

## Los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica: estado del conocimiento y perspectivas de manejo

Marco A. Quesada-Alpízar<sup>1,3</sup> & Jorge Cortés<sup>1,2</sup>

1 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica; jcortes@cariari.ucr.ac.cr

2 Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica.

3 Graduate School, University of Rhode Island, Dept. of Marine Affairs, Kingston, Rhode Island, RI 02881; maquesada@mail.uri.edu, maquesad@cariari.ucr.ac.cr

Recibido 28-VII-2005. Corregido 30-II-2006. Aceptado 30-III-2006.

**Abstract: The marine ecosystems of the south Pacific coast of Costa Rica: state of knowledge and management perspectives.** A review of the existing scientific literature on marine ecosystems in the south Pacific of Costa Rica is presented. Most of the information generated to date concentrates on the Golfo Dulce area, a tropical fjord and only anoxic basin in the American Pacific coast. Even though there is a considerable amount of information available, there are still many aspects of the marine ecosystems of the region that remain unstudied. Among these, those concerning circulation patterns, mangrove dynamics, biodiversity of soft sediments and deep waters, and the ecology of commercially important species of mollusks, crustaceans and fish, stand out. Special attention should be placed on the study of Golfo Dulce, Caño Island and the Térraba-Sierpe mangrove system, given their biological importance and unique regional character. Coastal management in the region should be based on the best scientific information available integrating biological, social and economic criteria; and seeking the improvement of interinstitutional coordination in order to achieve integrative solutions to the existing threats to marine resources. Rev. Biol. Trop. 54 (Suppl. 1): 101-145. Epub 2006 Sept. 30.

**Key words:** Costa Rica, eastern Pacific, Golfo Dulce, marine ecosystems, tropical fjord, coastal management, Protected areas.

Cerca de la mitad de la población mundial habita en la zona costera o a menos de 200 km de ésta (Anónimo 2004) y dentro de esta definición Costa Rica en su totalidad estaría en la zona costera. Esta concentración de más de tres mil millones de personas en menos del 10 % del espacio terrestre habitable del planeta genera serias presiones sobre los recursos marino-costeros (Olsen 1998). La situación se agrava si se considera que el continuo incremento en población mundial afecta de manera directa la demanda de bienes y servicios sobre los recursos marinos, así como la intensidad de la degradación física y ecológica que experimentan (Coull 1993, Olsen y Christie 2000).

América Latina no presenta un patrón distinto al descrito anteriormente: más de dos tercios de la población vive en grandes ciudades ubicadas, en su mayoría, en las costas (McCann y Rubinoff 1997). En este sentido, Costa Rica presenta un patrón demográfico poco común: la mayor parte de su población se concentra en la parte central del país. Sin embargo, la situación ha venido cambiando y en las últimas tres décadas se ha dado un crecimiento gradual tanto en el desarrollo costero como en la demanda sobre los recursos marinos. Esto se ha visto estimulado, entre otras cosas, por la expansión de la frontera agrícola y por el crecimiento de la industria turística en el país. Ante esta realidad y la creciente necesidad de mejorar las

prácticas de manejo costero en el país, resulta necesario tener una perspectiva clara acerca de la información científica disponible en el área de las ciencias marinas. Este conocimiento constituye una herramienta que facilita la toma de decisiones en torno al manejo costero, así como la identificación de los principales vacíos de información existentes.

La costa Pacífica de Costa Rica, con 1 164 km de longitud, presenta una gran diversidad de hábitats costeros. Entre estos, destacan playas rocosas, arenosas y lodosas, acantilados, manglares, fondos blandos, estuarios, un fiordo tropical, islas, golfos y bahías (Cortés y Jiménez 2003). El Pacífico sur del país, en particular, resulta especialmente interesante de estudiar debido a la diversidad biológica que presenta y a su relativamente bajo desarrollo costero.

El aislamiento geográfico y difícil acceso de la región sur no sólo explican el poco desarrollo de la zona sino que también han postergado en gran medida su estudio. De hecho, la mayor parte de la información científica disponible ha sido generada en los últimos 15 años. Dada la importancia biológica, social y económica de la zona, el presente estudio presenta una revisión de la información científica disponible para la zona marino costera del Área de Conservación Osa (ACOSA), en el Pacífico sur de Costa Rica (Fig. 1, 2).

