÁNCHEZ-GIL Y YÁÑEZ-ARANCIBIA (1997). ESPECIES MARINAS ESTUARINO-DEPENDIENTES. PATRÓN ESTACIONAL DE RECLUTAMIENTO (PAQUETE FAO ICLARM STOCK ASSESSMENT) Y PARÁMETROS DE ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN DE LA “ESPECIE EJEMPLO”. EL RECLUTAMIENTO BIOLÓGICO (4) Y LA ALIMENTACIÓN OCURREN DENTRO DEL SISTEMA LAGUNAR-ESTUARINO ASOCIADO A LOS MESES DE AGOSTO Y SEPTIEMBRE (LLUVIAS; MAYOR PRODUCTIVIDAD DE MANGLA-RES Y FITOPLANCTON AL INTERIOR DEL SISTEMA), PERO EL RECLUTAMIENTO PESQUERO (3) Y EL CRECIMIENTO OCURREN FUERA DEL SISTEMA DE AGUA PROTEGIDAS EN LOS MESES DE OCTUBRE A DICIEMBRE (LA MAYOR DESCARGA DE RÍOS HACIA LA PLATAFORMA CONTINENTAL, SOBRE LA PLUMA ESTUARINA) CON LA MAYOR PRODUCCIÓN PRIMARIA ACUÁTICA EN EL MAR ADYACENTE



Eucinostomus gula (Mojarra)

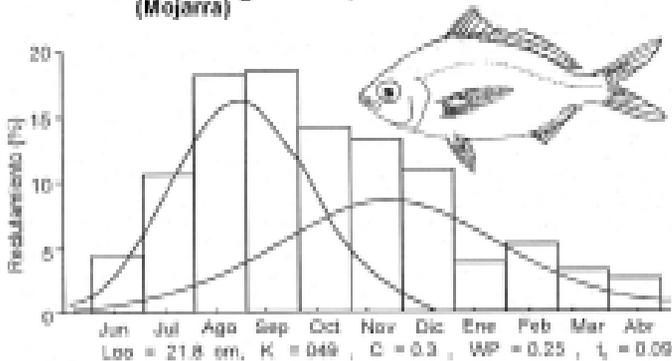


FIGURA 18. MODELO DEL CICLO DE VIDA DE PECES EN EL “GRUPO ECOLÓGICO FUNCIONAL D” DE SÁNCHEZ-GIL Y YAÑEZ-ARANCIBIA (1997). ESPECIES MARINAS NO RELACIONADAS A ESTUARIOS PERO INFLUIDAS POR LA PLUMA ESTUARINA. PATRÓN ESTACIONAL DE RECLUTAMIENTO (PAQUETE FAO ICLARM STOCK ASSESSMENT) Y PARÁMETROS DE ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN DE LA “ESPECIE EJEMPLO”. SE SEÑALA EL PULSO DE RECLUTAMIENTO PRINCIPAL ENTRE OCTUBRE Y DICIEMBRE (LA MAYOR DESCARGA DE RÍOS HACIA LA PLATAFORMA CONTINENTAL, SOBRE LA PLUMA ESTUARINA) QUE COINCIDE CON LA MAYOR PRODUCCIÓN PRIMARIA ACUÁTICA EN LA ZONA FRONTAL

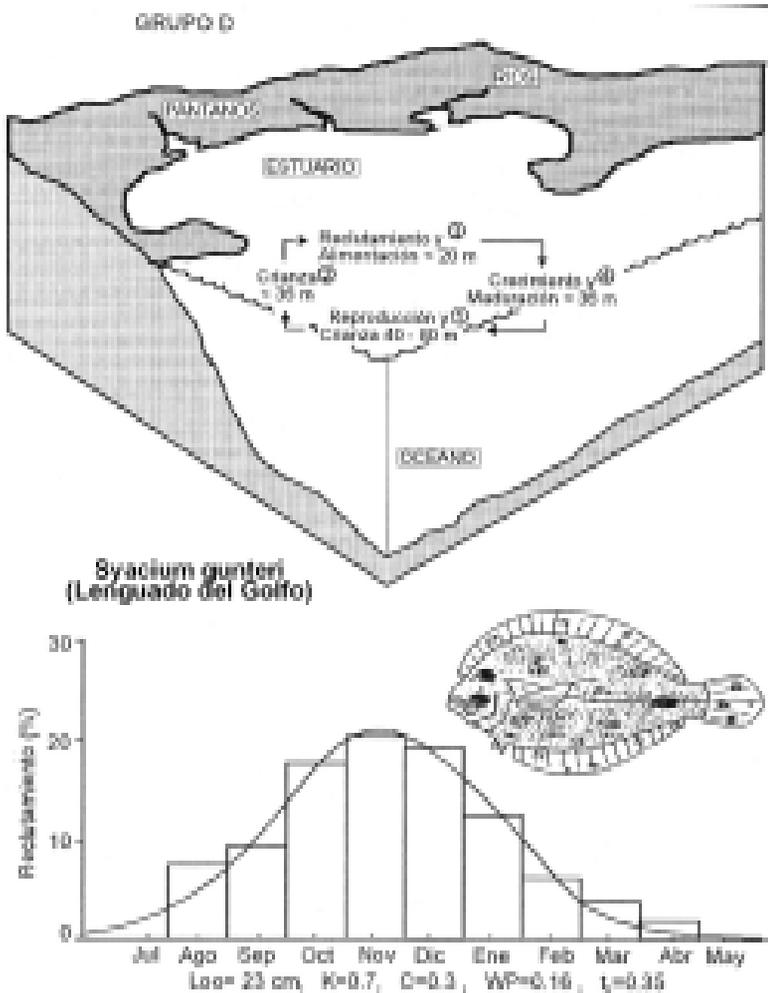
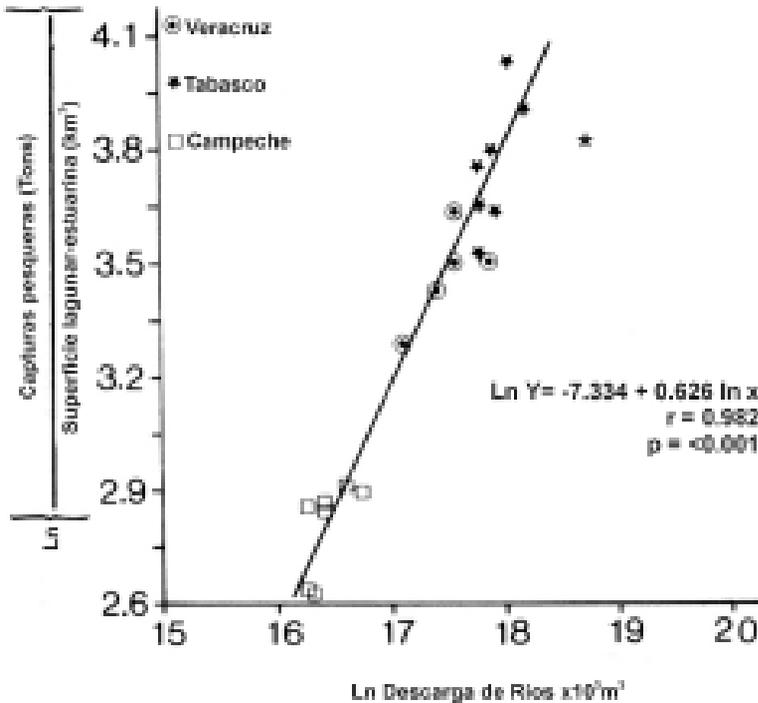


FIGURA 19. REGRESIÓN LOGARÍTMICA LINEAL (Ln) ENTRE LAS CAPTURAS PESQUERAS (TONELADAS ANUALES) POR SUPERFICIE LAGUNAR-ESTUARINA (INCLUYENDO ÁREA DEL CUERPO DE AGUA Y COBERTURA VEGETAL ASOCIADA) Y EL PROMEDIO ANUAL DE DESCARGA DE RÍOS, PARA EL GOLFO DE MÉXICO



Fuente: los datos para los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche son del periodo 1973-1983 cortesía de INEGI, ex Secretaría de Pesca, y ex Secretaría de Recursos Hidráulicos (en Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, y Deegan *et al.* 1986). Los datos para los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche son del periodo 1973-1983 cortesía de INEGI, ex Secretaría de Pesca, y ex Secretaría de Recursos Hidráulicos (en Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, y Deegan *et al.* 1986).

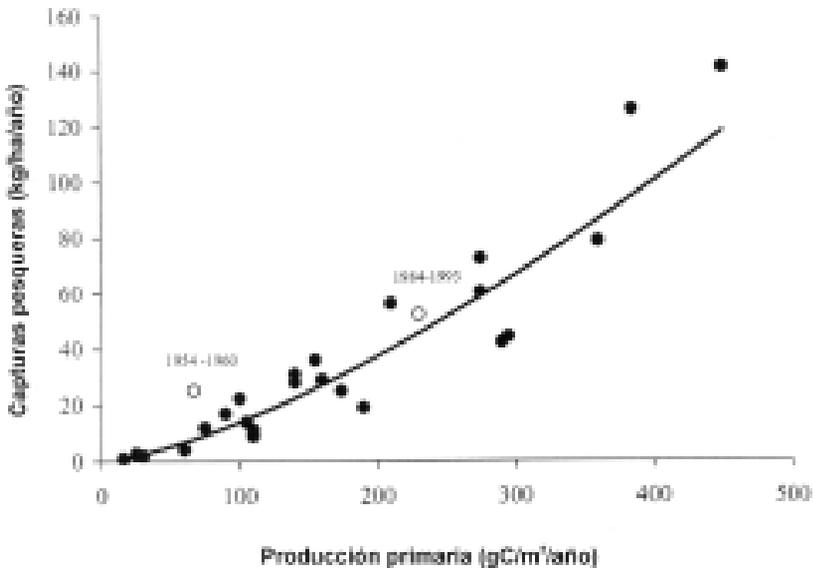
1993; Deegan *et al.* 1986). La figura 19 analiza no sólo la superficie lagunar-estuarina (incluyendo el área del cuerpo de agua y el área de la cobertura vegetal asociada), sino también el promedio anual de descarga de ríos para el Golfo de México.

Por lo tanto, comprendiendo contextual y conceptualmente la figura 19, pero también revisando la síntesis de 30 años de problemas, preguntas y respuestas sobre el vínculo de los recursos pesqueros con las características del ecosistema costero, presentado en la figura 15, quedan pocas dudas de la dependencia de los recursos pesqueros respecto a los procesos ecológicos de los ecosistemas costeros. Estos ejemplos son fundamentales para la comprensión de las pesquerías de la región en el contexto integral del ecosistema litoral del Golfo de México, y visualizar su umbral de “incertidumbre” ante el deterioro ambiental y el ocaso de la calidad del agua y de los hábitats costeros involucrados.

Una mirada retrospectiva a la figura 15 nos muestra que todavía se hacen esfuerzos importantes para vincular la producción primaria condicionada por procesos costeros, con la producción secundaria, concretamente con los recursos pesqueros (Yáñez-Arancibia *et al.* 1993, Nixon y Buckley 2002, figura 20). Aun cuando los esfuerzos recientes se han concentrado en ecosistemas costeros de latitudes intermedias o altas, en las costas tropicales esto es aparentemente bien conocido desde hace más de dos décadas (Nixon 1982, Yáñez-Arancibia 1985, 1994, Yáñez-Arancibia y Pauly 1986, Yáñez-Arancibia *et al.* 1980, 1988, 1993, Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil 1988, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997). El punto común de incertidumbre es la “sustentabilidad” del modelo de las figuras 19 y 20. Es razonable suponer que en ninguno de los dos casos la pendiente podría mantenerse frente al deterioro de los procesos costeros que condicionan la regresión logarítmica, especialmente si se observa el modelo general de Day *et al.* (1997) para el Golfo de México, confrontando áreas de tierras naturales y reconversión de humedales en aguas abiertas en relación con la caída abrupta de la productividad total neta de la zona costera en el Golfo de México (figura 21). Esta figura es, al inicio del siglo XXI, una luz roja ya encendida permanentemente en el Golfo de México.

En el marco conceptual para el manejo ambiental costero de los recursos pesqueros, la incertidumbre de la sustentabilidad queda marcada por la urgente protección para la persistencia de las interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia *et al.* 1991), la preservación de la cobertura vegetal de los humedales costeros (Rojas Galavíz *et al.* 1992, Yáñez-Arancibia *et al.* 1988, 1993), la protección de los ambientes sedimentarios en las cuencas bajas de los ríos (Ortíz Pérez y Benítez 1996), y el mantenimiento de el suministro de agua dulce a los estuarios vía descarga fluvial (Powell *et al.* 2002, Yáñez-Arancibia *et al.* 2003); a fin de asegurar la persistencia de la

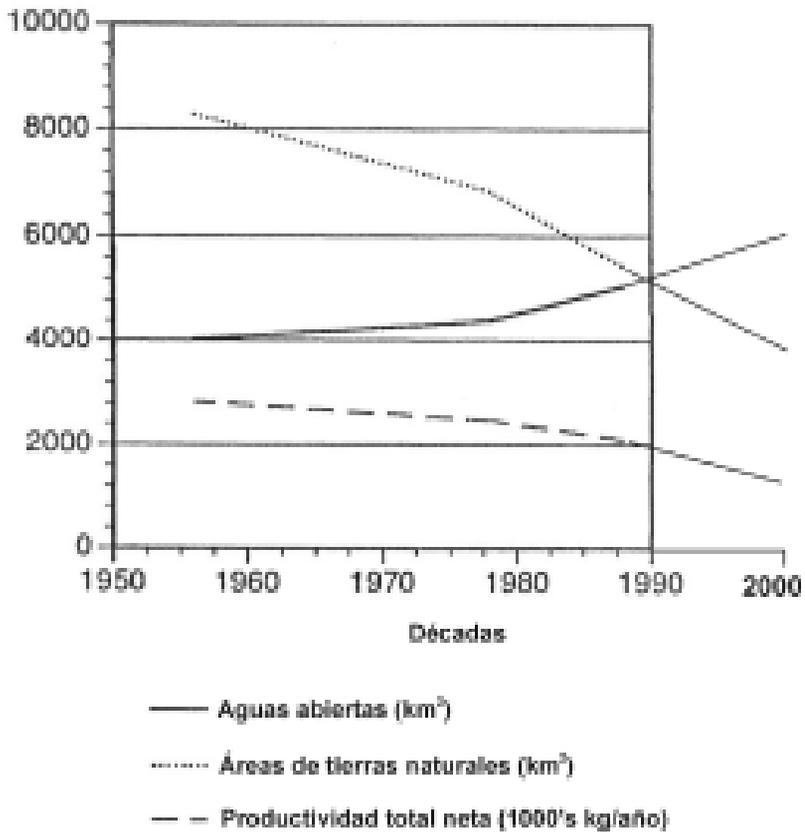
FIGURA 20. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA (CAPTURA DE C^{14} PARTICULADO) Y CAPTURA DE PESQUERÍAS COMERCIALES EN ALGUNOS ECOSISTEMAS COSTERO-MARINOS CON ESTRUCTURA TRÓFICA BASADA EN EL FITOPLANCTON. LOS DATOS NO SON NECESARIAMENTE CONTEMPORÁNEOS (NIXON Y THOMAS 2001). LOS CÍRCULOS ABIERTOS SON DATOS DEL KATTEGAT DURANTE DOS DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. EL INCREMENTO EN PRODUCCIÓN PRIMARIA ES CONSISTENTE CON EL INCREMENTO EN APOORTE DE NITRÓGENO (RICHARDSON Y HEILMANN 1995). LA CAPTURA POR UNIDAD DE ÁREA ESTÁ CALCULADA PARA EL ÁREA DEL KATTEGAT 22, 177 km^2 .



Fuente: modelo según Nixon y Buckley 2002.

fertilidad acuática sobre la plataforma continental nerítica (Day *et al.* 1995, 1997). Por lo tanto, con el enfoque de “procesos costeros y recursos pesqueros”, se puede precisar que los principales problemas ambientales a los que se enfrenta la gran cuenca del Golfo son: **a)** la pérdida de hábitats, **b)** pérdida de biodiversidad, **c)** contaminación de aguas y sedimentos, **d)** aumento de turbidez y nutrientes, **e)** reducción del aporte de agua dulce y de su calidad a la planicie costera, **f)** alteración de la dinámica estuarina y sus bocas de conexión, **g)** erosión litoral, y **h)** deterioro de la salud pública.

FIGURA 21. LA PÉRDIDA DE LA CUBIERTA VEGETAL ORIGINAL Y LA DISMINUCIÓN DE HUMEDALES AUMENTANDO CUERPOS DE AGUA POR DRAGADOS Y CANALIZACIÓN SE RELACIONA DIRECTAMENTE CON LA DISMINUCIÓN DE PRODUCTIVIDAD NETA DE LA ZONA COSTERA (KG PSECO/AÑO). EL ÁREA DE TIERRAS NATURALES INCLUYE HUMEDALES FORESTADOS, HUMEDALES DULCEACUÍCOLAS Y MARISMAS SALOBRES, PERO EXCLUYE ÁREAS DESARROLLADAS DE AGRICULTURA. LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA ESTÁ INCORPORADA EN LA PRODUCTIVIDAD TOTAL NETA QUE DECRECE MARCADAMENTE EN LA DÉCADA DE LOS 90'S. LA GRÁFICA ILUSTRAS LAS COSTAS DE LOUISIANA, SEGÚN EL MODELO DE DAY *ET AL.* (1997), PERO SU PROYECCIÓN ANALÓGICA ES TANTO O MÁS SEVERA PARA LAS COSTAS DE MÉXICO, PUESTO QUE LA PÉRDIDA EN VERACRUZ ES 87%, EN TABASCO 65%, EN CAMPECHE 50%



Fuente: base de datos del Programa de Recursos Costeros, INECOL A.C., CONACYT).

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

1. Las interacciones ecológicas estuario-mar permiten interpretar el vínculo entre el ambiente dulceacuícola costero y marino adyacente, lo cual se comprende en el Golfo de México comparando sistemas lagunares-estuarinos contrastantes en un amplio rango latitudinal.
2. El sentido de un diagnóstico ambiental es de interpretar ecosistemas y ofrecer información integrada para la toma de decisiones y el manejo de recursos naturales, para lo cual es fundamental la precisión de los conceptos de zona costera, estuario, laguna costera, sistema lagunar-estuarino, ambiente clástico de depósito, facies, pluma estuarina, y pulsos ambientales.
3. La dinámica de las interacciones ecológicas estuario-mar está condicionada por un “molde” geomorfológico e hidrodinámico, a su vez condicionado por la fisiografía y los pulsos climático-meteorológicos.
4. Los resultados que se muestran en las figuras y en el Cuadro 2 sugieren con claridad que, por las interacciones ecológicas estuario-mar, se observa una región distintiva desde LMT hasta LTV, que pudiese prolongarse hasta el centro norte del estado de Veracruz. Asimismo, la región que va desde LAdP hasta LTdU, incluyendo PCdGU, es claramente diferente de la anterior, se diferencia ecológicamente de la costa de la península de Yucatán.
5. Los sistemas descritos en este capítulo proveen ejemplos de la heterogeneidad lagunar-estuarina que existe en el Golfo de México y Mar Caribe (cuadro 2). Pueden ser divididos en cuatro categorías. Sistemas lagunares-estuarinos semiáridos (LMT y LCY), sistemas intermedio no dominados por ríos (LTV), sistemas dominados por ríos (LAdP, PCdGU y LTdU), y sistemas kársticos del litoral Caribe (LPMQ y LSQ).
6. Los sistemas semiáridos LMT y LCY, aún distantes latitudinalmente, se parecen en que están dominados por procesos marinos y tienen limitado aporte de agua dulce. Difieren en que LMT tiene largo tiempo de residencia y alta retención de nutrientes, en comparación con LCY.
7. El presupuesto climático del agua, la descarga de ríos, el tiempo de residencia de la zona de mezcla, la concentración de nutrientes y fertilizantes, y la eficiencia del entrampamiento de sedimentos, permiten sugerir que los sistemas estudiados en la zona costera del Golfo y Caribe (exceptuando LPMQ y LSQ), son altamente susceptibles a la eutroficación pero ésta puede ser aún mayor en los sistemas LAdP, PCdGU y LTdU.

8. Los sistemas dominados por ríos se expresan en un importante delta pogradante y una amplia pluma estuarina sobre la plataforma continental (i.e., LAdP, PCdGU, LTdU). Comparativamente tienen un menor tiempo de residencia de sus aguas mezcladas que los sistemas semiáridos, que es mucho menor durante los periodos de mayor descarga de los ríos, lo cual aumenta la descarga de nutrientes y sedimentos hacia el océano, a través de las bocas estuarinas.
9. El resultado neto de estos procesos es que estos sistemas dominados por ríos no acumulan grandes cantidades de sustancias inorgánicas disueltas durante la época de “nortes”, como ocurre en sistemas con largo tiempo de residencia. El efecto sinérgico con la temperatura, y la buena disponibilidad de luz, coadyuvan a sostener altas tasas de producción fitoplanctónicas en el frente de la pluma estuarina casi todo el año. Por lo tanto el fitoplancton es un importante regulador de la dinámica de los nutrientes en estos sistemas y los valores en el Golfo de México pueden llegar hasta $350 \text{ gCm}^2/\text{año}$.
10. Puesto que la carga de nutrientes en estos sistemas dominados por ríos en el Golfo de México es primariamente resultado de una gran descarga más que de una gran concentración de nutrientes, se sugiere que estos sistemas se ubican por debajo de otros en la relación establecida entre “producción fitoplanctónica vs. concentración clorofilas” y carga de nutrientes. Al mismo tiempo, los pulsos ambientales estacionales en estos sistemas someros son muy importantes para sostener la productividad marino-costera en la plataforma nerítica del Golfo de México.
11. Hay suficiente información para entender que la productividad acuática de la plataforma continental desde la Sonda del Misisipi y hasta la Sonda de Campeche está condicionada por procesos costeros (i.e., descarga de ríos, circulación litoral, mareas, corrientes residuales, vientos, cobertura vegetal costera), y está correlacionada con la provincia sedimentaria terrígena, en una dinámica interacción ecológica estuario-mar, como reflejo de importantes frentes de plumas estuarinas. Diversas imágenes de satélite refuerzan la hipótesis de que los procesos costeros modulan la fertilidad acuática y su estacionalidad en la zona costera mexicana del sur del Golfo”.
12. La susceptibilidad de los sistemas lagunares-estuarinos a eutroficarse y declinar su patrón de pesquerías sustentables en la plataforma nerítica es el principal efecto de la disminución persistente de la cobertura vegetal natural de las cuencas hidrológicas y de los humedales asociados a la cuenca estuarina, así como de la calidad del agua en la zona de mezcla.

13. La eutroficación se liga directamente con el incremento de la hipoxia y el florecimiento de algas tóxicas, así como con un aumento de la bioacumulación de compuestos orgánicos e inorgánicos nocivos en los niveles tróficos superiores de la trama trófica costera estuarino-dependiente. Por la magnitud de las interacciones ecológicas estuario-mar, hipotéticamente en la región que va desde LAdP hasta PCdGU, se encuentra la plataforma continental nerítica con mayor potencial a presentar hipoxia importante en el corto plazo.
14. Con el análisis de las interacciones ecológicas estuario-mar, se establece que los principales problemas a los que se enfrenta la gran cuenca del Golfo son: a) pérdida de hábitats esenciales, b) contaminación de agua y sedimentos, c) aumento de turbidez y nutrientes, d) reducción de la descarga de agua dulce y su calidad a la llanura costera, e) alteración de la dinámica estuarina y sus bocas de conexión, f) erosión litoral, g) pérdida de biodiversidad y h) deterioro a la salud pública.
15. Con el enfoque de ecología funcional, el manejo ambiental de la zona costera del Golfo de México y Mar Caribe, tiene un gran desafío: a) asegurar el funcionamiento de las interacciones ecológicas estuario-mar, b) preservar la cobertura vegetal de los humedales costeros, c) proteger los ambientes sedimentarios en las cuencas bajas de los ríos, y d) mantener el suministro de agua dulce a los estuarios para asegurar la persistencia de la fertilidad acuática sobre la plataforma continental nerítica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca L.G. y E. Valero Pacheco 1993. Toward a trophic model of Tamiahua a coastal lagoon in México, p. 181-185. En: V. Christensen y D. Pauly (eds.) *Trophic Models of Aquatic Ecosystems*. ICLARM Conference FAO/DANIDA Proceedings, 26: 390 pp.
- Alvarez Guillén, H., M. C. García, M. Tapia García, G. J. Villalobos y A. Yáñez-Arancibia 1986. Prospección ictioecológica de la zona de pastos marinos de la laguna arrecifal en Puerto Morelos, Quintana Roo (Verano 1984): Nota científica. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13 (3): 303-322.
- Anderson, D.M., P. Gilbert y J.M. Burkholder 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4b): 704-726.
- Arreguín, F., E. Valero Pacheco y E. Chávez 1993. A trophic box model of the coastal fish communities of the Southwestern Gulf of Mexico, p. 197-205. En : V. Christensen y D. Pauly (eds.) *Trophic Models of Aquatic Ecosystems*, ICLARM Conference FAO/DANIDA Proc. 26: 390 pp.

- Barba Macías, E. 2003. Energy fluxes in seagrass ecosystem from a hypersalinity coastal lagoon, Laguna Madre Tamaulipas, México. ERF 2003 Conference Abstracts, Seattle WA, p. 11.
- Bianchi, T.S., J.R. Pennock y R.R. Twilley, 1999. Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries : Implications for Management, p. 407-421. En : Bianchi, T.S., J.R. Pennock, R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. New York 428 pp.
- Bird, E.C.F., 1968. *An Introduction to Systematic Geomorphology*. Coast, Vol. 4. The MIT Press, Cambridge Massachusetts, 246 pp.
- Boyd, R., R. Dalrymple y B.A. Zaitlin, 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80: 139-150.
- Breitbart, D. 2002. Effects of hypoxia, and balance between hypoxia and enrichment on coastal fisheries. *Estuaries*, 25 (4b): 767-781.
- Caddy, J.E., 1993. Towards a comparative evaluation of human impacts on fishery ecosystems of enclosed and semi-enclosed seas. *Reviews in Fisheries Science*, 1: 57-95.
- Cardoch, L., J.W. Day y C. Ibáñez, 2002. Net primary productivity as an indicator of sustainability in the Ebro and Mississippi deltas. *Ecological Applications*, 12(4): 1044-1055.
- Chestney, E.J., D. Baltz y R.G. Thomas, 2000. Louisiana estuarine coastal fisheries and habitats : perspectives from a fish's eye view. *Ecological Application*, 10(2) : 350-366.
- Chestney, E.J. y D. Baltz, 2001. The effects of hypoxia on the northern Gulf of Mexico coastal ecosystem : A fisheries perspective, p. 321-354. In : Coastal Hypoxia : Consequences for Living Resources and Ecosystems. Coastal and Estuarine Studies. American Geophysical Union, Washington D.C.
- Chua, T.E. y L.F. Scura (Eds.), 1992. Integrative Framework and Methods for Coastal Area Management. *ICLARM Conference Proceeding*, 37: 169 pp.
- Chua, T.E. y D. Pauly (Eds.), 1989. Coastal Area Management in Southeast Asia : Policies, Management, Strategies and Case Studies. *ICLARM Conference Proceeding*, 19 : 254 pp.
- Cicin-Sain, B. y R. Knecht, 1998. *Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices*. Island Press, Washington D.C., 517 pp.
- Dalrymple, R.W., B.A. Zaitlin y R. Boyd, 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62: 1130-1146.
- Day, J.W. y A. Yáñez-Arancibia, 1982. Coastal lagoons and estuaries: ecosystem approach. *Ciencia Interamericana OEA* Washington D.C., 22(1-2): 11-26.
- Day, J.W., Ch.A.S. Hall, M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia, 1989. *Estuarine Ecology*. Wiley Interscience, John Wiley & Sons Inc. New York, 558 pp.

- Day, J.W., D. Pont, P. Hensel y C. Ibañez, 1995. Impacts of sea level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: The importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries*, 18: 636-647.
- Day, J.W., J.F. Martin, L. Cardoch y P.H. Templet, 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management*, 25 (2): 115-153.
- Day, J.W., R. H. Day, M.T. Barreiro, F. Ley Lou y C.J. Madden, 1982. Primary production in Terminos Lagoon, a tropical estuary in the southern Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta, Spec. Vol. 5 (4)*: 269-276.
- Day, J.W., W. Conner, F. Ley Lou, R. Day y A. Machado, 1987. The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Terminos Mexico. *Aquatic Botany*, 27: 267-284.
- Day, J.W., C. J. Madden, F. Ley Lou, R. L. Wetzel y A. Machado, 1988. Aquatic primary productivity in the Terminos Lagoon, Cap. 13 : 221-236. En: Yáñez-Arancibia, A. y J.W. Day (eds.) *Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. ICMYL-UNAM México, OEA Washington DC, Louisiana State University USA, Editorial Universitaria México DF, 518 pp.
- David, L.T. y B. Kjerfve, 1998. Tides and currents in a two-inlet coastal lagoon: Laguna de Terminos México. *Continental Shelf Research*, 18(10): 1057.
- Deegan, L., 2002. Lessons learned: the effects of nutrient enrichment on the support of nekton by seagrass and salt marsh ecosystems. *Estuaries*, 25 (4): 727-742.
- Deegan, L., J. Hughes, y R. Rountree, 2002. Salt marsh ecosystem support of marine transient species, p. 333-365. En: M.P. Weinstein y D. A. Kreeger (eds.) *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam The Netherlands, 874 pp.
- Deegan, L., J.W. Day, J.G. Gosselink, A. Yáñez-Arancibia, G. Soberón-Chávez y P. Sánchez-Gil 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution, and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries, p. 83-100. En: D.A. Wolfe (ed.) *Estuarine Variability*. Academic Press Inc., New York, 510 pp.
- Deegan, L., J.T. Finn, Ch. Hopkinson, A. Giblin, B. Peterson, B. Fry y J. Hobbie, 1994. Flow model analysis of the effects of organic matter-nutrient interactions on estuarine trophic dynamics. p. 237-281. En: Dyer, K.R. y R.J. Orth (eds.) *Changes in Fluxes in Estuaries: Implications from Science to Management*. ECSA/ERF Symposium. Institute of Marine Studies, University of Plymouth. Olsen & Olsen, International Symposium Series, 485 pp.
- Dyer, K.R. y R.J. Orth (eds.), 1994. *Changes in Fluxes in Estuaries: Implications from Science to Management*. ECSA/ERF Symposium. Institute of Marine Studies, University of Plymouth. Olsen & Olsen, International Symposium Series, 485 pp.

- Harris, P. T. y A. D. Heap, 2003. Environmental management of clastic coastal depositional environments: inferences from an Australian geomorphic data base. *Ocean & Coastal Management*, 46 : 457-478.
- Harris, P.T., A. D. Heap, S. M. Bryce, R. Porter-Smith, D. A. Ryan y D. T. Heggie, 2002. Classification of Australian clastic coastal depositional environments based upon a quantitative analysis of wave, tide and river power. *Journal of Sedimentary Research*, 72(6): 858-870.
- Herrera Silveira, J. A., I. Medina-Gómez, N. Aranda-Cicerol, J. A. Zaldivar, J. Ramírez y J. Trejo, 2002. Trophic status in coastal waters of the Yucatán Peninsula (SE México) using water quality indicators, p. 351-359. En: Brevia, C. A. (ed.) *Environment Problems in Coastal Regions IV*. Wit-Press, Southampton, Boston MA.
- Kjerfve, B. (ed.), 1978. *Estuarine Transport Processes*. Belle W. Baruch Institute Marine Biology Coastal Research. University of South Carolina Press, Columbia SC, 330 pp.
- Kjerfve, B. (ed.), 1994. *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Sci., Oceanography Series, 60: 577 pp.
- Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.), 1999. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability, and Management*. Blackwell Science, Malden MA, 704 pp.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoons of Mexico, their origin and classification, p. 182-215. En: Wiley, M. (ed.) *Estuarine Processes*. Academic Press Inc., New York. v II, 428 pp.
- Lohrenz, S.E., D.A. Wiesenburg, R.A. Arnone y X. Chen, 1999. What controls primary production in the Gulf of Mexico?, Cap. 9: 151-170. En : Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science, Malden MA, 704 pp.
- Lara-Domínguez, A. L., F. Arreguín y H. Alvarez-Guillén, 1993. Biodiversidad y el uso de los recursos naturales: las comunidades de peces en el sur del Golfo de México. *Revta. Soc. Mex. Hist. Nat. Vol. Espec.* (54) : 345-385.
- Lasserre, P. y H. Postma (Eds.), 1982 Coastal Lagoons. *Oceanologica Acta. Spec.* Vol. 5 (4): 462 pp.
- Lauff, G. H. (ed.), 1967. *Estuaries. American Association for the Advancement of Science*. Washington DC, 83: 757 pp.
- Longhurst, A. y D. Pauly, 1987. *Ecology of Tropical Oceans*. Academic Press Inc., San Diego California, 407 pp.
- López-Portillo, J., D. Zárate Lomelí y J. L. Rojas, 1999. *Ordenamiento Ecológico de la Zona Costera Central de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo*. Instituto de Ecología A.C., BANAMEX, SEMARNAT, Xalapa Ver., 343 pp.

- Moore, K.A. y R.L. Wetzel, 1988. The distribution and productivity of seagrass in the Terminos Lagoon Mexico. Cap. 12: 207-220. En: Yáñez-Arancibia, A. y J.W. Day (eds.) *Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. ICMYL-UNAM México, OEA Washington DC, Louisiana State University USA, Editorial Universitaria México, 518 pp.
- Montagna, P.A., M. Alber y P.M. Doering (eds.), 2002. Freshwater Inflow: Science, Policy, Management. *Estuaries*, 25 (6B) Special Issue, pp. 1243- 1456.
- Nixon, S. W., 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Oceanologica Acta, Spec. Vol. 5 (4) : 231-242*.
- Nixon, S. W. y A. Thomas, 2001. On the size of the Peru up-welling ecosystem. *Deep-Sea Research I*, 48: 2521-2528.
- Nixon, S.W. y B. Buckley, 2002. A strikingly rich-zone : nutrient enrichment and secondary production in coastal marine ecosystems. *Estuaries*, 25 (4b): 782-796.
- Nixon, S. W. , C.A. Oviatt, J. Frithsen y B. Sullivan, 1986. Nutrients and the productivity of estuarine and marine coastal ecosystems. *J. Limnological Society of Southern Africa*, 12: 47-71.
- Officer, C. B., 1976. *Physical Oceanography of Estuaries and Associated Coastal Waters*. John Wiley & Sons, New York, 465 pp.
- Ortiz Pérez, M.A. y J. Benítez, 1996. Elementos teóricos para el entendimiento de los problemas de impacto ambiental en planicies deltáicas: la región de Tabasco y Campeche, p. 483-503. En . Botello, A. V., J.L. Rojas, J. A. Benítez y D. Zarate Lomeli (eds.) *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica 5, 666 pp.
- Ortiz Pérez, M. A., C. Valverde y N. P. Psuty, 1996. The impacts of sea-level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast, p. 459-470. En: Botello, A.V., J.L. Rojas, J. A. Benítez y D. Zarate Lomeli (eds.) *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad A. de Campeche, EPOMEX, Serie Científica 5, 666 pp.
- Pauly, D. 1986. Problems of tropical inshore fisheries: fishery research on tropical soft bottom communities and the evolution of its conceptual base. En: Borgese, E. M. y N. Ginsburg (eds.) *Ocean Year Book 6*. The University of Chicago Press, London, pp. 29-54.
- Powell, G. L., J. Matsumoto y D. A. Brock, 2002. Methods for determining minimum freshwater inflow need of Texas bays and estuaries. *Estuaries*, 25 (6B): 1262-1274.
- Rabalais, N.N. y S.W. Nixon (eds.), 2002. Nutrient Over-Enrichment in Coastal Waters : Global Patterns of Cause and Effect. *Estuaries*, 25(4b) Special Issue : 639-900.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner y W.J. Wiseman, 1999. Hypoxia in the northern Gulf of Mexico: linkage with the Mississippi river, Cap. 18: 297-322. En: Kumpf, H., K.

- Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science, Malden MA, 704 pp.
- Richardson, K. y J.P. Heilmann, 1995. Primary production in the Kattagat: past and present. *Ophelia*, 41: 317-328.
- Rojas Galaviz, J.L., F. Vera-Herrera, A. Yáñez-Arancibia y J.W. Day, 1992. Estuarine primary producers: the Terminos Lagoon a case study, Chap. 10: 141-154. En: U. Seeliger (ed.) *Coastal Plant Communities in Latin America*. Academic Press Inc. New York, 392 pp.
- Rozas, L. P., J. A. Nyman, C. E. Proffit, N. N. Rabalais, D. J. Reed y R. E. Turnes (eds.), 1999. *Recent Research in Coastal Louisiana: Natural Systems Function and Response to Human Influences*. Louisiana sea Grant College Program, Baton Rouge LA, 304 pp.
- Schroeder, W.W. y W.J. Wisemann, 1999. Geology and hydrodynamics of Gulf of Mexico Estuaries, Cap. 1: 3-28. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R. R. Twilley (eds.) *Biogeochemistry of Gulf Of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons Inc. New York, 426 pp.
- Solis, R.S. y G.L. Powell, 1999. Hydrography, mixing characteristics and residence times of Gulf of Mexico estuaries, Chap. 2: 29-61. En: Bianchi, T.S., J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.) *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 428 pp.
- Sánchez-Gil, P. y A. Yáñez-Arancibia, 1997. Grupos ecológicos funcionales y recursos pesqueros tropicales, p. 357-389. En: D. Flores, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo, y F. Arreguín (eds.). *Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México*. EPOMEX, Serie Científica 7, Universidad Autónoma de Campeche, México, 496 p.
- Turner, R.E., 1977. Intertidal vegetation and commercial yields of Penaeid shrimp. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 106 (5): 411-416.
- Tunnell; J. W. y F.W. Judd (eds.), 2002. *The Laguna Madre of Texas and Tamaulipas*. Texas A & M University Press. Gulf Coast Studies, Corpus Christi TX, 346 pp.
- Wright, L.D., 1985. River deltas. En: Davis R.A. (ed.) *Coastal Sedimentary Environments*. Springer Verlag, New York. pp. 1-76.
- Woodroffe, C.D., 1992. Mangrove sediments and geomorphology, p. 7-41. En: Alongi D. y A. Robertson (eds.) *Tropical Mangroves Ecosystems*. American Geophysical Union, Washington DC.
- Yáñez-Arancibia, A. (ed.), 1985. *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons. Towards an Ecosystem Integration*. UNAM-PUAL-ICML, Editorial Universitaria, México DF, 653 pp.
- 1986. Ecología de la Zona Costera: Análisis de siete Tópicos. AGT Editorial, México DF, 186 pp.
- 1987. Lagunas costeras y estuarios: cronología, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros, Cap. 1: 1-38, 16 figs. En: *Ecosistemas*

- Costeiros Costa Sul e Sudeste Brasileira*. Academia de Ciencias. Sao Paulo Brasil. Publ. ACIESP 54 (3): 364 pp.
- (ed.), 1994. *Recursos faunísticos del Litoral de la Península de Yucatán*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica 2, 136 pp.
- 1999. Terms of references towards coastal management and sustainable development in Latin America: Introduction to Special Issue on Progress and Experiences. *Ocean & Coastal Management*, 42 (2-4): 77-104.
- 2003a. Geomorphology and ecology of coastal zone in Middle America, 18 p., 1 table, 3 figs. En: M. Schwartz (ed.) *The Encyclopedia of Coastal Sciences*. Kluwer Academic Publisher (en prensa).
- 2003b. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*, Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. (en prensa).
- Yáñez-Arancibia, A. y J. W. Day, 1982. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the southern Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta, Spec Vo 5 (4)*: 431-440.
- (eds.), 1988. *Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. ICMyl-UNAM México, OEA Washington DC, Louisiana State University USA, Editorial Universitaria México DF, 518 pp.
- 2003. Coastal management in the Gulf of Mexico: towards an integration of ICM with LME management. *Ocean & Coastal Management*, Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. (en prensa).
- Yáñez-Arancibia, A. y D. Pauly (eds.), 1986. IOC/FAO Workshop on Recruitment in Tropical Coastal Demersal Communities. Workshop Report No. 44-Supplement, IOC-UNESCO, París, 324 pp.
- Yáñez-Arancibia, A. y P. Sánchez-Gil, 1983. Environmental behaviour of Campeche Sound ecological system, off Terminos Lagoon Mexico. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal Autón. México*, 10(1): 117-136.
- 1986. Los Peces Demersales de la Plataforma Continental del Sur del Golfo de México. Caracterización del Ecosistema y Ecología de las Especies, Poblaciones y Comunidades. *Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Publ. Espec. 9*. Editorial Universitaria UNAM, México DF, 280 p.
- 1988. *Ecología de los Recursos Demersales Marinos: Fundamentos en Costas Tropicales*. AGT Editorial, S.A. México DF. 230 pp.
- Yáñez-Arancibia, A., F. Amezcua y J. W. Day, 1980. Fish community structure and function in Terminos Lagoon a tropical estuary in the southern Gulf of México, p.