ACOSA cuenta con un litoral de aproximadamente 245 km de extensión y se conoce de al menos 141 instalaciones turísticas en la zona (Anónimo 2000, Kappelle *et al.* 2002). Políticamente, ACOSA está conformada dentro de los cantones de Osa, Corredores y Golfito,

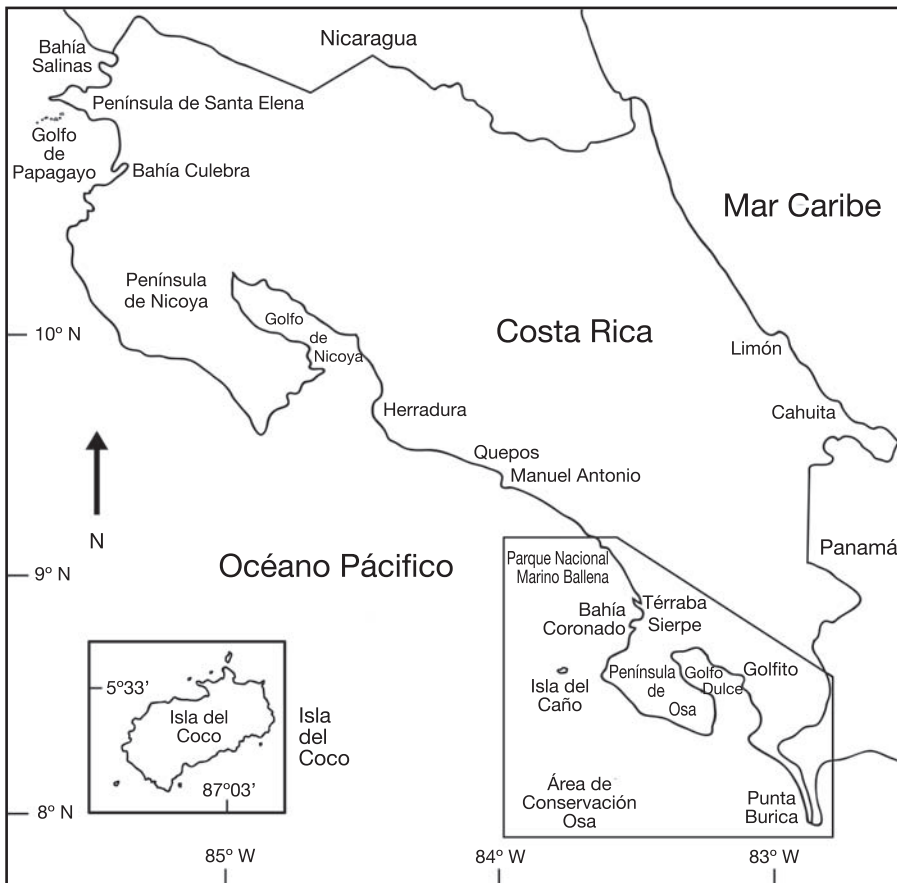


Fig. 1. Mapa de Costa Rica con indicación del Área de Conservación Osa y otros ecosistemas costeros.

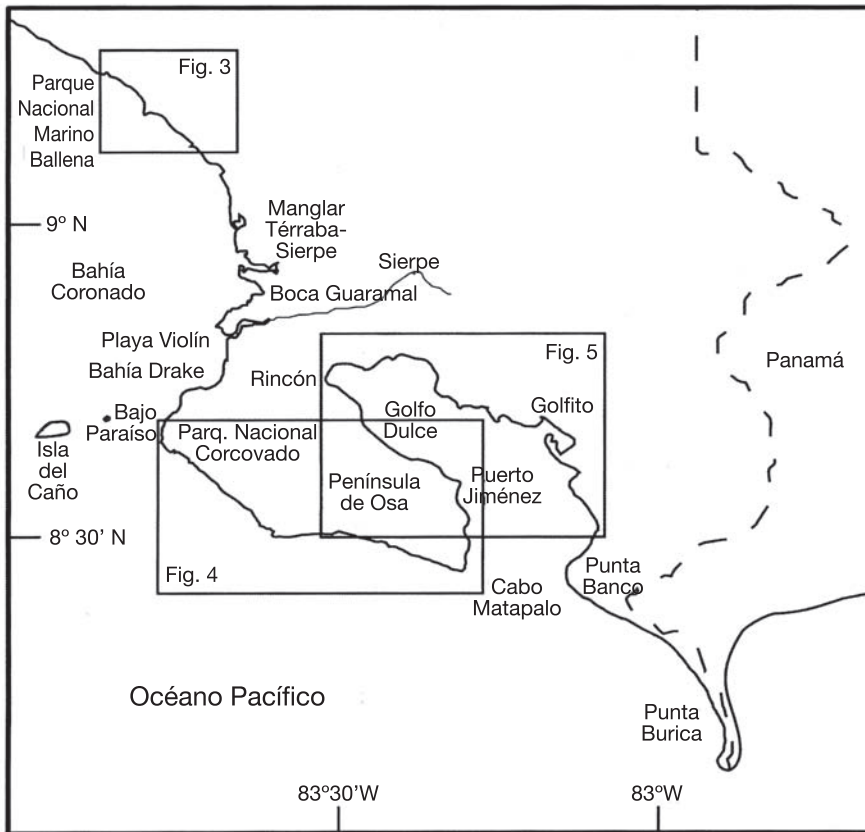


Fig. 2. Detalle del Área de Conservación de Osa, con la localización geográfica de las Figs. 3, 4 y 5 mencionadas en el texto.

todos de la provincia de Puntarenas y tiene una extensión de 4 304.8 km<sup>2</sup>, de los cuales 1 454.9 km<sup>2</sup> (34 %) están protegidos bajo alguna categoría de manejo. Dentro del área existen 17 áreas protegidas: tres Parques Nacionales, una Reserva Biológica, diez Refugios de Vida Silvestre, una Reserva Forestal y dos humedales (Obando y García 2000, Kappelle *et al.* 2002). Desde una perspectiva biológica y oceanográfica, las zonas que más destacan son el Parque Nacional Marino Ballena, el Humedal Nacional de Térraba-Sierpe, la Reserva Biológica Isla del Caño, el Parque Nacional Corcovado y el Golfo Dulce.

Por muchos años, la población de la zona dependió casi exclusivamente de las plantaciones de banano y hoy en día presenta un desarrollo económico inestable, producto de la

dependencia de la pesca y actividades agrícolas monocultivistas de banano, palma africana y arroz, entre otros (Obando y García 2000). Estas actividades inciden directa e indirectamente sobre el uso y el estado de los recursos marinos y costeros.

El objetivo de este trabajo consistió en recopilar y resumir la información científica existente (publicada e inédita) sobre la biología marina e hidrografía del Pacífico sur de Costa Rica, con el fin de ampliar su difusión y divulgación, para contribuir al manejo y toma de decisiones de esa región del país. Cabe destacar que la revisión se concentra principalmente en publicaciones realizadas en revistas científicas de circulación internacional, aunque también se consideran tesis, libros, informes institucionales y otras fuentes relevantes.

## ANTECEDENTES

Las primeras investigaciones marinas en el Pacífico sur de Costa Rica, fueron las de Richards *et al.* (1971), quienes describieron por primera vez las características oceanográficas de Golfo Dulce, y las de Nichols-Driscoll (1976), quien exploró la comunidad béntica de Golfo Dulce. En la década de 1980 se inicia el estudio sistemático de los arrecifes coralinos de la región, primero con la Isla del Caño (Guzmán 1986, Guzmán *et al.* 1987a, b, 1990, Guzmán y Cortés 1989a, b) y posteriormente en el Golfo Dulce (Cortés 1990a, b, 1992, Cortés *et al.* 1994). Más tarde, a principios de la década de 1990, se dio el principal impulso a la investigación en la zona. Entre los años 1993 y 1994, el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica y el Centro de Ecología Marina Tropical (ZMT) de la Universidad de Bremen, Alemania, realizaron una campaña oceanográfica conjunta (con el Buque Oceanográfico Victor Hensen) en el Pacífico costarricense que incluyó puntos como el Golfo de Nicoya, al Golfo Dulce y la Bahía de Coronado (Vargas y Wolff 1996). El Pacífico sur (en especial Golfo Dulce) fue objeto de numerosos estudios, entre los que se pueden citar trabajos sobre geología (Hebbeln *et al.* 1996), perfiles físicos y de nutrimentos de la columna de agua (Córdoba y Vargas 1996), pesticidas organoclorados (Sponberg y Davis 1998), microbiología (Kuever *et al.* 1996, Thamdrup *et al.* 1996), zoo-plancton (Hossfeld 1996, Molina-Ureña 1996, Morales-Ramírez 1996, von Wangelin y Wolff 1996), moluscos (Cruz 1996, Høisæter 1998), crustáceos (Castro y Vargas 1996, Jesse 1996) y peces (Bussing y López 1996). También se estudió la batimetría y distribución de sedimentos alrededor de la Isla del Caño (Cortés *et al.* 1996) y la fauna asociada a los sedimentos del Golfo Dulce (León-Morales y Vargas 1998).