- 465-482. En: V. Kennedy (ed.) *Estuarine Perspectives*. Academic Press Inc. New York, 534 pp.
- Yáñez-Arancibia, A., G. Soberón-Chávez y P. Sánchez-Gil, 1985. Ecology of control mechanisms of natural fish production in the coastal zone Cap. 27: 571-574. En: Yáñez-Arancibia, A. (ed.) *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons. Towards an Ecosystem Integration*. UNAM-PUAL-ICML, Editorial Universitaria, México DF, 653 p.
- Yáñez-Arancibia, A., P. Sánchez-Gil y A.L. Lara-Domínguez, 1991. Interacciones ecológicas estuario-mar: estructura funcional de bocas estuarinas y su efecto en la productividad del ecosistema. *Academia de Ciencias Sao Paulo Brasil, Publ. ACIESP*, 71(4): 49-83.
- Yáñez-Arancibia, A., A.L. Lara-Domínguez, P. Chavance y D. Flores 1983. Environmental behavior of Terminos Lagoon ecological system, Campeche, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 10 (1): 137-176.
- Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez, J. L. Rojas Galavíz, P. Sánchez-Gil, J. W. Day y C. J. Madden, 1988. Seasonal biomass and diversity of estuarine fishes coupled with tropical habitat heterogeneity (southern Gulf of México). *Journal of Fish Biology*, 33 (Supl. A) : 191-200.
- Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez y J. W. Day, 1993. Interactions between mangrove and seagrass habitat mediated by estuarine nekton assemblages: coupling of primary and secondary production. *Hydrobiologia*, 264: 1-12.
- Yáñez-Arancibia, A., D. Zárate Lomelí, P. Sánchez-Gil, A. L. Lara-Domínguez, E. Sainz-Hernández, L. Hernández Martínez, M. A. Ortiz Pérez, P. Méndez Linares, J. W. Day, E. Reyes, A. Peralta y M. Hernández, 2002. Estrategia para la Gestión de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla Tabasco. Cuarto Informe y Final, Proyecto PEMEX-PEP/SIPA/INECOL -PRC/001/2001. INECOL A.C., Xalapa Ver., 83 pp + anexos + mapas.
- Yáñez-Arancibia, A., A.L. Lara-Domínguez, D. Zárate Lomelí, P. Sánchez-Gil, S. Jiménez Hernández, A. Sánchez Martínez, E. Rivera Arriaga, A. Flores Nava, M. A. Ortiz Pérez, C. Muñoz Piña, M. Becerra, J. W. Day, G. L. Powell, C.J.Madden, E. Reyes, C. Barrientos, 2003. Sub-Region 2 Gulf of México; Scaling & Scoping & Detailed Assessment Report. Global International Waters Assessment GIWA, Kalmar Sweden. GEF-UNEP, 396 pp.
- Zárate Lomelí, D. y A. Yáñez-Arancibia, 2003. Conclusiones. Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe. Panel MIZC-Golfo/Caribe, INECOL A. C. y SEMARNAT. Xalapa Ver., 51 pp.

LAS PLAYAS Y DUNAS DEL GOLFO DE MÉXICO. UNA VISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Patricia Moreno-Casasola

LAS PLAYAS Y DUNAS

Las playas y dunas son los ambientes de sedimentación más importantes del mundo, es decir, los lugares donde hay mayor acumulación de sedimentos (granos de arena de distintos tamaños) que han sido transportados por corrientes marinas y vientos. Ambos son considerados ecosistemas extremadamente dinámicos y cambiantes que amortiguan las interacciones entre tres grandes sistemas: el mar, la tierra y la atmósfera.

Las playas se pueden definir como depósitos no consolidados de arena y grava a lo largo del litoral. En un momento dado, el perfil de la playa representa el equilibrio dinámico entre el transporte de sedimentos hacia el mar (erosión), hacia la tierra (sedimentación) y a lo largo de las costas (corrientes de deriva). La topografía de la duna representa el equilibrio entre el movimiento de la arena por el viento (erosión o depositación) y la cobertura de vegetación. La escala de estos movimientos varía de unas cuantas horas (durante tormentas) a semanas, meses o estaciones del año, o bien involucra ciclos de varios años. Así, las playas son formaciones dominadas por procesos asociados al oleaje, con ambientes de alta energía capaces de movilizar el sedimento y en cambio las dunas están asociadas a la energía producida por el viento.

La playa es la zona que se localiza entre el nivel más bajo y el más alto de la marea, incluyendo niveles de tormentas. Está sujeta a periodos de deseca-

ción superficial, más pronunciados en la playa alta (playa superior o posterior), que es donde se localiza la mayor parte de la vegetación de estos ambientes. En la playa anterior o baja se acumulan restos de algas y pastos marinos arrojados por el mar, y en ocasiones germinan y se establecen algunas especies anuales o bien germinan semillas arrojadas por el mar, pero las plántulas mueren en poco tiempo.

Detrás de las playas se encuentra una estructura geomorfológica terrestre (una duna, un acantilado u otro tipo de comunidad vegetal como puede ser un humedal o una selva y, hoy en día, construcciones). Las primeras dunas se denominan embrionarias y se forman cuando el viento que acarrea arena encuentra un objeto como puede ser una planta, un tronco, etc. Varias de estas pequeñas dunas continúan interceptando arena, y crecen hasta unirse formando un cordón, detrás del cual están las dunas propiamente dichas. Por tanto, éstas son acumulaciones de arena que miden desde unos centímetros (dunas embrionarias), hasta un sistema masivo de colinas de arena ondulantes que alcanzan alturas de hasta 35 metros, que pueden extenderse varios kilómetros tierra adentro, y cuya orientación depende de la dirección del viento que acarrea las partículas de arena. Los sedimentos que las forman provienen de arena arrojada por el oleaje a las playas, donde queda expuesta al aire; con el sol y la brisa, el sedimento se seca, los granos de arena quedan expuestos y son movilizados por el viento. De esta manera se han formado fundamentalmente por la acción eólica, que levanta, acarrea y deposita los granos de arena (Ranwell, 1972) provenientes de una fuente de sedimento, como es una playa, a partir de partículas de un tamaño que permite su transporte aéreo y un viento con suficiente fuerza para levantar los granos de arena.

FORMA Y TOPOGRAFÍA

Existen diversas formas de dunas, no todas ellas presentes en México, y éste es uno de los aspectos que más se modifican con el paso del tiempo y con la interacción con la vegetación. Hay islas de barrera, que son cuerpos alargados de arena que tienen una playa hacia el mar y otra hacia el estuario que los separa de la masa continental y siempre están en continuo movimiento acumulando arena y perdiéndola (Pilkey *et al.* 1998). Sobre ellas se establecen una serie de comunidades vegetales que repiten la zonación presente en sistemas de dunas en el litoral del continente. Por su parte, los cayos son acumulaciones de fragmentos de conchas, caracoles y esqueletos de distintos tamaños que for-

man islas en los sistemas arrecifales; la arena siempre es calcárea.

Los cordones de dunas son acumulaciones de arena que forman cordones continuos, bajos y paralelos al mar. Cuando sólo se tiene arena y nada de vegetación, las partículas de arena son totalmente libres de moverse, por lo cual únicamente dependen de la dirección e intensidad del viento. En estos casos se forman las llamadas dunas transgresivas, grandes cordones de arena que avanzan lentamente, orientados perpendicularmente a la dirección del viento que los mueve. Las dunas parabólicas parecen una luna creciente, y se forman cuando comienza a haber vegetación que inicia la fijación de la arena; estas zonas se mueven más lentamente que el resto de la duna, por lo que las partes estabilizadas se van quedando atrás y las partes más móviles avanzan, formando una parábola.

La orientación es un reflejo de la dirección del viento dominante. Cuando éste proviene del mar, se forman cordones de dunas paralelos a la costa, dunas transgresivas paralelas a la costa que migran en oleadas tierra adentro y dunas parabólicas con un eje longitudinal perpendicular a la línea de playa, que también avanzan tierra adentro aunque más lentamente. Cuando el viento predominante viene del norte y la orientación de la línea costera es también norte-sur, el eje de las dunas parabólicas está orientado paralelo a la playa, y las dunas parabólicas y transgresivas avanzan de norte a sur, como sucede en Tamaulipas, y en el norte y centro-norte de Veracruz.

Frecuentemente también se clasifica a las dunas en activas o estabilizadas. Ello depende del grado de cobertura vegetal, ya que cuando hay plantas éstas juegan un papel fundamental en la estabilización de la arena, y actúan como obstáculos para disminuir la fuerza del viento. En las dunas activas el movimiento de arena produce erosión en algunas áreas y acumulación en otras lo que permite que las dunas avancen o migren. Es frecuente encontrar en un mismo sistema zonas donde hay arenas activas, zonas semimóviles en donde las plantas comienzan a detener la arena, y finalmente dunas estabilizadas o fijas, con una cubierta continua de vegetación.

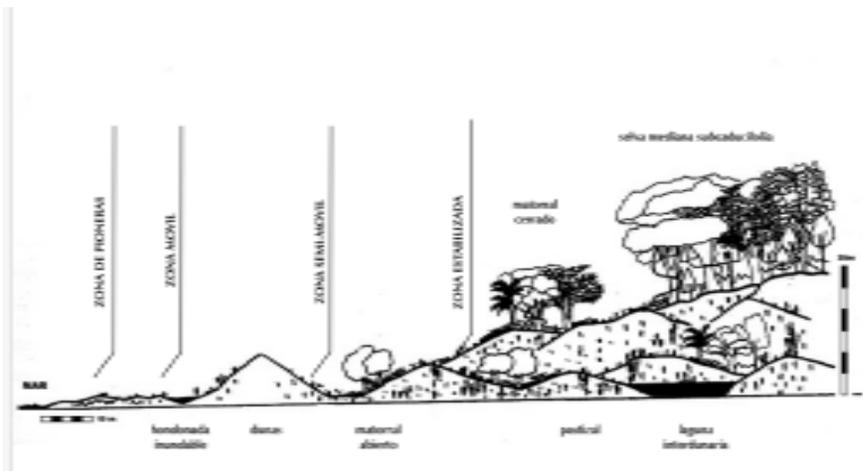
AMBIENTES EN LAS PLAYAS Y DUNAS

La topografía y el grado de estabilización, que a su vez modifica a la propia topografía, está asociada a ciertas condiciones ambientales, y juega un papel fundamental para determinar las comunidades vegetales que ahí se establecen. El esquema de la figura 1 muestra los distintos tipos de vegetación que habitan sobre el sistema de dunas y el mosaico que forman. Ha habido

varios intentos para describir o clasificar estos microambientes y así poder entender la heterogeneidad de condiciones y comunidades (Doing 1981). Castillo y Moreno-Casasola (1998) han clasificado estos ambientes en:

- a. Ambientes de dunas activas donde predomina el movimiento de arena, ya sea erosión o acumulación, lo cual lleva a que haya poca materia orgánica en los suelos, baja capacidad de retención de agua, cobertura vegetal escasa y fuertes fluctuaciones diarias de temperatura cerca del suelo. En general las condiciones ambientales son drásticas por lo que pocas especies están adaptadas a vivir aquí. Las playas, dunas embrionarias y dunas activas pertenecen a este tipo de ambientes. El recuadro de la figura 2 muestra el movimiento de arena medido durante tres años consecutivos (Moreno-Casasola, 1982) en una duna en la reserva del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (Cicolma).
- b. Ambientes húmedos e inundables que se encuentran en las áreas más bajas donde el viento ha acarreado la arena hasta entrar en contacto con

FIGURA 1. PERFIL DE VEGETACIÓN MOSTRANDO LA FISONOMÍA DE LAS DISTINTAS COMUNIDADES VEGETALES DE UN SISTEMA DE DUNAS, EN CADA UNO DE LOS MICROAMBIENTES



Fuente: modificado de Acosta 1993.

el sustrato húmedo por la cercanía del manto freático, es decir, se ha creado una depresión deflasiva entre los dos brazos de la parábola. En ocasiones estas zonas bajas también aparecen en las playas. En algunos casos, cuando la inundación es permanente forman lagunas interdu-narias, con cuerpos de agua dulce abiertos y vegetación de humedales enraizada emergente, flotante y sumergida.

- c. Ambientes estabilizados en donde la cubierta vegetal ha estabilizado el sustrato y se ha llegado a incorporar algo de materia orgánica convirtiéndolo en un mejor suelo en el que se llegan a establecer comunidades vegetales más estructuradas, como pastizales, matorrales, selvas bajas y medianas, y encinares.

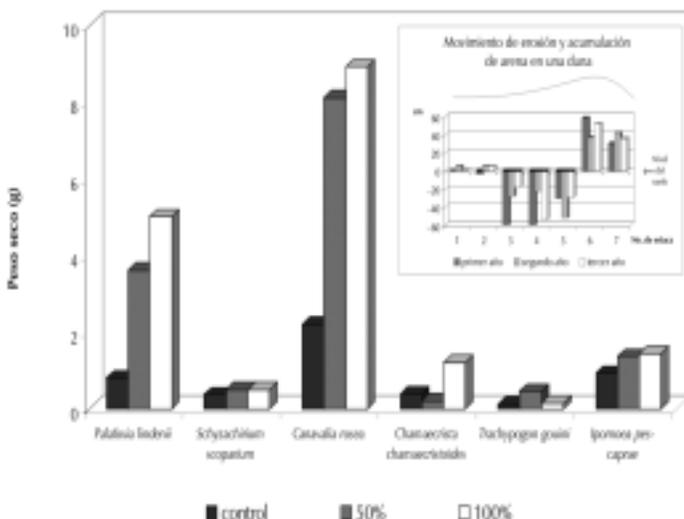
DISTRIBUCIÓN DE PLAYAS Y DUNAS

En México las playas y dunas no se distribuyen de manera homogénea. En el Atlántico predominan las costas acumulativas, y por tanto hay playas bajas y arenosas y abunda la sedimentación. Las costas del Golfo de México se localizan en el centro de una placa tectónica, por lo que las pendientes hacia la llanura costera y las de la plataforma continental son suaves. Existen deltas importantes como el del río Bravo, río Pánuco, Papaloapan, Grijalva-Usumacinta. La Península de Yucatán está constituida por una plataforma cárstica emergente, de sedimentos carbonatados, carente de ríos y con un flujo de agua subterráneo (Britton y Morton 1989, Ortiz y Espinosa 1991, Contreras 1993).

Las islas de barrera y las barras aparecen a lo largo de todo el litoral Atlántico y tienen anchos y largos muy diferentes (figura 3). La mayoría están deshabitadas, aunque otras tienen asentamientos grandes, como Ciudad del Carmen. En Tamaulipas se presenta una costa de tipo deltáico, destacando la presencia de la Laguna Madre, donde predomina la acumulación de sedimentos aportados por ríos, así como una costa secundaria en la que predomina la acumulación marina, con islas de barrera en casi toda la extensión del estado. Estas limitan la Laguna Madre hacia el mar y muchas de ellas no están conectadas al continente.

En Veracruz se localiza la Laguna de Tamiahua, delimitada por una isla de barrera (Cabo Rojo), que bien podría considerarse un tómbolo (Britton y Morton, 1989). Desde el punto de vista geomorfológico la zona de Tuxpan a Nautla incluye las costas acumulativas de playas bajas arenosas con exposición abierta al mar. Se formaron a partir de islas de barrera con campos de

FIGURA 2. RESPUESTA EN CRECIMIENTO (PESO SECO) DE VARIAS ESPECIES PIONERAS AL ENTERRAMIENTO POR ARENA



Se usaron dos tratamientos (meristemas cubiertos con arena totalmente y meristemas cubiertos solamente en el 50 % de su superficie) y el control, sin cubrir con arena. Las especies son la compuesta arbustiva y endémica *Palafoxia lindenii*, el pasto *Schyzachirium scoparium*, la leguminosa rastrera *Canavalia rosea*, la leguminosa arbustiva y endémica *Chamaecrista chamaecristoides*, el pasto *Trachypogon gouini* y la convolvulacea rastrera *Ipomoea pescaprae*. Las comparaciones estadísticas se hicieron entre los tres experimentos para la misma especie. Letras diferentes indican diferencias significativas (datos tomados de Martínez y Moreno-Casasola, 1996). El recuadro muestra el movimiento de arena en una duna medido en el mismo punto a lo largo de tres años

Fuente: Datos tomados de Moreno-Casasola 1982.

dunas y cordones de playas antiguas, separadas de la porción continental por antiguas lagunas, la mayoría de las cuales ahora son de fondo somero (azolvadas). Hacia el sur la costa se modifica al reducirse en extensión la planicie costera y formarse una costa mixta con puntas rocosas de origen volcánico, entre las cuales se intercalan lagunas pequeñas con estrechas llanuras de inundación. También aparecen playas arenosas y campos de dunas activos o estabilizados a lo largo del tramo comprendido entre Laguna Verde

y Alvarado. Al sur, en la región del Papaloapan aparece una amplia y elevada barrera arenosa que resguarda al sistema estuarino-lagunar de Alvarado así como extensos y elevados campos de dunas, que se extienden hasta la Punta de Roca Partida y en los cuales penetran lenguas de arena hasta 10 km tierra adentro. Siguiendo la costa se llega a la región de los Tuxtles, donde dominan las costas mixtas abrasivo-acumulativas, en tramos que alternan con salientes rocosas de origen volcánico y playas arenosas, e intercalado entre ellos la barra y laguna de Sontecomapan. Al sur de Veracruz aparece la Laguna del Ostión con una laguna de barrera y amplias llanuras de inundación o marismas con manglar así como una planicie de barrera litoral que cuenta con campos de dunas activos (Ortiz-Pérez en prensa).

En Tabasco, la Laguna del Carmen, La Machona, La Redonda, Laguna Cocal, Laguna Flores y Laguna Mecoacán, están bordeadas por una serie de cordones litorales que forman islas de barrera y que en algunas zonas se prolongan como en la Barra del Grijalva y en la Barra de San Pedro. Se llegan a formar campos con dunas parabólicas en una extensa zona entre la Barra de Tonalá (Laguna Chicozapote) y Barra de Santa Ana (Laguna del Carmen) y alcanzan 15 metros de alto. En el extremo sur de Tabasco y en la zona deltáica y pantanosa de esta entidad, abundan sedimentos clásticos finos, producto de la acumulación de ríos. En Isla del Carmen, hacia Isla Aguada, la playa es relativamente ancha (20 m) y se eleva unos cuatro metros, con campos de dunas bajos. Hacia Champotón, el relieve del cordón se hace más bajo y la playa sólo alcanza unos 3 m de ancho (West *et al.* 1969, Britton y Morton 1989, Castillo *et al.* 1991). Isla del Carmen constituye la isla de barrera que separa la Laguna de Términos del mar.

Aproximadamente 20 km al sur de Campeche se localiza una pequeña extensión donde la plataforma calcárea ha emergido, por lo que se presenta como una costa rocosa. Corresponde a la región de Punta Mastun Grande (Britton y Morton 1989). Hacia el estero Celestún se forma una lengüeta que se alarga paralela al continente. Al norte del estado de Yucatán se localizan el Estero Yukalpetén, Estero El Islote, Estero de río Lagartos y Laguna Flamíngos. Las playas son angostas y los cordones de dunas son bajos y no muy extensos, pues hay gran cantidad de humedales como los petenes, los manglares que frecuentemente están en el interior del estero y sabanas inundables además de que las lagunas son bajas y frecuentemente presentan azolves, esta es la región que recibe menos precipitación en todo el Golfo. En Yucatán y Quintana Roo es frecuente encontrar cordones de dunas paralelos a la línea de costa.

En el norte de Quintana Roo se ubica el Estero Yahalán, y más al sur la Laguna de Nichupté donde la isla de barrera forma parte de Cancún. El camino de Tulum hacia Punta Allen forma un promontorio tipo isla de barrera en las lagunas de Campechén y de San Miguel. Las Bahías de Ascensión y Espíritu Santo también albergan este tipo de formaciones. Las playas y dunas son cintas angostas, ampliamente utilizadas para la siembra de coco, bordeadas hacia tierra adentro por extensas llanuras de inundación cubiertas por humedales de agua dulce, manglares o petenes.

Frente al Puerto de Veracruz, se encuentra el Sistema Arrecifal Veracruzano con cayos e islas de arena calcárea, al igual que en el Arrecife de Tuxpan (Isla Lobos). En la Laguna de Tamiahua también se presentan islotes arenosos con un fuerte contenido de arenas calcáreas. Alrededor de la Península de Yucatán se localizan numerosas islas, algunas de ellas carentes de vegetación. En Campeche se encuentran Triángulo Oeste, Cayo Arcas e Isla Jaina. En Yucatán se localiza el Arrecife Alacranes formado por Isla Desterrada, Isla Muertos, Isla Chica, Isla Larga e Isla Pérez, y cerca se ubica Cayo Arenas. En Quintana Roo, además de las tres islas de mayor tamaño (Cozumel, Mujeres y Contoy), están Cayo Lobos, Cayo Centro y Cayo Norte en el arrecife de Chinchorro, Cayo Culebras e Isla Holbox (Bonet y Rzedowski 1962, Flores 1983 y 1984).

Los tres ambientes antes mencionados se encuentran presentes a todo lo largo del Golfo y Caribe (Castillo y Moreno-Casasola 1998). En general, las dunas activas y las hondonadas permanentemente inundadas son más frecuentes en el Golfo. Estos ambientes están presentes en las islas de barrera, en los sistemas formados por cordones de dunas paralelos y en los grandes sistemas de dunas parabólicos.

En la figura 3 también se presentan algunas características climáticas que permiten entender los patrones físicos que afectan la distribución de especies. Además de existir importantes diferencias en los valores de precipitación total a lo largo del Golfo y Caribe (Moreno-Casasola *et al.* 1998), su distribución varía de manera importante, mostrando una estacionalidad más clara en la zona central del Golfo. En el Golfo de México predominan las arenas silíceas con distintas proporciones de arenas calcáreas, mientras que en el Caribe predominan estas últimas.

LA FLORA DE PLAYAS Y DUNAS

La flora de playas y dunas en general no es ampliamente reconocida como una flora dsitinta, sin embargo, tiene especies que le son características,

especies endémicas que sólo viven en estos ambientes y es relativamente rica en composición. Hasta el momento se han registrado en México 1,638 especies de fanerógamas (pertenecientes a 140 familias) como parte de la flora costera (Moreno-Casasola *et al.* 1998 que representan entre el 5 y el 7% del total de especies que se considera existen para el país (entre 20,000 ó 30,000, según distintos autores). Esto significa un valor relativamente alto si se piensa lo estrecho que es el sistema de las playas y dunas. El número de familias y especies entre regiones es muy variable; así, en el Golfo de México se registraron 429 especies y 89 familias y en el Caribe 456 y 78. Por su longitud y heterogeneidad ambiental el Pacífico es más rico en especies que el Atlántico, ya que en éste último hay 706 especies (97 familias) y en el Pacífico, 1,133 especies y 125 familias.

A nivel de especies hay similitudes entre el litoral Pacífico y el Atlántico (Moreno-Casasola *et al.* 1998). La comparación de los listados florísticos de las cinco regiones en que se dividió el litoral mexicano, utilizando un índice de similitud, muestra la gran semejanza entre las floras del Pacífico norte y del Golfo de California, seguidas por el Golfo y Caribe y en menor grado el Golfo de México y el Pacífico sur (cuadro 1). Las del noroeste de México alcanzan la mayor semejanza, con el índice de similitud más alto (0.41), debido básicamente a que tienen un mismo origen geológico, y clima relativamente árido por lo que comparten las floras del desierto. Las floras que los hacen diferentes son las de la región de los Cabos y la zona tipo mediterráneo, ambas ricas en endemismos. La flora costera del Pacífico norte y del Golfo de California difieren considerablemente de la existente en el Pacífico sur. En menor grado, aunque de gran interés, es la similitud florística entre el Golfo de México y el Caribe con la región costera del Pacífico sur. Ello se explica por la presencia de especies de selvas bajas caducifolias y subperennifolias, entre ellas numerosas leguminosas, que se encuentran sobre sustratos arenosos en ambos litorales y bajo condiciones climáticas semejantes.

Las similitudes entre el Golfo de México y el Caribe son grandes (Moreno-Casasola *et al.* 1998). El valor de similitud alcanzado (0.39) es ligeramente menor al que muestran las floras del Pacífico norte y Golfo de California. La semejanza entre las dos floras del litoral Atlántico obedece probablemente a lo extenso de la planicie costera que permite el paso de las especies a lo largo de climas semejantes. Los climas más extremos, por su bajo nivel de precipitación, se localizan en el extremo norte de Tamaulipas y en el noroeste de la Península de Yucatán. Las diferencias en composición

CUADRO 1. INDICES DE SIMILITUD ENTRE LA FLORA DE PLAYAS Y DUNAS DE CINCO REGIONES DE MÉXICO, EN AMBOS LITORALES

	PACÍFICO NORTE	GOLFO DE CALIFORNIA	PACÍFICO SUR	GOLFO DE MÉXICO	CARIBE
Pacífico norte	—	0.41	0.07	0.06	0.06
Golfo de California		—	0.07	0.05	0.06
Pacífico sur			—	0.30	0.24
Golfo de México				—	0.39
Caribe					—

Fuente: tomado de Moreno-Casasola *et al.* 1998.

obedecen a la presencia de un sustrato silíceo hacia el norte y calcáreo hacia el sur que permite la presencia del elemento caribeño, así como el endemismo de la Península y las zonas semiáridas del norte de Yucatán. Llama la atención la zona central del Golfo, donde los sistemas de dunas tienen una topografía compleja con mayor número de hábitats que favorecen la presencia de especies particulares, por ejemplo las de hábitats acuáticos (Martínez y col. 1997), al igual que una mayor riqueza de especies (Moreno-Casasola 1988).

Las zonas de mayor endemismo costero son la Península de Baja California y la Península de Yucatán, les siguen el Golfo de México y finalmente el Pacífico sur (Moreno-Casasola *et al.* 1998). En la región del Golfo de México el endemismo costero es muy bajo, ya que se presenta en 8 familias con 9 especies. Las Asteraceae incluyen dos especies endémicas, algunas de estas especies crecen más vigorosas bajo condiciones de enterramiento, como *Palafoxia lindenii* y *Chamaecrista chamaecristoides* (Martínez y Moreno-Casasola 1996), y son fijadoras importantes de los médanos móviles del centro del Golfo de México (figura 2). En el Caribe el número de especies endémicas es mayor, ya que suman 32 especies pertenecientes a 21 familias; sobresalen las cactáceas con 6 especies endémicas, Rubiaceae (con 3) y Polygonaceae y Leguminosae con 2 cada una.

La riqueza local de un sitio proviene de la presencia de numerosas especies pertenecientes a unas cuantas familias y del aporte que una gran varie-

dad de familias con pocas especies, cuya presencia varía mucho a lo largo de las costas de México (Moreno-Casasola y Castillo 1992). Para entender este fenómeno se subdividieron las especies que habitan las playas y dunas costeras en tres tipos. El primero corresponde a las especies con una distribución predominantemente costera, es decir en ecosistemas restringidos a las costas como son las playas, dunas, marismas y manglares. El segundo grupo corresponde a especies presentes en las dunas, pero también frecuentes en otros tipos de vegetación (selvas bajas y medianas, sabanas, humedales, encinares, etc.); y el tercero está constituido por aquellas que forman parte básicamente de vegetación secundaria o ruderal (Castillo y Moreno-Casasola 1996). El porcentaje de especies costeras es cercano al 15%, el de especies ruderales es de 40%, y para las pertenecientes a otros tipos de vegetación es de 45%. Ello significa que gran cantidad de especies de tierra adentro encuentran un ambiente propicio para establecerse y reproducirse en las dunas costeras.

LA VEGETACIÓN DE PLAYAS Y DUNAS

La vegetación de las playas y dunas está formada por comunidades de pioneras, de pastizales, matorrales, selvas y bosques, así como vegetación de humedales y acuática. La estructura puede ser baja o alta, abierta o cerrada, espinosa o inerme y frecuentemente se intercalan formando un complejo mosaico espacial (figura 1). Las primeras descripciones de vegetación fueron hechas por Poggie (1962) y Sauer (1967); posteriormente Espejel (1984), Moreno-Casasola y Espejel (1986) y Castillo *et al.* (1991) realizaron una descripción y clasificación de la vegetación del Golfo de México y el Caribe, producto de 44 sitios de muestreo. Con base en esta clasificación se presenta la síntesis florística del cuadro 2. Los términos playa y duna corresponden a estructuras geomorfológicas y como se vio anteriormente pueden estar formadas por distintos microambientes, por lo que decir vegetación de dunas es poco preciso.

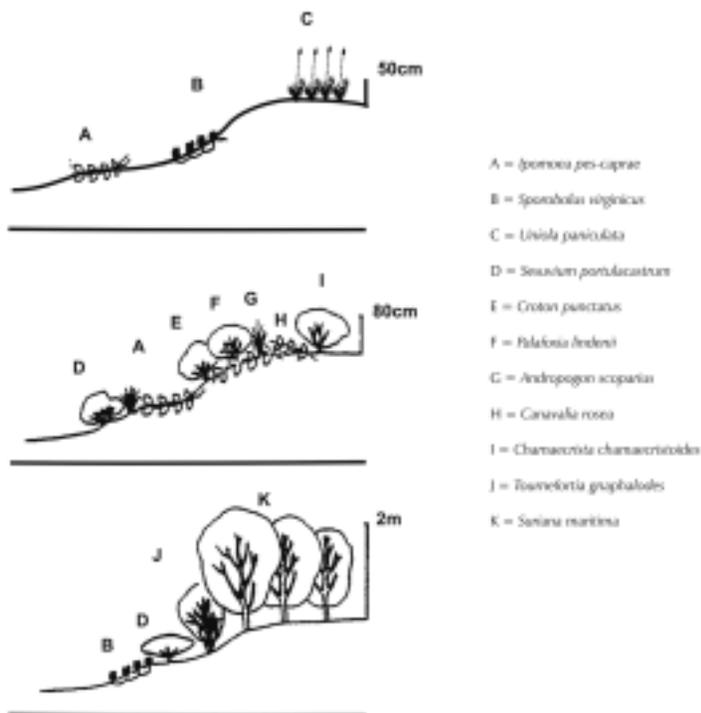
La vegetación de pioneras está formada por especies herbáceas y arbustivas, tolerantes a las condiciones drásticas que imperan en las zonas más móviles del sistema, donde hay movimiento de arena (erosión o acumulación), altas fluctuaciones de la temperatura de la arena, salinidad aérea y a veces edáfica y viento (cuadro 2). Predominan las herbáceas rastrojas y postradas, las amacolladas con estolones y los subarbustos tolerantes al enterramiento. Hacia el Caribe se agregan arbustos de mayor tamaño

CUADRO 2. ESPECIES HERBÁCEAS Y LEÑOSAS QUE SE PRESENTAN EN LOS DISTINTOS TIPOS DE COMUNIDADES VEGETALES QUE SE DESARROLLAN EN LAS DUNAS COSTERAS DEL GOLFO Y EL CARIBE DE MÉXICO

PIONERAS	PASTIZALES	MATORRALES Y SELVAS	ZONAS INUNDABLES	LAGUNAS INTERDUNARIAS
Ipomoea pescaprae, Ipomoea imperatii, Canavalia rosea, Sporobolus virginicus, Uniola paniculata, Schizachyrium scoparium	Schizachyrium scoparium var. littoralis, Trachypogon gouini, Panicum purpurascens, Aristida adscensionis, Pectis satureioides, Commelina erecta, Bidens pilosa, Florestina tripteris	Herbáceas Bidens pilosa	Cyperus articulatus, Lippia nodiflora, Hydrocotyle bonariensis, Iresine celosia, Ambrosia artemisiifolia, Panicum maximum, Schizachyrium scoparium	Sagittaria lancifolia, Pontederia sagittata, Typha domingensis, Acrostichum aureum, Echinochloa pyramidalis, Cyperus articulatus, Ipomoea tiliacea, Calopogonium caeruleum, Laportea mexicana, Hymenocallis littoralis, Hydrocotyle umbellata, Thalia geniculata, Fuirena simplex
Palafoxia lindenii, Croton punctatus, Chamaecrista chamaecristodes Suriana maritima, Tournefortia gnaphalodes, Coccoloba uvifera	Porophyllum nummularium, Verbesina persicifolia, Crotalaria spp., Turnera ulmifolia Opuntia stricta var. dillenii, Randia laetevirens, Diphysa robinioides Tecoma stans	Arbustivas y arbóreas Andira inermis, Tabebuia pentaphylla, Bursera simaruba, Scheelea leibmanii, Pseudophoenix sargentii, Thrinax radiata, Cordia sebestena, Pithecellobium keyense, Coccoloba uvifera	Pluchea odorata, Chrysobalanus icaco, Chiococca alba, Enterobium cyclocarpum, Psidium guajava, Lantana camara	Pachira aquatica, Annona glabra, Salix chilensis, Salix humboldtiana

que funcionan como pioneras. Si se comparan los perfiles de distribución de especies y la estructura de la comunidad, se observan cambios en función de un gradiente latitudinal. La figura 4 muestra para el sur de Tamaulipas (García 1987), el centro de Veracruz, y el norte de Quintana Roo la distribución de especies y de formas de crecimiento a lo largo de un transecto en la playa. Varias de estas especies toleran el enterramiento y algunas otras llegan a crecer más vigorosas cuando se produce acumulación de arena a su alrededor (figura 2). Este movimiento de arena incrementa la humedad presente.

FIGURA 4. PERFILES DE LA VEGETACIÓN PIONERA DE PLAYAS Y DUNAS EMBRIONARIAS A LO LARGO DEL LITORAL ATLÁNTICO DE MÉXICO. A. TAMAULIPAS Y NORTE DE VERACRUZ, B. CENTRO DE VERACRUZ, C. NORTE DE QUINTANA ROO



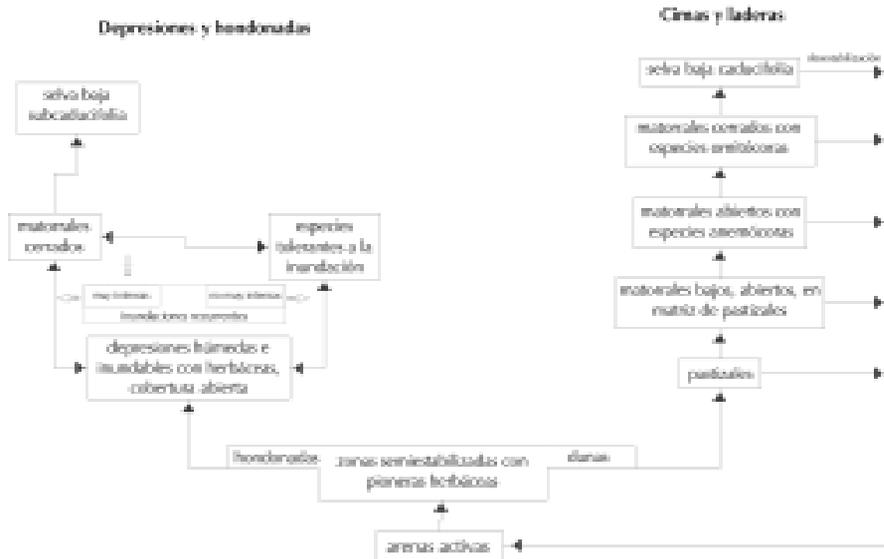
Con el tiempo y el inicio de la estabilización de la arena de la duna, la vegetación de pioneras es reemplazada poco a poco por pastizal (cuadro 2); en estos ambientes hay mayor cobertura de la vegetación, disminuye el movimiento de arena y en general las condiciones son menos drásticas. Al mismo tiempo, esta matriz de pastizales comienza a ser invadida por especies de arbustos. Este fenómeno es muy claro en las hondonadas, donde hay mayor humedad y protección de los vientos. Las primeras especies arbustivas son subarbustos y los primeros individuos aparecen aislados, moteando la matriz de pastos. Una vez establecido el pastizal, comienzan a formarse matorrales abiertos bajos, con abundantes pastos en su interior. A partir de que se establece una comunidad de pastizal, ya se presenta un banco de semillas (Pérez 1993), que junto con la lluvia de semillas (Acosta 1993) representa un elemento fundamental de la sucesión. Poco a poco van apareciendo nuevos individuos arbustivos y frecuentemente la primera etapa está formada por mayor dominancia de unas pocas especies y una mayor cantidad de especies anemócoras que siguen formando matorrales abiertos, aunque de mayor altura. La estructura se va cerrando y la comunidad se enriquece.

Morrison y Yarranton (1974) definen tres procesos mediante los cuales se da la sucesión. En las dunas el proceso de facilitación es el más frecuente, es decir, una comunidad modifica el ambiente facilitando la entrada de otro conjunto de especies que constituyen una etapa sucesional más avanzada (figura 5). Este proceso se presenta en las distintas etapas, desde las primeras fases de colonización por pioneras (Salinas 1992, Martínez *et al.* 1997, Martínez *et al.* 2001), en etapas de establecimiento de pastizales y posteriormente de matorrales abiertos.

En las dunas costeras, las comunidades con una estructura más compleja son las selvas y bosques. En Tamaulipas se establecen bosques de encinares (Cabo Rojo) sobre los cuales hay muy poca información. En Veracruz las selvas bajas caducifolias y la selva mediana subperennifolia son las comunidades dominantes. Esta última aparece actualmente como un remanente en los terrenos de Cicolma (Novelo 1978, Castillo y Moreno-Casasola 1998, Castillo-Campos y Medina 2002); West *et al.* (1969) han reportado su presencia formando manchones para Tabasco, aunque no es claro si estos aún perduran. Hacia Yucatán y Quintana Roo estas selvas tienen una estructura donde las palmas brindan una fisonomía particular (Espejel 1984 y 1987, Moreno-Casasola y Espejel 1986).

Los ambientes húmedos e inundables de los sistemas de dunas permiten la presencia de humedales y aún de cuerpos de agua permanentes (cuadro

FIGURA 5. MODELO DE LAS ETAPAS SUCESIONALES EN UN SISTEMA DE DUNAS.



Se plantean dos vías, una que se da principalmente en cimas y laderas y que mediante un proceso de facilitación atraviesa una fase de pastizal, una de matorral y finalmente se convierte en una selva baja caducifolia. En las depresiones deflasivas se establece otro camino que puede avanzar, también mediante un proceso de facilitación hacia una selva mediana subcaducifolia (cuando las inundaciones son periódicas pero solo se mantienen unas pocas semanas) y otra en que permanece una vegetación herbácea, probablemente mediante un mecanismo de inhibición, cuando las inundaciones permanecen varios meses.

2). Así, en el análisis que Castillo y Moreno-Casasola (1998) realizaron en 44 sistemas de dunas del Golfo y el Caribe, en 40 de ellos registraron estos ambientes. En las hondonadas, las inundaciones constituyen el mecanismo que modula la sucesión, cuando la inundación no es severa o sobreviene un período de secas de varios años, avanza la sucesión y se forma un matorral, y finalmente una selva baja subcaducifolia donde hay elementos arbóreos que toleran la inundación. Por otra parte cuando la inundación es recurrente y se mantiene varias semanas, se establecen comunidades herbáceas que se conservan en el tiempo (Moreno-Casasola y Vázquez 1999).

En el centro de Veracruz se forman humedales totalmente cubiertos con hidrófitas así como lagunas interdunarias con cuerpos de agua abiertos. Los humedales permanecen inundados de 3 a 6 meses y presentan vegetación tolerante a periodos cortos de inundación; este tipo de comunidades también bordea los cuerpos de agua, los cuales presentan vegetación acuática. Las lagunas son cuerpos de agua dulce permanentes, alimentados por el manto freático, someros, con vegetación acuática tanto arbórea como arbustiva.

La descripción anterior, además de representar una secuencia sucesional del centro de Veracruz, también muestra un mosaico espacial formado por distintas comunidades que representan las distintas etapas sucesionales. Cada una de ellas tiene estructura y composición florística diferente, produciéndose un paisaje heterogéneo con comunidades herbáceas, manchones de matorrales y zonas de arena desnuda.

SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMAS PARA SU CONSERVACIÓN Y MANEJO

Actualmente las playas son uno de los mayores atractivos para la recreación y el descanso. Las dunas son transformadas, aplanadas y sustituidas por estructuras de concreto y cemento. En zonas tropicales hay cada vez mayor presión de desarrollos turísticos para brindar servicios y generar una derrama económica muy requerida. Sin embargo, no siempre se hace buscando conservar la dinámica y características de los ecosistemas. Carter (1988) menciona que entre todos los ecosistemas costeros, las dunas de arena son las que han estado sujetas a las mayores presiones por parte del hombre; plantea que muchos sistemas de dunas han sido alterados de manera irreversible por las actividades humanas, tanto de manera accidental como intencionalmente. Los mayores impactos se han dado al modificar el transporte de sedimentos y por lo tanto alterar de manera permanente la dinámica que les es propia y que les permite erosionarse, crecer y volver a erosionarse de manera cíclica. De forma indirecta las playas y dunas también reciben los impactos de las actividades tierra adentro. Existe un alto porcentaje de costas en el mundo (70%) que están sufriendo procesos de erosión. En muchos casos, las actividades del hombre han hecho que este fenómeno se incremente, por ejemplo, limitando el abasto de sedimentos que vienen de tierra adentro (mediante las presas), o bien por obras de protección costera que evitan el movimiento de sedimentos entre las diferentes celdas costeras (Bird 1996). Por tanto, se puede concluir que las playas y dunas están entre los ecosistemas más amenazados del trópico y México no es la excepción.

SERVICIOS AMBIENTALES

Las dunas son importantes desde el punto de vista ecológico por el solo hecho de existir como ecosistemas, pero también por los servicios ambientales que le prestan a la sociedad. Hesp (2000) y van der Maarel (1993-1997), consideran que las playas y dunas son importantes ya que:

- son una fuente o abasto esencial de sedimentos, que a través de su capacidad para moverse y cambiar de forma en las zonas litorales, protegen las tierras interiores de la erosión provocada por las tormentas y el incremento potencial del nivel del mar. Es decir, juegan un papel fundamental en la interfase tierra-mar para la protección de la vida tierra adentro.
- cuando están cubiertas por vegetación, atrapan la arena que acarrea el viento y estabilizan la playa y las dunas, manteniendo de esta manera el abasto de sedimentos que permite que lleven a cabo su papel de protección.
- proveen hábitats especializados para plantas y animales, entre ellos aves.
- representan uno de los ecosistemas más dinámicos de la tierra.
- actúan como un área de filtración de agua de lluvia hacia el subsuelo, ayudando también a mantener una buena calidad de la misma.
- proveen alto valor recreativo y anímico.
- proveen espacio para asentamientos humanos debido a que sobre los campos de dunas se han desarrollado gran cantidad de ciudades costeras que brindan un incremento en el valor de la propiedad.
- han favorecido la evolución de especies adaptadas a las condiciones físicas imperantes en el sistema, entre ellas de plantas tolerantes a las condiciones de movilidad de arena, que es un proceso característico de las dunas.
- proveen un rango de distintos hábitats que van desde condiciones de fuerte aridez hasta ambientes acuáticos tanto temporales como permanentes.
- nos proveen de un rango único de estructuras geomorfológicas y de ecosistemas que tienen un alto valor natural.

PERTURBACIONES Y ALTERACIONES NATURALES DE PLAYAS Y DUNAS

Los Nortes ponen en movimiento una gran cantidad de arena (Poggie 1962, Moreno-Casasola 1982), que forma parte de las perturbaciones recurrentes que les permiten a las dunas funcionar como depósitos de sedimentos. Las

tormentas tropicales y huracanes producen así mismo el desplazamiento de un enorme volumen de arena pero en un tiempo mucho menor, así como una enorme cantidad de lluvia. Se han llegado a registrar 119 mm de lluvia en un sólo día en La Mancha (Kellman y Roulet 1992). Otro efecto del oleaje es la modificación de manera importante de la morfología y topografía de la playa y primeros cordones de dunas (Pilkey *et al.* 1998). El oleaje puede abrir nuevas entradas a una laguna al romper las islas de barrera, puede desestabilizar sistemas de dunas creando nuevas áreas de arenas activas y puede provocar un incremento tal del manto freático, que el período de inundación se mantiene por varios meses produciendo la muerte de la vegetación de hondonadas (Moreno-Casasola y Vázquez 1999).

El otro extremo es la sequía, la cual genera mortandad de plantas tanto en las propias dunas como en las lagunas interdunarias y hondonadas. Una de las principales causas de mortandad en el establecimiento de plántulas de *Chamaecrista chamaecristoides* en las dunas es la falta de humedad (Martínez 1994).

Estos fenómenos traen consigo la mortandad de individuos y/o poblaciones, abriendo espacios donde se reinicia el movimiento de arena. En estas zonas se vuelve a establecer una comunidad de pioneras, tolerantes al enterramiento por arena y comienza a darse nuevamente la sucesión. El paisaje heterogéneo de las dunas se mantiene en el tiempo y en el espacio por la presencia constante de perturbaciones que llevan al sistema a su estado inicial de gran movimiento de sedimentos y por los mecanismos implícitos en los procesos de facilitación que permiten que una comunidad de plantas modifique las condiciones ambientales (estabilización del sedimento y los cambios que ello conlleva) y permita la aparición de otro grupo de especies (figura 5).

ACTIVIDADES HUMANAS Y ALTERACIÓN DE PLAYAS Y DUNAS

Además de la transformación y sustitución del sistema de dunas, existen numerosas actividades que alteran estos ecosistemas. Los principales efectos son la alteración del funcionamiento del ecosistema y su erosión (debido a la modificación del flujo de sedimentos), la transformación de la cubierta vegetal, pérdida de hábitats y por tanto de biodiversidad, y la contaminación. Muchas veces estos impactos generan a su vez conflictos sociales y pérdidas económicas.

Las principales amenazas hoy en día para este importante banco de sedi-

mentos son:

- Desestabilización de las dunas por actividades productivas diversas (desarrollos inmobiliarios, turísticos, actividades recreativas, ganaderas, o bien por extracción de materiales), ya que eliminan la cubierta vegetal y se produce nuevamente el movimiento de arena.
- El desarrollo de facilidades turísticas (o casas de campo) lineales en las que la mayoría busca contacto y acceso directo a la playa.
- Nivelación de las dunas para crear otro tipo de ambientes o para tener vista (campos de golf, parques, potreros, etc.) cambiando la topografía y eliminando su función como ambientes de sedimentación.
- Relleno de lagunas interdunarias para establecer construcciones y ganar terreno.
- Desecamiento de humedales interdunarios para utilización de terrenos para ganadería.
- Erosión de playas por falta de sedimentos, producto del represamiento de caudales de ríos cargados de sedimentos.
- Modificaciones al transporte de sedimentos por corrientes de deriva por la construcción de infraestructura marina.
- Invasión, tanto legal como ilegal, de la zona federal marítimo terrestre.
- Litoralización en aumento y falta de control del proceso de urbanización.
- Introducción de pastizales (nativos y exóticos) y eliminación de cubierta vegetal para actividades ganaderas. Este punto se convierte en una amenaza por lo extendido de su práctica.
- Introducción de especies exóticas vegetales (por ejemplo *Casuarina equisetifolia*, el pino de mar), las cuales eliminan a las especies nativas localmente y modifican la biodiversidad, la composición de especies y la estructura; introducción de tilapia a las lagunas interdunarias.
- Incremento en la población y de los patrones de consumo, haciendo que las dunas se incluyan dentro de los ambientes recreativos para realizar actividades con vehículos de cuatro motores, campos de golf, etc.
- Explotación de bancos de arena en playas y dunas y de piedra en playas rocosas.
- Contaminación de la playa por desechos, dejados ahí por los visitantes, arrojados por el mar o bien por contaminación de las aguas que llegan a la playa; contaminación de lagunas interdunarias por drenajes.
- Desecamiento de humedales interdunarios por extracción de agua del manto freático para riego de cañaverales.
- Salinización del manto freático por extracción de agua dulce y cambio

de las condiciones de los hábitats.

- Falta de reglamentación para el uso de las playas y dunas costeras y falta de control sobre actividades recreativas.
- Erosión producida por los cambios en el nivel del mar y en la frecuencia de eventos como huracanes afecta la morfología de playas y dunas y el abasto de sedimentos.

Las perturbaciones en la vegetación de pastizales y matorrales de dunas costeras son lentas de recuperarse. Boorman y Fuller (1977) llevaron a cabo experimentos en Gran Bretaña mostrando que con 80 caminatas en un mismo sitio durante un mes, se empieza a producir arena desnuda; 150 caminatas hacen que se pierda más de la mitad de la vegetación que cubre el lugar. Experimentos de disturbio realizados en La Mancha mostraron que el sistema requiere tiempo para recuperarse. En las hondonadas donde hay humedad se lleva menor tiempo (Moreno-Casasola 1997, González y Moreno-Casasola 1982), pero en las zonas más secas, la cubierta vegetal requiere varios años para volver a cerrarse. Así mismo, una vereda hecha por el paso de la gente, una vez que ha quedado marcada, deja una huella que requiere muchos años para recuperarse. El continuo caminar produce erosión y esa zona va quedando cada vez a un nivel más bajo que el resto. De ahí la necesidad de contar con planes de manejo que incluyan pasarelas para proteger las zonas que reciben gran cantidad de visitantes.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

En los sistemas de playas y dunas costeros hay diversos ambientes que requieren protección: playas, islas de barrera, cayos e islas, vegetación de pastizal, matorral y selva en dunas, humedales y lagunas interdunarias. Las áreas naturales protegidas en general tienen pocos ecosistemas de este tipo representados. En el litoral Atlántico existen 32 áreas naturales protegidas (ANP) costeras, 9 de ellas en el Golfo y 23 en el Caribe. De éstas, únicamente 5 en el Golfo - Sistema Arrecifal Veracruzano (cayo), La Mancha (playas, dunas, selva costera), Playa Rancho Nuevo y Lechugillas (playas tortugueras), Isla del Amor (playa) y 13 en el Caribe (Sian Ka'an, Ría Celestún, Ría Lagartos, Isla Contoy, Tulum, Yum Balam, Dzilam, Chan-Kanaab, las playas tortugueras de El Palmar, la playa adyacente a Ría Lagartos y las playas de Isla Contoy, los cayos de Banco Chinchorro y Arrecife Alacranes) tienen representados ambientes de playas y dunas. En ninguna ANP están representadas las islas de barrera y los

humedales de dunas como ambientes realmente protegidos.

En general, este número no es suficiente, es necesario contar con áreas protegidas costeras en las distintas regiones del Golfo y el Caribe, ya que hay una gran riqueza florística, especies de plantas endémicas, fauna vulnerable que necesita de estos hábitats para obtener refugio y alimento, tanto entre las residentes como entre las migratorias. El caso del Golfo es dramático por la escasez general de áreas de protección y requiere de atención urgente. Un análisis del número de áreas naturales protegidas en México muestra situaciones muy desiguales (Moreno-Casasola en prensa). La región del Pacífico norte (es decir, los litorales Pacíficos de Baja California y Baja California Sur) junto con el Golfo de México, son las regiones más pobres en áreas naturales protegidas (solamente 6% de la superficie de las reservas costeras se ubican en estas dos extensas regiones). El 54% de la superficie costera protegida se localiza en el Golfo de California y en los estados que colindan con este mar. En el Caribe se localiza el 25% y en el Pacífico tropical el 15%, mientras que el Golfo de México y el Pacífico norte presentan valores sumamente bajos (5 y 1%, respectivamente). Se requiere establecer sistemas de áreas naturales protegidas con zonas de dunas y de playas en las cuales haya un control de actividades y se garantice su preservación.

Por otro lado, se ha documentado que una vez que las dunas son protegidas y se evitan las perturbaciones, rápidamente se da el proceso sucesional que lleva al establecimiento de las comunidades de las últimas etapas de la sucesión, eliminando los ambientes de pioneras y aún de pastizales. Esto se ha visto claramente en la reserva de Cicolma. Por tanto, es necesario que la protección de estos ambientes tan frágiles se de a través de un sistema que garantice el mantenimiento de las distintas etapas sucesionales que conforman el sistema de dunas. Ello implica que las áreas naturales protegidas de dunas tengan una superficie tal que permita que estén representadas las etapas pioneras, los pastizales, los matorrales y finalmente las selvas. Así mismo, deberán establecerse planes de manejo que permitan la coexistencia de estas distintas etapas.

CAMBIO CLIMÁTICO

En el Golfo y Caribe de México existen costas que están en retroceso hacia el continente. Ello puede deberse a sumersión, a inactividad deltáica o a elevación del nivel del mar, o bien a un conjunto de estos factores. Estas costas son sumamente vulnerables a los efectos del cambio climático y sus poblaciones están en riesgo. En este caso se encuentran las costas del norte de Tamaulipas, tanto en la zona de

la llanura de inundación del río Bravo, como a lo largo de la Laguna Madre, donde especialmente las islas de barrera se verán fuertemente afectadas. Estas islas se irán erosionando y haciéndose más delgadas, hasta finalmente fragmentarse.

El sur de Tamaulipas y la mayor parte de Veracruz presentan una línea costera que está avanzando hacia el mar o bien costas en equilibrio. Hay cordones de dunas o campos extensos de médanos, los cuales sufrirán erosión, pero tienen suficiente masa y tamaño como para resistir la pérdida de sedimentos. De manera más específica, también son vulnerables las barras temporales que separan el mar de las lagunas costeras en esta región. En estos casos el equilibrio, y por tanto el tiempo que permanece abierta la barra, depende de los sedimentos que se arrastran a lo largo del litoral y de la cantidad de agua de lluvia que baja y se acumula en la laguna. Las escolleras y obras de apertura de barras también están incrementando la vulnerabilidad de estas barreras.

La zona del delta del Grijalva y Usumacinta también es una zona vulnerable ya que la línea de costa está en retroceso, además de que hay una disminución del aporte de sedimentos, colocándola en una situación semejante a la del delta del Misisipi (Day *et al.* 1999). Así, en la zona oeste de Tabasco, las barras frente a las lagunas más pequeñas desaparecerán al ser arrastradas por el mar, creando una línea costera muy indentada. El segmento que abarca desde Tupilco (Tabasco) hasta Champotón, es muy bajo y ancho y se erosionará rápidamente conforme los mayores niveles de mar remueven los sedimentos (Ortiz-Pérez 1994, Ortiz-Pérez, Valverde y Psuty 1996). La región de Laguna de Términos también es una zona frágil.

En general, la Península de Yucatán presentan una línea costera que está avanzando hacia el mar o bien costas en equilibrio, mientras que en el sur de Quintana Roo, está retrocediendo (Ortiz y Espinosa 1991). De manera particular el incremento en el nivel del mar afectará las islas de barrera del Caribe (Isla del Carmen, norte de Yucatán y Cancún), así como los humedales y las islas de Bahía de Espíritu Santo y de Ascensión.

UNA VISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMÁTICA DE PLAYAS Y DUNAS EN EL GOLFO Y CARIBE DE MÉXICO

TAMAULIPAS

Predominan islas de barrera con actividades de ganadería extensiva, vulnerables a la elevación de nivel del mar. La Laguna Madre está sumamente deteriorada, hay salinización de cuerpos de agua y disminución muy im-

portante de sedimentos y de aguas dulces por represamientos. Es una zona importante de pesquerías por lo que se han hecho modificaciones de las islas de barrera para mejorar la comunicación con el mar. En el sur hay crecimiento urbano y turístico. No hay áreas naturales protegidas.

VERACRUZ

La isla de barrera en Tamiahua presenta una fuerte transformación de la cubierta vegetal por ganadería, al igual que la gran mayoría de las zonas de dunas del estado. Hay un desarrollo turístico creciente en la zona centro, principalmente en áreas de cordones de dunas (Tecolutla, Tuxpan, Costa Esmeralda) y nuevos proyectos a desarrollar que buscan sustituir los campos de dunas por urbanizaciones turísticas (San Julián, La Antigua, Alvarado). Es frecuente la invasión de la zona federal marítimo terrestre y hay poca claridad de la misma en las zonas de médanos. Se presentan grandes sistemas de dunas con una importante riqueza de ambientes y por tanto de flora y fauna, aunque las selvas han sido eliminadas casi en su totalidad. Los dos sistemas arrecifales, protectores y modificadores de la zona costera continental frente a ellos, están situados en dos polos de desarrollo industrial y urbano, por lo tanto sujetos a fuertes presiones. Sólo se encuentra protegido un pequeño sistema de dunas en La Mancha y las islas del Sistema Arrecifal Veracruzano, ya que la costa no forma parte del área núcleo de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas. La región de Alvarado, las islas de barrera, así como algunas otras más puntuales que tienen zonas bajas (Mandinga, La Mancha, etc.) son muy vulnerables a la elevación del nivel del mar.

TABASCO

Es una zona deltaica de gran fragilidad, donde los potreros y cocotales han sustituido la cubierta de vegetación natural casi en su totalidad. Las selvas costeras han desaparecido. Las operaciones de Pemex han modificado flujos de escurrimientos de agua y por tanto de transporte de sedimentos. Las operaciones industriales están produciendo subsidencia de áreas del delta. Es una zona sumamente vulnerable a los efectos del cambio climático global. El área costera protegida solamente abarca humedales.

CAMPECHE

Se inicia una región con características muy distintas, una gran plataforma cárstica, con el principal flujo hidrológico en el subsuelo, abundancia de islas de barrera y arena de origen biogénico. Hay un fuerte desarrollo urbano en una isla de barrera, vulnerable al cambio climático global, y que ya ha sido afectada por el paso de huracanes. La mayor parte de las playas y dunas están alejadas de las vías de comunicación importantes y no hay un fuerte desarrollo turístico en la zona costera.

YUCATÁN

La vegetación costera ha sido sustituida por ranchos cocoteros la mayoría abandonados. Es una región con endemismos costeros importantes en las playas y dunas. Hay desarrollo portuario y sobre todo turístico lineal, explotación de sal en lagunas costeras, modificación de flujos hidrológicos y sedimentos, apertura de barras. Hay áreas naturales protegidas importantes.

QUINTANA ROO

Al igual que en Yucatán, los ranchos cocoteros modificaron gran parte de la vegetación costera y actualmente están siendo reemplazados por instalaciones de desarrollo turístico. En algunas hay una sustitución de la estructura geomorfológica de las dunas por edificaciones, mientras que en otras se promueve el mantenimiento de una pequeña porción de la vegetación original en los desarrollos. Sin embargo, el crecimiento lineal a lo largo de la costa es muy fuerte y hay presiones de desarrollo aún en islas de barrera muy angostas y frágiles, como es en la Reserva de Sian Ka an.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. México tiene litorales extensos con distintos tipos de climas y composición de la arena, permitiendo una gran riqueza de ecosistemas costeros. El Golfo se localiza en la parte central de una placa tectónica y constituye una enorme zona de sedimentación.
2. Los sistemas de dunas están formados por tres tipos de ambientes: ambientes de dunas activas, ambientes de hondonadas húmedas e inundables, y ambientes estabilizados. En cada uno de ellos predominan

condiciones microambientales diferentes y por tanto diversos grupos florísticos. El primero de ellos es el hábitat de especies endémicas fijadoras de dunas. Son sistemas sumamente dinámicos y por ello muy frágiles.

3. Existe una flora costera rica en especies, con numerosas endémicas sobre todo en ambas penínsulas y con grandes diferencias regionales. Las mayores similitudes se dan entre floras contiguas como es la del Pacífico norte y el Golfo de California y la del Golfo de México y el Caribe. Le siguen las del Atlántico con la del Pacífico sur, principalmente porque comparten especies pantropicales así como numerosos arbustos y árboles de selvas. La flora y la estructura de la vegetación del Golfo y Caribe de México se conocen bastante bien. La región del Golfo que aún requiere de trabajo florístico y descriptivo es Tamaulipas, sobre todo el centro y norte y el norte de Veracruz, en la zona de Cabo Rojo. Es necesario reconocer que existe una flora costera, que es rica, con atributos funcionales propios y que requiere ser protegida.
4. La vegetación de las playas y dunas realmente está conformada por comunidades de pioneras, pastizales, matorrales, selvas, humedales y ambientes acuáticos. Forman un mosaico tanto en el tiempo como en el espacio, lo que hace a las dunas costeras un sistema diverso y heterogéneo. La flora costera está formada por especies que solamente habitan sistemas costeros, especies frecuentes en zonas perturbadas (ruderales, acahuales) y especies frecuentes en otros tipos de vegetación tierra adentro.
5. El proceso dominante durante la sucesión es la facilitación, mediante la cual las poblaciones que componen una etapa sucesional modifican el ambiente de tal manera que facilitan la entrada de otras especies, de una etapa sucesional posterior. En las hondonadas inundables el proceso de inhibición juega un papel importante evitando que ésta continúe. Es importante ahondar más en la dinámica de la vegetación y en el funcionamiento del ecosistema.
6. Las especies costeras presentan numerosas adaptaciones a las condiciones imperantes en estos ecosistemas. Abarcan respuestas en la etapa de germinación, de establecimiento, de crecimiento, etc. Hay numerosas especies de las cuales se ignora su ecología y fisiología, y que son clave en el funcionamiento del ecosistema.
7. Las playas y dunas costeras proporcionan importantes servicios ambientales al ser humano al actuar como una zona de amortiguamiento entre el mar, la tierra y la atmósfera: protegen la zona costera durante tormentas y huracanes, atrapan la arena, filtran el agua, proporcionan

- hábitats especializados para flora y fauna.
8. Hoy en día se encuentran entre los ecosistemas que más han sido afectados por el hombre. Las actividades productivas, principalmente los desarrollos turísticos lineales, y la transformación en potreros para ganadería extensiva han transformado su geomorfología y cubierta vegetal.
 9. Son ecosistemas sumamente frágiles por lo que actividades como el pisoteo, la extracción de agua del manto freático, la invasión de especies exóticas, entre otras, han producido un fuerte deterioro. No existe en la legislación mexicana ninguna normatividad para el manejo de estos ecosistemas.
 10. Las playas principalmente, pero también las dunas, son ecosistemas muy vulnerables al cambio climático global y a la elevación de nivel del mar.
 11. No hay una evaluación en México del grado de erosión de las playas y lo que ello implica para los proyectos de desarrollo turístico costero.
 12. La situación actual hace necesario tomar medidas para conservar el funcionamiento de estos ecosistemas y su biodiversidad: creación de nuevas áreas protegidas, reglamentos para el uso y manejo de estos sistemas, redefinición de la zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar con base en criterios geomorfológicos y ecológicos en función de las distintas regiones del país y su delimitación en las costas, identificación de áreas vulnerables y de riesgo, impulsar las Manifestaciones de Impacto Ambiental en la zona costera con base en la conservación del funcionamiento de la dinámica costera, entre las más importantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, I. 1993. Lluvia de semillas en los pastizales y matorrales de dunas costeras. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM.
- Bird, E.C. 1996. *Beach management*. John Wiley & Sons. New York. 281 pp.
- Boorman, L.A. y R.M. Fuller. 1977. Studies on the impact of paths on the dune vegetation at Winterton, Norfolk, England. *Biological Conservation* 12: 203-216.
- Bonet, F. y J. Rzedowski. 1962. La vegetación de las islas del Arrecife Alacranes, Yucatán. **An. Esc. Nac. Ci. Biol.** 11 (4): 15-59.
- Britton, J.C. y B. Morton. 1989. *Shore ecology of the Gulf of Mexico*. University of Texas Press. Austin. 387 pp.
- Carter, R.W.G. 1988. *Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of the coastlines*. Academic Press. New York. 617.

- Castillo-Campos, G. y M.E. Medina. 2002. *Árboles y arbustos de la Reserva Natural de La Mancha, Veracruz*. Instituto de Ecología A.C. 143 pp.
- Castillo, S., J. Popma y P. Moreno-Casasola. 1991. A typological study of the vegetation of the coastal dunes of Tabasco and Campeche, Mexico. *J. Vegetation Science* 2:73-88.
- Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1996. Sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. *J. Coastal Conserv.* 2: 13-22.
- Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1998. Análisis de la flora de dunas costeras del Golfo y Caribe de México. *Acta Botanica* 45: 55-80
- Contreras, F. 1993. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CONABIO-UAM. México D.F. 415 pp.
- Day, J., G.P. Schaffer, L.D. Britsch, D.J. Reed, S.R. Hawes y D. Cahoon. 1999. Pattern and process of land loss in the Louisiana coastal zone: an analysis of spatial and temporal patterns of wetland habitat change. En: Rozas, L.P. *et al.* (eds). *Symposium on Recent research in coastal Louisiana: natural system function and response to human influence*. Louisiana Sea Grant Program: 193-202.
- Doing, H. 1981. A comparative scheme of dry coastal dune habitats, with examples from the eastern United States and other temperate regions. *Veroff. Geobot. Inst. Rubel* 77: 41-72.
- Espejel, I. 1984. La vegetación de las dunas costeras de la Península de Yucatán. I. Análisis florístico del Estado de Yucatán. *Biotica* 9: 183-210.
- 1987. A phytogeographical analysis of coastal vegetation in the Yucatan Peninsula. *J. Biog.* 14: 499-519.
- Flores, J.S. 1983. Vegetación insular de la Península de Yucatán. *Bol. Soc. Bot. México* 45: 23-37.
- 1984. Dinámica de emersión del suelo y sucesión de la vegetación en el Arrecife Alacranes del Canal de Yucatán. *Biotica* 9 (1): 41-63.
- García, M.T. 1987. Descripción de la vegetación de dunas costeras del sur de Tamaulipas, México. Tesis de licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM. México.
- González, L. J. y Moreno-Casasola, P. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: efecto de una perturbación artificial. *Biotica* 7 (4): 533-550.
- Hesp, P. 2000. *Coastal sand dunes*. Form and function. CDVN Technical Bulletin no. 4. Massey University. Nueva Zelanda. 29 pp.
- Kellman, M. y Roulet, N. 1990. Stemflow and throughfall in a tropical dry forest. *Earth Surface Processes and Landforms* 15: 55-61.
- Martínez, M.L. 1994. Sobrevivencia y establecimiento de plántulas de una especie colonizadora de dunas costeras: *Chamaecrista chamaecristoides*. Tesis Doctoral, Fac. Ciencias, UNAM, México D.F.
- Martínez, M.L. y P. Moreno-Casasola. 1996. Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species. *J. Coastal Research* 12 (2): 406-419.

- Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P. y G. Vázquez. 1997. Long term effect of sand movement and inundation by water on tropical coastal sand dune vegetation. *J. Canadian Bot.* 75: 2005-2014.
- Martínez, M.L., G. Vázquez y S. S. Colón. 2001. Spatial and temporal variability during primary succession on tropical coastal sand dunes. *J. Vegetation Science* 12: 361-372.
- Moreno-Casasola, P. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: factores físicos. *Biotica* 7 (4): 577-602.
- 1988. Patterns of plant species distribution on Mexican coastal dunes along the Gulf of Mexico. *J. Biogeog.* 15: 787-806
- 1997. Vegetation differentiation and environmental dynamics along the Mexican Gulf coast. A case study: Morro de la Mancha. En: E. van der Maarel (ed.). *Dry Coastal Ecosystems*. Cap. 27. Vol. 2C. Elsevier Publishing Co., Amsterdam: 469-482.
- Moreno-Casasola, P. y S. Castillo. 1992. Dune ecology on the eastern coast of Mexico. En: U. Seelinger (ed.) *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press. N. York: 309-321.
- Moreno-Casasola, P. y Espejel, I. 1986. Classification and ordination of coastal dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio* 66: 147-182.
- Moreno-Casasola, P. Moreno-Casasola P, Espejel I, Castillo S, Castillo-Campos G, Durán R, Pérez-Navarro JJ, León JL, Olmsted I, Trejo-Torres J. 1998. Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. En: Halffter, G. (Ed.) *Biodiversidad en Iberoamérica*. Vol. 2. CYTED- IdeE: 177-258.
- En prensa. Areas naturales protegidas costeras en México ¿Son suficientes? En: P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello (eds.) *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. Gobierno del Estado de Veracruz-Consejo Estatal de Protección al Ambiente-Instituto de Ecología A.C.
- Moreno-Casasola, P. y G. Vázquez. 1999. The relationship between vegetation dynamics and water level in tropical dune slacks. *J. Veg. Science* 10: 515-524.
- Morrison, R.G. y G.A. Yarranton. 1974. Vegetation heterogeneity during a primary succession. *Can J. Bot* 52: 397-410.
- Novelo, R.A. 1978. La vegetación de la Estación Biológica El Morro de la Mancha, Veracruz. *Biotica* 3 (1): 9-23.
- Ortiz-Pérez, M.A. 1994. Repercusiones del ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México: un enfoque geográfico de los problemas del cambio global. En: C. Gay, L.G. Ruiz, M. Imaz, C. Conde y O. Sánchez (eds.) *Memorias del 1er Taller de estudio del país: México. México ante el cambio global*. Memorias. Cuernavaca 18-22 abril, 1994. Instituto Nacional de Ecología, UNAM. 191-196.
- Ortiz, P.M.A. y R.L.M. Espinosa. 1991. Clasificación geomorfológica de las costas de México. *Geografía y Desarrollo* 2 (6): 2-9.

- Ortiz-Pérez, M.A., C. Valverde y N.P. Psuty. 1996. The impacts of sea level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast. En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate (eds.) *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. Serie Científica 5. 459-470.
- Ortiz-Pérez, M.A. En prensa. Características físicas de las costas: bases para su regionalización. El caso de la costa Veracruzana En: P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello. (eds.) *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. Gobierno del Estado de Veracruz-Consejo Estatal de Protección al Ambiente-Instituto de Ecología A.C.
- Pérez, N. 1993. Banco de semillas en los pastizales y matorrales de dunas costeras. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM.
- Pilkey, O.H., W.J. Meal, S.R. Riggs, C.A. Webb, D.M. Bush, D.F. Pilkey, J. Bullock, B.A. Cowan. 1998. *The north Carolina Shore and its barrier islands. Restless ribbons of sand*. Duke University Press. Durham. 318 pp.
- Poggie, J.J. 1962. *Coastal pioneer plants and habitat in the Tampico region, Mexico*. Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ., Baton Rouge, La. Techn. Rep. 17A: 1-62.
- Ranwell, D. 1972. *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman and Hall. Londres. 258 pp.
- Salinas, G. 1992. Crecimiento de especies arbóreas bajo diferentes condiciones de suelo y cobertura. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM.
- Sauer, J.D. 1967. *Geographic reconnaissance of seashore vegetation along the Mexican Gulf coast*. Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ., Baton Rouge, La. Techn. Rep. 56: 1-59.
- van der Maarel, E. (1993-1997). *Dry Coastal Ecosystems*. Elsevier Publishing Co., Amsterdam. Vol. 1, 2 y 3C.
- West, R.C., N.P. Psuty y B.G. Thom. 1969. *The Tabasco lowlands of southeastern Mexico*. Coastal Studies Institute. Louisiana state University. Tech. Rep. 70: 1-193.

FLORA Y VEGETACIÓN DE LOS HUMEDALES DE AGUA DULCE EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO

Antonio Lot

INTRODUCCIÓN

Los humedales de agua dulce están íntimamente relacionados con el conjunto de sistemas estuarinos y marinos del Golfo de México. Su separación es artificial y es imprescindible entender en un contexto más amplio sus características, interrelaciones e importancia como parte de los humedales costeros, por lo que se recomienda la lectura de otros capítulos incluidos en esta misma sección de los ecosistemas del Golfo de México.

El Golfo de México está considerado como el noveno cuerpo de agua más grande del mundo, cubre una región de 1,314.000 metros cuadrados con 33 sistemas ribereños y 207 estuarios (Giattina y Altzman 1999).

Sólo en el Golfo de México existen dos de las planicies de inundación más extensas del continente, representadas por los deltas del Misisipi y del Grijalva-Usumacinta. El primero cubre el 40% de las marismas costeras y humedales dulceacuícolas más importantes de los Estados Unidos de América (Day 1988) y el segundo contribuye con el 30% del total del flujo de agua dulce de México (Chavez 1988). La descarga anual del río Misisipi se estima en 577 km³ (lo que constituye el segundo gasto fluvial de cualquier río en el mundo) y el delta forma una pluma de agua dulce que se extiende a más de 100 km en la plataforma costera del Golfo de México frente a las costas de Luisiana y Texas (Birkett y Rapport 1999), con un gran efecto en su

descarga por todo el material terrígeno, nutrientes disueltos y materia orgánica (Darnell y Defenbaugh 1990).

Se desconoce información equivalente de los humedales y deltas que descargan sus aguas y sedimentos suspendidos de las costas mexicanas, particularmente de los ríos Grijalva y Usumacinta.

En general, se reconoce la importancia de los humedales con relación a la diversidad de la flora y fauna y la extinción de algunas especies, pero también por una infinidad de recursos y servicios que las planicies de inundación aportan en la región costera a los países que circundan el Golfo: Estados Unidos (Texas, Luisiana, Misisipi, Alabama y Florida), México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y parte de Quintana Roo) y Cuba (Cabo San Antonio, litoral oriente), entre los que destacan la pesquería, aprovechamiento de recursos forestales y animales, agricultura de irrigación, transporación fluvial y recreación. De manera especial hay que destacar las reservas de gas, petróleo y otros recursos no renovables, que son motivo de exploración, explotación y abandono, con la consecuente modificación y destrucción del hábitat en los humedales del Golfo de México.

PRINCIPALES HUMEDALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Una posible subdivisión regional de los humedales considerada para este ensayo retoma la clasificación que propone Moreno-Cassasola (1999) en seis grandes áreas:

1. Delta del Misisipi
2. Everglades
3. Parte central del Golfo de México
4. Delta del Usumacinta
5. Península Yucatanense
6. Cuba

En el estudio de Moreno-Cassasola (1999) se presenta una tabla comparativa de las principales características de la naturaleza de cada región (geomorfológicas, hidrológicas y climáticas), que es fundamental considerar en cualquier intento que pretenda comparar un ecosistema de tal tamaño. En buena medida estas características se ven reflejadas en la distribución y composición de la flora, por lo que preliminarmente y de manera general, podemos encontrar similitudes entre los humedales del Misisipi con los del

Usumacinta y los de la parte central en los estados de Tamaulipas y Veracruz. Los humedales de Florida, particularmente los Everglades, son diferentes a todos los demás en cuanto a su particular vegetación arbórea, aunque algunas comunidades inundables (como los petenes, entre otras) cercanas a la costa son similares a las presentes en la Península Yucatanense. Esta última, principalmente en su franja costera y en la Isla de Cuba, tienen mayor afinidad caribeña y se relacionan más con las Antillas que con el Golfo de México.

Según Day (1988), una diferencia importante entre la región del Delta del Misisipi y el Delta del Usumacinta es el impacto de las actividades humanas, en el sentido de un mayor efecto en el tiempo en las planicies del Misisipi, especialmente por los desarrollos humanos no planeados que se traducen, entre otros efectos, en la acumulación de grandes cantidades de nutrientes (eutroficación) provenientes de sedimentos erosionados de terrenos agrícolas, y que han degradado severamente los sistemas naturales, a diferencia de la gran región inundable de Tabasco y Campeche, donde aún hay tiempo (habría que revalorarlo en la actualidad) para hacer un planteamiento en la conservación y manejo de los recursos naturales.

La eutroficación es un proceso caracterizado por la acumulación de nutrientes, principalmente favorecidos por las actividades humanas y, que se refleja por afloramientos de algas, mortandad de peces nativos por bajos niveles de oxígeno disuelto y, en muchos casos, por la sustitución de peces tolerantes a la contaminación por escurrimientos agrícolas y urbanos (Day 1988). Otros efectos derivados por la construcción de canales con una amplia red de más de 15,000 km en el estado de Luisiana conllevan la entrada de agua de mar a zonas internas de agua dulce, causando la desaparición de la flora y fauna dulceacuícola, además de la modificación (dragado y depósito de azolve) de las propias marismas. Dichos canales artificiales se emplean para facilitar el drenaje y controlar inundaciones, navegación, pero principalmente para diversas actividades petroleras (Day 1988).

CLASIFICACIONES DE HUMEDALES Y SU PROBLEMÁTICA

En general, las diferentes clasificaciones y definiciones de los diversos humedales en el mundo resultan muy complicadas al intentar adoptarlas para nombrar y agrupar los cuerpos de agua de una determinada región o país. Evidentemente los cambios existentes a diferentes latitudes por el origen y naturaleza de cada humedal y por el diferente grado de conocimiento y de información, no permiten identificar alguna de las clasificaciones como un sistema univer-

sal equivalente. Sin embargo, es importante señalar que en un plano general como punto de partida, se pueden considerar a 5 grandes reinos o sistemas de humedales, adoptados de la Convención Ramsar (Niering 1985):

I Costeros (con influencia oceánica)

1. Marinos
2. Estuarinos

II Dulceacuícolas

3. Lacustres
4. Ribereños
5. Palustres.

Entre los primeros (costeros) estarían las marismas, los manglares y las comunidades de pastos marinos o ceibadales (nombre con el que son conocidos en las costas mexicanas y antillanas). Entre el segundo gran grupo con influencia de agua dulce, que es el que nos interesa en el presente capítulo, resulta confuso y complicado diferenciar y agrupar un gran número de ambientes acuáticos por la gran gama de hábitats y ecotonos que se presentan en un continuo de humedales del Golfo de México, pero en términos generales podríamos caracterizarlos de la siguiente forma: lacustres como los humedales constituidos por lagos y estanques; ribereños como cuencas inundables, ríos y arroyos; palustres con tres grandes divisiones ampliamente utilizadas en Estados Unidos y Canadá: *marshes* (pantanos de herbáceas emergentes), *swamps* (grandes planicies inundadas dominadas por plantas leñosas) y *bogs* (áreas formadas por los glaciares con suelos pobres en nutrientes, extremadamente ácidos con árboles y arbustos perennifolios con una cubierta de *Sphagnum* en el piso). Un tercer grupo estaría conformado por los cuerpos de agua artificiales creados por el hombre.

La reconocida clasificación Ramsar presenta serias limitaciones de uso en la categoría *inland wetlands* y particularmente en la definición de los humedales dulceacuícolas, como lo señalan Semeniuk y Semeniuk (1997), fundamentalmente por ser un sistema que emplea la combinación de varios criterios con definiciones imprecisas que hacen inconsistente su aplicación.

LA FLORA COMO BIOINDICADOR DE LOS PRINCIPALES HUMEDALES COSTEROS

Algunas clasificaciones, sobre todo cuando jerárquicamente se intenta tipificar el humedal, toman en consideración las características fisonómicas de

la vegetación. En este sentido, la composición florística nos auxilia en la identificación de diferentes humedales. Sin embargo, hay que ser cuidadosos en la interpretación que demos a la presencia o ausencia de determinadas especies, en particular si no tenemos un conocimiento apropiado de la flora y la vegetación del lugar de estudio. La reconocida plasticidad de la naturaleza de las plantas acuáticas es el reto fundamental al que se enfrentan los ecólogos y otros profesionales que intervienen en el manejo y conservación de humedales. Lo anterior nos recuerda la existencia de especies de hidrófitas (plantas vasculares acuáticas) estrictas y facultativas al medio acuático y lo subjetivo que puede resultar ordenar a todas las formas de vida que se distribuyen en los diferentes humedales, pero también en sus bordes y ecotonos.

Algunos autores, como Hofstetter (1988), enfatizan lo significativo que es el impacto de las actividades humanas en la respuesta morfológica y fisiológica de algunas hidrófitas que se adaptan a la modificación de su hábitat. Entre dichas respuestas resaltan las siguientes:

- 1) cambios fenológicos
- 2) disminuye la concentración de compuestos secundarios ligados a la defensa contra herbívoros
- 3) disminuye la capacidad de resistencia a enfermedades
- 4) cambios morfológicos en su aspecto general, vigor, tamaño y presencia de partes muertas.

El reciente estudio de Aznar *et al.* (2003) ilustra algunos casos de la relación entre la presión del hombre y los indicadores de la vegetación acuática y el paisaje, principalmente de los humedales del Mediterráneo. Entre sus observaciones destaca el significado de las comunidades de hidrófitas como integradoras del humedal y la presencia de algunas especies que dependen del disturbio, como *Ludwigia peploides* (hidrófita cosmopolita invasora que sustituye a numerosas especies nativas), y en general el reemplazo de plantas acuáticas especializadas por especies generalistas y exóticas. La presencia creciente de canales y diques para el manejo del agua por el hombre favorecen la dispersión y establecimiento de malezas y plantas invasoras en general. Una hipótesis importante de la investigación indica que las mediciones de la densidad espacial de las comunidades de hidrófitas relacionadas con la red hidrológica definen indicadores específicos del paisaje y permiten estimar la presión antropogénica sobre la biodiversidad (Aznar *et al.* 2003).