Después de la expedición del B.O. Victor Hensen se continuaron publicando trabajos sobre el Golfo Dulce, por ejemplo sobre mamíferos marinos (Acevedo-Gutiérrez 1996, Acevedo y Burkhart 1998, Cubero-Pardo 1998a, b), bioerosionadores de corales (Fonseca y Cortés 1998,

Fonseca 1999, Fonseca *et al.* 2006), moluscos (Silva y Bonilla 2001), los sedimentos del fondo (Hebbeln y Cortés 2001), contaminación (Acuña-González *et al.* 2004, García-Céspedes *et al.* 2004, Sponberg 2004a, b) y sobre el reciclaje de nutrimentos (Dalsgaard *et al.* 2003, Acuña *et al.* 2006). Durante la década de 1990 y hasta el presente se estudian los arrecifes del Parque Nacional Marino Ballena (Jiménez 1995, Jiménez y Cortés 2001, 2003, Alvarado 2004a, b, Alvarado *et al.* 2005, Alvarado en prep.). Asimismo se publica un trabajo sobre 15 años de cambios en los arrecifes coralinos de la isla del Caño (Guzmán y Cortés 2001).

La presente revisión recopila 180 investigaciones llevadas a cabo en la zona del Pacífico sur de Costa Rica (Fig. 1, 2) sobre aspectos tan variados como geología, hidrografía, ecología de plancton, arrecifes coralinos, peces, tortugas, mamíferos marinos y manglares, entre otros. De éstas, la mayor parte (92) se han desarrollado en Golfo Dulce y 44 en la península de Osa, 38 en la Isla del Caño, 27 en el Parque Nacional Marino Ballena y 11 en el área de Sierpe-Térraba (Cuadro 1). Dentro de estos trabajos se incluye 22 investigaciones de tesis en ciencias marinas que se han realizado en la zona para optar por los grados de licenciatura, maestría o doctorado en universidades nacionales y extranjeras (Cuadro 1).

## PACÍFICO SUR DE COSTA RICA

### Clima

El Pacífico sur de Costa Rica se caracteriza por su clima lluvioso y por tener una época seca poco pronunciada. La precipitación anual llega a superar los 5 000 mm y la estación lluviosa se extiende desde abril hasta diciembre, alcanzando su pico en el mes de octubre, cuando el promedio mensual de lluvia varía entre los 520 mm y los 860 mm. La precipitación por lo general excede la evaporación durante gran parte del año, lo que mantiene las tierras saturadas de agua. Esto favorece la rápida erosión de los terrenos expuestos y da cabida

CUADRO 1

Resumen de las publicaciones realizadas sobre los ambientes marino-costeros en el Pacífico sur de Costa Rica

	P. N. M. Ballena	Térraba/Sierpe	Isla del Caño	Península de Osa	Golfo Dulce
Arrecifes coralinos	6 – 2 – 0	---	17 – 2 – 0	1 – 0 – 0	7 – 2 – 0
Manglares	0 – 0 – 0	5 – 1 – 3	---	0 – 0 – 0	4 – 3 – 0
Bentos	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	1 – 0 – 0	0 – 0 – 0	1 – 1 – 0
Plancton	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	2 – 0 – 0	0 – 0 – 0	1 – 4 – 0
Química/contaminación	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	12 – 0 – 0
Oceanografía física	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	2 – 0 – 1
Geología	4 – 0 – 0	1 – 0 – 0	6 – 0 – 0	15 – 1 – 0	13 – 4 – 0
Biodiversidad	5 – 0 – 1	1 – 1 – 1	5 – 0 – 1	4 – 0 – 1	17 – 1 – 2
Tortugas marinas	0 – 0 – 0	0 – 0 – 0	3 – 0 – 0	2 – 0 – 5	0 – 0 – 0
Mamíferos marinos	4 – 0 – 0	---	0 – 0 – 0	8 – 0 – 1	8 – 1 – 0
Otros*	0 – 0 – 5	0 – 0 – 3	1 – 0 – 0	1 – 0 – 5	3 – 0 – 6
TOTAL	19 – 2 – 6	7 – 2 – 4	35 – 2 – 1	31 – 1 – 12	67 – 16 – 9

El primer número corresponde a publicaciones en revistas científicas o capítulos de libros, el segundo número son las tesis (grado y posgrado), y el tercer número los informes. Trabajos realizados en varias regiones se apuntan en cada región donde se llevó a cabo.

\* = Trabajos sobre turismo, ambientes costeros en general, planes de manejo, pesquería, modelo trófico.

al desbordamiento de ríos, lo que incrementa el transporte de sedimentos y nutrimentos. Las máximas temperaturas atmosféricas se registran durante la estación seca, época durante la cual también se da un incremento en el número de horas de brillo solar (Jiménez y Soto 1985, Cortés 1990a, b, Anónimo 2000, Lizano *et al.* 2001, Kappelle *et al.* 2002). Beese (1995) en su tesis sobre paleoclima de Golfo Dulce, encuentra que las conchas del foraminífero bentónico *Globigerinoides saccaulifer* y del pterópodo planctónico *Creseis virgula* registraron en sus esqueletos calcáreos eventos térmicos importantes como la Pequeña Edad de Hielo y eventos fuertes de El Niño-Oscilación del Sur, tanto la fase cálida como la fría.

### Marco geológico

El Pacífico sur, desde un punto de vista geológico, consiste de varios terrenos compuestos de rocas ígneas oceánicas del Cretácico-Eoceno, con coberturas sedimentarias Cretácica-Cenozoicas (Tournon y Alvarado

1997). Clásicamente, las rocas ígneas se han agrupado en forma genérica en la unidad conocida como Complejo de Nicoya s.l., aflorando en el extremo noroeste y norte de Golfo Dulce y en la parte norte de la Península de Burica, y consiste principalmente de basaltos masivos y en almohadilla (Berrangé y Thorpe 1988, Tournon y Alvarado 1997, Kussmaul 2000).

Actualmente, se considera que los basamentos de la zona ístmica de Osa (Bloque de Rincón), de Golfito y de Burica son de origen distinto: El Bloque de Rincón y Burica representan fragmentos compuestos de montes marinos (“seamounts”), y la región de Golfito se caracteriza por la presencia de rocas de un arco primitivo (Di Marco 1994, Di Marco *et al.* 1995, Buchs y Baumgartner 2003). Estos terrenos fueron acrecionados a la parte principal del istmo Centroamericano durante el Paleoceno-Eoceno.

En la Península de Osa y la Isla del Caño aflora una serie compleja de brechas y megabrechas metasedimentarias, muy heterogéneas, fuertemente tectonizadas, que componen el Complejo de Acreción Osa-Caño (OCAC:

Baumgartner *et al.* 1989, Di Marco *et al.* 1995), también llamado el "Mélange" de Osa. Tiene bloques tanto sedimentarios como ígneos (Tournon y Alvarado 1997).

Las rocas sedimentarias que forman la cobertura de los complejos básicos son rocas pelágicas, compuestas por radiolaritas o calcilitas rojizas de la Formación Golfito. En la Fila Costeña secuencias detricas del Paleógeno y calizas del Eoceno (Tournon y Alvarado 1997, Linkimer y Aguilar 2000), constituyen una serie de sobrecorrimientos tectónicos despegados de un basamento desconocido (Kolarsky *et al.* 1995). Espesas secuencias detricas del Neógeno cubren la mayoría de las superficies terrestres de Osa y Burica. Estos sedimentos están compuestos de productos de erosión del intrusivo de Talamanca y su cobertura sedimentaria (Buchs y Baumgartner 2003).