Un ejemplo que documenta este tipo de impacto del desarrollo humano en los humedales del Golfo de México, para el área de las planicies de inundación del Misisipi en Luisiana, señala que el resultado en los cambios hidrológicos a partir de la construcción de bordos, diques, cortes directos para evitar meandros de ríos y la construcción de canales, conducen a una hidrología errática, incrementando las inundaciones en lugar de evitarlas (Day 1988).

El análisis de Higer y Kolipinski (1988) de una zona de los pantanos de Everglades en Florida, demuestra que la disminución de la vegetación acuática de herbáceas y la sustitución por vegetación arbórea subacuática o terrestre y algunas poblaciones puras de ciperáceas, se deben al acortamiento de los períodos de inundación, particularmente entre los años de 1940 y 1951. A partir del gran proyecto para la construcción del controlador del flujo de agua, se observó una pérdida de suelo y su compactación y oxidación que en conjunto con el frecuente uso del fuego, aceleró el bajo nivel del agua y condiciones inadecuadas para el desarrollo de la vegetación acuática nativa.

Además de considerar los elementos mencionados anteriormente, resulta imprescindible realizar investigaciones que aporten información sobre la estructura comparativa entre los tipos de vegetación y asociaciones vegetales, que se pueden distinguir en el mosaico de humedales, principalmente en cuanto a la composición florística y formas de vida, diversidad, estacionalidad, distribución y zonificación de las especies dominantes.

Bajo este enfoque, que parte de las unidades de vegetación y de su composición florística, se intenta describir a los humedales de agua dulce de la región costera del Golfo de México.

Sin embargo, hay que reconocer la presencia de algunos humedales sin vegetación o con pequeñas formaciones vegetales, frecuentemente de emergentes a lo largo de las orillas someras de grandes cuerpos de agua. Algunos de los factores que limitan la presencia de vegetación son la acción constante del oleaje, las fluctuaciones extremas del nivel del agua y los sedimentos pobres en nutrientes o con altas concentraciones salinas. Un ejemplo de esta situación, que puede considerarse como un tipo de humedales intermitentes sin vegetación o con algunos elementos aislados de plantas, lo tenemos en los llamados blanquizales, planicies inundables durante la época de lluvias en las zonas costeras de Campeche (Zamora 2003). Las formas sumergidas desaparecen con el aumento de partículas en suspensión y permanente grado de turbiedad en la columna de agua.

En los siguientes apartados sobre los tipos de formaciones vegetales de los humedales se comenta sobre algunas de las especies que pueden ser bioindicadoras de diferentes humedales o de ciertas condiciones ecológicas.

VEGETACIÓN DE LOS HUMEDALES DE AGUA DULCE

Los humedales o ambientes acuáticos considerados en el presente trabajo son aquellos que permiten el desarrollo de formas vegetales adaptadas a vivir en condiciones de inundación. Entre éstas se incluyen desde las hidrófitas estrictas de formas sumergidas, emergentes y flotantes hasta las subacuáticas o tolerantes, con representantes herbáceos o leñosos, en ambos casos (figura 1).

Como se mencionó, no existe una clasificación universalmente aceptada para tipificar a los humedales y, en todo caso no es aplicable a la gran mayoría de los ecosistemas dulceacuícolas de las planicies costeras mexicanas, en buena medida por la falta de unidades equivalentes. Aparentemente pudiera pensarse que el problema es de nomenclatura, pero es mucho más profundo, en parte por la falta de estudios ecológicos sobre la estructura de la vegetación que cubre una gran diversidad de humedales en el centro y sur del Golfo de México.

Otro elemento que dificulta aún más la definición y clasificación de los humedales es la inestabilidad de muchas de las comunidades vegetales acuáticas y subacuáticas, no consideradas consecuentemente como comunidades clímax.

Sin embargo, existen ventajas para fundamentar que los tipos de vegetación acuática y subacuática pueden ser un criterio para nombrar y clasificar a los humedales de la zona costera del Golfo de México.

El principal elemento a favor de este tipo de clasificación es lo relativamente fácil que resulta para un observador de la vegetación distinguir diferentes paisajes y características fisonómicas de los tipos de comunidades vegetales dominantes en la mayoría de los humedales. En este sentido hay que recordar la rica gama de nombres vernáculos que los pobladores locales dan a las agrupaciones vegetales en todo el mundo. Para el estado de Veracruz, por ejemplo, se conocen más de 13 nombres para distinguir algunas comunidades propias de los humedales (Lot 1991). La presencia de manera abundante y frecuentemente cubriendo grandes extensiones de una o varias especies en determinadas asociaciones, es el elemento común que une la percepción popular con el conocimiento científico en la definición de ciertas características para nombrar y distinguir entre los diversos paisajes

FIGURA 1. PERFIL DIAGRAMÁTICO DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL CENTRO Y SUR DEL GOLFO DE MÉXICO



de cada tipo de humedal. Por otro lado, la distribución de ciertas asociaciones vegetales refleja una serie de factores (geomorfológicos, climáticos, ecológicos, hidrológicos, etc.) que en el tiempo y en el espacio están presentes y que juegan un papel crucial en la evolución de dichos humedales.

A continuación se describen los principales humedales a partir de dos grandes conjuntos de la vegetación: las formaciones leñosas y las formaciones herbáceas.

FORMACIONES LEÑOSAS

Se incluyen a las agrupaciones arbóreas, arbustivas y a las palmas que se desarrollan en zonas inundables permanentes o temporales por más de seis meses al año y están adaptadas a condiciones edáficas de drenaje deficiente. Un buen conjunto de elementos leñosos, principalmente árboles y arbustos, conforman diferentes tipos de comunidades como elementos dominantes o acompañantes de selvas y otros tipos de vegetación incluso terrestre, razón

por la cual hay que tener presente la plasticidad de algunas especies para adaptarse como formas ecológicas en ambos ambientes.

BOSQUE INUNDABLE

Los planos aluviales del sureste de Estados Unidos, en la mayor parte de la costa del Golfo, presentan comunidades arbóreas propias de las regiones subtropicales y templadas, caracterizadas por la presencia de los géneros *Pinus*, *Taxodium* y *Nyssa*.

El pinar de *Pinus elliottii* var. *densa* es un tipo de vegetación que ocupa grandes extensiones en las terrazas bajas de los planos costeros del Misisipi y en el extremo sur de Florida con una tabla de agua superficial de 0.3 a 2.0 m. Se considera que el fuego como elemento natural periódico ha jugado un papel importante en la evolución y composición florística de dicha formación (Penfound 1952, Olmsted *et al.* 1984).

Otro tipo de vegetación son los conocidos bosques de cipreses, característicos de los pantanos profundos del Parque Nacional de Everglades, Florida, dominados por *Taxodium distichum* y *Nyssa aquatica*, asociación que también se presenta en las zonas inundables de las márgenes del río Misisipi. Otra asociación importante es la de *Nyssa selvática* var. *biflora* y *Taxodium ascendens* que se distribuye preferentemente en las partes más altas de los planos costeros del Golfo. Las formas arbóreas dominantes de este tipo de bosques presentan un tipo de raíces llamadas pneumatóforos como los que producen los árboles que integran los manglares. La talla de los árboles varía entre 6 y 12 m. Según Penfound (1952) es probable que las asociaciones de *Taxodium-Nyssa* sean las etapas iniciales de la sucesión de este tipo de bosques inundables que serán sustituidos por otras comunidades en suelos temporalmente inundados y bien drenados dominados por *Pinus palustris* y *P. caribaea*.

BOSQUE RIPARIO

Son comunidades leñosas que se desarrollan en las vegas inundables y preferentemente en las orillas de los ríos y arroyos que corren desde las partes altas hasta la desembocadura en lagunas costeras y en el mar. Por ello conforman un tipo de vegetación común en toda la planicie costera con abundancia de ríos en todo el Golfo de México. Dominan las asociaciones de sauces de *Salix nigra*, *S. interior*, *S. caroliniana* y *S. chilensis* (esta última en el

sur de México) entre otros y como elemento arbustivo acompañante, especialmente en condiciones de disturbio se encuentra *Cephalanthus occidentalis*. En los planos aluviales del bajo Misisipi se presentan otro tipo de bosques de transición, dominados por *Liquidambar styraciflua*, *Quercus palustris* y *Platanus occidentalis*. Algunas especies de estos géneros se pueden presentar como elementos riparios en las partes altas de las montañas veracruzanas.

SELVA ALTA-MEDIANA RIPARIA

Este tipo de vegetación con todas sus variantes se presentan en la parte tropical mexicana sobre terrenos profundos bien drenados, pero también cuando el suelo es delgado y se inunda periódicamente, aunque la composición florística puede variar entre una condición y otra. Entre las especies inundables características que pueden alcanzar 25 m o más de altura, se encuentran *Pachira aquatica*, *Andira galeottiana*, *Vochisia guatamalensis*, *Calophyllum brasiliense* y algunas especies de *Lonchocarpus*, *Pithecelobium*, *Inga*, *Ficus* y *Machaerium*.

Una variante importante de este tipo de selva mediana distribuida al sur de Tabasco es la conocida localmente como canacoital de *Bravaisia integerrima*.

SELVA BAJA INUNDABLE

Son comunidades ampliamente representadas que cubren una superficie importante en numerosas planicies inundables del Golfo, aunque localmente ocupen pequeñas extensiones que permanecen con agua la mayor parte del año, pero también con períodos de sequía extrema. Los árboles y arbustos que conforman este tipo de vegetación tienen una altura entre 6 y 8 m, regularmente sin formación de estratos y algunos de sus elementos presentan característicos contrafuertes en la base del tronco.

A lo largo del río Palizada en Campeche se distribuye una de las asociaciones características, formada por agrupaciones puras de *Annona glabra* (Ocaña y Lot 1996); en Veracruz y Tabasco se presentan otras especies leñosas acompañantes como *Dalbergia brownei*, *Ficus padifolia*, *Lonchocarpus pentaphyllus* y *Chrisobalanus icaco*.

La comunidad mejor representada en el pasado, que se distribuye desde el sur de Veracruz hasta la Península Yucatanense es el tintal, pero hoy se encuentra drásticamente modificada por las actividades agropecuarias y por la sobreexplotación del árbol o palo del tinte *Haematoxylum*

campechianum. Otras comunidades representativas de selvas bajas inundables son el chechenal de *Metopium brownii*, el puctal de *Bucida buceras* (Lot y Novelo 1990), el bucidal de *Bucida spinosa* (Olmsted y Duran 1986) con un total registrado de 65 especies leñosas y gran abundancia de epífitas en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an en Quintana Roo.

Este tipo de vegetación es también importante por formar ecotonos con otras formaciones vegetales como manglares, sabanas, palmares, matorrales y desde luego selvas medianas y altas, por lo que algunos elementos florísticos pueden ser comunes.

Bajo este tipo de vegetación podríamos considerar a los petenes, ya que es la formación donde se presenta el único tipo de selva del sur de Florida (Olmsted y Duran 1988), aunque ésta particular formación conocida como *hammock* en la península de Florida o petén en la región mesoamericana, es en realidad una isla de selva rodeada de un pantano arbolado con mangles, palmas y otras especies leñosas y herbáceas adaptadas a la inundación. Este tipo de agrupaciones o islas de vegetación han jugado un papel importante como habitación y uso de recursos por parte de los indios de Florida (Olmsted y Duran 1988) y los mayas (Barrera 1982), y en la actualidad constituyen un refugio de la fauna local.

PALMAR INUNDABLE

Un elemento común en las depresiones inundables en todo el Golfo, incluyendo a Cuba, es el palmar de tasiste *Acoelorrhaphe wrightii*. El tasistal puede alcanzar los 8 m de altura, pero es frecuente entre 2 y 5 m, semisumergido por una tabla de agua de 0.5 a 1.5 m al menos durante 9 meses y totalmente seco superficialmente durante la época de estiaje cuando se pueden producir anualmente quemas.

En los límites de las selvas altas, pero sobre suelos arcillosos de condición inundable, se pueden distribuir algunas palmas como *Roystonea regia*, *R. dunlapiana* y *Attalea butyracea*, conocidas genéricamente como palma real.

SABANA

Este tipo de vegetación presenta diversas variantes de posibles orígenes diferentes, incluyendo el antropogénico. La mayoría se desarrolla sobre grandes extensiones planas, o con ligeros cambios microtopográficos en suelos profundos arcillosos y mal drenados, que se inundan durante seis meses o

más y se secan completamente durante la sequía. Su paisaje es generalmente de una formación densa de ciperáceas y gramíneas con algunos árboles o palmas de tasiste aislados o formando pequeñas islas o bordes. Este paisaje de aparente pastizal amacollado se puede deber a las constantes quemadas y pastoreo que el hombre ha inducido a lo largo de muchas décadas (Orozco y Lot 1976). Entre las especies arbóreas en las sabanas de la planicie costera del Golfo, destacan *Quercus oleoides* en los bordes menos inundados y *Coccoloba barbadensis* al norte de Veracruz (Rzedowski, 1978). La especie herbácea dominante, aparentemente favorecida por la actividad humana y que forma agrupaciones casi puras que han ido sustituyendo la riqueza de hidrófitas, es *Cladium jamaicense*.

MATORRAL INUNDABLE

El zarzal de *Mimosa pigra* es un tipo de comunidad espinosa muy cerrada con pocas especies acompañantes, cuya distribución cubre las regiones cálido-húmedas de la planicie costera de todo el Golfo de México, donde es constante el disturbio humano. Otros tipos de matorrales adaptados a la condición de inundación son el mucal de *Dalbergia brownei* y *D. glabra*; la primera del litoral de Veracruz y Tabasco (Lot y Novelo 1990) y la segunda de Quintana Roo (Olmsted y Durán 1986). El julubal de *Bravaisia tubiflora* es otro elemento indicador de perturbación humana en las brechas fluviales. Como matorral bajo de dos m de altura sobresale *Cephalanthus occidentalis* como una formación secundaria frecuente en la periferia de diversos tipos de vegetación en todo el Golfo de México.

FORMACIONES HERBÁCEAS

De manera igualmente resumida que en el apartado anterior, se presentan las principales agrupaciones sobre la base de sus adaptaciones en diferentes formas de vida y su relación con los aspectos de la dinámica de las comunidades en cuanto a la zonificación y sucesión de los humedales.

HIDRÓFITAS ENRAIZADAS EMERGENTES

Prácticamente todos los hábitat acuáticos de los innumerables sistemas lacustres y palustres que se distribuyen ampliamente en las planicies costeras del Golfo, presentan alguna asociación donde el elemento dominante es

una hidrófita arraigada al sustrato, cuyas hojas y estructuras reproductoras emergen por encima del agua. Este tipo de vegetación ilustra el paisaje más importante de los humedales de agua dulce, por su función como refugio de la fauna acuática y hábitat de numerosas plantas acuáticas raras y en muchos casos, amenazadas y en peligro de extinción. Son popularmente conocidas en la región bajo diversos nombres comunes, como es el caso de las especies del género *Typha*, que sólo en México reciben los nombres vernáculos de tule, espadaña, neal, chuspatal en combinación con adjetivos para distinguir sus especies; en Cuba se conoce como macio y en los Estados Unidos de América como *cattail*. Las comunidades que forman son llamadas genéricamente tulares. Otras comunidades son los popales, juncales, carrizales, vegetación de bajos inundables, entre otros. Los géneros representados, en algunos casos con numerosas especies en estas comunidades, son *Typha*, *Schoenoplectus*, *Scirpus*, *Thalia*, *Phragmites*, *Arundo*, *Cladium*, *Cyperus*, *Eleocharis*, *Carex*, *Sparganium*, *Pontederia*, *Spartina*, *Paspalum*, *Rhynchospora* y otros más.

El sibal de *Cladium jamaicense* sobresale de entre muchas otras asociaciones por su abundancia y tolerancia a diversos humedales con suelos de diferentes concentraciones de sales disueltas y contenidos altos de sulfatos. Además de cubrir grandes superficies como comunidades puras también está presente en las zonas de contacto con manglares, sabanas y palmares en todas las planicies costeras del golfo desde Florida y Cuba hasta la Península Yucatanense.

En los pantanos ácidos del centro y norte de Florida sobresalen por su forma de vida tan especial las poblaciones de plantas carnívoras del género *Sarracenia* con seis especies conocidas.

HIDRÓFITAS ENRAIZADAS DE HOJAS FLOTANTES

Esta forma de vida está representada por numerosas comunidades y asociaciones en lagos, lagunas, canales y zonas abiertas de humedales profundos. Las especies significativas en la estructura de la vegetación pertenecen a los géneros *Nymphaea*, *Nuphar*, *Nymphoides*, *Brasenia* y algunas especies de *Potamogeton* y *Sagittaria*.

La asociación de *Nymphaea ampla* es una de las más importantes por su abundancia en ambientes dulceacuícolas en todo el Golfo, y también en lagunas y bajos inundables de salinidad variable cercanos a la costa donde crecen incluso los manglares.

HIDRÓFITAS ENRAIZADAS SUMERGIDAS

Este tipo de vegetación, al igual que el de hidrófitas emergentes, es altamente significativo en la conservación de la vida silvestre, por albergar a las aves acuáticas y en general proveer de alimento y refugio para la reproducción a la mayoría de los grupos de vertebrados e invertebrados de los humedales. A esta forma de vida también pertenecen los llamados pastos marinos presentes en lagunas costeras y arrecifes coralinos.

Algunos de los numerosos géneros que mejor están representados por las especies sumergidas, son *Potamogeton*, *Vallisneria*, *Egeria*, *Hydrilla*, *Myriophyllum*, *Cabomba*, *Mayaca* y *Zannichellia*. Los géneros *Ruppia* y *Najas*, representados por *R. maritima* y *N. marina* se distribuyen preferentemente en ambientes salinos y alcalinos, pero no marinos.

Algunas asociaciones crecen masivamente y pueden ser favorecidas indirectamente por el hombre causando serios daños en la navegación, control de canales de irrigación y como malezas invasoras que sustituyen la flora nativa. Entre estas sobresale *Hydrilla verticillata*, verdadera plaga en EE.UU. y que cuenta con primeros registros en la parte mexicana (Tamaulipas) (Novelo y Martínez 1989). Algunas especies de *Egeria*, *Potamogeton*, *Myriophyllum* y *Najas* también pueden causar problemas de invasión y crecimiento indeseable en los cuerpos de agua manejados por el hombre. La familia Podostemaceae integra un pequeño grupo de plantas que habitan cascadas y rápidos de los ríos y son indicadores de aguas limpias y ambientes conservados.

HIDRÓFITAS LIBREMENTE FLOTADORAS

Las comunidades representativas de esta forma de vida dependen del viento y las corrientes en lagos, lagunas y ríos, por lo que su distribución puede ser muy cambiante y difícil de cuantificar. En ocasiones y muy relacionado con el manejo del hombre, algunas especies forman agrupaciones puras que desplazan a otras poblaciones nativas determinando una baja en la diversidad de la flora acuática. El ejemplo más claro es el lirio acuático, *Eichhornia crassipes*, planta naturalizada que invade diversos humedales de la región subtropical y tropical. Un caso de un alto interés fitogeográfico está representado por una planta sudamericana muy rara de la familia Euphorbiaceae, *Phyllanthus fluitans*, de distribución discontinua presente en los pantanos de Tabasco (Lot *et al.* 1980). Otras plantas que constituyen importantes

comunidades son *Pistia stratiotes*, *Neptunia oleraceae* y especies de los géneros *Lemna*, *Wolffia*, *Wolffiella*, *Spirodela* y de los helechos *Azolla* y *Salvinia*.

HIDRÓFITAS LIBREMENTE SUMERGIDAS

No forman asociaciones importantes pero localmente pueden cubrir grandes superficies en cuerpos de agua de cierta profundidad, como ocurre con las especies de *Ceratophyllum*. En esta forma de vida se presentan las llamadas plantas carnívoras del género *Utricularia* con más de 20 especies.

LA FLORA DE LOS HUMEDALES Y SU CONSERVACIÓN

En los apéndices 1 y 2 se enlistan las especies de leñosas y de herbáceas respectivamente y su distribución en las seis grandes subdivisiones regionales consideradas en el presente trabajo.

Por supuesto que el listado no pretende ser exhaustivo, pero nos da una idea de la riqueza florística de los humedales del Golfo de México. Su elaboración se basa en la información proveniente de diversas publicaciones, entre las que sobresalen, además de las citadas anteriormente, las siguientes: Diego-Pérez *et al.* (2001), Dressler *et al.* (1987), Guadarrama y Ortiz (2000), León (1946), Lot y Novelo (1988), Lot *et al.* (1980 y 1999), Martínez y Galindo Leal (2002), Martínez y Novelo (1993), Olmsted (1993), Olvera (1996), Reed (1988), Rico-Gray (1982), Shaw y Fredine (1971).

A primera vista el listado de las especies acuáticas y subacuáticas de los humedales (apéndices 1 y 2), nos da una idea del gran número de plantas vasculares propias de ambientes palustres, lacustres y ribereños del Golfo. Entre éstas una buena parte es común a la mayoría de las subdivisiones regionales, pero también resulta claro que algunos grupos de especies presentan una distribución restringida a una o dos regiones, lo cual en muchos casos corresponden a endemismos.

En el cuadro 1 se presenta el número de géneros y especies leñosas y herbáceas enumeradas en los apéndices 1 y 2. Estas cifras preliminares, si bien son indicativas de la riqueza de cada región, no deben ser tomadas como definitivas, ya que el esfuerzo de exploración y recolección no es el mismo. Por otro lado, el número de publicaciones y de colecciones herborizadas, así como su accesibilidad, también explican, en parte, las regiones mejor estudiadas, aunque no necesariamente con mayor diversidad.

CUADRO 1. NÚMERO DE GÉNEROS Y ESPECIES REGISTRADAS PRELIMINARMENTE
PARA CADA REGIÓN*

	FLORIDA	MISISIPI	CENTRO GOLFO	USUMACINTA	P. YUCATANENSE	CUBA
Leñosas	41/55	4/4	38/52	31/35	18/20	21/23
Herbáceas	98/200	61/131	77/156	62/102	19/27	56/117
Total	139/255	65/135	115/208	93/137	37/47	77/140

* Basada en los listados de especies incluidas en los apéndices 1 y 2.

La diversidad de especies y de formas biológicas es notable y nos ilustra un gran espectro, representado no sólo por diferentes taxa, sino por variedad de arbustos, árboles, palmas, trepadoras, herbáceas enraizadas emergentes, sumergidas y de hojas flotantes, de tallos postrados, libres flotadoras y libres sumergidas. Esta lista preliminar arroja 82 géneros de leñosas y 130 de herbáceas, lo cual es indicativo de que el número de especies de la flora de los humedales del Golfo de México debe ser mayor al millar de plantas vasculares.

Como se sabe las comunidades de hidrófitas juegan un papel crucial en la alimentación, anidación, refugio y reproducción de innumerables elementos de la fauna de los humedales, por lo que su acelerada destrucción y modificación puede desencadenar una pérdida irreparable de la biodiversidad de una gran región estratégica en el Atlántico americano.

DEDICATORIA

A la memoria de Ingrid Olmsted, tenaz estudiosa de los humedales del Golfo de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Aznar, J.C., A. Dervieux y P. Grillas 2003. Association between aquatic vegetation and landscape indicators of human pressure. *Wetlands* 23(1): 148-160.
- Barrera, A. 1982. Los petenes del noroeste de Yucatán: su exploración ecológica en perspectiva. *Biótica* 7(2): 163-169.

- Birkett, S.H. y D.J. Rapport 1999. A stress-response assessment of the northwestern Gulf of Mexico Ecosystem. En: Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. Oxford, England. 438-458.
- Chavez, M.L. 1988. Presentación. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. s/p.
- Darnell, R.M. y R.E. Defenbaugh 1990. Gulf of México: environmental overview and history of environmental research. *American Zoologist* 30: 3-6.
- Day, J.W. 1988. Impactos del desarrollo humano sobre marismas y sistemas costeros en Louisiana. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 77-89.
- Diego-Pérez, N. y C.H. Ramos y E. Martínez 2001. Un nuevo registro de *Cyperus* para México. *Acta Botánica Mexicana* 55: 17-20.
- Dressler, R.L., D.W. Hall, K.D. Perkins y N.H. Williams 1987. *Identification manual for wetland plant species of Florida*. Institute of Food and Agricultural Sciences/University of Florida, Gainesville.
- Giattina, J.D. y D.T. Altsman 1999. Gulf of México Program: partnership with a purpose. En: Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. Oxford, England. 3-13.
- Guadarrama, M.A.O. y G.G. Ortiz 2000. Análisis de la flora de la Reserva de la Biosfera de los Pantanos de Centla, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 15(30): 67-104.
- Higer, A.L. y M.C. Kolipinski 1988. Changes of vegetation in Shark River Slough Everglades National Park, 1940-64. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 217-230.
- Hofstetter, R.H. 1988. Vegetational changes in Souther Florida wetlands in relation to anthropogenic disturbances. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 65-75.
- León Hermano 1946. *Flora de Cuba*. Vol. 1 Gymnospermas, Monocotiledóneas. Contribuciones Ocasionales del Museo de Historia Natural del Colegio de la Salle. Cultural S.A. La Habana. 8: 9-439.
- Lot, A. 1991. Vegetación y flora vascular acuática del Estado de Veracruz. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lot, A. y A. Novelo 1988. El pantano de Tabasco y Campeche: la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamérica. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 537-547.

- 1990. Forested wetlands of México. En Lugo, A.E., M. Brinson y S. Brown (eds.) *Ecosystems of the World* 15, Forested Wetlands. Elsevier, Amsterdam. 287-298.
- Lot, A., A. Novelo y C.P. Cowan 1980. Hallazgo en México de una euforbiacea acuática originaria de Sudamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 39: 83-89.
- Lot, A., A. Novelo, M. Olvera y P. Ramírez-García 1999. *Catálogo de angiospermas acuáticas de México: hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes*. Cuadernos 33, Instituto de Biología, UNAM, México.
- Martínez, E. y C. Galindo-Leal 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 71: 7-32.
- Martínez, M. y A. Novelo 1993. La vegetación acuática del estado de Tamaulipas, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 64(2): 59-86.
- Moreno-Cassasola, P. 1999. Dune vegetation and its biodiversity along the Gulf of México, a large marine ecosystem. En: Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. Oxford, England. 593-612.
- Niering, W.A. 1985. Wetlands. *The Audubon Society Nature Guides*. Chanticleer Press, Inc., New York.
- Novelo, A. 1981. *Didiplis diandra* (Lythraceae) in Southeastern México. *Sida* 9(2): 182.
- Novelo, A. y M. Martínez 1989. *Hydrilla verticillata* (Hydrocharitaceae), problemática maleza acuática de reciente introducción en México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 58: 97-102.
- Ocaña, D. y A. Lot 1996. Estudio de la vegetación acuática vascular del sistema fluvio-deltáico del Río Palizada, en Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 67(2): 303-327.
- Olmsted, I. 1993. Wetland of México. En: Whigham, D.F. (ed.) *Wetland of the World 1*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 637-677.
- Olmsted, I. y L. Loope 1984. *Plant communities of Everglades National Park*. Environments of South Florida Geological Society, Miami. 167-184.
- Olmsted, I. y R.G. Durán 1986. Aspectos ecológicos de la selva baja inundable de la reserva Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Biótica* 11(3): 151-179.
- 1988. Aspectos ecológicos de los Petenes en Florida, Campeche y Quintana Roo. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 517-535.
- Olvera, M.G. 1996. El género *Utricularia* (Lentibulariaceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 67(2): 347-384.
- Orozco, A.S. y A. Lot 1976. La vegetación de las zonas inundables del sureste de Veracruz. *Publicación del Instituto de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos (Biótica)* 1(1): 1-44.

- Penfound, W.T. 1952. Souther swamps and marshes. *The Botanical Review* 18(6): 413-446.
- Reed, P.B. 1988. *National list of plants species that occur in wetlands: Caribbean (Regional C)*. Biological Report 88(26,12). Fish and Wildlife Service, Washington.
- Rico-Gray, V. 1982. Estudio de la vegetación de la zona costera inundable del noroeste de Campeche, México: Los Petenes. *Biótica* 7(2): 171-188.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México.
- Semeniuk, V. y C.A. Semeniuk 1997. A geomorphic approach to global classification for natural inland wetlands and rationalization of the system used by the Ramsar Convention: a discussion. *Wetlands Ecology and Management* 5: 145-158.
- Shaw, S.P. y C.G. Fredine 1971. *Wetlands of the United States*. Fish and Wildlife Service, United States Department of the Interior. Circular 38.

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Acoelorrhaphe wrightii</i>						
<i>Aeschynomene deami</i>						
<i>Aeschynomene sensitiva</i>						
<i>Alnus serrulata</i>						
<i>Andira galeottiana</i>						
<i>Annona glabra</i>						
<i>Aspidosperma cruentum</i>						
<i>Aster carolinianus</i>						
<i>Astianthus viminalis</i>						
<i>Ateleia gumifera</i>						
<i>Betula nigra</i>						
<i>Bravaisia berlandieriana</i>						
<i>Bravaisia tubiflora</i>						
<i>Bucida buceras</i>						
<i>Byrsonima crassifolia</i>						
<i>Calophyllum brasiliense</i>						
<i>Calypttranthes perlaevigata</i>						
<i>Calyptrogyne dulcis</i>						
<i>Callicarpia dichotoma</i>						
<i>Cameraria latifolia</i>						
<i>Carpinus caroliniana</i>						
<i>Carya aquatica</i>						
<i>Cephalanthus occidentalis</i>						
<i>Cephalanthus salicifolius</i>						
<i>Clethra alnifolia</i>						
<i>Combretum laxum</i>						
<i>Crataegus aestivalis</i>						
<i>Crataegus marshallii</i>						
<i>Cynometra retusa</i>						
<i>Cyrilla raceuniflora</i>						
<i>Chamaecyparis thyooides</i>						
<i>Chrysobalanus icaco</i>						
<i>Dalbergia brownei</i>						
<i>Dalbergia glabra</i>						
<i>Decodon verticillatus</i>						
<i>Diospyros digyna</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Erythrina fusca</i>						
<i>Ficus cotinifolia</i>						
<i>Ficus glabrata</i>						
<i>Ficus maxima</i>						
<i>Ficus obtusifolia</i>						
<i>Ficus padifolia</i>						
<i>Fraxinus caroliniana</i>						
<i>Fraxinus chiapensis</i>						
<i>Fraxinus uhdei</i>						
<i>Gleditsia aquatica</i>						
<i>Gordonia lasianthus</i>						
<i>Gymnopodium floribundum</i>						
<i>Haematoxylum campechianum</i>						
<i>Hibiscus tiliaceus</i>						
<i>Hibiscus urbanii</i>						
<i>Hydrolea cubana</i>						
<i>Hypericum chapmanii</i>						
<i>Hypericum lissophoeus</i>						
<i>Hypericum nitidum</i>						
<i>Ilex cassine</i>						
<i>Ilex coriaceae</i>						
<i>Ilex decidua</i>						
<i>Ilex myrtifolia</i>						
<i>Ilex opaca</i>						
<i>Inga vera</i>						
<i>Itea virginica</i>						
<i>Iva frutescens</i>						
<i>Ixora coccinea</i>						
<i>Jacquinia aurantiaca</i>						
<i>Leucothoe papulifolia</i>						
<i>Litsea aestivalis</i>						
<i>Lonchocarpus castilloi</i>						
<i>Lonchocarpus hondurensis</i>						
<i>Lonchocarpus luteomaculatus</i>						
<i>Lonchocarpus xuul</i>						
<i>Machaerium falciforme</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Magnolia virginiana</i>						
<i>Malpighia lundellii</i>						
<i>Malvaviscus arboreus var. brihondus</i>						
<i>Metopium brownei</i>						
<i>Metopium Toxiferum</i>						
<i>Mimosa pigra</i>						
<i>Nectandra glabrescens</i>						
<i>Nyssa aquatica</i>						
<i>Nyssa ogeche</i>						
<i>Nyssa sylvatica var. Biflora</i>						
<i>Ouratea nitida</i>						
<i>Pachira aquatica</i>						
<i>Persea palustris</i>						
<i>Pinckneya bracteata</i>						
<i>Pinus serotonina</i>						
<i>Pithecelobium dulce</i>						
<i>Pithecelobium pachypus</i>						
<i>Pithecellobium brownii</i>						
<i>Pithecellobium kellense</i>						
<i>Pithecellobium oblongum</i>						
<i>Planera aquatica</i>						
<i>Platanus mexicana</i>						
<i>Platanus occidentalis</i>						
<i>Platanus rzedowskii</i>						
<i>Populus heterophylla</i>						
<i>Populus mexicana</i>						
<i>Prosopis juliflora</i>						
<i>Quercus lyrata</i>						
<i>Roystonea dunlapiana</i>						
<i>Roystonea regia</i>						
<i>Salix bonplandiana</i>						
<i>Salix caroliniana</i>						
<i>Salix chilensis</i>						
<i>Salix exigua</i>						
<i>Salix floridana</i>						
<i>Salix humboldtiana</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Salix humilis</i>						
<i>Salix nigra</i>						
<i>Salix taxifolia</i>						
<i>Sambucus canadensis</i>						
<i>Sesbania emerus</i>						
<i>Sesbania sericea</i>						
<i>Symphonia globulifera</i>						
<i>Tabebuia gracilipes</i>						
<i>Tabebuia rosea</i>						
<i>Talisia florestii</i>						
<i>Taxodium ascendens</i>						
<i>Taxodium distichum</i>						
<i>Taxodium mucronatum</i>						
<i>Thevetia ahouai</i>						
<i>Thevetia gaumeri</i>						
<i>Vaccinium corymbosum</i>						
<i>Viburnum acerifolium</i>						
<i>Vochysia hondurensis</i>						
<i>Zygia longifolia</i>						