Los sedimentos cuaternarios han rellenado las tierras bajas, algunas de las cuales corresponden con cuencas formadas por la tectónica tan activa en la región. Como geoformas destaca el tómbolo de Uvita, el delta del Dikis (Térraba) en donde se asienta el manglar de Sierpe-Térraba, las lagunas de Corcovado y Pejeverro, la zona costera del lado sur de Golfo Dulce, depósitos de abanico aluvial en Golfito, las barreras arenosas elongadas al sur de Golfito y alrededor del Río Coto-Colorado (Tournon y Alvarado 1997, Denyer y Cárdenas 2000).

### *Procesos geológicos activos*

La zona sur de Costa Rica tiene gran actividad tectónica debido a que a unos pocos kilómetros al suroeste de la costa se hunde la Cordillera Asísmica de Cocos debajo de la Microplaca de Panamá, produciendo un levantamiento de hasta 6.5 mm/año (Fischer 1980, Gardner *et al.* 1992, Denyer *et al.* 2003, Sak *et al.* 2004). Esta es una región compleja y se han propuesto varios modelos sobre la edad de subducción de la Cordillera de Cocos debajo de Costa Rica (McMillan *et al.* 2004). El levantamiento de la región sur de Costa Rica no ha sido el mismo a través del tiempo ni igual en

toda la región ya que ha variado debido a la rugosidad de la placa de Cocos. Esto ha resultado en tasas de levantamiento diferentes en el tiempo (McMillan *et al.* 2004, Sak *et al.* 2004), y levantamiento diferenciales en diversas secciones de la costa (Gardner *et al.* 1992).

La Fila Costera presenta una serie de fallas paralelas a la costa y el pliegue Ángel-Guayabo (Denyer *et al.* 2003). La principal falla longitudinal hace una curvatura frente al Parque Nacional Marino Ballena proyectándose hacia el mar en Punta Quepos y volviendo a la costa cerca de Playa Ballena (Denyer *et al.* 2003) o en la boca norte del río Térraba (Fisher *et al.* 2004). El alineamiento de Roca La Viuda, Isla Ballena y las Rocas de las Tres Hermanas, posiblemente se debe a esta falla longitudinal (Fisher *et al.* 2004).

La principal característica tectónica en la parte interna de Golfo Dulce es una falla inversa del lado norte, que se manifiesta en terrazas de playas levantadas (Madrigal 1977) y en acantilados de gran altura que continúan bajo el agua con una pendiente muy pronunciada (Hebbeln *et al.* 1996). La fragmentación en bloques de la región alrededor del Golfo Dulce ha resultado en movimientos verticales desiguales, causando cambios en la dirección del desagüe de los ríos en el golfo (Wells *et al.* 1988). Hace unos 500 años la cantidad de agua dulce que llegaba a la parte interna de Golfo Dulce aumentó significativamente, al desviarse, por movimientos tectónicos, los ríos Rincón y Esquinas hacia la parte interna de Golfo Dulce, afectando el crecimiento de los arrecifes coralinos (Cortés *et al.* 1994).

Excepto por el área del umbral, la mayor parte de Golfo Dulce está cubierto por sedimentos suaves y recientes, con espesores entre 5 y 10 m (Hebbeln *et al.* 1996, Hebbeln y Cortés 2001). Los sedimentos de la región interna profunda están compuestos principalmente de turbiditas (Hebbeln y Cortés 2001). Casi toda la materia orgánica en los sedimentos de Golfo Dulce, sobre todo en la parte noreste, es de origen terrestre, y podría provenir de las áreas de manglar cercanas (Hebbeln y Cortés 2001). La tasa de sedimentación promedio fue



de 1.6 mm/año, que está dentro del ámbito de sedimentación de fiordos de zonas húmedas, eg. Nueva Zelanda. La cantidad de sedimentos de origen terrestre aumenta hacia la parte superior (más reciente) del núcleo lo que puede estar relacionado a la deforestación (Kurmis 1997).