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Acorus americanus</i>						
<i>Alternanthera philoxeroides</i>						
<i>Amaranthus australis</i>						
<i>Andropogon glomeratus</i>						
<i>Aster elliotii</i>						
<i>Aster subulatus</i>						
<i>Aster tenuifolius</i>						
<i>Bacopa caroliniana</i>						
<i>Bacopa innominata</i>						
<i>Bacopa monnieri</i>						
<i>Bacopa procumbens</i>						
<i>Bacopa repens</i>						
<i>Bergia texana</i>						
<i>Bidens aurea</i>						
<i>Bidens laevis</i>						
<i>Bidens mitis</i>						
<i>Bletia purpurea</i>						
<i>Borrichia arborescens</i>						
<i>Borrichia frutescens</i>						
<i>Brasenia schreberi</i>						
<i>Cabomba caroliniana</i>						
<i>Cabomba palaeformis</i>						
<i>Canna glauca</i>						
<i>Caperonia palustris</i>						
<i>Carex (41 especies en humedales)</i>						
<i>Ceratophyllum demersum</i>						
<i>Ceratophyllum echinatum</i>						
<i>Ceratophyllum muricatum</i>						
<i>Cicuta mexicana</i>						
<i>Cladium jamaicense</i>						
<i>Colocassia esculenta</i>						
<i>Coreopsis nudata</i>						
<i>Crinum americanum</i>						
<i>Crinum erubescens</i>						
<i>Cyperus articulatus</i>						
<i>Cyperus canus</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Cyperus digitatus</i>						
<i>Cyperus distans</i>						
<i>Cyperus elegans</i>						
<i>Cyperus esculentus</i>						
<i>Cyperus flavescens</i>						
<i>Cyperus gardneri</i>						
<i>Cyperus giganteus</i>						
<i>Cyperus haspan</i>						
<i>Cyperus imbricatus</i>						
<i>Cyperus macrocephalus</i>						
<i>Cyperus niger</i>						
<i>Cyperus ochraceus</i>						
<i>Cyperus odoratus</i>						
<i>Cyperus surinamensis</i>						
<i>Datura ceratocaula</i>						
<i>Didiplis diandra</i>						
<i>Drosera brevifolia</i>						
<i>Drosera capillaris</i>						
<i>Drosera filiformis</i>						
<i>Drosera intermedia</i>						
<i>Drosera rotundifolia</i>						
<i>Echinichloa holciformis</i>						
<i>Echinochloa colona</i>						
<i>Echinochloa polystachia</i>						
<i>Echinodorus andrieuxii</i>						
<i>Echinodorus berteroi</i>						
<i>Echinodorus cordifolius</i>						
<i>Echinodorus nymphaeifolius</i>						
<i>Echinodorus ovalis</i>						
<i>Echinodorus paniculatus</i>						
<i>Echinodorus parvulus</i>						
<i>Echinodorus rostratus</i>						
<i>Echinodorus tenellus</i>						
<i>Eclipta postrata</i>						
<i>Egeria densa</i>						
<i>Eichhornia azurea</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Eichhornia crassipes</i>						
<i>Eichhornia diversifolia</i>						
<i>Eichhornia heterosperma</i>						
<i>Eichhornia paniculata</i>						
<i>Eleocharis caribea</i>						
<i>Eleocharis cellulosa</i>						
<i>Eleocharis elegans</i>						
<i>Eleocharis fallax</i>						
<i>Eleocharis fistulosa</i>						
<i>Eleocharis flavescens</i>						
<i>Eleocharis interstincta</i>						
<i>Eleocharis macrostachya</i>						
<i>Eleocharis montana</i>						
<i>Eleocharis montevidensis</i>						
<i>Eleocharis mutata</i>						
<i>Eleocharis retroflexa</i>						
<i>Eleocharis rostellata</i>						
<i>Elodea canadensis</i>						
<i>Eriocaulon compressum</i>						
<i>Eriochloa punctata</i>						
<i>Eupatorium betoncifolium</i>						
<i>Fimbristylis ferruginea</i>						
<i>Fimbristylis miliacea</i>						
<i>Fimbristylis simplex</i>						
<i>Fuirena scirpoidea</i>						
<i>Fuirena squarrosa</i>						
<i>Fuirena umbellata</i>						
<i>Gratiola virginiana</i>						
<i>Habenaria bractescens</i>						
<i>Habenaria ciliaris</i>						
<i>Habenaria cristata</i>						
<i>Habenaria nivea</i>						
<i>Habenaria pringlei</i>						
<i>Habenaria repens</i>						
<i>Heteranthera dubia</i>						
<i>Heteranthera limosa</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Heteranthera mexicana</i>						
<i>Heteranthera oblongifolia</i>						
<i>Heteranthera peduncularis</i>						
<i>Heteranthera reniformis</i>						
<i>Heteranthera rotundifolia</i>						
<i>Heteranthera seubertiana</i>						
<i>Hibiscus grandiflorus</i>						
<i>Hydrocotyle bonariensis</i>						
<i>Hydrilla verticillata</i>						
<i>Hydrochloa caroliniensis</i>						
<i>Hydrocotyle pusilla</i>						
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>						
<i>Hydrocotyle umbellata</i>						
<i>Hydrocotyle verticillata</i>						
<i>Hydrolea corymbosum</i>						
<i>Hydrolea quadrivalvis</i>						
<i>Hydrolea spinosa</i>						
<i>Hydrolea uniflora</i>						
<i>Hydromystrina laevigata</i>						
<i>Hygrophila lacustris</i>						
<i>Hygrophila polysperma</i>						
<i>Hymenanchne amplexicaulis</i>						
<i>Hymenocallis latifolia</i>						
<i>Hymenocallis littoralis</i>						
<i>Ipomoea acuática</i>						
<i>Ipomoea fistulosa</i>						
<i>Iris hexagona</i>						
<i>Iris virginica</i>						
<i>Iva annua</i>						
<i>Juncus acuminatus</i>						
<i>Juncus coriaceus</i>						
<i>Juncus dichotomus</i>						
<i>Juncus effusus</i>						
<i>Juncus gymnocarpus</i>						
<i>Juncus marginatus</i>						
<i>Juncus megacephalus</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Juncus repens</i>						
<i>Juncus romerianus</i>						
<i>Juncus scirpoides</i>						
<i>Juncus tenuis</i>						
<i>Juncus validus</i>						
<i>Justicia americana</i>						
<i>Justicia comata</i>						
<i>Justicia ovata</i>						
<i>Kosteletzkya virginica</i>						
<i>Lachnocaulon anceps</i>						
<i>Leersia hexandra</i>						
<i>Lemna aequinoctialis</i>						
<i>Lemna gibba</i>						
<i>Lemna minor</i>						
<i>Lemna perpusilla</i>						
<i>Lemna trinervis</i>						
<i>Lemna trisulca</i>						
<i>Lemna valdiviana</i>						
<i>Leptochloa fascicularis</i>						
<i>Lilaeopsis carolinensis</i>						
<i>Lilaeopsis chinensis</i>						
<i>Lilaeopsis occidentalis</i>						
<i>Limnobium spongia</i>						
<i>Limnocharis flava</i>						
<i>Limonium carolinianum</i>						
<i>Limosella aquatica</i>						
<i>Lindernia alterniflora</i>						
<i>Lindernia dubia</i>						
<i>Lindernia grandiflora</i>						
<i>Lindernia antipoda</i>						
<i>Lobelia cardinalis</i>						
<i>Lobelia glandulosa</i>						
<i>Lobelia purpusii</i>						
<i>Ludwigia decurrens</i>						
<i>Ludwigia erecta</i>						
<i>Ludwigia helmintorrhiza</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Ludwigia leptocarpa</i>						
<i>Ludwigia natans</i>						
<i>Ludwigia octovalis</i>						
<i>Ludwigia palustris</i>						
<i>Ludwigia peploides</i>						
<i>Ludwigia peruviana</i>						
<i>Ludwigia repens</i>						
<i>Ludwigia suffruticosa</i>						
<i>Marathrum schiedeanum</i>						
<i>Marathrum tenue</i>						
<i>Mayaca fluviatilis</i>						
<i>Melanthera aspera</i>						
<i>Micranthemum umbrosum</i>						
<i>Mikania scandens</i>						
<i>Mimulus glabratus</i>						
<i>Monanthochloe littoralis</i>						
<i>Muhlenbergia capillaris</i>						
<i>Myriophyllum aquaticum</i>						
<i>Myriophyllum heterophyllum</i>						
<i>Myriophyllum laxum</i>						
<i>Myriophyllum pinnatum</i>						
<i>Myriophyllum sparsiflorum</i>						
<i>Myriophyllum spicatum</i>						
<i>Najas guadalupensis</i>						
<i>Najas marina</i>						
<i>Najas wrightiana</i>						
<i>Nasturtium microphyllum</i>						
<i>Nasturtium officinale</i>						
<i>Nelumbo lutea</i>						
<i>Nelumbo nucifera</i>						
<i>Neptunia oleracea</i>						
<i>Neptunia plena</i>						
<i>Nuphar advena</i>						
<i>Nuphar luteum</i>						
<i>Nymphaea amazonum</i>						
<i>Nymphaea ampla</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Nymphaea conardii</i>						
<i>Nymphaea elegans</i>						
<i>Nymphaea jamesoniana</i>						
<i>Nymphaea mexicana</i>						
<i>Nymphaea odorata</i>						
<i>Nymphaea prolifera</i>						
<i>Nymphaea pulchella</i>						
<i>Nymphaea rudgeana</i>						
<i>Nymphaea speciosa</i>						
<i>Nymphoides aquatica</i>						
<i>Nymphoides cordata</i>						
<i>Nymphoides grayana</i>						
<i>Nymphoides indica</i>						
<i>Orontium aquaticum</i>						
<i>Oryza latifolia</i>						
<i>Oxycarium cubense</i>						
<i>Oxypolis filiformis</i>						
<i>Panicum aquaticum</i>						
<i>Panicum gymnocarpon</i>						
<i>Panicum maximum</i>						
<i>Paspalum distichum</i>						
<i>Paspalum vaginatum</i>						
<i>Peltandra sagittifolia</i>						
<i>Peltandra virginica</i>						
<i>Phragmites australis</i>						
<i>Phyllanthus fluitans</i>						
<i>Pistia stratiotes</i>						
<i>Pluchea purpurascens</i>						
<i>Podostemum ricciiforme</i>						
<i>Polygonum acuminatum</i>						
<i>Polygonum densiflorum</i>						
<i>Polygonum ferrugineum</i>						
<i>Polygonum hydropiperoides</i>						
<i>Polygonum mexicanum</i>						
<i>Polygonum punctatum</i>						
<i>Polygonum virginianum</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Pontederia cordata</i>						
<i>Pontederia parviflora</i>						
<i>Pontederia rotundifolia</i>						
<i>Pontederia sagittata</i>						
<i>Potamogeton foliosus</i>						
<i>Potamogeton illinoensis</i>						
<i>Potamogeton nodosus</i>						
<i>Proserpinaca palustris</i>						
<i>Proserpinaca pectinata</i>						
<i>Ranunculus cymbalaria</i>						
<i>Ranunculus dichotomus</i>						
<i>Ranunculus flabellaris</i>						
<i>Ranunculus laxicaulis</i>						
<i>Ranunculus longirostris</i>						
<i>Ranunculus pusillus</i>						
<i>Ranunculus sceleratus</i>						
<i>Rhynchospora alba</i>						
<i>Rhynchospora colorata</i>						
<i>Rhynchospora inundata</i>						
<i>Rhynchospora odorata</i>						
<i>Rotala ramosior</i>						
<i>Ruppia maritima</i>						
<i>Sabatia dodecandra</i>						
<i>Sacciolepis striata</i>						
<i>Sagittaria guayanensis</i>						
<i>Sagittaria intermedia</i>						
<i>Sagittaria lancifolia</i>						
<i>Sagittaria latifolia</i>						
<i>Sagittaria longiloba</i>						
<i>Sagittaria montevidensis</i>						
<i>Samolus ebracteatus</i>						
<i>Samolus parviflorus</i>						
<i>Sarracenia flava</i>						
<i>Sarracenia leucophylla</i>						
<i>Sarracenia minor</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Sarracenia psittacina</i>						
<i>Sarracenia purpurea</i>						
<i>Sarracenia rubra</i>						
<i>Saururus cernuus</i>						
<i>Schoenoplectus americanus</i>						
<i>Schoenoplectus californicus</i>						
<i>Schoenoplectus lacustris</i>						
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>						
<i>Scirpus cubensis</i>						
<i>Scirpus cyperinus</i>						
<i>Scirpus erismanae</i>						
<i>Scirpus olneyi</i>						
<i>Scleria cubensis</i>						
<i>Scleria latifolia</i>						
<i>Scleria reticularis</i>						
<i>Sium suave</i>						
<i>Sparganium americanum</i>						
<i>Spartina alterniflora</i>						
<i>Spathiphyllum cochlearispathum</i>						
<i>Sphenoclea zeylanica</i>						
<i>Spirodela intermedia</i>						
<i>Spirodela polyrhiza</i>						
<i>Spirodela punctata</i>						
<i>Stuckenia pectinata</i>						
<i>Thalia geniculata</i>						
<i>Triadenum virginicum</i>						
<i>Tristicha trifaria</i>						
<i>Typha angustifolia</i>						
<i>Typha domingensis</i>						
<i>Typha latifolia</i>						
<i>Utricularia cornuta</i>						
<i>Utricularia foliosa</i>						
<i>Utricularia gibba</i>						
<i>Utricularia hidrocarpa</i>						
<i>Utricularia hispida</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Utricularia inflata</i>						
<i>Utricularia juncea</i>						
<i>Utricularia macrorhiza</i>						
<i>Utricularia obtusa</i>						
<i>Utricularia olivacea</i>						
<i>Utricularia purpurea</i>						
<i>Utricularia pusilla</i>						
<i>Utricularia radiata</i>						
<i>Utricularia resupinata</i>						
<i>Utricularia simulans</i>						
<i>Utricularia striata</i>						
<i>Utricularia subulata</i>						
<i>Vallisneria americana</i>						
<i>Wedelia trilobata</i>						
<i>Wolffia brasiliense</i>						
<i>Wolffia columbiana</i>						
<i>Wolffia papulifera</i>						
<i>Wolffia punctata</i>						
<i>Wolffiella floridana</i>						
<i>Wolffiella gladiata</i>						
<i>Wolffiella lingulata</i>						
<i>Wolffiella oblonga</i>						
<i>Wolffiella welwitschii</i>						
<i>Xanthosoma robustum</i>						
<i>Xyris</i> (16 especies de humedales)						
<i>Zannichellia palustris</i>						
<i>Zizania aquatica</i>						
<i>Zizaniopsis miliaceae</i>						

LOS ARRECIFES CORALINOS DEL GOLFO DE MÉXICO: CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO

*Eric Jordán-Dahlgren **

GENERALIDADES

El Golfo de México es un mar tropical a subtropical, oligotrófico en partes y con una circulación marina relativamente restringida debido a que se trata de un mar interior. La dinámica oceánica está determinada principalmente por la Corriente de Lazo, la que también influye sobre los movimientos de agua costeros, particularmente cuando los giros que se desprenden de esa corriente contribuyen a la formación de corrientes de chorro cerca de las costas. El esfuerzo del viento sobre la superficie del agua juega un papel importante en la dinámica de las aguas costeras y oceánicas. A diferencia de lo que sucede en la mayor parte del Caribe, en el Golfo existen dos sistemas de oleaje diferentes anualmente, uno generado por los vientos alisios durante la mayor parte del año y otro por los Nortes, durante la temporada invernal. El Golfo se caracteriza además, por la influencia de grandes sistemas fluviales (desde laguna de Términos hasta el delta del Misisipi y la plataforma continental de Florida), que generan condiciones ambientales poco propicias para la biota coralina arrecifal. Pero incluso en la parte NE de la plataforma continental yucateca, donde no hay ríos, el efecto de surgencias en el Canal de Yucatán y quizás también de la derrama continental subsuperficial, determinan un ambiente poco propicio para la formación de arrecifes coralinos. Por ello, en gran parte

de la plataforma continental del Golfo de México las condiciones para el desarrollo de arrecifes coralinos no es adecuado; de hecho, de los aproximadamente 360,000 km² de superficie que tiene la parte somera (menos de 50 m de profundidad) de la plataforma continental del Golfo, menos del 1% está cubierta por arrecifes coralinos, aunque el área colonizada por biota coralina es considerablemente mayor.

Este trabajo se enfoca en los arrecifes coralinos emergentes y casiemergentes porque son los que han sido capaces de mantener un crecimiento sostenido durante el ascenso del nivel del mar, durante la transgresión holocénica. Este tipo de arrecifes se encuentra únicamente sobre la plataforma continental mexicana en el interior del Golfo de México y en las áreas someras asociadas al estrecho de Florida, como son los Cayos de Florida y los arrecifes de la parte NW de Cuba. Sin embargo, en este artículo se excluyen estos últimos porque su desarrollo y condición son determinadas por circunstancias ambientales muy diferentes de las que imperan al interior del Golfo, ya que en el Estrecho de Florida existe una intensa dinámica oceánica resultado del flujo constante de la corriente de Yucatán hacia el Atlántico. Por esa misma razón, es poco probable que esos arrecifes interactúen directamente con los arrecifes internos del Golfo.

En el interior del Golfo existen otras formaciones que no alcanzan la superficie del mar y que no tienen origen arrecifal, los que se caracterizan por una limitada o nula capacidad de acreción, no obstante que pueden estar densamente colonizadas por biota coralina. Tal es el caso de las crestas que conforman los Middle Grounds en la parte NW de la plataforma de Florida y particularmente la de los numerosos bancos diapíricos de los Flower Gardens a lo largo del borde de la plataforma continental de Texas y Luisiana (Rezak *et al.* 1990). Además de que estos bancos tienen un emplazamiento relativamente profundo (los ápices se encuentran a 20 m de profundidad o más), las condiciones ambientales que los rodean son un tanto particulares, razón por la que no se encuentran corales del género *Acropora*, uno de los constructores arrecifales más importantes, así como tampoco gorgonáceos, otro componente común de los arrecifes caribeños. En la cuenca interna del Golfo existen también unos "arrecifes profundos" a cientos de metros bajo la superficie, que en realidad no tienen una matriz arrecifal, sino que se trata de densas comunidades de corales no-simbióticos, por ejemplo del género *Lophelia*.

LOS ARRECIFES CORALINOS EMERGENTES DEL GOLFO DE MÉXICO

Los arrecifes coralinos emergentes que existen al interior del Golfo de México sólo se encuentran sobre la plataforma continental mexicana y su grado de desarrollo es considerablemente elevado, análogo al de arrecifes del mismo tipo en el mar Caribe. Estos sistemas arrecifales se encuentran localizados principalmente en dos regiones de la plataforma: en el Sonda de Campeche y sobre la plataforma frente a Veracruz. Las características principales de estos arrecifes han sido científicamente descritas por numerosos autores comenzando por Heilprin en 1890 y existe una amplia literatura al respecto (véase una revisión en Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez 2003). Sin embargo, a fin de dar los antecedentes necesarios haré una síntesis de sus características.

Arrecifes frente al litoral veracruzano. Existen cuatro conjuntos arrecifales compuestos por arrecifes de banco geomorfológicamente bien constituidos, que se caracterizan por taludes relativamente abruptos y una parte superior somera (figura 1), en áreas geográficamente discretas: Antón Lizardo (8 arrecifes); Veracruz (7 arrecifes); Tuxpan (3 arrecifes) e Isla Lobos (3 arrecifes). Se hallan relativamente cerca de la costa, entre algunos cientos de metros y poco más de 20 km (algunos, como el de Hornos y la Gallega en Veracruz, son tan cercanos que ya han sido invadidos por la expansión litoral antropogénica). Su extensión es moderada, menor a los 10 km² y el basamento se encuentra a profundidades que oscilan entre los 20 y 45 m. El patrón de distribución de estos arrecifes sugiere un basamento de restos de arrecifes fósiles, aunque no es posible descartar domos basálticos o salinos (Freeland-Lockwood 1971). Además de esos arrecifes, en diversos puntos a lo largo del litoral se pueden encontrar parches coralinos sobre fondos duros, que se caracterizan por una escasa o nula acreción.

Biológicamente estos arrecifes se caracterizan por una comunidad coralina diversa y abundante, en la que los corales escleractinios tienen una alta riqueza específica (Emery 1963, Horta-Puga y Carricart-Ganivet 1993), con patrones de zonación pronunciadamente marcados a barlovento y a sotavento del arrecife. La parte somera externa a barlovento está dominada por extensos cinturones monoespecíficos conformados por grandes colonias del coral ramificado «cuerno de alce», *Acropora palmata*, mientras que a sotavento la comunidad alterna entre extensos campos del coral «cuerno de ciervo», *Acropora cervicornis* y de corales mixtos, donde predominan las especies masivas. En las partes intermedias y profundas tienden a dominar

corales masivos de los géneros *Montastraea*, *Diploria* y *Colpophyllia*, pero en general la riqueza específica es relativamente alta. Otro conjunto biótico importante, que juega un papel destacado en la consolidación de la matriz arrecifal, está constituido por algas coralináceas de diversos géneros que dominan los ambientes de sombra y penumbra. En contraste, los gorgonáceos están muy pobremente representados en estos arrecifes, no obstante que son un componente típico de la biota arrecifal caribeña.

Un hecho significativo es que prácticamente todas las colonias de ambas especies de *Acropora*, que conforman los extensos cinturones y campos coralinos arriba mencionados, mueren hacia la década de los ochenta debido probablemente a la enfermedad de la banda blanca (Gladeferter 1982), quedando únicamente los esqueletos en pie y en proceso de erosión. Jordán-Dahlgren (1992) reporta un proceso de recolonización inicial muy lento y observaciones parciales posteriores, hechas por diferentes investigadores, indican que ese lento ritmo no ha cambiado recientemente. A la fecha, se desconoce si otras enfermedades letales en corales han proliferado en estos arrecifes y si lo han hecho, a qué nivel; pero es notorio que en algunos de ellos existan elevados niveles de bioerosión en colonias vivas del género *Diploria*.

Arrecifes del Sonda de Campeche. Los arrecifes coralinos de esta región se encuentran principalmente cerca del borde de la plataforma continental, muy distantes de tierra firme, aunque existe un grupo de tres arrecifes pequeños cerca de la costa, frente a Sisal, Yucatán (figura 1). Morfológicamente son del tipo banco, pero existe una amplia diferencia estructural entre ellos y forman estructuras aisladas, aunque algunos arrecifes forman grupos como es el caso de los arrecifes de Triángulos. Varios de estos arrecifes están emergidos y forman islas, denominadas cayos, mientras que otros están a unos cuantos metros por debajo de la superficie del mar. Las dimensiones de los arrecifes externos oscilan entre tres y poco más de 20 km², exceptuando el arrecife de Alacranes que tiene más de 650 km² de superficie. Aunque no se ha confirmado, Logan (1969) postula que el basamento sobre el que se han formado estos arrecifes corresponde a dunas antiguas y que el crecimiento arrecifal ocurre durante etapas transgresivas. Datos recientes demuestran que las tasas de acreción son lo suficientemente elevadas para haber mantenido el crecimiento arrecifal durante el último ascenso del nivel del mar (Blanchon y Perry en prensa), e incluso son de las más elevadas que se han reportado para la transgresión Holocénica (Macintyre *et al.* 1977). De hecho, muchos de estos arrecifes muestran pronunciados rasgos de crecimien-

to arrecifal activo, como son los sistemas de canales y macizos e incluso fosos longitudinales, tanto a barlovento como a sotavento.

La comunidad de corales escleractinios que coloniza y mantiene estos arrecifes es diversa y abundante (Bonet 1967, Logan 1969, Farrel *et al.* 1983), al igual que otros componentes de la biota arrecifal coralina (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez 2003). La parte somera de los arrecifes tiende a estar dominada por *Acropora palmata* y *A. cervicornis* asociados a un conjunto multiespecífico variable en función del hábitat particular. Mientras que *A. palmata* llega a formar en algunos casos extensas estructuras de tipo panal en la zona de barlovento, como se observa en Cayos Arenas, *A. cervicornis* forma extensos campos en las partes protegidas y someras, e incluso hasta los 35 m de profundidad a sotavento de Triángulos Este. Eventualmente el híbrido no fértil *A. prolifera* es abundante en partes someras de estos arrecifes. En las zonas de profundidad intermedia predominan sustratos duros, de bajo relieve, que están colonizados por un conjunto diverso de especies donde predominan corales, gorgonáceos y esponjas. Aquí, las colonias de escleractinios son abundantes aunque relativamente pequeñas, de manera que no alcanzan a formar estructuras arrecifales secundarias. Sin embargo, aunque espacialmente predominan los fondos duros de bajo relieve, también hay áreas con rasgos estructurales secundarios bien desarrollados. De hecho, la proporción entre fondos de bajo y alto relieve es muy variable entre los arrecifes del Sonda de Campeche, pero en ambos predominan corales masivos de los géneros *Montastraea*, *Diploria* y *Siderastrea*. En las partes más profundas puede existir el mismo patrón, pero en general la dominancia específica es considerablemente más elevada y en varios sitios el alga carnosa *Lobophora variegata*, capaz de competir efectivamente con corales por el control del sustrato, es muy abundante. Las algas coralíneas son también muy abundantes, incluso en las áreas de alta iluminación de la plataforma superior, donde juegan un activo papel en la consolidación de los restos de esqueletos de *A. cervicornis*. Los gorgonáceos están relativamente bien representados, aunque muestran un proceso de relativo aislamiento con respecto a las biotas dominantes en el mar Caribe (Jordán-Dahlgren 2002). Particularmente notorio es que en las partes arenosas someras y protegidas hay poca presencia de algas calcáreas pediceladas y en muchos arrecifes los pastos marinos están ausentes.

Al igual que en los arrecifes frente al litoral veracruzano y en otros del Gran Caribe, casi la totalidad de las colonias de acropóridos murieron hace una década, probablemente a causa de la enfermedad de la banda blanca. El

proceso de recolonización por estas especies es más acelerado que el observado en los arrecifes frente al litoral de Veracruz (Jordán-Dahlgren 2003). Otra situación observada en estos arrecifes es la creciente incidencia del síndrome letal de la banda amarilla (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, en prensa) que ataca principalmente a corales del género *Montastraea*. Esta situación es preocupante porque estas especies, junto con los acropóridos, constituyen el conjunto fundamental de constructores arrecifales en la región biogeográfica del Caribe.

LA CALIDAD DEL AMBIENTE, IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS Y PERTURBACIONES NATURALES

En general se puede afirmar que en la época moderna han ocurrido severos cambios en la calidad del ambiente marino a escala local y planetaria, que afectan en diverso grado a las comunidades y arrecifes coralinos del Golfo de México y del resto del mundo. Las causas del deterioro ambiental son múltiples pero en general se trata del efecto acumulado de impactos ambientales a escala local, regional y global, que pueden dar como resultado situaciones catastróficas. Primero plantearé la situación local para cada uno de los sistemas arrecifales descritos y posteriormente los potenciales efectos regionales y globales que afectan a ambos; finalmente se discuten los escenarios ecológicos que pueden resultar de esta situación.

Arrecifes frente al litoral veracruzano. El sistema arrecifal más impactado en el Golfo de México es sin duda el de los arrecifes frente al litoral veracruzano. Esto resulta en mucho de su emplazamiento geográfico, ya que se encuentran en un medio marino con fuerte influencia continental por la descarga de los grandes sistemas fluviales que caracterizan esta región del Golfo, y también porque es una de las zonas con mayor desarrollo urbano, agrícola e industrial del país. Las descargas fluviales afectan el entorno arrecifal, particularmente durante la época de lluvias, en primer lugar porque acarrear grandes cantidades de sedimentos suspendidos, los que entre muchas otras cosas, provocan una drástica reducción en la transparencia del agua y se precipitan sobre el fondo cubriendo corales y otros organismos sésiles de la comunidad coralina, dando lugar a una drástica modificación del ambiente oligotrófico que requiere esta biota. Las descargas fluviales también acarrear gran cantidad de diversos tipos de contaminantes urbanos, agrícolas e industriales, que son liberados en la cuenca de captación de esos sistemas fluviales, lo que aunado a los escurrimientos directos

de ciudades y pueblos a lo largo de las costas, da como resultado un ambiente marino litoral muy contaminado que alcanza las zonas arrecifales (Horta-Puga y Barba-Santos, 2003). Un efecto potencial muy preocupante de la eutrofización resultante es el cambio del ambiente oligotrófico, el exceso de nutrientes en el agua que pueda dar lugar a explosiones poblacionales de algas carnosas sésiles, las que pueden eliminar a los corales porque tienen tasas de crecimiento y proliferación mucho más rápidas.

Además de los impactos indirectos, también existen impactos directos y los más importantes están relacionados con las actividades extractivas, particularmente la pesca (sobrepesca) y la extracción, con poco o nulo control de corales, conchas y otros organismos para su venta al turista como «recuerdos». Estas actividades extractivas tienen diversos efectos en las comunidades coralinas y son más severos que en otros sistemas por muchas razones; una muy evidente es que los corales crecen muy lentamente y no es fácil compensar la extracción. Otro efecto potencialmente muy peligroso es mantener niveles de sobrepesca, puesto que hay evidencia de arrecifes del Caribe, en los que cuando está asociado a otros factores de estrés, puede resultar en colapsos de la comunidad coralina (Hughes, 1994). Otro tipo de impacto directo que ha existido desde hace mucho tiempo es el encallamiento de buques, que destrozan la biota coralina del área de impacto, la que posteriormente puede incrementarse por los esfuerzos de salvamento o por el movimiento del buque durante temporales. Finalmente, en el caso de los arrecifes frente a la ciudad de Veracruz un impacto muy importante ha resultado de la modificación del litoral, primero por la construcción del castillo de San Juan de Ulúa (en mucho con roca arrecifal extraída de los arrecifes locales) y posteriormente por la construcción del puerto y el malecón de la ciudad, que cambiaron drásticamente la dinámica de transporte litoral y de playas. El resultado evidente es la progresión de la línea de costa sobre los arrecifes más cercanos al litoral, efecto claramente observable hoy en día en el arrecifes de Hornos y el de la Gallega.

Los arrecifes del Sonda de Campeche. A diferencia de lo que sucede con los neríticos arrecifes veracruzanos, los del Sonda de Campeche (excepto los pequeños arrecifes frente a Sisal), crecen en un ambiente netamente oceánico por la gran distancia que los separa del litoral. Pero además, el acarreo de terrígenos es muy reducido ya que la Península de Yucatán es un macizo continental predominantemente kárstico, que tiene muy poco suelo y no hay ríos superficiales. La fuente de influencia continental más cercana proviene de los aportes fluviales del sistema Grijalva-Usumacinta, pero el efecto

importante termina al sur del arrecife más septentrional del Sonda de Campeche, el de Cayos Arcas (Logan 1969). El efecto de la derrama freática de la Península de Yucatán hacia la Sonda de Campeche y los arrecifes coralinos que en él se encuentran es desconocido, pero es probablemente de escasa importancia para los arrecifes externos por las grandes distancias que los separan de la costa. Por lo tanto, los impactos antropogénicos indirectos originados en la Península de Yucatán son mínimos, si es que existen, aunque podría haber contaminación proveniente del mar Caribe.

Los impactos directos en los arrecifes del Sonda de Campeche son básicamente la pesca y los encallamientos. A la fecha los niveles de sobrepesca corresponden a las especies de alto valor comercial, y en ese sentido este recurso resulta menos afectado que el de los arrecifes frente al litoral veracruzano, mientras que los encallamientos son relativamente escasos, pues no es una zona con mucho tránsito marino. En un arrecife en particular, el de Cayos Arcas, ha habido impactos de tipo industrial asociados con la construcción y operación de una plataforma para la carga de buques tanque petroleros. Sin embargo, nuestras investigaciones sugieren que si hubo daños mayores en la comunidad coralina por efecto de esa actividad durante la etapa anterior a nuestros estudios (1996 a la fecha), la evidencia de ellos desapareció por el efecto catastrófico que causó el oleaje generado por los ciclones Roxana y Opal en 1995 (datos no publicados). Actualmente no hay evidencia de daños mayores, pero queda por conocer si las actividades industriales en las cercanías del Arrecife de Cayos Arcas pueden tener un efecto negativo y significativo en la recuperación natural de la comunidad coralina.

LOS EFECTOS REGIONALES Y GLOBALES EN EL ECOSISTEMA ARRECIFAL CORALINO

A escala del Golfo de México, uno de los factores naturales de cambio es el oleaje producido por huracanes y tormentas tropicales en el verano e incluso por Nortes huracanados en invierno. Este oleaje destructivo tiene la capacidad de provocar cambios en la comunidad coralina de los arrecifes y evidentemente los ciclones de alta intensidad tienen un efecto mayor, pero incluso ciclones de baja categoría pueden provocar daños catastróficos si se desplazan alrededor de un sistema arrecifal, como fue el caso del ciclón Roxana (1995) en la parte sur del Sonda de Campeche. De acuerdo con Jordán- Dahlgren y Rodríguez-Martínez (2003), y con base en un análisis de la información dis-

ponible para un lapso de 111 años, el período de retorno de huracanes de alta intensidad (categorías 3 a 5 en la escala Saffir-Simpson) es de 37.1 años para el litoral veracruzano, pero de tan sólo 12.3 años para el Sonda de Campeche. Sin embargo, si a consecuencia del calentamiento global hubiera un incremento significativo en la frecuencia e intensidad de ciclones (como predicen los modelos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático Global), los efectos podrían ser devastadores ya que la tasa de recuperación de la comunidad coralina es naturalmente muy lenta. Otro efecto potencial, particular de los Nortes fuertes, sería el de generar un choque térmico como resultado de un abrupto descenso de la temperatura superficial del mar que pudiese provocar mortalidades masivas en algunos componentes de la comunidad coralina, como ha sido documentado para arrecifes de la Florida.

Otro efecto regional potencialmente importante es la contaminación por sólidos y sustancias disueltas que, siendo liberados en el mar Caribe, llegan a los arrecifes del Golfo, ya que el sistema de circulación predominante en el Caribe es hacia el canal de Yucatán y de ahí eventualmente al Golfo de México. Aún cuando la importancia relativa de su efecto sobre las comunidades coralinas del interior del Golfo es desconocida, el mecanismo de transporte indudablemente existe. De hecho, buena parte de la basura que llegan a las playas de los Cayos de la Sonda de Campeche y del estado de Veracruz provienen del Caribe, y la mayor parte de los asfaltos de escurrimientos petroleros en Venezuela o Trinidad y Tobago. Por otro lado, evidencia reciente y aún un tanto polémica, sugiere que incluso la calidad de las aguas pelágicas en el mar Caribe está siendo significativamente degradada por las actividades antropogénicas que se dan alrededor y dentro de este mar mediterráneo. Sin embargo, si esto en realidad ya está sucediendo, es en principio más preocupante para los arrecifes de la Sonda de Campeche que para los del litoral veracruzano, que tienen niveles de contaminación locales muy diversos y elevados.

El cambio climático global, particularmente el calentamiento de la atmósfera y el incremento de radiación UV-B, tiene numerosos efectos negativos en la comunidad coralina, aunque su efecto difiere entre regiones y localidades. Además de sus efectos en el clima oceánico, el calentamiento global tiene consecuencias biológicas muy serias en la estabilidad y salud del ecosistema arrecifal-coralino. Un ejemplo de esta situación es el incremento en los episodios de blanqueamiento que afectan a corales y otros organismos simbióticos; otro de importancia es la emergencia de enfermedades infecciosas letales para muchas especies de la comunidad, especialmente los

corales. El fenómeno del blanqueamiento resulta de que el hospedero expulsa las zooxantelas cuando es severamente estresado, lo que es señal inequívoca de condiciones ambientales muy difíciles de soportar para el par simbiote. Esto puede suceder por muchos factores, pero el calentamiento superficial de los mares es el más importante porque abarca grandes extensiones del océano. Dependiendo de la severidad del evento, el blanqueamiento puede tener un efecto pasajero o provocar mortalidades masivas que pueden llevar al colapso de la comunidad coralina, como ha sucedido en varios lugares del Pacífico, el más reciente en 2001. A la fecha, no hay reportes de blanqueamientos masivos letales en los arrecifes coralinos del Golfo de México, sin embargo comúnmente se observan colonias blanqueadas aisladas y en todo caso, eventos suaves de blanqueamiento pueden pasar desapercibidos «a ojo». Aún cuando el episodio de blanqueamientos no sea letal, la pérdida parcial de zooxantelas reduce la capacidad fisiológica del simbiote, lo que entre otras cosas puede dar como resultado una resistencia reducida a competidores, parásitos y patógenos.

En contraste con lo que sucede en el Pacífico, en el Caribe y en el Golfo de México, la incidencia de enfermedades infecciosas en corales y otros organismos, es relativamente elevada y además, ampliamente distribuida. Situación que probablemente resulta de la combinación de los efectos de muchos factores directos e indirectos, pero el calentamiento de los mares en particular es muy importante, porque muchos patógenos aumentan su actividad y sus tasas de reproducción a temperaturas mayores (Dazsak *et al.* 2001; Harvell *et al.* 2002). Debido a que la biota coralina es fisiológicamente debilitada por el deterioro de su entorno ambiental, mientras que la actividad de los patógenos es incrementada por esas mismas condiciones, se tiende a niveles de incidencia y mortalidad elevados. Los arrecifes del Golfo de México ya están sufriendo los efectos de estas enfermedades como demuestra la mortalidad de acropóridos (Jordán-Dahlgren 1992, 2003) y la creciente incidencia de otras enfermedades como la de la banda amarilla (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, en prensa). Algunos de los patógenos identificados como causantes de las enfermedades que hemos identificado en arrecifes del Golfo son de origen terrestre, como el hongo *Aspergillus sidowii*, o bacterias comunes en el trato digestivo de humanos y otros muchos animales marinos y terrestres (*Serratia marcescens*, Paterson *et al.* 2002), lo que señala un efecto combinado de efectos locales y globales. Otra enfermedad letal que proliferó en los arrecifes del Golfo, así como en los del Caribe, es la que provocó la mortalidad masiva del erizo *Diadema*

antillarum, herbívoro muy importante en el ambiente arrecifal ya que es capaz de controlar el crecimiento de algas carnosas y cuya importancia aumenta significativamente cuando hay sobrepesca de peces herbívoros.

CONSIDERACIONES GENERALES Y ESCENARIOS POSIBLES

Con base en lo anterior se puede afirmar que en la actualidad hay un deterioro significativo en la calidad del ambiente marino, resultado de impactos locales, regionales y globales, que afecta en diverso grado a las comunidades y arrecifes coralinos del Golfo de México. El mayor problema potencial de esta situación es que las especies clave son diezmadas y que ésto lleva a un catastrófico colapso de la comunidad coralina. Evidentemente los arrecifes frente al litoral veracruzano son los que sufren la mayor presión ambiental, debido a la multitud de impactos locales, y por ello la posibilidad de eventos masivos de mortalidad producidos por enfermedades y/o por blanqueamientos letales, es potencialmente alta. Los arrecifes del Sonda de Campeche no escapan a esta amenaza, pero aparentemente el nivel de riesgo ecológico es menor porque los impactos por efectos locales son bajos (cuadro 1).

En el caso de una reducción severa en la densidad poblacional de especies clave, como ya ha sucedido con los acropóridos, se reduce o incluso elimina la capacidad de reproducción local. En esta situación el mantenimiento y/o eventual restitución de densidades poblaciones adecuadas, dependerá de la inmigración de larvas producidas en áreas distantes (del Caribe, por ejemplo). Sin embargo, para que este mecanismo tenga un efecto poblacional significativo se requiere de un alto nivel de conectividad ecológica, lo que depende del esfuerzo reproductor de la especie en las áreas de producción distantes y también de la eficiencia de los mecanismos de transporte en términos de la viabilidad de las larvas. El grado de conectividad ecológica es un elemento fundamental para el manejo racional y la conservación de estos sistemas arrecifales, sin embargo hay muy poca información al respecto. Existen evidencias parciales de que los niveles de conectividad ecológica en los arrecifes del Golfo es potencialmente baja, como sugiere el análisis de patrones de riqueza específica y abundancia de gorgonáceos (Jordán-Dahlgren 2002), que muestra la existencia de gradientes decrecientes en riqueza y abundancia del Caribe al interior del Golfo. Estos patrones parecen ser mejor explicados por los modelos actuales de circulación oceánica y costera en el Golfo que por causas locales, ya que existen diversas barreras a la distribución de larvas que van desde el Canal de Yucatán (por efecto de

CUADRO 1. IMPACTO RELATIVO DE FACTORES LOCALES Y EXTERNOS EN ARRECIFES DEL GOLFO DE MÉXICO

FACTORES ANTROPOGÉNICOS	ARRECIFES	
	VERACRUZ	SONDA DE CAMPECHE
Sobre pesca ¹	A	A
Métodos destructivos de pesca	N	N
Colecta de especímenes	A	SD
Minería de coral (pasado)	A	N
Dragados	A	N
Encallamientos	A	M
Daño por anclas	M	B
Deforestación local	A	N
Turismo	M	B
Contaminantes urbanos	A	N
Contaminantes industriales	A	B-M
Contaminantes oceánicos ²	M	B
Contaminantes terrestres ³	A	N
Eventos «naturales»		
Pérdida de acropóridos	A	A
Pérdida de <i>Diadema</i>	A	A
Sobre-crecimiento de macroalgas	M	M
Huracanes ⁴	A	A
Blanqueamiento ⁵	SD	SD

A = Alto; M = Medio; B = Bajo; N = Nulo; X = Desconocido; SD = Sin datos.

1. Pesca: principalmente carnívoros de alto valor. 2. Contaminantes oceánicos: basura y sustancias transportadas a estos arrecifes por las corrientes superficiales del Caribe occidental.

3. Contaminantes terrestres: basura y sustancias acarreadas por ríos. 4. Huracanes: condición actual de los arrecifes después de recuperarse del impacto de huracanes. 5. Blanqueamiento: se desconoce si ha ocurrido blanqueamiento en los arrecifes del Banco de Campeche.

Eventos «naturales»: situaciones que pueden ser provocadas y/o potencializadas por impactos antropogénicos indirectos.

surgencias), hasta el litoral interno del Golfo (por efecto de las descargas fluviales). Ambos tipos de información, la de los gradientes decrecientes en gorgonáceos y los modelos de circulación, permiten considerar que una conectividad ecológica eficiente a escala poblacional es esporádica y relati-

vamente poco frecuente, particularmente entre el Caribe y/o Sonda de Campeche y los arrecifes frente al litoral veracruzano.

Como se planteó anteriormente, uno de los peligros de la pérdida masiva de especies clave es la alta posibilidad de un colapso comunitario, ya que en este caso podría darse un reemplazo de corales por otro tipo de organismos (como macroalgas, esponjas o zoantarios coloniales) que sin ser constructores arrecifales, también pueden dominar el sustrato arrecifal. Entre las muchas consecuencias ecológicas de un cambio de comunidad de este tipo, estaría la dificultad de una recolonización exitosa por corales y biota asociada a ellos, porque la comunidad alternativa tendería a ser estable mientras se mantengan las condiciones que le permitieron colonizar los arrecifes (Done 1992). De hecho, si acaso las condiciones ambientales originales fueran restituidas, la lenta tasa de renovación de la biota coralina determinaría un lento proceso de recolonización y cambio, de muchas décadas probablemente. Si bien los cambios de estado en la comunidad coralina son muy factibles cuando hay un cambio significativo en la calidad del ambiente (Knowlton 1992, Wilkinson 2000), es difícil predecir cómo y cuándo se daría ese cambio en un arrecife dado. Esta dificultad obedece a la compleja naturaleza de estos ecosistemas que no responden en forma monotónica a las causas de estrés, porque en su funcionamiento hay muchos elementos que actúan sinérgicamente, a la vez que hay diversas rutas para el flujo de energía dentro y entre los diferentes niveles tróficos, lo que entre otras cosas, elimina la posibilidad de encontrar especies indicadoras de la condición global de la comunidad.

Pero además de lo anterior, la posibilidad del colapso de la comunidad coralina y su sustitución por otra, que no contribuya al crecimiento y mantenimiento de la estructura arrecifal, es muy preocupante porque la parte superior del arrecife puede ser rápidamente erosionada. Esto sucedería porque si bien la matriz arrecifal es principalmente formada y mantenida por la biota coralina, las estructuras de alto relieve que se forman son también un fino modulador del entorno ambiental para la comunidad coralina, lo que potencializa su desarrollo. De hecho, mientras que la comunidad coralina de un arrecife coralino tiende a ser muy estable, la que existe sobre fondos duros, no arrecifales, pero adecuados para la biota coralina es transitoria (Jordán-Dahlgren 1992). La importancia de un medio potencializador para el crecimiento de corales estriba en que eso es lo que garantiza la formación y mantenimiento de la estructura arrecifal, porque los arrecifes son resultado de un balance positivo en la dinámica relación que hay entre procesos

constructivos y procesos erosivos, indispensables para la producción del material que requiere la conformación de la matriz arrecifal. Si por el contrario, en ese balance predominan los procesos erosivos, entonces la estructura arrecifal superficial es rápidamente destruida por el efecto combinado de la bioerosión y el impacto del oleaje de tormenta, ya que mientras que los procesos constructivos requieren del crecimiento y proliferación de corales (y otros organismos productores de carbonatos), los erosivos sólo necesitan la existencia de la caliza arrecifal.

CONCLUSIÓN

Por todo lo anterior es evidente que la elevada presión ambiental en los arrecifes del Golfo, particularmente en los que están en la plataforma continental del estado de Veracruz, que es generada por efectos locales, regionales y globales, puede dar lugar a un colapso de las comunidades coralinas que los mantienen. El problema principal de ello no es solamente la posibilidad de que el ambiente arrecifal sea colonizado por otros organismos incapaces de mantener la estructura arrecifal, sino la lenta recuperación potencial, que incluso en condiciones óptimas, determina la complejidad de la comunidad coralina.

En términos de la acelerada dinámica humana, un cambio de esta naturaleza bien puede implicar la pérdida del sistema para muchas generaciones. A la fecha, los métodos de restitución artificial son claramente insuficientes para enfrentar problemáticas de escala arrecifal; menos aún si el deterioro ambiental, que es la causa original del problema, persiste o aumenta. Esta situación, en la que hay un progresivo deterioro del ambiente y en la que los recursos tecnológicos disponibles son inadecuados para lograr una efectiva restauración artificial a escala arrecifal, determina una sola estrategia viable para la conservación razonable de estos ecosistemas arrecifal-coralinos, como se expresa en las siguientes recomendaciones.

RECOMENDACIONES

- 1) Garantizar que no aumente la intensidad de los impactos directos e indirectos de origen local que actualmente afectan la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina que habita en los arrecifes mencionados.
- 2) Reducir la magnitud de esos impactos a través de la aplicación estricta de

las regulaciones existentes.

- 3) Impedir efectivamente la generación de nuevos impactos o de efectos de antiguos impactos que potencial o efectivamente puedan afectar la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina que habita en los arrecifes mencionados.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanchon, P., Perry, C.T. (en prensa). Taphonomic differentiation of *Acropora palmata* facies in cores from Campeche-Bank Reefs, Gulf of México. *Sedimentology*.
- Bonet, F. 1967. Biogeología Subsuperficial del Arrecife Alacranes, Yucatán. Univ. Nal. Auton. de México. Instituto de Geología. *Boletín* 80: 1-191.
- Daszak, P., Cunningham, A.A., Hyatt, A.D. 2001. Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. *Acta Tropica* 78: 103-116.
- Done, T. 1992. Constancy and change in some Great Barrier Reef coral communities: 1980-1990. *American Zoologist* 32: 655-662.
- Emery, K.O. 1963. Arrecifes coralinos en Veracruz, México. *Geofísica Inter.* 3: 11-17.
- Farrel, T.M., D'Elia, C.F., Lubbers, L., Pastor, L.J. Jr. 1983. Hermatypic coral diversity and reef zonation at Cayos Arcas Campeche, Gulf of México. *Atollon Research Bulletin* 270: 1-7.
- Freeland-Lockwood, G. 1971. Carbonate sediments in a terrigenous province: the reefs of Veracruz, Mexico. Ph.D. Dissertation. Rice University, Houston, Texas. Pp. 253.
- Gladfelter, W.B. 1982 White-band disease in *Acropora palmata*: Implications for the structure and growth of shallow reefs. *Bulletin of Marine Science* 32(3): 639-643.
- Harvell, C.D., Kim, K., Burkholder, J.M., Colwell, R.R., Epstein, P.R., Grimes, D.J., Hofmann, E.E., Lipp, E.K., Osterhaus, A.D.M.E., Overstreet, R.M., Porter, J.W., Smith, G.W., Vasta, G.R. 1999. Emerging marine diseases—climate links and anthropogenic factors. *Science* 285: 1505-1510.
- Harvell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., Altizer, S., Dobson, A.P., Ostfeld, R.S., Samuel, M.D. 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* 296: 2158-2162.
- Heilprin, A. 1890. The corals and coral reefs of the western waters of the Gulf of México. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 42: 303-316.
- Horta-Puga, G., Carricart-Ganivet, J.P., 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. Salazar-Vallejo S.I. y González, N.E. (eds). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO/CIQRO, México, DF. Pp. 64-78.
- Horta-Puga, G., Barba-Santos, G. 1999. Veracruz Reef System, Gulf of México. AGRRA

- Field Reports. [En línea. Fecha de acceso: septiembre de 2003]. Disponible: <http://www.coral.noaa.gov/agra/reports/Veracruz.html>
- Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265: 1548-1551.
- Jordán-Dahlgren, E. 1992. Recolonization patterns of *Acropora palmata* in a marginal environment. *Bulletin of Marine Science* 51(1): 104-117.
- Jordán-Dahlgren, E. 2002. Gorgonian distribution patterns in coral reef environments of the Gulf of Mexico: evidence of sporadic ecological connectivity? *Coral Reefs* 21: 205-215.
- Jordán-Dahlgren, E. 2003. Status of Acroporids in the Mexican Atlantic. En: *Proceedings of the Caribbean Acropora workshop: potential application of the U.S. endangered species act as a conservation Strategy*. Bruckner, A.W. (ed). Miami, Florida. Pp 156-159.
- Jordán-Dahlgren, E., Rodríguez-Martínez, R.E. 2003. The Atlantic coral reefs of México. En: *Latin American Coral Reefs*. Cortés, J. (Ed.). Elsevier. 508 pp.
- Knowlton, N. 1992. Thresholds and multiple stable states in coral reef community dynamics. *American Zoologist* 32: 674-682.
- Logan, B.W. 1969. *Coral reefs and banks, Yucatán shelf, Mexico*. The American Association of Petroleum Geologists. Mem. **11**: 129-198.
- Macintyre, I.G., Burke, R.B., Stuckenrath, R. 1977. Thickest recorded Holocene reef section, Isla Perez core hole, Alacran Reef, Mexico. *Geology* 5: 749-754.
- Patterson, K.L., Porter, J.W., Ritchie, K.B., Poison, S.W., Mueller, E., Peters, E.C., Santavy D.L., Smith, G.W. 2002. The etiology of white pox, a lethal disease of the Caribbean elkhorn coral, *Acropora palmata*. *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)* 99(13): 8725-8730.
- Rezak, R., Gittings, S.R., Bright, T.J. 1990. Biotic Assemblages and Ecological Controls on Reef and Banks of the Northwest Gulf of Mexico. *American Zoologist* 30: 23-35.
- Wilkinson, C. 2000. Status of Coral Reefs of the World: 2000. [En línea. Fecha de acceso: septiembre de 2003]. Disponible: http://www.coral.noaa.gov/gcrmn/Status_2000.pdf

LA GEOLOGÍA AMBIENTAL DE LA ZONA LITORAL

*Arturo Carranza-Edwards, Leticia Rosales-Hoz, Margarita Caso
Chávez y Eduardo Morales de la Garza*

INTRODUCCIÓN

Aun cuando la geología ambiental se inicia desde la década de 1970 a nivel mundial, en México empieza a adquirir un carácter más formal a partir de los últimos diez años del siglo pasado. De acuerdo con Keller (1996), el principal problema ambiental es el exceso de población, ya que el incremento demográfico demanda una mayor cantidad de recursos principalmente energéticos, minerales, vegetales y espaciales, los cuales son finitos.

El rápido crecimiento de la población urbana se ha concentrado en pocas capitales del país, pero es de suponer que en el largo plazo la población mexicana se distribuya en una forma más equitativa. Cabe esperar que en un futuro no lejano se produzcan migraciones hacia las zonas costeras, pues en ellas se contará aún con una mayor cantidad de recursos hídricos.

La zona costera del Golfo de México cuenta con una actividad petrolera en creciente desarrollo que impacta a los estados de litorales del Golfo de México, principalmente Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche (Yañez-Arancibia 1999, Yañez-Arancibia *et al.* 1999).

El concepto de zona costera puede tener muchas definiciones. No obstante, si se acepta que el continente tiene influencia sobre el mar y viceversa, es importante considerar a la zona costera desde la vertiente del Golfo hasta la elevación continental (al pie del talud). Incluso cuando una cuenca

endorreica (como la Cuenca de México) se transforma antrópicamente en exorreica, la influencia continental sobre los mares se extenderá aún más. Lo mismo sucede cuando una corriente fluvial es represada, pues entonces los sedimentos y nutrientes que les acompañan no llegarán a su destino final que es el mar. Debido a los aportes antrópicos, son importantes los estudios de metales pesados en sedimentos fluviales, lacustres y marinos (Álvarez-Rivera *et al.* 1986, Rosales-Hoz *et al.* 1986a, Rosales-Hoz *et al.* 1986b, Rosales-Hoz *et al.* 1992, Rosales-Hoz *et al.* 1993, Rosales-Hoz y Carranza-Edwards 1998, Rosales-Hoz *et al.* 1999).

En los estudios ambientales y geoquímicos el análisis granulométrico de los sedimentos sirve para entender de forma integral las condiciones del área fuente y del sitio de depósito (Carranza-Edwards 1997).

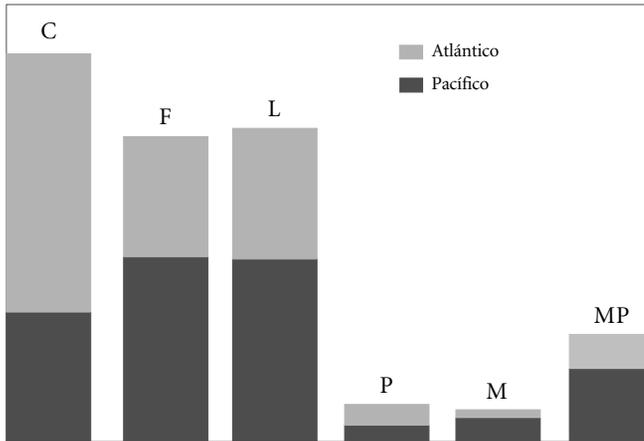
El objetivo de este capítulo es analizar la importancia de la franja litoral, con énfasis en las playas, desde un punto de vista ambiental; esto es, considerando las relaciones que las playas guardan con los ambientes terrestres y marinos que las rodean y con la influencia de la actividad antrópica.

LAS PLAYAS Y SU COMPOSICIÓN

Los principales componentes de las playas terrígenas o siliciclásticas son: cuarzos, feldespatos y fragmentos de roca o líticos. Dentro del proyecto "Sedimentología de playas de México" del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, se han recolectados numerosas muestras de sedimentos de playas. Si se comparan los sedimentos arenosos de las playas, se observa (figura 1) que las playas de la vertiente del Atlántico son más ricas en cuarzo que las del Pacífico. Esto se debe a que los ríos que drenan hacia el Atlántico son de mayor longitud por lo que los sedimentos fluviales han sido más retrabajados; en consecuencia, al descargarse en el litoral enriquecen a las playas en cuarzos, por ser éstos más resistentes al intemperismo físico y químico. En los sitios donde no existen aportes de sedimentos la turbiedad del agua es menor, y si las condiciones de energía son propicias, entonces se favorece la precipitación de carbonatos (Carranza-Edwards *et al.* 1996).

Los ríos han sido afectados por la mano del hombre, toda vez que en ellos se han construido cortinas para represar el agua o se han hecho canales para riego o para el abastecimiento de agua en general. El hecho es que por estas acciones no solamente se retiene el agua, sino que los sedimentos y los nutrientes naturales tampoco alcanzan la línea de costa. Por otra parte,

FIGURA 1. COMPOSICIÓN PROMEDIO DE ARENAS DE PLAYAS EN MÉXICO



C = cuarzos, F = feldespato, L = líticos, M = micas, P = pedernal, MP = minerales pesados.

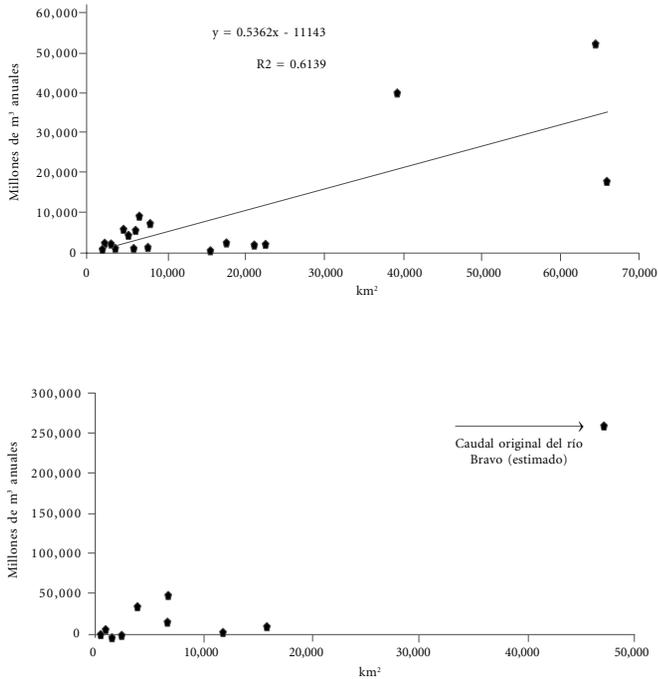
desde hace 40 años se ha incrementado la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en casi todos los ríos, y de acuerdo con Berner y Berner (1996) el incremento de nutrientes puede estar en factores de 2 ó 3, razón por la cual en las franjas costeras es cada vez más común el fenómeno de eutrofización.

Berner (1996) señala para el Golfo de México que las descargas del río Pánuco se inician de manera artificial desde la Ciudad de México, y son de impacto potencial por sus aportes de drenaje antropogénico o de aguas residuales de campos agrícolas.

Por su parte, el caudal "teórico original" del río Bravo se estima considerando la tendencia de los ríos de la parte superior de la figura, tomando en cuenta el área total de la cuenca.

El río más importante por su descarga de sedimentos en condiciones originales era el río Bravo. Tamayo (2002) considera que su caudal actual, en el lado mexicano, es de unos 5,000 millones de metros cúbicos anuales. Las mediciones actuales que se hagan de los escurrimientos en territorio mexicano más los del territorio estadounidense ya no pueden ser similares a los caudales

FIGURA. 2. CAUDAL DE LOS PRINCIPALES RÍOS QUE DESCARGAN SUS AGUAS, SEDIMENTOS, NUTRIENTES Y CONTAMINANTES AL GOLFO DE MÉXICO



Los datos de caudales y áreas de cuenca con la cual se construyó la gráfica de arriba corresponden a los ríos: San Fernando, Soto la Marina, Tamesí, Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Actopan, La Antigua, Jamapa, Blanco, Papaloapan, Coatzacoalcos, Tonalá, Mezcalapa, Alto Grijalva, Macuspana, Usumacinta, Candelaria y Champotón
Fuente: Tamayo 2002.

originales, considerados como los previos a cualquier represamiento. No obstante, se podría estimar que su caudal original, antes de ser modificado por las actividades humanas, pudo ser del orden de 250,000 millones de metros cúbicos anuales (figura 2). De hecho, es uno de los ríos más largos de Norteamérica ya que su longitud rebasa los 3,000 km y se inicia desde las

montañas San Juan, del estado de Colorado y constituye una frontera natural entre la República Mexicana y el estado de Texas. Entre sus principales usos está el consumo de agua potable y la agricultura. Las aguas de desechos urbanos y los pesticidas usados en la agricultura son vertidos hacia el río Bravo.

La falta de sedimentos terrígenos causa erosión continua y como resultado de ésta, es de esperarse un retroceso de la línea de costa, derivado de la actividad antropogénica.

EL PERFIL DE PLAYA

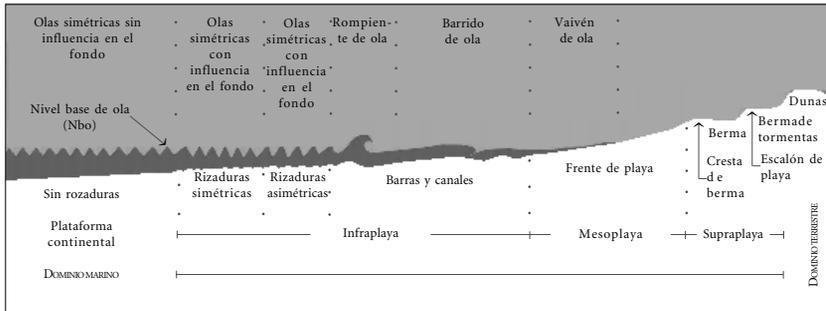
En México y en el resto de los países de habla hispana (más de 310 millones de habitantes), no hay una terminología uniforme con respecto a los diferentes rasgos asociados con el perfil de playa. Los 18 países cuya lengua materna es el castellano suman un total de 45, 000 km de litorales (considerados en línea recta). Tomando en cuenta estos hechos, Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994) hicieron una propuesta sobre terminología de las zonas de las playas, ya que el ambiente de playa es muy sensible a los cambios naturales y antrópicos, por lo que es básico contar con términos aplicables a sus distintos rasgos.

En la figura 3 aparece una síntesis modificada de dicha propuesta, en la cual se inserta la presencia del nivel base de ola (Nbo) como un sitio que da inicio a la playa, yendo de mar hacia tierra. De acuerdo con Komar (1976) una playa está constituida por material no consolidado, el cual entra en movimiento una vez que el oleaje empieza a "sentir" fondo. Es precisamente en el nivel base de ola donde sucede esto y como el nivel base de ola es bastante variable, el límite inferior de la playa también lo es. En el extremo opuesto se encuentra el límite superior, el cual puede estar determinado por la presencia de dunas, construcciones, vegetación, afloramientos rocosos, etc.

LAS PLAYAS DEL GOLFO

El perfil de las playas (figuras 4 a 9) del Golfo de México es muy variable. A continuación se discuten diversas playas de cada uno de los estados del Golfo. En el caso de Tamaulipas se resalta que ahí existen los perfiles más largos, los cuales están asociados con el Delta del río Bravo. La playa más extensa es la de Bagdad en Matamoros, la cual tiene un ancho mayor a los 250 metros. El color de las arenas de playa varía entre café pálido, gris claro e incluso

FIGURA. 3. EL PERFIL DE PLAYA



Nbo = nivel base de ola. De las tres zonas de playa, generalmente la de mayor extensión es la infraplaya.

Fuente: Modificado de la propuesta de Carranza y Caso 1994.

blanco cuando el contenido de fragmentos de conchas de moluscos (gasterópodos y pelecípedos) es alto. La composición es principalmente de subfeldsarenita, lo que refleja el alto contenido de cuarzos y feldespatos.

A medida que se incrementa la distancia del centro del Delta del río Bravo el ancho de la playa tiende a disminuir y la pendiente del frente de playa se incrementa. Asimismo, se observa que el tamaño de las partículas es menor en pendientes suaves y aumenta en pendientes mayores, excepto cuando se trata de fragmentos biogénicos, cuyo tamaño resulta independiente de la pendiente del frente de playa. Las clases dominantes de sedimentos terrígenos se encuentran en el rango de arenas finas.

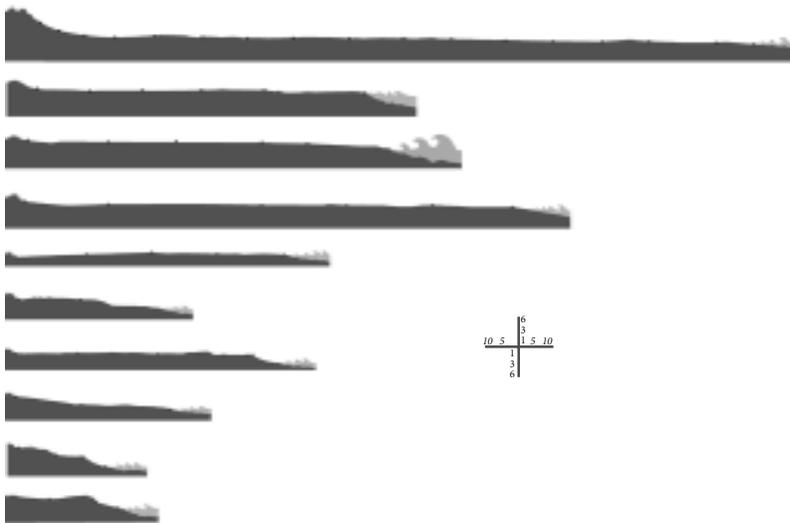
La clasificación del sedimento terrígeno tiende a variar desde muy bien clasificado a moderadamente clasificado; no obstante, en las arenas de la porción sur del estado hay una mayor tendencia a la mala clasificación, en particular en las arenas de las playas La Industria, La Pesca, Barra del Tordo y Miramar (figura 4). Esto es debido a la presencia de los fragmentos de conchas, los cuales a su vez son frecuentes hacia las zonas de influencia del ambiente de laguna costera.

En las arenas de las playas de Veracruz los cambios en composición son mayores que para el estado de Tamaulipas, toda vez que existen cuatro dominios geológicos distintivos: i) porción sur de la Cuenca de Tamaulipas, ii) extremo

oriental de la Faja Volcánica Transmexicana (Kasper-Zubillaga *et al.* 1999), iii) Cuenca de Veracruz y iv) Macizo Volcánico de Los Tuxtlas. Las provincias volcánicas favorecen que en el litoral veracruzano haya una mayor exposición de litoral rocoso que en el resto de los estados del Golfo.

De acuerdo con Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) las arenas de

FIG. 4. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE TAMAULIPAS
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)



playa del estado de Veracruz se pueden subdividir en dos grandes grupos: a) arenas asociadas con una fuente de rocas volcánicas y b) arenas asociadas con áreas no volcánicas. Ambos dominios pueden ser discriminados utilizando índices de madurez e índices de procedencia.

Por otro lado, a medida que se alejan los dominios volcánicos las arenas de las playas son más ricas en cuarzo, debido a un largo transporte fluvial. El tipo de fauna bentónica litoral se asocia con los diferentes tipos de sedimentos, según Méndez-Ubach *et al.* (1986). Hacia la porción media del estado y en la región de Los Tuxtlas, tanto la llanura costera como la plata-

forma continental son estrechas y relacionadas con actividad volcánica del Cuaternario. Las cuencas que drenan hacia el mar cruzan por terrenos donde hay una fuerte dominancia de afloramientos sedimentarios (con índices de madurez y de procedencia altos) y volcánicos (índices de madurez y procedencia bajos), según Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995).

La Playa de la Barra (figura 5) presenta un perfil con un frente de playa cóncavo que sugiere un estado erosivo (lámina 1), siendo además esta playa la más angosta de las muestreadas en el litoral veracruzano.

Los perfiles de playas de Tabasco muestreados son de menor anchura que los de Tamaulipas y Veracruz. Las muestras de arenas de las playas tabasqueñas son las que tienen un mayor carácter terrígeno. La gran carga procedente de los ríos Grijalva, Usumacinta y Tonalá hace que las aguas costeras sean turbias, inhibiendo la precipitación de carbonatos. Por otro lado, el tamaño de las arenas varía de fino a muy fino, lo que hace que estas arenas sean de potencial interés económico, ya que es en los tamaños más pequeños y mejor clasificados en los que se concentran minerales pesados (Carranza-Edwards 1991), tales como la ilmenita y la magnetita (Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards 2002). Cabe mencionar que en las playas del estado de Tabasco no se han encontrado sitios de anidación para tortugas marinas, lo que tal vez se pueda explicar por los excesos de cargas de sedimentos fluviales, principalmente arenosos finos y lodosos.

En una de las playas de Tabasco (Pailebot) se encontró en la supraplaya un horizonte de chapopote (lámina 2) que se pudo deber al derrame que tuvo el pozo Ixtoc.

En contraste, las playas de Campeche exhiben sedimentos litorales que se enriquecen en carbonatos a medida que se incrementa la distancia a la desembocadura de los ríos Grijalva y Usumacinta. La región carbonatada de las playas de Campeche forma parte del litoral de la Península de Yucatán. El litoral terrígeno es parte de la unidad morfotectónica continental III, definida por Carranza-Edwards *et al.* (1975), pues dicha unidad está comprendida desde Coatzacoalcos, Veracruz hasta la porción oriental de la Laguna de Términos, Campeche. Es en la porción oriental de la Laguna de Términos donde Ayala-Castañares (1963) describe un aumento en los aportes de carbonato de calcio.

Posteriormente Carranza-Edwards *et al.* (1993) definen el límite de 50% de carbonatos en la plataforma continental justo frente a la porción intermedia de la Isla del Carmen. No obstante, según Carranza-Edwards (2001) el límite entre arenas carbonatadas y terrígenas está desfasado hacia el po-

FIGURA 5. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE VERACRUZ
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)

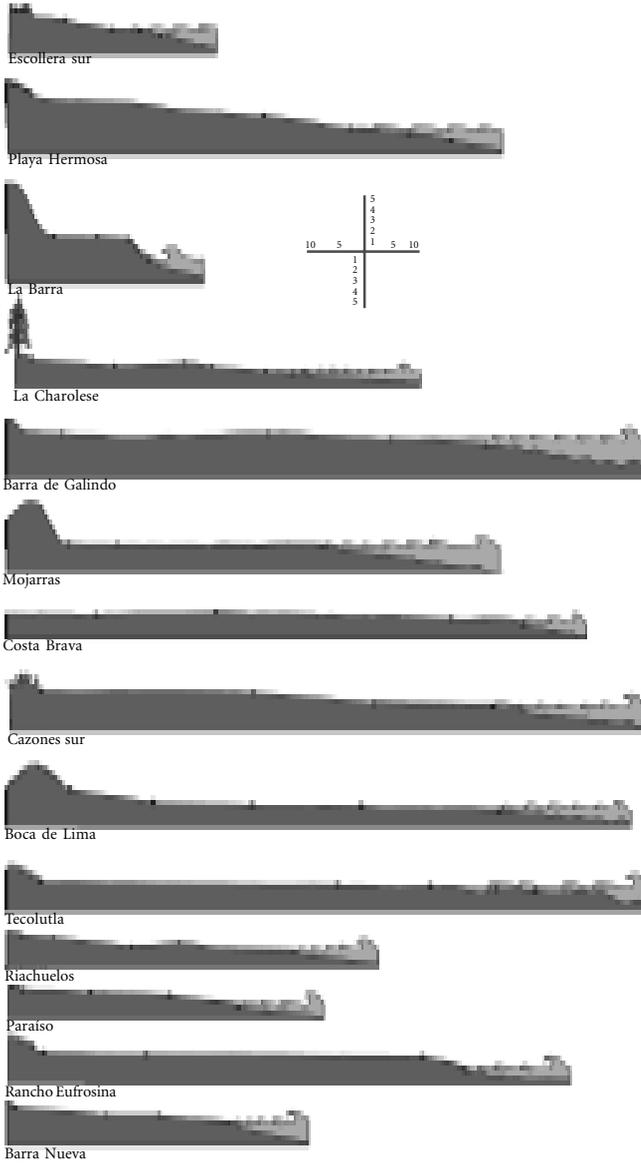


FIGURA 5A. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE VERACRUZ
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)

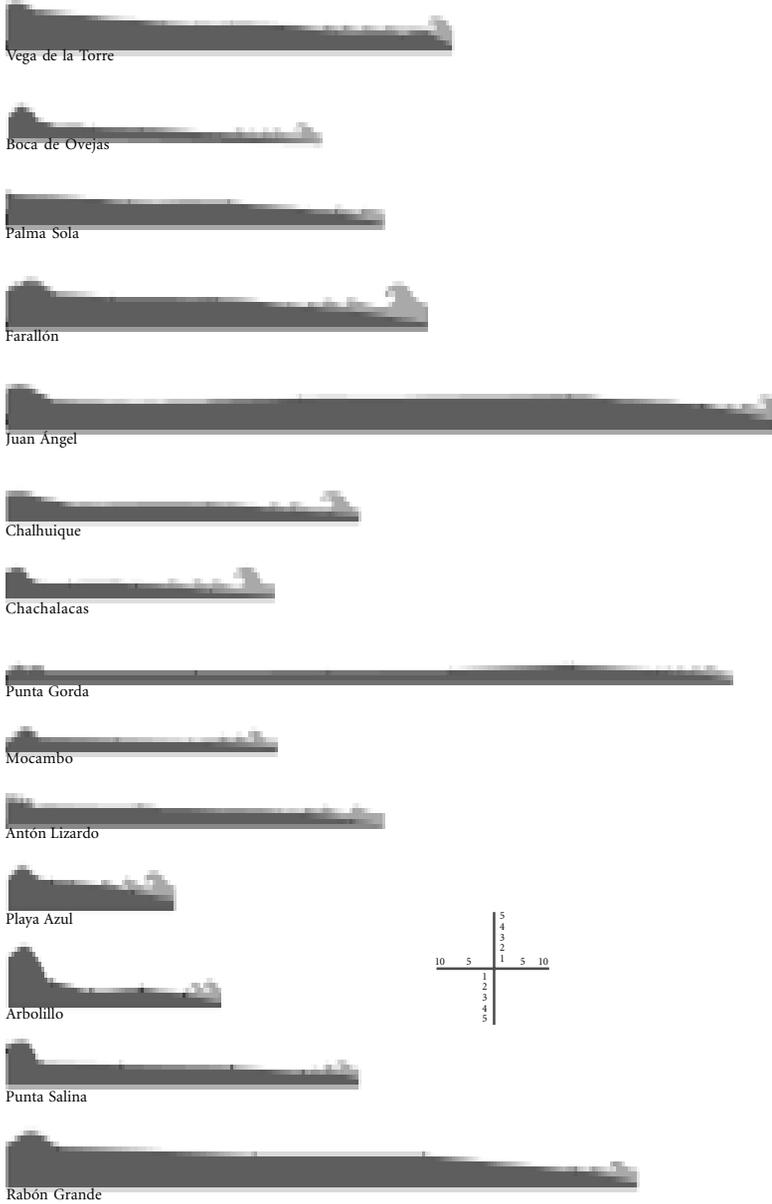


LÁMINA 1. EROSIÓN EN LA BARRA, VERACRUZ



niente, en la playa La Gloria (figura 8), lo cual significa que el transporte litoral de arenas carbonatadas ejerce influencia hacia el poniente de Boca del Carmen, y a medida que se profundiza la batimetría costera el límite se desplaza hacia el oriente. Los sedimentos arenosos de la playa de Campechito son terrígenos, los de La Gloria son biógenos y terrígenos, y desde Playa Norte hasta Playa Bonita se trata de sedimentos ricos en carbonato de calcio. La Playa Campechito se erosiona y para su protección se utilizan "pali-zadas". De hecho esta playa se encuentra en el área de influencia erosiva del antiguo delta del río San Pedro y San Pablo, y aparentemente existe una tendencia geológica de migración del cauce del río Usumacinta hacia el poniente. El actual delta del río Grijalva es un rasgo constructivo, mientras que el delta inmediato al oriente se encuentra en erosión, como se puede observar en diversas imágenes de satélite.

En general las playas de Campeche son más angostas que las playas de Tabasco.

FIGURA 6. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE TABASCO
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)

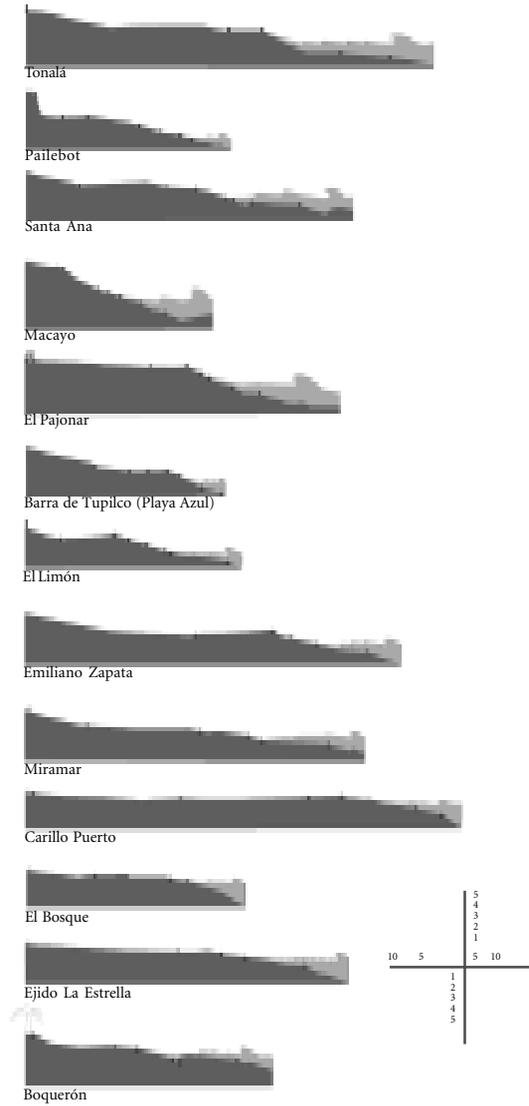


LÁMINA 2. HORIZONTE CON CHAPOPOTE EN UNA PLAYA DE TABASCO,
UBICADA FRENTE AL POZO IXTOC



Las seis localidades de playas muestreadas en el estado de Yucatán son variables en anchura, siendo la más angosta la de Dzilam de Bravo y la más amplia la de Chicxulub. Todas son carbonatadas y en ellas es frecuente observar fragmentos de conchas de moluscos gasterópodos y pelecípedos, principalmente. (lámina 3)

La composición de los sedimentos de las playas carbonatadas de Campeche y de Yucatán corresponde a clarciruditas y calcarenitas, la mayoría de las veces mal clasificadas hacia la infraplaya, mientras que en la mesoplaya y la supraplaya están mejor clasificadas. En Yucatán predominan las calcarenitas medias y finas, moderadamente bien clasificadas y la mayoría de los sedimentos van de simétricos a gruesos, debido principalmente a la influencia de fragmentos de conchas (Nolasco-Montero y Carranza-Edwards 1988). Los sedimentos de Yucatán están mejor clasificados mientras son más finos. Los vientos conocidos como

FIGURA 7. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE CAMPECHE (EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)

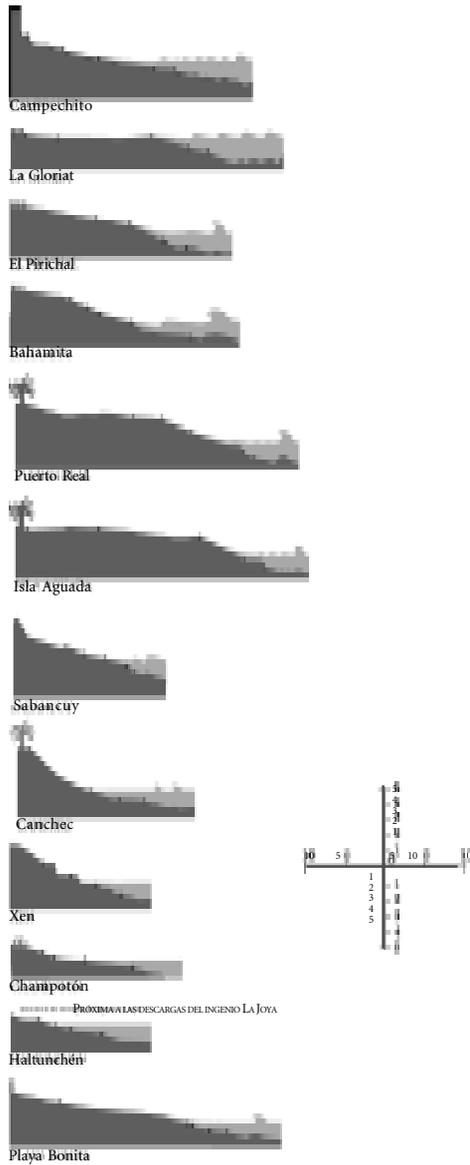
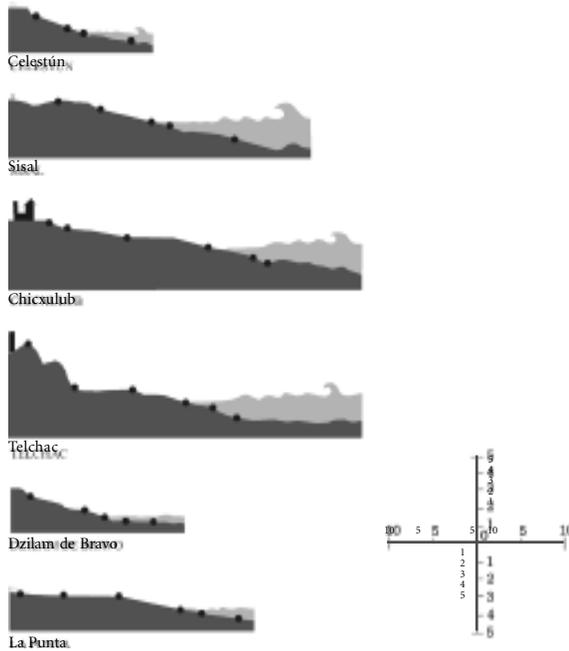


FIGURA 8. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE YUCATÁN
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)



Nortes producen marejadas de gran intensidad, que pueden ser la causa de que los perfiles de las playas yucatecas sean angostos.

Uno de los aspectos más importantes de las playas es su relación con los sitios de anidación de tortugas. De acuerdo con Márquez-M. (en prensa) las tortugas que desovan en el Golfo de México son: blanca (*Chelonia mydas*), caguama (*Caretta c. caretta*), carey (*Eretmochelys i. Imbricata*), lora (*Lepidochelis kempfi*) y laúd (*Dermochelys c. coriacea*). Con excepción del estado de Tabasco, en el resto de los estados del Golfo hay sitios de anidación de tortugas marinas. En cambio, en el estado de Tabasco hay solamente anidación de tortugas de pantano. En Yucatán existen playas ricas en carbonatos, y ahí se reporta la anidación de las tortugas blanca, caguama, carey y laúd. Aparentemente la presencia de playas carbonatadas puede ser de im-

portancia para la anidación de algunas de estas especies . Uno de los sitios ricos en anidación de tortuga lora es Rancho Nuevo, Tamps., donde se han logrado con éxito implantes de huevos de esta tortuga en Isla del Padre, ya que las condiciones geológicas son parecidas a la de Laguna de Tamiahua. Además de las condiciones geológicas, seguramente se habrán de considerar otros parámetros tales como clima, fisiografía, pendiente de playa, contenido de carbonatos, etc.; de ahí la importancia del trabajo interdisciplinario.

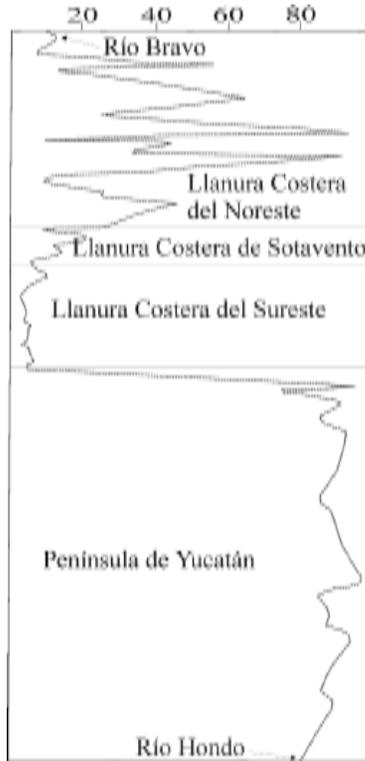
SEDIMENTOS CARBONATADOS

En la figura 10 se aprecia el contenido de carbonato (Carranza-Edwards *et al.* 1996) de las arenas del frente de playa de 68 localidades de playas muestreadas dentro del proyecto "Sedimentología de playas de México". Se incluyen muestras de sedimentos del frente de playa desde el río Bravo, en Tamaulipas, hasta el río Hondo en Quintana Roo. En la Llanura Costera del Noreste se aprecia una gran variabilidad en el contenido de carbonatos, la que parece corresponder con la influencia del ambiente de laguna costera.

LÁMINA 4. ESTRATIFICACIÓN MASIVA CON UN HORIZONTE DE CONCHAS EN CANCHEC, CAMPECHE



FIGURA 9. PORCENTAJE DE CARBONATOS (EN PORCENTAJE) EN LAS ARENAS DE PLAYA, DESDE EL RÍO BRAVO, TAMPS. HASTA EL RÍO HONDO, Q. ROO



La zona deltáica del río Bravo presenta valores bajos de carbonatos, pero las barras arenosas que delimitan a la Laguna de Tamiahua, y que se forman también por la sedimentación deltáica, se ven interrumpidas ocasionalmente, generándose condiciones propicias para el enriquecimiento de carbonatos por influencia de sedimentación de origen marino. Si se compara la composición de los sedimentos litorales con la sedimentación terrígena de la plataforma proximal (figura 11), se observa cierta correspondencia, toda vez que la plataforma continental está caracterizada por limos y arenas

cuando se trata de regiones de influencia terrígena. En cambio, en las zonas arrecifales o en la región de sedimentos carbonatados de la Plataforma de Yucatán, la parte superior de la plataforma presenta sedimentos que varían entre limos, arenas y gravas de composición carbonatada.

En la figura 11 se puede apreciar que los sedimentos del piso del Golfo de México son más ricos en carbonatos que los del Pacífico mexicano. Esto se debe por un lado, a la influencia de la provincia carbonatada de la Península de Yucatán, y por el otro, a que los afloramientos de rocas carbonatadas de la Sierra Madre Oriental contribuyen al aporte de carbonatos a través de los productos de lixiviación. En la misma figura 11 se observa el área de influencia deltáica de los sedimentos procedentes del río Bravo.

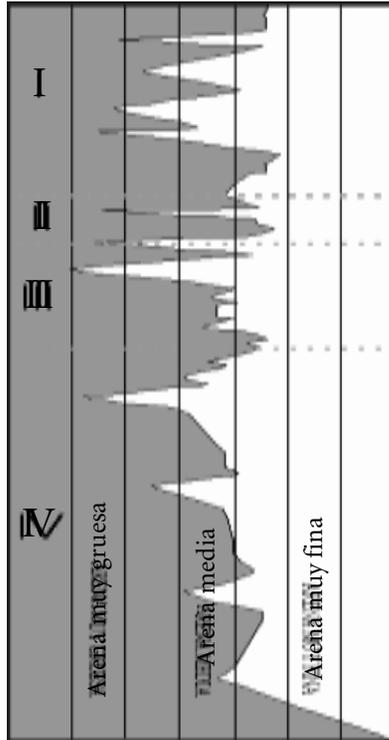
El tamaño de partícula es muy variable en los sedimentos litorales (figura 12), y aún cuando hay una mayor abundancia de arenas gruesas, medias y finas, algunas de las muestras pueden estar en los rangos de arenas muy gruesas o de arenas muy finas. En la figura 12 se observa que en la porción inferior (extremo caribeño de la unidad morfotectónica IV) (Carranza-Edwards *et al.* 1975), hay arenas muy finas que se asocian con la corriente Sur-Norte de Quintana Roo, la cual al ser de alta energía favorece la formación de calcarenitas. En contraste, los sedimentos terrígenos del delta del río Bravo son homogéneos, como se ve en la parte superior de la unidad morfotectónica I. En general la variación hacia tamaños gruesos parece deberse en la mayoría de los casos a la influencia de biógenos, los cuales también se asocian con altos valores de carbonatos.