### *Relevancia*

El conocimiento generado hasta ahora sobre la geología y geomorfología de la región resulta fundamental para la adecuada interpretación y comprensión de, entre otras cosas, las características de la columna de agua y los patrones de circulación en Golfo Dulce; los cambios históricos observados en los arrecifes coralinos de la parte interna del golfo; y el origen y tipo de sustratos que existen en el Pacífico sur. Esto último resulta primordial para estudiar y comprender el tipo de biota asociada (i.e. organismos bénticos) y vulnerabilidad a contaminantes que presentan ciertos sustratos. Por estas razones hace falta más estudios detallados de los sedimentos del fondo como los realizados en Golfo Dulce (Hebbeln *et al.* 1996, Hebbeln y Cortés 2001) y la isla del Caño (Cortés *et al.* 1996).

### **Hidrografía**

Hasta la fecha no se dispone de información específica sobre las características hidrográficas que se presentan en el Pacífico sur del país. Una excepción la constituye Golfo Dulce, sitio para el que se ha generado información básica al respecto. Golfo Dulce tiene cerca de 50 km de longitud, de 10 a 15 km de ancho y una superficie aproximada de 680 km<sup>2</sup>. La línea costera está dominada por fuertes pendientes rocosas cubiertas de vegetación y por algunas playas arenosas (Hebbeln *et al.* 1996). Además, se caracteriza por poseer una cuenca interna de pendiente pronunciada con una profundidad máxima de 215 m y un umbral poco profundo (60 m) a su entrada (Cortés 1990a, b, Córdoba y Vargas 1996, Hebbeln *et al.* 1996). Estas características morfológicas tienden a restringir la circulación de agua en

la cuenca interna y a favorecer el desarrollo de condiciones anóxicas en las aguas profundas. La morfología y circulación de Golfo Dulce se asemejan a la de los fiordos de latitudes altas. Golfo Dulce, junto con el Golfo de Cariaco en Venezuela, la Bahía de Kaoe en Indonesia y la Bahía Darwin en las Islas Galápagos es uno de los tan sólo cuatro sistemas de este tipo que existen en los trópicos (Richards 1965, Deuser 1975). Las características morfológicas de tipo fiordo que presenta Golfo Dulce se reflejan en la composición de sus masas de agua. Se han informado gradientes pronunciados en la temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua y es posible ubicar la pycnoclina a una profundidad ligeramente menor que la profundidad del umbral (Richards *et al.* 1971, Córdoba y Vargas 1996, Thamdrup *et al.* 1996, Quesada-Alpízar 2001, Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez 2004). Dos capas son evidentes: una capa superficial cálida (19-30 °C) y diluida (<34‰) que alcanza los 50-60 m, justo sobre la profundidad del umbral. La otra capa está compuesta por las aguas profundas y físicamente homogéneas, con un mínimo de temperatura de 15.4 °C y salinidades que alcanzan los 34.8‰ (Richards *et al.* 1971, Córdoba y Vargas 1996). Al igual que en otras cuencas anóxicas, el agua por debajo de la pycnoclina muestra poca estratificación. Al parecer, la mezcla y circulación de las aguas profundas se ve influenciada por las fuerzas de marea, el viento, el ingreso de agua al sistema, el afloramiento de agua subsuperficial y la topografía de la cuenca (Richards *et al.* 1971, Córdoba y Vargas 1996, Wolff *et al.* 1996).

La concentración de oxígeno disuelto, disminuye considerablemente entre los 10 m (425 µmol/l) y los 40 m (72 µmol/l) (Córdoba y Vargas 1996). Esto coincide con el rápido descenso vertical en la concentración de oxígeno disuelto que otros autores han observado, informando valores inferiores al 10 % de saturación a profundidades de 30 y 40 m y condiciones hipóxicas y/o anóxicas por debajo de los 100 m (Richards *et al.* 1971, Thamdrup *et al.* 1996, Dalsgaard *et al.* 2003, Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez 2004, Acuña *et al.* 2006).