LOS PRINCIPALES DESASTRES NATURALES

Debido a fenómenos naturales cabe la posibilidad de que materiales de diversos tamaños y composiciones sean llevados de manera repentina hacia las playas con la consecuente alteración del medio. En el Golfo se presentan huracanes (figura 13), los cuales han sido registrados por la SARH (1981) y por la CNA (2003). En dicha figura se vierten las trayectorias ciclónicas, por lo que se puede apreciar que no ha habido una incidencia directa en la porción sur del Golfo, en los alrededores del Macizo Volcánico de Los Tuxtlas. No obstante que en más de 20 años no ha habido una incidencia directa entre el Puerto de Veracruz y la región de Los Tuxtlas, ésta podría ocurrir cuando localmente se den los condiciones meteorológicas apropiadas.

Cuando la trayectoria ciclónica intercepta el litoral, cabe esperar que la profundización del nivel base de ola genere un fuerte incremen-

FIGURA 10. TAMAÑO DE LAS ARENAS DE PLAYA, DESDE EL RÍO BRAVO, TAMPS. HASTA EL RÍO HONDO, Q. ROO



Fuente: modificado de Carranza *et al.* 1996). Los números romanos corresponden con las unidades morfotectónicas según Carranza *et al.* (1975).

to en la energía del oleaje y una zona de gran erosión (representada por el punto B de la figura 14). Esto puede dar como resultado un serio daño para la playa expuesta, ya que en condiciones no ciclónicas la acumulación de sedimentos muy finos se da por debajo del nivel de base de ola promedio.

Es en los sedimentos finos lodosos donde se presentan condiciones propicias para el alojamiento y la concentración de metales pesados. Un fenóme-

no de este tipo puede alterar las condiciones naturales en los sitios de anidación de tortugas. En contraste, en el punto C de la misma figura se pueden presentar azolves por excesos en la sedimentación terrígena, alterándose la sedimentación a la cual está adaptada la fauna bentónica. Esto imprime una situación de estrés en los organismos marinos.

Una de las consecuencias de los huracanes es el desarrollo de inundaciones. Sin embargo, hay que considerar que de cualquier forma las zonas costeras sufren frecuentemente de inundaciones cuando los regímenes pluviométricos alcanzan aumentos repentinos, los cuales se dan con frecuencia en los estados costeros del Golfo y en Quintana Roo. Por ello, es muy importante conocer el relieve de la zona costera y el uso de cartas topográficas, en las cuales se estimen las franjas potenciales de inundación en situaciones de escorrentías máximas, las cuales se pueden presentar aún cuando no existan huracanes. Una medida preventiva para mitigar los desastres por inundaciones es construir casas de dos pisos, en las cuales la planta baja esté vacía y el primer piso cuente con una salida al techo para casos de rescate de pobladores.

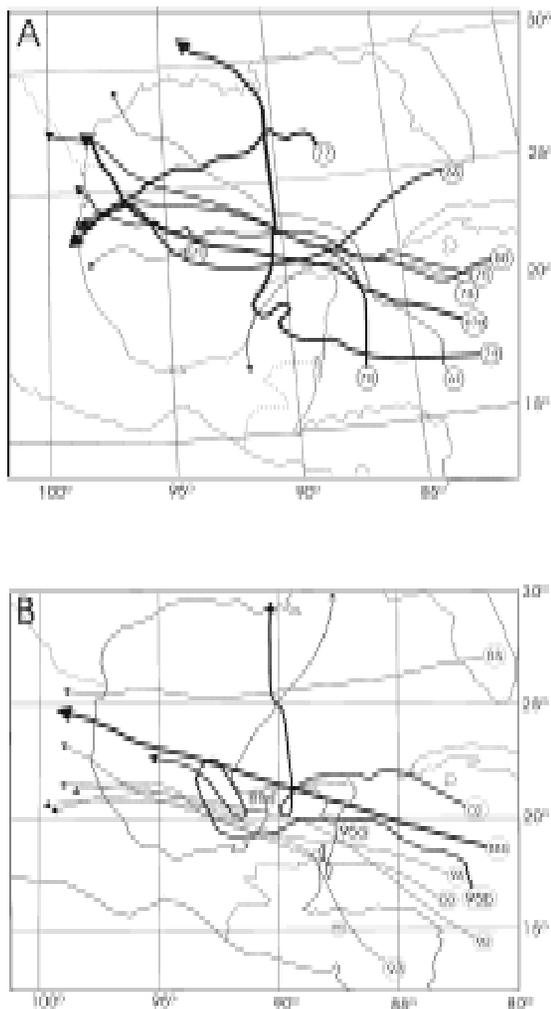
EL DESARROLLO PORTUARIO

De acuerdo con Carranza-Edwards (2002), debido al desarrollo económico y al crecimiento demográfico del país, se requiere de puertos marítimos con mayor capacidad, y que incluso en un futuro próximo el agua tenga que transportarse por barco o por tuberías, desde regiones de alta precipitación hasta regiones áridas. Agrega el mismo autor que la importación y exportación de mercancías se mueven cada vez en mayores volúmenes; además los buques petroleros aumentan continuamente su tonelaje.

Por ejemplo, en el caso de un puerto alterno para Veracruz debería considerarse que la mercancía debe llegar y salir de manera expedita, y por ello hay que evitar que los movimientos de carga y descarga se lleven a cabo dentro o cerca de la ciudad. Además, una desconcentración disminuye el riesgo de contaminación del agua potable por intrusiones salinas, así como el riesgo de contaminación de aguas de desecho, que sería indeseable para la salud de la población y de los corales que se encuentran en la zona de arrecifes ubicada al ESE del Puerto de Veracruz (figura 16).

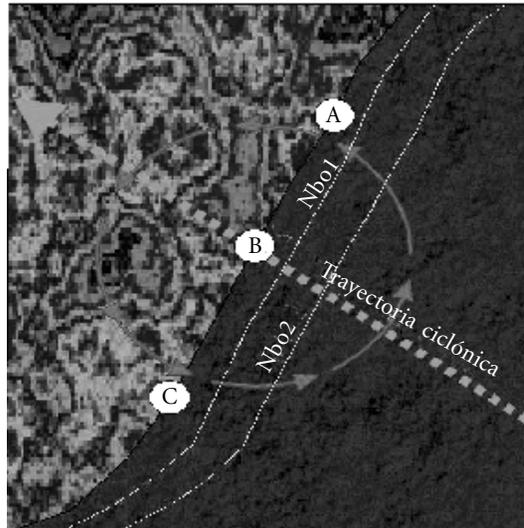
Es importante señalar que los fuertes vientos del norte se presentan año con año, y ello debe considerarse en la selección de la alternativa que se elija; de tal forma que dichos vientos, frecuentes en el área, no afecten a las costas.

FIGURA 13. TRAYECTORIAS DE HURACANES



A) Ocurridos entre 1960 y 1980 (modificado de la SARH 1981): 61.- Carla (5-12 Sep), 66.- Inés (27 Sep. - 10 Oct.), 67a.- Beulah (8-23 Sep.), 67b.- Fern (2-4 Oct.), 70.- Ella (10-12 Sep.). 73 (Brenda (18-22 Ago.), 74a.- Carmen (29 Ago.- 8 Sep.), 75.- Caroline (26 Ago.1º. Sep.), Anita (29 Ago.- 2 Sep.), Allen (1-11 Ago.). B) Ocurridos entre 1981 y 2002 (Modificado de la CNA, 2003): 83.- Barry (23-29 Ago.), 88a.- Debby (31 Ago. 8 Sep.), 88b.- Gilbert (8-13 Sep.), 90.- Diana (4-8 Ago.), 93.- Gert (14-21 Sep.), 95a.- Opal (27 Sep. 6 Oct.), 95b.- Roxxane (8-20 Oct.), 96.- Dolly (19-24 Ago.), 00.- Keith (3-5 Oct.), 02.- Isidore (18-25 Sep.). Nota.- 61 = 1961, 02 = 2002.

FIGURA 14. EFECTOS SEDIMENTOLÓGICOS ASOCIADOS CON EL ARRIBO DE LOS HURACANES

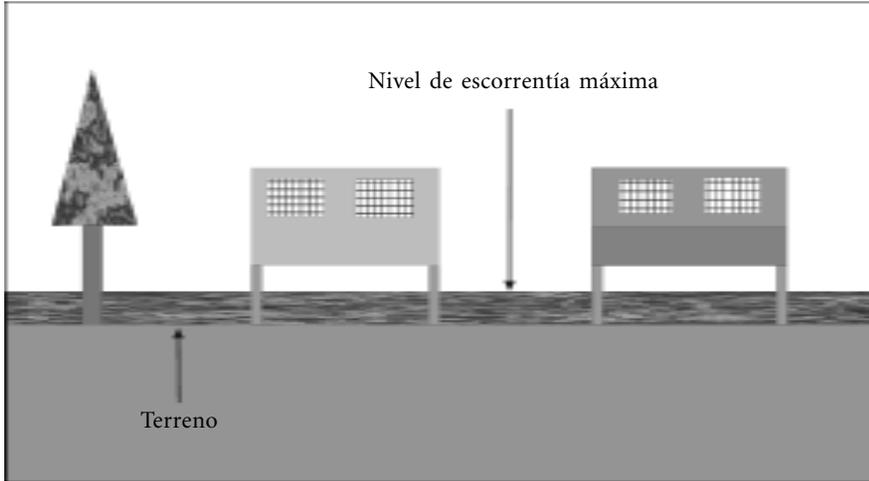


Nbo1 = nivel base de ola antes del arribo del huracán. Nbo2 = nivel base de ola después del arribo del huracán. A = ojo del huracán, B = zona de erosión principal, C = zona de azolve de sedimentos.

Las más afectadas serán las que tengan orientación este-oeste y las menos, las que se orienten norte-sur. Estas últimas tendrán un efecto de acumulación de masas de agua, menor que cuando se presenten mareas por tormentas, las cuales pueden producir inundaciones. El oleaje también afectaría menos a las costas orientadas norte-sur; en caso contrario se podría esperar una mayor pendiente del frente de playa y también una mayor erosión (Carranza-Edwards 2002). Por ello una alternativa que merece analizarse podría estar entre los puntos 7 y 8 de la figura 16, donde se esperaría un punto de equilibrio entre erosión y depósito. Los rompeolas del puerto alternativo deberían "seguir la corriente" a los Nortes, esto es, que su orientación debería ejercer la mínima resistencia al embate de los vientos más fuertes.

La zona sugerida se encuentra al sur de la zona de arrecifes, la cual es una barrera natural que genera una zona de "sombra" que favorece el depósito de sedimentos arenosos (Carranza-Edwards 2002), y además se evitaría que

FIGURA 15. ESQUEMA IDEALIZADO DE CONSTRUCCIONES SUGERIDAS PARA LAS REGIONES VULNERABLES A LAS INUNDACIONES EN LAS ZONAS COSTERAS, EN LAS CUALES SE CONSIDERAN LOS MÁXIMOS NIVELES DE AGUA

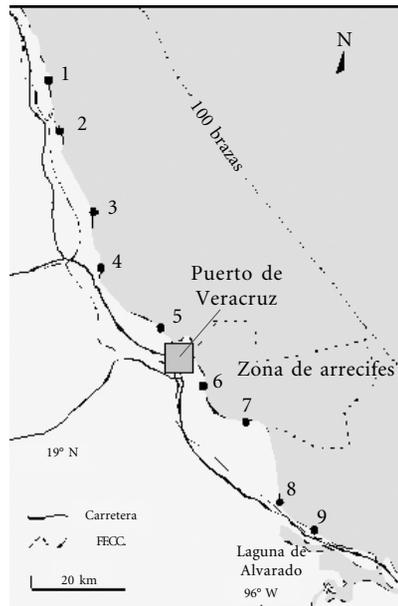


las zonas de arrecifes se vieran amenazadas por las rutas navieras, ya que son nichos ecológicos muy sensibles a las alteraciones antrópicas. Por ejemplo, las embarcaciones que no hayan podido ingresar durante un fuerte Norte en el puerto alternativo sugerido por Carranza-Edwards (2002), podrían fondear afuera de él, y en caso de desastre no chocarían contra la zona de arrecifes, por encontrarse al sur de ella. De esta manera, el desarrollo económico del Golfo de México implica una nueva percepción en lo que se refiere a capacidad portuaria de puertos tales como Tampico, Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos, que en un futuro próximo requerirán de ampliaciones o de sitios alternativos.

LA PROTECCIÓN DE ÁREAS NATURALES

Los arrecifes del Golfo deben protegerse de las descargas de aguas de desechos urbanos o industriales, ya que hay tubos de drenaje que se encuentran próximos a la zona arrecifal (figura 17). Las aguas deben ser tratadas para

FIGURA 16. EN ESTA FIGURA LOS NÚMEROS REPRESENTAN LOCALIDADES DE MUESTREOS PREVIOS Y SE USAN AQUÍ COMO PUNTOS DE REFERENCIA. UNA ALTERNATIVA PARA EL NUEVO PUERTO DE VERACRUZ SE PODRÍA UBICAR ENTRE LOS PUNTOS 7 Y 8, BUSCANDO LA PROTECCIÓN DE LA ZONA DE ARRECIFES Y LA RÁPIDA ENTRADA Y SALIDA DE PRODUCTOS DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN



evitar que las bacterias o los sólidos suspendidos, orgánicos o inorgánicos, produzcan daños irreversibles a los corales del Golfo. El cuidado de la calidad del agua que se descargue al medio marino no debe menospreciarse, toda vez que es menos costoso desde el punto de vista ambiental y económico prevenir que mitigar. Asimismo, los dragados que pudieran realizarse al norte de la ciudad de Veracruz son una amenaza latente para los corales, ya que una de las condiciones fundamentales para la vida del coral es la transparencia de las aguas que les rodean.

Según la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, "el ambiente es el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres

humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados". Por ello, el entendimiento de tal conjunto de elementos es un gran reto ya que para acotar su multiplicidad se deben conocer primero los factores y elementos que intervienen. De acuerdo con Carranza-Edwards (2003a), para promover el cuidado del ambiente se han de integrar distintas áreas del conocimiento (humanísticas, científicas, sociales, económicas y de la salud).

EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

El aumento en la concentración de gases invernadero ha generado un aumento en la temperatura de la atmósfera lo que influye en el deshielo de los casquetes polares, que a su vez eleva el nivel del mar. Ésta elevación del nivel del mar tal vez no sea peligrosa para las regiones costeras de gran relieve, pero para las regiones de relieve suave sí constituye una amenaza mayor (Ortiz-Pérez *et al.* 1996). Al menos se perciben dos daños potenciales: a) el retroceso de la línea de costa y b) intrusiones salinas en los mantos freáticos cerca de la línea de costa. El ascenso de algunos centímetros en el nivel del mar puede repercutir en retrocesos de la línea de costa del orden de decenas de metros, dependiendo de la pendiente de las llanuras costeras (Carranza-Edwards 2003b).

En la figura 18 se aprecian las regiones del Golfo de México con mayor grado de vulnerabilidad por el cambio climático global. Se trata precisamente de los lugares donde la cota de 100 m (o de 200 m) se aleja más de la línea de costa. En particular se piensa que, dado el bajo grado de pendiente, la porción norte de la Plataforma de Yucatán y la región de influencia del delta del río Bravo son las zonas que requieren da mayor cuidado y planeación en el desarrollo de obras de infraestructura, dado lo bajo de su relieve. No obstante, debido a represamientos existen actualmente áreas también vulnerables, como las correspondientes a los deltas de los ríos Grijalva-Usumacinta y el delta del río Papaloapan (Ortiz-Pérez *et al.* 1996).

CONCLUSIONES

1. La concentración y el crecimiento de la población en las zonas costeras incrementan el riesgo de intrusiones salinas en las aguas subterráneas, por exceso en los abatimientos del manto freático.
2. El crecimiento demográfico pone en riesgo a la Zona de Arrecifes de

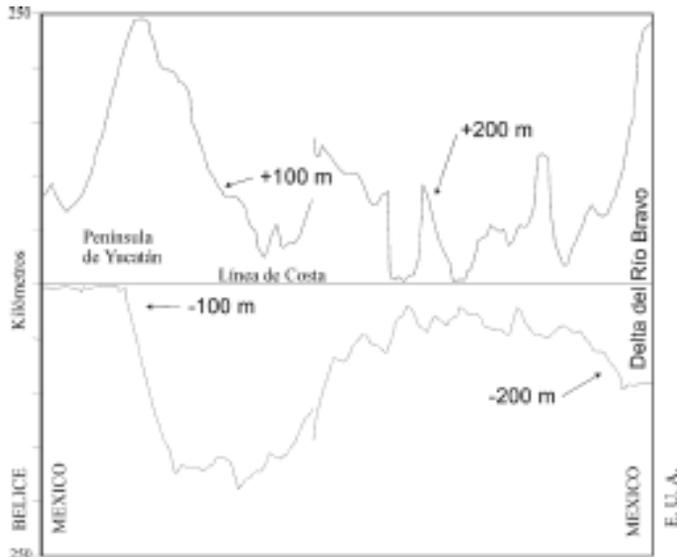
FIGURA 17. EL DRENAJE DE AGUAS DE DESECHO ES UN PELIGRO POTENCIAL PARA LOS ARRECIFES POR SU TURBIDEZ Y POR BACTERIAS PATÓGENAS



Veracruz si no hay un monitoreo y control de los sólidos suspendidos y de las bacterias patógenas, que son comunes en las aguas de desechos municipales.

3. La retención de sedimentos en las presas de los principales ríos que drenan hacia el Golfo es causante de erosión de la línea de costa. Esto, aunado al calentamiento global, hace que las zonas donde se espera un mayor retroceso de la línea de costa sean aquellas donde la pendiente sea más suave, como sucede con los ríos Bravo y Papaloapan.
4. El represamiento de corrientes es causa también de retención de nutrientes naturales, a los cuales la fauna y la flora se han adaptado a lo largo de su evolución. Los contaminantes que arriban a los litorales del Golfo pueden proceder de lugares tan distantes como la Cuenca de México.
5. La zona de infraplaya amerita una mayor atención, pues en su límite con la plataforma continental es donde empiezan a depositarse sedimentos más finos, los cuales son receptores potenciales de contaminantes. Como este límite es dinámico, en condiciones de tormentas o ciclones, los sedimentos se pueden resuspender y ser llevados

FIGURA 18. ELEVACIONES DE LAS CURVAS TOPOGRÁFICAS Y BATIMÉTRICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE



hacia la costa, donde pueden impactar al ecosistema litoral.

6. Los desastres naturales más frecuentes en el Golfo de México se deben a los huracanes, los cuales provocan que el nivel base de ola se profundice, generándose tanto problemas de erosión como de azolve.
7. Entre las playas estudiadas la de mayor anchura es la de Bagdad, Tamps. (mayor que 250 m) y la de menor anchura es la de Dzilam de Bravo, Yucatán (del orden de 15 m). Esto se debe a la influencia de los aportes terrígenos, siendo mayor en las playas de mayor anchura.
8. Se puede decir que en la franja litoral, el límite entre playas carbonatadas y terrígenas está dado por la Playa La Gloria, en el estado de Campeche. Al Oeste de esta playa son terrígenas o terrígenas con sedimentos carbonatados, pero el Este son predominantemente carbonatadas.
9. Los sedimentos del Golfo de México son más ricos en carbonatos que

los del Pacífico, debido a la influencia de la Península de Yucatán y a los aportes fluviales derivados de la Sierra Madre Oriental en la cual son abundantes los afloramientos calcáreos.

10. Asociados con los huracanes y las tormentas tropicales se presentan frecuentemente desastres por inundaciones. Por ello es importante diseñar casas habitación de dos pisos, cuya planta baja esté libre de mobiliario de interés económico.
11. Dada la complejidad del ambiente litoral su estudio interdisciplinario es prioritario, en particular porque frecuentemente los fenómenos naturales y antrópicos rebasan la capacidad de carga del ecosistema litoral.
12. El desarrollo económico de México se vincula con la necesidad de contar con nuevos puertos o ampliaciones de los existentes. Un falso ahorro, en el presente puede significar pérdidas en el futuro; en este sentido es mejor prevenir que mitigar.
13. La protección de tortugas ha de iniciarse desde los sitios de anidación y sus relaciones con el sustrato y los contaminantes que pudieran transportarse hacia la supraplaya durante huracanes requieren de una atención interdisciplinaria.
14. La riqueza petrolera del Golfo no es eterna, por ello las inversiones para el conocimiento de energía limpia y renovable son prioritarias.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL), del Instituto Nacional de Ecología de la Semarnat y de la Secretaría de Marina por el apoyo brindado durante diversas etapas del trabajo y a la QFB Susana Santiago-Pérez por su apoyo académico así como a todos los alumnos y participantes en el proyecto "Sedimentología de las playas de México" del ICMYL.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Rivera, U., L. Rosales-Hoz, A. Carranza-Edwards, 1986. Heavy metals in Blanco River sediments, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 13(2): 1-10.
- Ayala-Castañares, A., 1963. Sistemática y distribución de los foraminíferos Recientes de la Laguna de Términos. *Inst. Geol. Univ. Nal. Autón. México*, 67(3):150 pp.
- Berner E. K. and R. A. Berner, 1996. *Global Environment: Water, Air and Gechemical*

- Cycles*. Prentice Hall, New Jersey, 376 pp.
- Carranza-Edwards, A., 2001. Grain size and sorting in modern beach sands. *Journal of Coastal Research*. 17(1):38-52.
- 2002. Opinión sobre el Puerto Alterno de Veracruz. <http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/020612140544.html>
- Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez-Estrada y R. Rodríguez Torres 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 2(1): 81-88.
- Carranza-Edwards, A. 1991. Perspectivas de los Recursos Minerales del Mar en el México del Siglo XXI. *Revista de Geografía*, vol.III, Núm. 4, enero 1991:66-77.
- Carranza-Edwards, A. y J.E. Aguayo-Camargo 1992. Sedimentología Marina. Carta de Geología Marina (esc. 1:12,000,000) del Atlas Nacional del Instituto de Geografía, Vol. II, Naturaleza.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y M. A. Monreal-Gómez, 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Mar. Geol.*, 112: 257-269.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y S. Santiago-Pérez, 1994. Provenance memories and maturity of holocene sands in Northwest Mexico. *Can. J. Earth Sci.* 31: 1550-1556.
- Carranza-Edwards, A. y M. Caso-Chávez, 1994. Zonificación del perfil de playa. *Geo-UNAM*, 2 (2):26-32.
- Carranza-Edwards, A. y L. Rosales-Hoz, 1995. Grain-size trends and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands. *Can. J. Earth Sci.* 32:2009-2014.
- Carranza-Edwards, A. y L. Rosales-Hoz, 1995. Grain-size trends and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands. *Can. J. Earth Sci.* 32:2009-2014.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz and S. Santiago-Pérez, 1996. A reconnaissance study of carbonates in Mexican beach sands. *Sedimentary Geology*, 101:261-268.
- Carranza-Edwards, A., 1997. *La granulometría y su uso en estudios ambientales*. Actas INAGEQ, 3: 235-243.
- Cabrera-Ramírez, M.A. y A. Carranza-Edwards, 2002. The beach environment in México as a potential source of placer minerals. *Marine Georesources and Geotechnology*, 20:187-198.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, M. López-Hernández, y M. A. Cabrera-Ramírez, 2003a. Educación y Cultura Ambiental. III Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental (Symposio V: Educación y Medio Ambiente). Tlaxcala, Tlax., 6 a 10 de octubre de 2003.
- Carranza-Edwards, A., H.L. Macías-González y A. Arias-Paz, 2003b. El Calentamiento global y las intrusiones salinas de la zona costera. IV Congreso Nacional de Aguas Subterráneas, San Luis Potosí, S.L.P., México, 10-12 Septiembre de 2003.
- CNA, 2003. Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/ciclones>.

- Kasper-Zubillaga, J., A. Carranza-Edwards and L. Rosales-Hoz, 1999. Petrography and geochemistry of holocene sands in the western Gulf of Mexico: implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, 69(5):1003-1010.
- Keller, E.A., 1996. *Environmental Geology*. Prentice Hall, Nueva Jersey, 558 pp.
- Komar, P.D., 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 429 pp.
- Márquez-M., R., (en prensa). Las tortugas marinas del Golfo de México, Abundancia, distribución y protección. En: *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F.
- Méndez-Ubach, M.N., V. Solís-Weiss y A. Carranza-Edwards, 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del Estado de Veracruz, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 13(3):45-56.
- Nolasco-Montero, E. y A. Carranza-Edwards, 1988. Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 15(2):49-66.
- Ortiz-Pérez, A. M., C. Valverde y N.P. Psuty, 1996. The impacts of sea level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gula COSAT, p. 459-470. In: A. V. Botello, J.L. Rojas Galavíz, J.A. Benítez, D. Zárate Lomelí (eds.). *Golfo de México, Contaminación, Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica, 5, 666p.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards y U. Alvarez-Rivera, 1986a. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon system, Veracruz, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 13(3):19-28.
- 1986b. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 13(3):263-272.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Arias-Reynada y S. Santiago-Pérez, (1992) 1993. Distribución de metales en sedimentos recientes del sureste del Golfo de México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 19(2): 123-130.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Santiago-Pérez, C. Méndez-Jaime y R. Doger-Badillo, 1994. Study of anthropogenically induced trace metals on the continental shelf in the southeastern part of the Gulf of Mexico. *Rev. Int. Cont. Amb.*, 10 (1): 9-13.
- Rosales-Hoz, L. y A. Carranza-Edwards, 1998. Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos River, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60:553-561.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, C. Méndez-Jaime y M.A. Monreal-Gómez 1999. Metals in shelf sediments and their association with continental discharges in a tropical zone. *Marine and Freshwater Research*, 50:189-196.
- SARH 1981. *Trayectorias ciclónicas 1960-1980*. Secretaría de Agricultura y Recursos

- Hidráulicos, México, D. F., 342 pp.
- Tamayo, J. L., 2002. *Geografía Moderna de México*. Editorial Trillas, México, D.F., 512p.
- Yañez-Arancibia, A., 1999. Terms of reference towards coastal management and sustainable development in Latin America. *Ocean and Coastal Management*, 42(1-4):1-28.
- Yañez-Arancibia, A., A.L. Lara-Domínguez, J.L. Rojas, D. Zárate, G. Villalobos, P. Sánchez-Gil, 1999. Integrating science and management on coastal marine protected areas in the Southern Gulf of Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 42(1-4):217-242.

LOS ECOSISTEMAS MARINOS DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA

Gaspar González-Sansón y Consuelo Aguilar-Betancourt

INTRODUCCIÓN

El límite suroccidental del Golfo de México es la región noroccidental de Cuba (NOAA 2003). La entrada y la salida del agua hacia y desde el Golfo de México se produce por estrechos que están limitados, en una de sus orillas, por Cuba. El archipiélago cubano, sin embargo, es típicamente caribeño en lo que se refiere a sus ecosistemas marinos. Por estas razones, puede decirse que las aguas costeras de Cuba constituyen un componente de características muy peculiares en el contexto ecológico marino del Golfo de México. Resulta conveniente, por tanto, realizar una presentación integral de esta región.

Desde mediados de los años 60 hasta mediados de los 80 se realizaron un conjunto de investigaciones que abarcaron toda la región y que permitieron tener una idea general de sus características geológicas, oceanográficas y biológicas (Kondratieva y Sosa 1967, Murina *et al.* 1969, Zenkovich y Ionin 1969, Ionin *et al.* 1972; Buesa, 1974 a, b, c, Pavlidis y Avello 1975, Guitart 1975, Guitart *et al.* 1981, Popowski *et al.* 1982, Lluís-Riera 1983, Fabré 1985, entre otros). Gran parte de los resultados fueron publicados en revistas de circulación nacional y son muy poco conocidos en general, por lo que se les puede considerar en gran medida como “literatura gris”. Posteriormente, la atención de las instituciones e investigadores se volcó hacia otras zonas de la

plataforma cubana con mayor productividad pesquera o vocación para el desarrollo turístico. Recientemente se han reiniciado las investigaciones en áreas específicas de la región noroccidental, pero con un enfoque más localizado y buscando el análisis detallado de la estructura y procesos ecológicos en algunos ecosistemas, principalmente arrecifales (González-Sansón *et al.* 1997 a, b, c, Guardia y González-Sansón 1997 a, b, c, Aguilar y González-Sansón 1998, 2000, Aguilar *et al.* 2000, Guardia y González-Sansón 2000 a, b, Guardia *et al.* 2001, Aguilar y González-Sansón 2002, entre otros). Al hacer un balance actual se puede decir que en términos generales la región noroccidental de la plataforma submarina cubana se conoce de manera incompleta en sus aspectos específicos. Por otra parte, los ecosistemas presentes en esta región son típicos de todo el Caribe insular, por lo que resulta posible extrapolar algunos procesos que han sido comprendidos más o menos bien en otras zonas.

El propósito de este capítulo es presentar una revisión crítica de la información existente sobre la región noroccidental de Cuba; proponer algunos procesos básicos que deben regir la dinámica de sus ecosistemas marinos y sugerir algunas líneas de investigación que deberían ser acometidas en el futuro para lograr una mejor comprensión de los procesos ecológicos, el impacto humano y la vía para la conservación y manejo racional de los recursos vivos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA REGIÓN

Para los efectos de este trabajo, la región noroccidental de la plataforma insular de Cuba es aquella que constituye el límite del Golfo de México en su porción suroriental. Esta se ubica entre los 21° 51' 40" y los 23° 8' 52" de latitud norte, y entre los 84° 57' 54" y los 82° 21' 35" de longitud oeste (figura 1). Aquí se incluye lo que la mayoría de los autores cubanos reconocen como "plataforma noroccidental", que se extiende desde el Cabo de San Antonio hasta la Punta Gobernadora en el extremo occidental de la entrada de Bahía Honda (figura 2), más la porción costera de plataforma muy estrecha que se extiende desde la Punta Gobernadora hasta la entrada de la bahía de la Habana (figura 3). La superficie total estimada de esta plataforma es de 4,050 km², considerando que la misma se extiende desde la línea costera de la marea alta hasta la isobata de 200 m, donde la pendiente del fondo cambia bruscamente y comienza el talud insular, muy inclinado. En su porción oriental (figura 3) es una plataforma muy estrecha que tiene menos de un kilómetro de ancho,

mientras que en su porción occidental (figura 2) es mucho más amplia, llegando a tener más de 50 km de ancho en el Golfo de Guanahacabibes. La profundidad media de esta plataforma es de 4 a 5 metros, aunque en algunos sitios del Golfo de Guanahacabibes se pueden registrar valores de hasta 18 m. En la región existen alrededor de 160 cayos pequeños que en su conjunto forman el archipiélago de los Colorados.

El clima se caracteriza por presentar una estación de lluvias (mayo a octubre) y una de seca (noviembre a abril). Esta última incluye una temporada de nortes o frentes fríos que son más frecuentes en la etapa enero-marzo. Los vientos predominantes soplan desde el este y el nordeste (alisios).

FIGURA 1. REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA



FACTORES ABIÓTICOS

Desde el punto de vista geomorfológico, la plataforma de la región noroccidental es una prolongación de las estructuras emergidas, formadas

FIGURA 2. PORCIÓN OCCIDENTAL DE LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL DE CUBA



La línea AA' identifica el perfil que aparece en la figura 6.

fundamentalmente por carbonato de calcio. En general consiste de una llanura abrasivo-acumulativa donde los sedimentos recientes varían en cantidad y naturaleza de acuerdo a la cercanía de la costa. Según Pavlidis y Avello (1975), en el Golfo de Guahacabibes los sedimentos más cercanos a la línea costera tienen un origen terrígeno y una naturaleza poco carbonatada, resultando en parte de la acumulación de componentes orgánicos originados en el acarreo de humus desde tierra y la producción del manglar. En la parte media del mencionado Golfo predominan los sedimentos biogénicos carbonatados, dominados por restos calcáreos de algas del género *Halimeda*. Por último, en la región situada junto a los arrecifes cercanos al borde de la plataforma, el sedimento está formado principalmente por productos detríticos carbonatados. Estas características se pueden considerar típicas, en general, de toda la plataforma, donde predominan los sedimentos de origen marino sobre los terrígenos (Zenkovich y Ionin 1969). Hacia la porción más oriental de la región, donde la plataforma es muy estrecha, la acumulación de sedimentos arrastrados por los ríos es muy escasa (Ionin *et al.* 1972)

La zona costera está formada principalmente por la llanura ondulada del norte, la cual se extiende entre el mar y la cordillera de Guaniguanico con un ancho medio de unos 15 km. A lo largo de toda la costa desembocan numerosos ríos de curso muy corto, el más largo de los cuales es el Mantua (figura 2) con 66 km de longitud y una cuenca equivalente a 293 km² (ICGC 1978). La descarga de estos ríos produce un impacto estacional (en época de lluvias) en zonas relativamente pequeñas de la plataforma cercanas a la costa, por lo que se puede considerar que, de manera general, no existe un efecto notable del escurrimiento desde tierra en la región.

Desde el punto de vista hidrológico, la investigación más completa que existe de la región fue realizada por Lluís-Riera (1983). La información obtenida en una red de 21 estaciones fijas (17 en plataforma y 4 en aguas oceánicas), en la cual se tomaron muestras durante tres cruceros de investigación entre agosto de 1977 y julio de 1978 permitió comprobar los siguientes aspectos (cuadros 1 y 2):

- La columna de agua es considerablemente homogénea debido a una mezcla vertical intensa. Sólo se observó una estratificación ligera en tres áreas costeras muy reducidas durante la época de lluvias (bahía de la Mulata, zona costera cerca de Santa Lucía y bahía de Guadiana, ver figura 2).
- La variación horizontal de la temperatura y la salinidad fue muy moderada, mostrando gradientes débiles en el sentido perpendicular a la costa. Estas variaciones fueron máximas en las zonas costeras mencionadas anteriormente.
- La concentración de nutrientes en la plataforma varió poco, tanto en el sentido vertical como en el horizontal. Los valores fueron en general bajos y similares a los de la región oceánica adyacente. Sólo en las áreas costeras influidas por el escurrimiento desde tierra se observaron valores más altos durante la época de lluvias.
- Las aguas de la plataforma están bien oxigenadas. Las fluctuaciones principales en el contenido de oxígeno se deben a los cambios que ocurren a lo largo del día, como consecuencia de la actividad biológica, especialmente de los pastos marinos.

En la región oceánica adyacente a la parte occidental de la región de interés, García (1981a) consignó temperaturas medias en aguas superficiales (capa de mezcla que se extiende hasta los 50 m de profundidad, según García, 1981b) que variaron aproximadamente entre 29.7 °C (julio) y 24.8

CUADRO 1. VALORES MEDIOS, MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA TEMPERATURA, LA SALINIDAD Y EL OXÍGENO DISUELTUO EN LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL Y LA REGIÓN OCEÁNICA ADYACENTE (CAPA DE 0 A 50 M)

		TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (‰)	OXÍGENO (ML/L)	SATURACIÓN (%)
Crucero CM-1 (Agosto 1977)					
Superficie	Media	28.9	35.8	4.3	99
	Min-max	28.4 – 29.9	35.3 – 36.3	4.1 – 4.4	95 -104
Fondo	Media	28.8	35.8	4.1	102
	Min-max	28.1 - 29.5	35.3 – 36.4	3.7 – 5.2	92 - 110
Océano	Media	28.6	36.2	4.4	102
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-2 (Marzo 1978)					
Superficie	Media	23.8	36.2	4.7	104
	Min-max	21.6 – 25.8	35.3 – 36.5	4.5 – 4.8	94 - 111
Fondo	Media	23.6	36.3	4.7	105
	Min-max	21.6 – 25.3	35.3 – 36.5	4.6 – 4.8	93 - 113
Océano	Media	25.2	36.3	4.6	100
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-3 (Julio 1978)					
Superficie	Media	29.7	35.6	4.3	100
	Min-max	29.0 – 31.0	34.0 – 36.3	4.2 – 4.4	94 -111
Fondo	Media	29.6	35.8	4.3	101
	Min-max	28.8 – 30.9	35.2 – 36.2	4.2 – 4.3	92 -113
Océano	Media	28.8	36.2	4.3	103
	Min-max	-	-	-	-

Fuente: tomado de Lluís-Riera 1983.

°C (febrero), según se deduce de las gráficas presentadas. Siam y García (1981) afirman que la profundidad de inicio de la termoclina varía en esta región de acuerdo a la estación del año, siendo más superficial en verano (35 m en julio) y más profunda en invierno (105 m en enero).

El sistema de circulación superficial de las aguas en la región oceánica adyacente está relacionado con tres corrientes principales:

CUADRO 2. VALORES MEDIOS, MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LOS NUTRIENTES PRINCIPALES EN LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL Y LA REGIÓN OCEÁNICA ADYACENTE (CAPA DE 0 A 50 M)

		SILICATOS (ÁT- μ G Si/L)	FOSFATOS (ÁT- μ G P/L)	NITRATOS (ÁT- μ G N/L)	NITRITOS (ÁT- μ G N/L)
Crucero CM-1 (Agosto 1977)					
Superficie	Media	9.0	0.24	0.66	0.08
	Min-max	4.7 – 24.6	0.00 – 0.63	0.20 – 1.06	0.00 – 0.16
Fondo	Media	10.0	0.26	0.74	0.08
	Min-max	3.2 – 34.0	0.00 – 0.63	0.16 – 1.02	0.00 – 0.16
Océano	Media	-	0.10	0.74	0.08
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-2 (Marzo 1978)					
Superficie	Media	5.0	0.05	-	0.01
	Min-max	2.7 – 7.2	0.00 – 0.16	-	0.00 – 0.06
Fondo	Media	5.0	0.02	-	0.01
	Min-max	3.2 – 8.2	0.00 – 0.24	-	0.00 – 0.05
Océano	Media	5.0	0.03	-	0.01
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-3 (Julio 1978)					
Superficie	Media	7.0	-	-	-
	Min-max	5.3 – 23.5	-	-	-
Fondo	Media	7.0	-	-	-
	Min-max	5.4 – 15.8	-	-	-
Océano	Media	5.0	-	-	-
	Min-max	-	-	-	-

Fuente: tomado de Lluís-Riera 1983.

- La corriente de Yucatán, que fluye hacia el norte por el estrecho del mismo nombre. Es común observar una contracorriente hacia el sur cerca del Cabo de San Antonio en el extremo occidental de Cuba (Rossov, 1967, García *et al.* 1991);
- La corriente de Lazo (*Loop current*) que forma un amplio sistema de circulación anticiclónica cuyo borde inferior colinda con la porción

- occidental de la región noroccidental de Cuba (Rossov 1967, Gómez 1979). Esta zona se reconoce por una anomalía positiva en la elevación del nivel del mar que resulta casi permanente en los mapas sinópticos elaborados con datos del sistema TOPEX/Poseidon (CCAR 2003). Esta anomalía tiene asociada una circulación anticiclónica que genera una zona de hundimiento en la región oceánica que colinda con la plataforma cubana, la cual ya había sido identificada por Rossov y Santana (1966).
- La corriente de la Florida, que fluye hacia el este cerca de la porción oriental de la región noroccidental. Entre esta corriente y la costa se observa frecuentemente una contracorriente hacia el oeste (Gómez 1979).

Varios autores cubanos consignan para la región noroccidental un flujo general del agua hacia el este, con la presencia de una contracorriente más cercana a la costa hacia el oeste (Gómez 1979, Siam 1988, Victoria y Penié 1998).

En la zona de la plataforma no existen estudios detallados sobre la circulación, pero es de suponer que la acción del viento y las corrientes de marea jueguen un papel primordial en la dinámica de las aguas y la mezcla vertical intensa, aspecto que ha sido comprobado para otras zonas de la plataforma insular cubana (Emilsson y Tápanes 1971). La información disponible indica un intercambio notable de aguas de la plataforma con la región oceánica adyacente (Blázquez 1981). Las mareas son de tipo diurno irregular en la porción central y de tipo semidiurno irregular en los extremos occidental (Golfo de Guanahacabibes) y oriental de la región. La amplitud del cambio entre marea baja y marea alta es muy pequeña y se ubica entre 25 y 50 cm (Rodríguez y Rodríguez 1983).

COMPONENTES Y PROCESOS BIOLÓGICOS

El fitoplancton de la región noroccidental se caracteriza por su baja productividad, debido a la inexistencia de afloramientos o descargas fluviales importantes que influyan de forma efectiva sobre toda la plataforma. Popowski *et al.* (1982) plantean que el alto índice de diversidad específica y la baja concentración de los organismos (entre 3.07 y 23.32×10^6 células/m³) denotan condiciones estables de la columna de agua y baja concentración de nutrientes. Fabré (1985) afirma que estos valores son los más bajos de toda la plataforma cubana. Las diatomeas y los dinoflagelados fueron los grupos dominantes y mos-

traron tallas pequeñas (3-40 mm), típicas de regiones tropicales oligotróficas. Kondratieva y Sosa (1967) estimaron la producción primaria en aguas someras (3-5 m) de la plataforma y obtuvieron valores entre 11 y 244 mg C/m³/día, con un promedio de 78 mg C/m³/día. Estos mismos autores encontraron que la producción en la zona profunda (100 m) cercana al borde de la plataforma osciló entre 153 y 1129 mg C/m³/día, con promedios entre 428 y 927 mg C/m³/día. Estos valores más altos podrían estar relacionados con la existencia de un frente de mareas asociado al borde de la plataforma, aunque un fenómeno de ese tipo no ha sido documentado.

Los valores de producción primaria calculados en la columna de agua por Kabanova y López (1973, en Claro *et al.* 2001) resultaron mayores y presentaron un gradiente de la zona costera hacia el océano con valores desde 200 (cerca de la orilla) hasta 1-19 mg C/m³/día (cerca del borde de la plataforma).

Marikova y Campos (1967) encontraron que la abundancia del zooplancton (dominado por copépodos de tamaño pequeño) disminuye desde la costa hasta aguas oceánicas cercanas al borde la plataforma. En las regiones costeras se obtuvieron valores entre 1,680 y 1,860 ejemplares/m³, mientras que en océano los valores fueron de 40 a 150 ejemplares/m³. Según Fabrè (1985), la concentración de organismos zooplanctónicos en esta región es la más baja de toda la plataforma cubana, con valores que oscilaron entre 57 y 120,766 ejemplares/m³. El grupo predominante fue el de los copépodos, representado principalmente por las especies *Paracalanus parvus*, *P. aculeatus*, *Acartia spp.*, *Clausocalanus furcatus* y *C. arcuicornis*. Las investigaciones sobre ictioplancton en la región noroccidental (Orozco 1983) permitieron determinar una concentración baja de larvas de peces, lo que ha sido considerado como una confirmación de la productividad relativamente baja del subsistema pelágico de esta región.

Los lechos marinos de la región pueden ser clasificados básicamente en dos tipos principales: a) fondos con sedimentos no consolidados y que pueden estar desprovistos de vegetación o formar seibadales marinos (conocidos en Cuba como seibadales), dominados por *Thalassia testudinum* y b) fondos rocosos donde abundan los arrecifes de coral.

La fuente de producción primaria principal en los fondos blandos es el macrofitobentos. El 77 % de la biomasa húmeda de este componente está formado por fanerógamas y el 22 % por algas verdes, principalmente del género *Halimeda* (Buesa, 1974b). Entre las fanerógamas, domina ampliamente (75 % del peso húmedo) la llamada hierba de tortuga (conocida

localmente como seiba) *Thalassia testudinum*, la cual forma extensas praderas submarinas (que se denominan localmente seibadales). Buesa (1974b) estimó una densidad media de hojas de *Thalassia* en la zona noroccidental de 152 g/m² y una biomasa total (incluyendo las partes enterradas) de 241 g/m². La tasa de fotosíntesis fue de 4 a 5 ml O₂/mg de peso seco (Buesa 1974c), con un cociente de fotosíntesis/respiración anual promedio de 2.1 (1974a) y un tiempo de duplicación estimado para todos los seibadales de la región equivalente a 57-86 días (Buesa 1974c). Estas cifras indican una producción muy elevada, típica de esta formación vegetal marina, y que en su inmensa mayoría no es consumida fresca y toma la vía del detrito para incorporarse a las tramas alimentarias (Day *et al.* 1989).

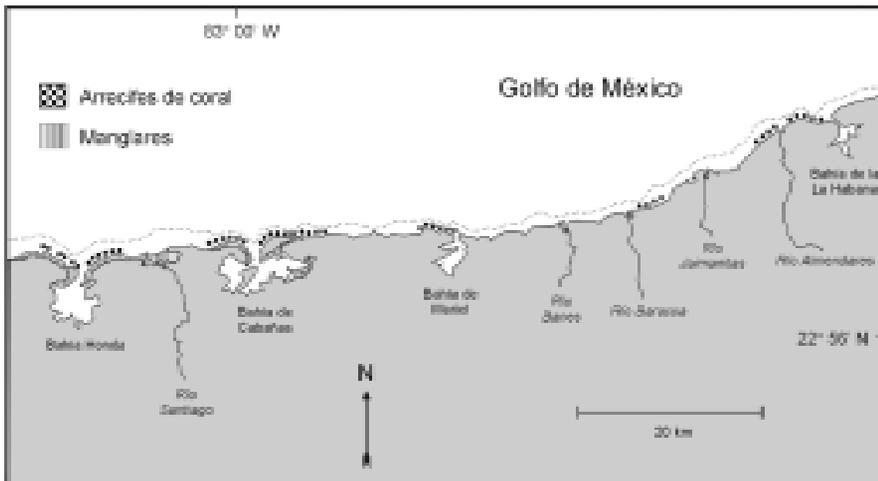
La fauna de los fondos blandos de la plataforma noroccidental ha sido descrita por Murina *et al.* (1969). Las muestras fueron colectadas con dragas y redes de arrastre. Los valores medios de biomasa y número de individuos variaron de acuerdo al biotopo investigado, y fueron máximos en los fondos de arena fangosa cubiertos de *Thalassia testudinum* (69.14 g/m² y 616 ejemplares/m²) y mínimos en los fondos de arena (14.74 g/m² y 354 ejemplares/m²). Según los propios autores, la comparación con otras zonas del mundo permite considerar estos valores como bastante altos, lo cual concuerda con la alta tasa de producción primaria consignada anteriormente. Los grupos dominantes por su biomasa fueron las esponjas y los moluscos (36.9 y 34.7 % del total, respectivamente), mientras que por el número de individuos dominaron los poliquetos y los crustáceos (40.3 y 24.2 % del total, respectivamente).

El bentos de los fondos rocosos y el asociado a los arrecifes de coral ha sido estudiado sólo en algunas zonas de la plataforma noroccidental y no existe una investigación que haya abarcado toda la región. En un tramo de 10 km de longitud del sublitoral rocoso al oeste de la entrada de la bahía de la Habana (figura 3), donde la plataforma insular es muy estrecha, se encontró un desarrollo modesto de arrecifes frontales que presentan su mayor desarrollo en la terraza sumergida a profundidades entre 10 y 15 m. Aquí dominan los corales escleractíneos, las esponjas y los gorgonáceos, variando su importancia relativa de acuerdo a las condiciones ambientales, fuertemente influidas por la descarga del puerto habanero y del río Almendares, fuertemente contaminados (Guardia y González-Sansón 2000 a, b, Guardia *et al.* 2001). El arrecife costero de la playa Herradura, ubicado a 5 km al este de la entrada de la bahía de Cabañas (figura 3) fue investigado con bastante nivel de detalle. Aquí se pudo comprobar una zonación bien definida, con áreas cubiertas de

gorgonáceos cuya composición específica varía de acuerdo a la profundidad; un área donde dominó *Acropora palmata*; una área donde existen arrecifes de parche pequeños y una zona diferenciada formando una pared, con una composición faunística diferente a las anteriores (Guardia y González-Sansón 1997 a; b; c). En la zona alrededor de cayo Levisa (figura 2) se realizó un inventario de las especies más comunes en los arrecifes de coral (Guardia, comunicación personal). Un análisis comparativo de los grupos principales de invertebrados en los tres sitios mencionados anteriormente, da una idea clara de la variabilidad que puede presentar este componente de la diversidad biológica en la región (cuadro3).

Trabajos similares a los anteriores, y en los mismos sitios, se han realizado para caracterizar la estructura de la ictiofauna de los arrecifes (Aguilar *et al.* 1997, Aguilar y González-Sansón 2000, 2002, González-Sansón *et al.* 1997a, b, González-Sansón y Aguilar 2000, 2002, Aguilar *et al.* en prensa). Un aspecto común en todos los casos es la casi total ausencia ejemplares

FIGURA 3. PORCIÓN ORIENTAL DE LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL DE CUBA



CUADRO 3. COMPARACIÓN DE TRES ÁREAS ARRECIFALES EN LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA, TOMANDO COMO INDICADORES LOS CORALES ESCLERACTÍNEOS, LAS ESPONJAS Y LOS GORGONÁCEOS

COMPONENTE	ZONA COSTERA HABANA	LA HERRADURA	CAYO LEVISA
Indicadores generales			
No. de especies de esponjas	50	15	37
Densidad de esponjas (col/m ²)	5.20	1.09	4.19
No. de especies de gorgonias	25	23	15*
Densidad de gorgonias (col/m ²)	0.90	2.9	5.26
No. de especies de corales	26	29	37
Diversidad de corales**	2.5	3.3	2.9
Densidad de corales (col/m ²)	3.6	10.4	9.0
Cubrimiento de corales (%)	4.4	15.9	25.0
Talla media de los corales (cm)	12.7	33.3	43.2
Especies de coral			
<i>Agaricia agaricites</i>	5.9	22.9	24.0
<i>Porites astroides</i>	14.4	7.4	10.6
<i>Siderastrea siderea</i>	12.0	no	9.0
<i>Montastraea annularis</i>	1.6	18.8	13.9
<i>Siderastrea radians</i>	31.1	14.9***	1.4
<i>Porites porites</i>	0.3	9.1	4.5
<i>Montastraea cavernosa</i>	4.7	3.9	1.8
<i>Millepora alcicornis</i>	3.4	2.9****	4.1
<i>Millepora complanata</i>	3.1	no	3.3
<i>Dicochoenia stokeisi</i>	5.4	0.1	0.4
<i>Diploria strigosa</i>	0.8	1.1	3.2
<i>Eusmilia fastigiata</i>	2.8	1.2	0.8
<i>Meandrina meandrites</i>	2.4	0.5	0.6

* En esta evaluación la identificación de algunos ejemplares se llevo solo a la categoría taxonómica de género. Implica que hay mas especies.

** Índice de diversidad de Shannon (utilizando ln).

*** Incluye *Siderastrea siderea*.

**** Incluye *Millepora complanata*.

Fuente: según Guardia y González-Sansón 1997 a, b, c, Guardia y González-Sansón 2000 a, b, Guardia *et al.* 2001; Guardia, com. pers.

grandes de pargos (Lutjanidae), meros (Serranidae), jureles (Carangidae), loros (Scaridae) y otras especies. La opinión generalizada, tanto entre los científicos como entre los propios pescadores es que la ausencia de estas especies se debe a la pesca excesiva de las mismas, pues hace unos 20 años era frecuente observar individuos grandes de esos grupos en los arrecifes estudiados. Esto hace que actualmente la ictiofauna se pueda considerar modificada con una tendencia a estar dominada por especies pequeñas. El análisis comparativo de la estructura de esta ictiofauna modificada permite concluir que existen variaciones notables entre los arrecifes investigados (cuadro 4). Estas variaciones deben estar inducidas por un conjunto de factores naturales y antrópicos que es preciso dilucidar en un futuro.

La composición de la ictiofauna oceánica en aguas cercanas a la plataforma se puede inferir parcialmente de la composición de las capturas que se realizan con palangre en la porción oriental de la región (tramo entre las bahías de Cabañas y de la Habana) y mediante la pesca deportiva (Guitart 1975, Guitart *et al.* 1981). Las especies más frecuentes son el pez espada o emperador (*Xiphias gladius*), el castero (*Makaira nigricans*), la aguja blanca (*Tetrapturus albidus*), la aguja prieta o voladora (*Istiophorus americanus*) y varias especies de tiburones (*Carcharhinus longimanus*, *C. falciformis*, *C. obscurus*, *Hypoprion sygnatus*, e *Isurus oxyrinchus*, entre otras). Según nuestras propias observaciones, también son frecuentes el dorado (*Coryphaena hippurus*), algunas especies de atunes (Scombridae), el peto (*Acanthocybium solandri*) y el conejo de lo alto (*Alepisaurus ferox*). Como es de suponer, un número aún mayor de especies pequeñas, que no son objeto de actividad pesquera, debe constituir parte de esta ictiofauna.

ECOSISTEMAS MARINOS

Al igual que en la inmensa mayoría de las plataformas insulares de la provincia biogeográfica marina antillana, el ecosistema más característico de la región noroccidental de Cuba es el que se estructura en torno a los arrecifes de coral. En estrecha asociación con el mismo se encuentran los ecosistemas acuáticos asociados a los manglares y a los fondos arenosos o areno-fangosos donde crecen fanerógamas submarinas (seibadales). Actualmente se reconoce la existencia de una fuerte interacción entre estos tres ecosistemas y el complejo manglar-seibadal-arrecife se da como el elemento clave para el análisis ecológico marino de la región caribeña (Ogden 1987, Wells 1995, Caricomp 1997).

CUADRO 4. ESPECIES DE PECES MÁS ABUNDANTES EN TRES ARRECIFES DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA, SEGÚN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR CENSO VISUAL

	COSTA DE		
	CIUDAD DE LA HABANA	LA HERRADURA	CAYO LEVISA
<i>Abudefduf saxatilis</i>	2.0	3.9	1.6
<i>Acanthurus bahianus</i>	10.3	4.8	1.0
<i>Acanthurus coeruleus</i>	3.2	7.0	1.0
<i>Caranx ruber</i>	1.6	5.7	0.0
<i>Chromis cyanea</i>	4.0	2.1	14.2
<i>Chromis multilineata</i>	2.7	0.7	0.9
<i>Clepticus parrae</i>	1.1	0.0	3.9
<i>Granma loreto</i>	0.4	1.2	8.6
<i>Haemulon flavolineatum</i>	4.3	3.4	0.3
<i>Haemulon plumieri</i>	2.1	0.3	1.0
<i>Halichoeres bivittatus</i>	7.0	10.7	1.8
<i>Mulloidichthys martinicus</i>	1.4	5.3	0.2
<i>Pempheris schomburgki</i>	0.3	5.4	0.0
<i>Halichoeres garnoti</i>	2.1	0.7	4.3
<i>Scarus taeniopterus-iserti</i>	0.4	3.1	15.1
Scaridae (juveniles)	1.3	5.0	2.7
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>	2.1	3.9	4.3
<i>Stegastes leucostictus</i>	0.8	0.8	2.6
<i>Stegastes partitus</i>	17.5	1.5	9.2
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	26.2	23.4	12.7
Total	90.8	88.8	85.4

Se incluyen aquellas que quedaron entre las 10 más abundantes en cada arrecife. La abundancia se da en términos relativos, como porcentaje en número de individuos con respecto al número total de individuos contados de todas las especies en cada sitio

Fuente: según Aguilar *et al.* 1997; Aguilar y González-Sansón 2000, 2002 y datos no publicados de G. González-Sansón.

Los ecosistemas marinos de la región noroccidental deben presentar importantes interacciones que han sido bien documentadas en otras regiones similares del Caribe (UNESCO 1983). Los manglares juegan un papel esencial en la retención de los flujos de agua dulce y de los sedimentos, creando condiciones para que las aguas se mantengan limpias en la zona costera,

facilitando así el crecimiento de los seibadales y corales. Los seibadales disminuyen la velocidad de la corriente y permiten que el sedimento precipite, ejerciendo un papel también de limpieza del agua. Por su parte, los arrecifes constituyen en muchas partes una barrera efectiva que disipa gran parte de la energía del oleaje, creando zonas de calma a sotavento y permitiendo la acumulación de sedimentos finos, los cuales ofrecen un sustrato ideal para el crecimiento de los seibadales y los manglares. Debido a los procesos de erosión, los corales son también fuente de sedimentos carbonatados que contribuyen a la estabilización de los seibadales.

Los manglares retienen gran parte de los nutrientes que vienen con el escurrimiento, permitiendo así amortiguar los procesos de nutrificación y eutrofización que tienen origen terrestre. No obstante, hay un flujo neto de nutrientes desde la orilla hacia los seibadales, lo que incrementa la productividad de los mismos, cuando la carga no es mucha. La entrada de nutrientes inorgánicos desde aguas oceánicas es mínima, por lo que los corales generalmente no sufren eutrofización. Muchos animales que durante el día se refugian en los manglares y en los arrecifes de coral, durante la noche salen a buscar su alimento en los seibadales (langosta, muchos peces de importancia comercial). Estas son migraciones diarias. Por otra parte, un grupo de especies que habitan en los seibadales y arrecifes someros, realizan grandes concentraciones para el desove en la zona cercana al borde de la plataforma, generalmente en puntos con salientes que se adentran en el océano (coronas). Estas son migraciones estacionales. Muchos de los animales que habitan en el arrecife todo el tiempo o se refugian en el mismo, tienen sus áreas de crianza en los manglares (entre las raíces) o en los seibadales. Estas son migraciones a lo largo del ciclo de vida.

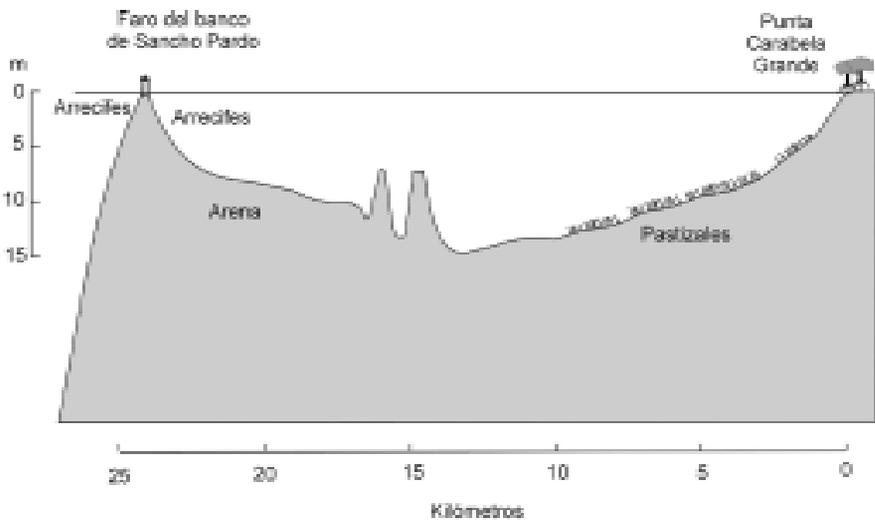
Existen zonas con buen desarrollo de arrecifes en prácticamente toda la región noroccidental, pero la zona más extensa se ubica en el banco de Sancho Pardo, en la porción occidental de la región (figura 2) y se continúa en un sistema arrecifal a lo largo de del borde de la plataforma que es conocido localmente como arrecife de los Colorados. Aunque Pavlidis y Avello (1975) afirman que éste se puede considerar un arrecife de barrera (y el único verdadero de este tipo en todo el archipiélago cubano), parece más apropiado considerar el mismo como un arrecife costero del tipo de banco o si se quiere, de banco-barrera. En esta zona se puede verificar que la disposición de los ecosistemas marinos costeros coincide plenamente con el modelo discutido anteriormente (figura 4). Las interacciones de tipo físico y biológico entre estos ecosistemas que fueron descritas anteriormente deben ser carac-

terísticas de la región.

ACTIVIDAD HUMANA

La pesca es la actividad humana principal que ejerce un efecto amplio sobre los recursos vivos en la región noroccidental. En esta porción de la plataforma cubana sólo se captura el 5 % del total de la pesca comercial del país, y su

FIGURA 4. ESQUEMA DEL PERFIL COSTERO CORRESPONDIENTE A LA ZONA OCCIDENTAL DEL GOLFO DE GUANAHACABIBES



El perfil sigue la línea AA' que aparece en la figura 2.

rendimiento por unidad de área, que es de los más bajos, ha sido calculado en 920 kg/km^2 (Claro *et al.* 2001). La mayor parte de estas capturas está formada por peces (cuadro 5), aunque se pescan cantidades pequeñas de langosta y moluscos.

La mayoría de las especies de peces con mayor valor comercial (biajaiba, cherna, bonitos) han presentado una tendencia a disminuir en los últimos

años, mientras que especies con menor valor (más pequeñas y de nivel trófico más bajo) muestran la tendencia inversa (mojarras, jureles, otros peces). Esta situación coincide con la caracterización hecha recientemente por Baisre

CUADRO 5. ESPECIES PRINCIPALES EN LAS CAPTURAS COMERCIALES DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA. LAS CIFRAS INDICAN VALORES REPRESENTATIVOS EN UNA SERIE CRONOLÓGICA DE MÁS DE 30 AÑOS (1962 – 1994)

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	T / AÑO	TENDENCIA DE LAS CAPTURAS
Biajaiba	<i>Lutjanus synagris</i>	250	Descendente
Pargo criollo	<i>Lutjanus analis</i>	125	Estable
Caballero y Cubera	<i>Lutjanus griseus</i> y <i>L. cyanopterus</i>	30	Estable
Rabirrubia	<i>Ocyurus chrysurus</i>	125	Estable
Cherna criolla	<i>Epinephelus striatus</i>	100	Descendente
Roncos	<i>Haemulon</i> spp.	200	Estable
Mojarras	<i>Eugerres</i> spp. y <i>Gerres cinereus</i>	@ 5	Ascendente
Lisas	<i>Mugil</i> spp.	@ 2	Estable
Jureles	Carangidae	35	Ascendente
Bonito y Albacora	<i>Katsuwonus pelamis</i> y <i>Thunnus atlanticus</i>	500	Descendente
Sierra y Serrucho	<i>Scomberomorus</i> spp.	8	Estable
Peces de pico	<i>Xiphias gladius</i> , <i>Makaira</i> spp., <i>Istiophorus</i> spp. <i>Tetrapturus albidus</i>	150	Descendente
Machuelo	<i>Opisthonema oglinum</i>	20	Estable
Tiburones	<i>Carcharhinus</i> spp., <i>Hypoprion sygnatus</i> , <i>Isurus</i> spp., entre otras	500	Descendente
Otros peces		400	Ascendente
Langosta	<i>Panulirus argus</i>	250	Descendente
Moluscos	<i>Crassostrea</i> sp., <i>Strombus gigas</i> , <i>Cassis</i> sp.	400	Descendente
Quelonios	<i>Chelonia mydas</i> , <i>Caretta caretta</i> , <i>Eretmochelys imbricata</i>	300	Suspendidas
Total región		3400	

Fuente: preparado con datos de Claro *et al.* 2001 y Baisre 2001.

(2001) de las pesquerías cubanas en general. Este autor halló tendencias muy definidas a la disminución del nivel trófico y la talla máxima promedios de las especies capturadas en la plataforma cubana. En el caso de la langosta también se ha observado una tendencia al descenso desde que, en 1985-1986, se obtuvieron capturas máximas históricas que sobrepasaron el potencial de captura sostenible máxima (373 t) calculado para la región (Puga *et al.* 1992)

Las tendencias en la actividad comercial, unidas a las observaciones directas realizadas por censo visual (cuadro 4), indican que existen niveles excesivos de explotación de la mayor parte de las especies de alto valor (meros, pargos, loros grandes, carángidos grandes, entre otros) . No existen estadísticas sobre la pesca deportiva y de subsistencia que practican los habitantes de la región, pero es lícito suponer que debe ser muy intensa y, desafortunadamente, muy efectiva, pues incluye la pesca submarina y el empleo clandestino de redes agalleras (cuyo uso está prohibido por la ley).

La disminución en las capturas de especies altamente migratorias (peces de pico y tiburones oceánicos) parece responder a un fenómeno general de sobrepesca de estas especies que trasciende el ámbito nacional (Baum *et al.* 2003). Todas las especies involucradas son capturadas a lo largo de miles de kilómetros en aguas internacionales o de otros países y la regulación de sus pesquerías se hace muy difícil sin algún tipo de colaboración internacional. En concordancia con la tendencia mundial, la pesca de tortugas marinas ha sido suspendida totalmente.

Otro aspecto importante del impacto humano es la contaminación de origen terrestre. En el caso de la región noroccidental, este problema se circunscribe a porciones limitadas de la costa donde, sin embargo, puede llegar a ser muy severo. El caso más notorio es el de la bahía de La Habana que alberga el puerto más importante del país, recibe el impacto de una ciudad muy grande y tiene a su alrededor un desarrollo industrial diverso (Arecos y Toledo 1985, González 1991, Beltrán *et al.* 1998). El impacto de las aguas de la bahía sobre la zona costera ha sido documentado en varios estudios sobre la fauna marina (Herrera y Alcolado 1983, Herrera 1984, Alcolado y Herrera-Moreno 1987, Herrera y Martínez-Estalella 1987, Aguilar *et al.* en prensa, entre otros). Otras tres bahías (Mariel, Cabañas y Bahía Honda), de origen y morfología muy similar a la de la Habana, se ubican en el tramo más oriental de la región noroccidental (figura 3). El nivel de contaminación de estos cuerpos de agua es mucho menor y disminuye hacia el oeste, al verse reducida la densidad de las comunidades humanas asentadas junto a ellas y la intensidad

del desarrollo portuario e industrial asociados. Varios ríos de la región también se encuentran contaminados, principalmente aquellos que atraviesan la Ciudad de la Habana y zonas adyacentes (Almendares, Quibú, Jaimanitas, entre otros). El impacto del río Almendares sobre la fauna marina de la zona costera ha sido documentado en una serie de trabajos recientes (Guardia *et al.* 2001, Aguilar y González-Sansón 2002, González-Sansón y Aguilar 2002). Otros ríos de la región presentan también algún grado de contaminación, pero no existen datos publicados que permitan precisar la cantidad y tipo de contaminantes.

Es importante resaltar que en todos los sistemas estuarinos y aquellas zonas de la costa bajo su influencia existe el efecto de una sedimentación incrementada y una tendencia a la eutrofización. Estos son procesos naturales que se pueden ver exacerbados por la actividad humana, principalmente la deforestación y la agricultura. Con el nivel de conocimiento actual no es posible ofrecer una idea, ni aún parcial, de cómo estos factores afectan a los ecosistemas marinos en la región o separar su efecto de la influencia de la contaminación en las áreas más críticas. No obstante, predomina la idea de que los arrecifes de coral, los manglares y los seibadales tienen un buen estado de conservación en general, aunque existe una explotación excesiva de los peces con importancia comercial. Esta idea se basa en el hecho de que la zona costera está, en su mayor parte, muy poco poblada; la actividad agrícola no es muy intensa y no existe un desarrollo industrial o turístico que pueda impactar de forma severa grandes áreas. Por otro lado, existe el criterio de que las aguas de la plataforma (larga, estrecha y orientada convenientemente) se renuevan con gran eficiencia a partir de su interacción con el océano.

Recientemente, se anunció la disposición del gobierno de la República de Cuba a negociar contratos para la exploración de gas y petróleo en las aguas profundas de la zona económica exclusiva de Cuba en el Golfo de México. Esta zona colinda con la región de interés y el posible inicio de actividades de exploración y extracción de petróleo en un futuro cercano constituye un elemento más para promover la investigación de los ecosistemas marinos costeros, en previsión de un posible accidente y la necesidad de tener datos de línea base.

PERSPECTIVAS

La información existente sobre los ecosistemas marinos de la región noroccidental de la plataforma submarina cubana es muy general y está enfocada principalmente a determinar variaciones espaciales en la escala de

las decenas de kilómetros, aunque incluye algunos trabajos dirigidos a la determinación de variaciones espaciales en escalas más pequeñas. Las variaciones temporales han sido investigadas de forma limitada, considerando principalmente las variaciones estacionales. Particularmente notoria es la ausencia de investigaciones que analicen las variaciones inter- anuales en la estructura o el funcionamiento de los ecosistemas marinos. Además, una parte importante de los artículos más abarcadores son bastante antiguos (publicados hace más de 15 años en su mayoría).

Por los motivos apuntados anteriormente, es necesario promover la ejecución de un proyecto integral encaminado a la evaluación general del estado actual de la diversidad biológica marina en la zona costera de la región noroccidental de Cuba, con el establecimiento de la distribución de los hábitats principales, las amenazas debidas al impacto humano y las acciones recomendadas para la conservación y el uso racional de los ecosistemas y de algunas especies con interés económico o que estén amenazadas.

Un proyecto de esta índole debe balancear apropiadamente la investigación en diferentes escalas espaciales y temporales. Esto implica combinar el uso de las técnicas basadas en sensores remotos y la aplicación de sistemas de información geográfica para elaborar mapas sinópticos de los hábitats a nivel de región, con la investigación detallada a pequeña escala de sectores seleccionados de los ecosistemas principales (manglares y sistemas estuarinos, seibadales y arrecifes de coral). Este nivel permitirá incrementar notablemente el inventario de la diversidad biológica y la realización de investigaciones sobre procesos básicos, entre los cuales se encuentran la producción primaria y su destino en las tramas alimentarias, la ecología de larvas y juveniles asociada a los procesos de reclutamiento, los procesos vinculados al crecimiento de los corales y, en particular, las tasas de calcificación, entre otros.

Dentro de un proyecto como el enunciado anteriormente deben incluirse, con prioridad alta, las investigaciones dirigidas a la determinación del impacto de la contaminación de origen terrestre sobre la ictiofauna marina y estuarina, los corales escleractíneos y las algas, utilizando un análisis en varios niveles de organización (individuos, población y comunidad).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. y G. González-Sansón. 1998. Variación estacional de la abundancia de juveniles de peces en una zona del sublitoral rocoso de La Habana, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 19(1): 38-45.

- 2000. Influencia de la contaminación de la bahía de la Habana sobre las asociaciones de peces costeros: I. Abundancia y diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 60-70
- 2002. Ecología de la ictiofauna costera en la zona adyacente a la desembocadura del río Almendares (La Habana, Cuba): I. Distribución espacial de la abundancia y la diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 23(1): 3-14.
- Aguilar, C., G. González-Sansón; J. Angulo y C. González. 1997. Variación espacial y estacional de la ictiofauna en un arrecife de coral costero de la región noroccidental de Cuba. I: Abundancia total. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 223-232.
- Aguilar, C., G. González-Sansón, E. de la Guardia, A. M. Suárez, J. Trelles y J. Angulo. 2000. Inventario de los componentes más comunes de la flora y la fauna del arrecife de coral costero de la Caleta de San Lázaro, región noroccidental de Cuba, en el período de 1996 a 1998. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 53-59.
- Aguilar, C. y G. González-Sansón, Kelly R. Munkittrick y Deborah L. MacLatchy (en prensa) Fish assemblages on fringe coral reefs of the northern coast of Cuba near Havana Harbor. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.
- Alcolado, P.M. y A. Herrera-Moreno. 1987. Efectos de la contaminación sobre las comunidades de esponjas en el litoral de la Habana, Cuba. *Reporte de Investigación, Instituto de Oceanología* 68, 17 pp.
- Areces, A. and Toledo, L. 1985. Características tróficas de la Bahía de La Habana durante el período de seca. *Reporte de Investigación, Instituto de Oceanología* 40, 32 pp.
- Baisre, J. 2001. Chronicle of Cuban marine fisheries (1935-1995) Trend analysis and fisheries potential. *FAO Fish. Tech. Pap.* 394: 26 pp.
- Baum, J.K.; R.A. Myers; D.G. Kehler; B. Worm; S.J. Harley y P.A. Doherty. 2003. Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science* 299: 389-392.
- Beltrán, J., Ruiz, F. and Vega, L. 1998. Contaminación por hidrocarburos del petróleo en la Bahía de La Habana, Cuba. *Revista Científico-Técnica del IIT. Transporte Desarrollo y Medio Ambiente, Cuba* 18, 5 -10.
- Blázquez, L. 1981. Algunos aspectos del régimen de temperatura en la plataforma noroccidental de Cuba y la región oceánica adyacente. *Acad. Cienc. Cuba, Inf. Cient.-Téc.* 171: 28 pp.
- Buesa, R. 1974a. Fotosíntesis y respiración de plantas marinas. *Resúmenes Invest. Centr. Invest. Pesq.*, Cuba 1: 45-50.
- 1974b. Biomasa del macrofitobentos de la plataforma noroccidental de Cuba. *Resúmenes Invest. Centr. Invest. Pesq.*, Cuba 1: 51-54
- 1974c. Comportamiento biológico de la seiba (*Thalassia testudinum* Koenig, 1805) en Cuba. *Resúmenes Invest. Centr. Invest. Pesq.*, Cuba 1: 66-69.
- CARICOMP. 1997. Caribbean coastal marine productivity (CARICOMP): A research and monitoring network of marine laboratories, parks and reserves. *Proc. 8th Int. Coral Reef Sym.* 1: 641-646.

- CCAR. 2003. Gulf of Mexico Near Real-Time Altimeter Viewer, Real-Time Altimetry Project, Colorado Centre for Astrodynamics Research. Disponible en: http://www-ccar.colorado.edu/~realtime/gsfsc_gom-real-time_ssh.
- Claro, R.; K.C. Lindeman y L.R. Parenti (eds.). 2001. *Ecology of the marine fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington, xv + 253 p.
- Day, J.W.; C.H.S. Hall; W.M. Kemp y A. Yañez-Arancibia. 1989. *Estuarine Ecology*. John Wiley, New York.
- Emilson, I. y J. Tápanes. 1971. Contribución a la hidrología de la plataforma sur de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 9: 1-31
- Fabré, S. 1985. Distribución cuantitativa del zooplancton en la región noroccidental de la plataforma cubana. *Reporte de Investigacion, Instituto de Oceanología* 31: 37 pp.
- García, C.; A. Chirino y J.P. Rodríguez. 1991. Corrientes geostróficas en la ZEE al sur de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 12(1-3): 29-38.
- 1981a. Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba: I. Aguas superficiales. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 6(2): 1-15
- 1981b. Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba: II. Aguas subsuperficiales. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 6(2): 16-35
- Gómez, J. A. 1979. Corrientes geostróficas alrededor de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 4(3): 89-102.
- González, H. 1991. Heavy metal surveys in sediments of five important Cuban Bays. *Biochemistry* **14**, 113-128.
- González-Sansón, G. y C. Aguilar. 2000. Influencia de la contaminación de la Bahía de la Habana (Cuba) sobre las asociaciones de peces costeros: II. Análisis multidimensional. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 71-80
- 2002. Ecología de la ictiofauna costera en la zona adyacente a la desembocadura del río Almendares (La Habana, Cuba): II. Análisis multidimensional. *Rev. Invest. Mar.* 23(1): 15-25.
- González-Sansón, G.; C. Aguilar; J. Angulo y C. González. 1997a. Variación espacial y estacional de la ictiofauna en un arrecife de coral costero de la región noroccidental de Cuba. II: Diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 233-240.
- 1997b. Variación espacial y estacional de la ictiofauna en un arrecife de coral costero de la región noroccidental de Cuba. III: Análisis multidimensional. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 241-248.
- González-Sansón, G., E. de la Guardia, C. Aguilar, C. González y M. Ortíz. 1997c. Inventario de las especies más comunes de la fauna en el arrecife de coral "La Herradura". *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 193-197.
- Guardia, E. de la y G. González-Sansón. 1997a. Asociaciones de esponjas, gorgonias y corales en los arrecifes de la costa noroccidental de Cuba. I. Distribución espacial de

- biotopos. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 198-207.
- 1997b. Asociaciones de esponjas, gorgonias y corales en los arrecifes de la costa noroccidental de Cuba. II. Variaciones espaciales del cubrimiento y la densidad. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 208-215.
- 1997c. Asociaciones de esponjas, gorgonias y corales en los arrecifes de la costa noroccidental de Cuba. III. Variación espacial de la diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 216-222.
- 2000a. Asociaciones de corales, gorgonias y esponjas del sublitoral habanero al oeste de la bahía de La Habana. I Gradiente ambiental. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 1-8.
- 2000b. Asociaciones de corales, gorgonias y esponjas del sublitoral habanero al Oeste de la bahía de La Habana. II. Índices ecológicos. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 9-16.
- Guardia, E.; P. González y J. Trelles. 2001. Macrobenitos del arrecife coralino adyacente al río Almendares, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 23(1): 3-14.
- Guitart, D. 1975. Las pesquerías pelágico-oceánicas de corto radio de acción en la región noroccidental de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 31: 26 pp.
- Guitart, D.; M. Juárez y J. F. Milera. 1981. Análisis de las pesquerías deportivas de agujas (Pisces; géneros *Istiophorus*, *Tetrapturus*, *Makaira*) en la región noroccidental de Cuba. *Cien. Biol.* 6: 125-142.
- Herrera, A. 1984. Clasificación numérica de las comunidades de gorgonáceos al oeste de la Bahía de la Habana. *Cien. Biol.* 12: 105-124.
- Herrera, A. y P. Alcolado. 1983. Efecto de la contaminación sobre las comunidades de gorgonáceos al oeste de la Bahía de la Habana. *Cien. Biol.* 10: 69-85.
- Herrera, A. y N. Martínez-Estalella. 1987. Efecto de la contaminación sobre las comunidades de corales escleractíneos al oeste de la Bahía de la Habana, Cuba. *Reporte de Investigación, Instituto de Oceanología* 62, 29p.
- ICGC. 1978. *Atlas de Cuba*. Instituto Nacional de Geodesia y Cartografía, La Habana.
- Ionin, A., Y. Pavlidis y O. Avello. 1972. Resumen geológico y geomorfológico de la zona litoral de la costa noroeste de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 11: 14 p.
- Kabanova, Y.G. y L. López-Baluja. 1973. Producción primaria en la región meridional del Golfo de México y cerca de la costa noroccidental de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 16: 34 pp.
- Kondratieva, T.M. y E. Sosa. 1967. Productividad primaria de las aguas cubanas. *Estudios* 2(2): 21-44.
- Lluis-Riera, M. 1983. Estudios hidrológicos de la plataforma noroccidental de Cuba (Zona C). *Instituto de Oceanología, Reporte de Investigación* 13: 31 pp.
- Marikova, V.K. y A. Campos. 1967. Características cualitativas y cuantitativas del zooplancton de la plataforma cubana. *Estudios* 2(2): 63-80.

- Murina, V.V.; V.D. Chujchin; O. Gómez y G. Suárez. 1969. Distribución cuantitativa de la macrofauna bentónica del sublitoral superior de la plataforma cubana (región noroccidental). *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 6: 14 p.
- NOAA. 2003. *Large marine ecosystems of the world: The Gulf of Mexico*. Disponible en línea: <http://na.nefsc.noaa.gov/lme/text/lme5.htm>.
- Ogden, J.C. 1987. Cooperative coastal ecology at Caribbean Marine Laboratories. *Oceanus* 30(4): 9-15.
- Orozco, M. V. 1983. Distribución y abundancia de huevos y larvas de peces en la región noroccidental de la plataforma de Cuba (Zona C). *Cien. Biol.* 9: 107-120.
- Pavlidis, Y. A. y O. Avello. 1975. Sedimentos de la plataforma cubana: I. Golfo de Guanahacabibes. *Serie Oceanológica* 30: 17 pp.
- Popowski, G; L. López-Baluja; M. Borrero. 1982. Distribución del fitoplancton en la región noroccidental de la plataforma de Cuba. *Cien. Biol.* 7: 33-51.
- Puga, R.; I. Cortés; M.E. de León; R. Cruz y R. Otero. 1992. Evaluación de la pesquería de langosta (*Panulirus argus*) de la región noroccidental de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 17(1): 1-8.
- Rodríguez, J. P. y J.E. Rodríguez. 1983. Las mareas en las costas cubanas. *Instituto de Oceanología, Reporte de Investigación* 6: 37 pp.
- Rossov, V.V. 1967. Sobre el sistema de corrientes del Mediterráneo americano. *Estudios* 2(1): 31-50.
- Rossov, V.V. y H. Santana. 1966. Algunas características hidrológicas del Mediterráneo americano *Estudios* 1(1): 47-77.
- Siam, C. 1988. Corrientes superficiales alrededor de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 13(1-2): 98-108.
- Siam, C. y C. García 1981. Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba: III. Profundidad de inicio de la termoclina en las aguas oceánicas de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 13(1-2): 98-108.
- UNESCO. 1983. Coral reefs, seagrass beds and mangroves: their interaction in the coastal zones of the Caribbean. *UNESCO reports in marine science* 23: 133 p.
- Victoria, I. y I. Penié. 1998. Hidrología. En: M. Vales, A. Alvarez, L. Montes y A. Avila, (eds.). *Estudio nacional sobre la diversidad biológica en la República de Cuba*. PNUMA/CENBIO/IES/AMA/CITMA, La Habana, pp.117-125.
- Wells, S.M. 1995. Science and management of coral reefs: problems and prospects. *Coral Reefs* 14: 177-181.
- Zenkovich, V. P. y A. S. Ionin. 1969. Breve resumen sobre las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la isla de Cuba. *Serie Oceanológica* 8: 22 pp.

Este primer volumen de la obra
Diagnóstico ambiental del Golfo de México
se terminó de imprimir
durante en mes de junio de 2004
en los talleres gráficos de...

Se tiraron 1,000 ejemplares.