## Circulación

La principal corriente frente a la costa sur de Costa Rica, es la llamada Corriente Costera de Costa Rica que fluye la mayor parte del año del sureste al noroeste y proviene de la región de la Isla del Coco. Esta corriente fluye con una velocidad entre 30.5 y 51.4 cm/seg (de 0.6 a 1.0 nudo) (DOD 1994). Más cerca de la costa no se ha estudiado el sistema de corrientes.

La circulación en Golfo Dulce está relacionada con la entrada de agua dulce de los ríos, a los vientos locales y el efecto de la topografía sobre los vientos (Svendsen *et al.* 2006). En la parte interna del golfo se forman dos capas de aguas, una superficial que tiene temperaturas altas, baja salinidad y son movidas principalmente por los vientos, y una profunda más fría, más salada y que se mueve más lentamente (Svendsen *et al.* 2006).

Agua oceánica entra a la cuenca de Golfo Dulce, donde se hunden rápidamente y desplazan las aguas profundas hacia arriba, observándose elevaciones en la termoclina (Richards *et al.* 1971, Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez 2004). La frecuencia e intensidad en la entrada de agua oceánica se ve limitada por el umbral externo de Golfo Dulce. Por esa razón, el agua en la cuenca interna puede alcanzar niveles anóxicos y presentar concentraciones moderadas de H<sub>2</sub>S a profundidades superiores a los 140-160 m (Richards *et al.* 1971, Córdoba y Vargas 1996, Hebbeln *et al.* 1996, Quesada-Alpízar 2001). Los eventos de intercambio de agua son lo suficientemente frecuentes como para prevenir el desarrollo de condiciones altamente reductoras en las aguas profundas (Thamdrup *et al.* 1996, León-Morales y Vargas 1998).

## Nutrientes

Córdoba y Vargas (1996) y Wolff *et al.* (1996), describen las aguas superficiales de la cuenca de Golfo Dulce como bajas en nutrientes y típicas de aguas costeras sin afloramientos. Esto coincide con lo hallado por Richards *et al.* (1971), quienes informan una

rápida disminución en los nitratos al aumentar la profundidad, así como la aparición de un máximo de nitritos a los 100 m en la parte interna de la cuenca. Igualmente, Córdoba y Vargas (1996), y recientemente Acuña *et al.* (2006) informan una disminución en los nitratos a partir de los 60 m de profundidad. Además, se dan variaciones en el nitrito reactivo, desde concentraciones no detectadas a los 70 m y 80 m de profundidad, hasta concentraciones de 1.3  $\mu\text{mol/l}$  a los 40 m, cerca de la base de la termoclina. Los silicatos reactivos, por su parte, varían de concentraciones no detectadas a los 20 m y 30 m hasta 42.8  $\mu\text{mol/l}$  a los 200 m. Finalmente, las concentraciones de fósforo reactivo fluctúan desde los 0.15  $\mu\text{mol/l}$  a 40 m hasta los 7.0  $\mu\text{mol/l}$  a 190 m (Córdoba y Vargas 1996).

Uno de los descubrimientos científicos más importantes en el Golfo Dulce es que en la cuenca anóxica del Golfo se dan reacciones anamóxicas y que éstas son responsables de hasta un 19-35 % del total de N<sub>2</sub> formado en la columna de agua. (Dalsgaard *et al.* 2003, Acuña *et al.* 2006). La anamoxia es una reacción llevada a cabo por bacterias y que consiste en la oxidación anaeróbica del amonio con nitrito para producir N<sub>2</sub>. Este tipo de reacciones es de gran importancia debido a que afecta los niveles de amonio y nitrato disponibles en la columna de agua para los productores primarios. El estudio de estos procesos resulta fundamental para poder entender los patrones verticales en las concentraciones de amonio, nitritos, nitratos y N<sub>2</sub> observados en la columna de agua de Golfo Dulce (Dalsgaard *et al.* 2003, Acuña *et al.* 2006).

En general, los patrones de distribución vertical de los nutrientes ayudan a identificar los eventos de oxidación-reducción en la columna de agua de Golfo Dulce como típicos de sistemas con condiciones anóxicas: la concentración de fosfatos y silicatos incrementa fuertemente con la profundidad; mientras que la concentración de nitratos es alta en la superficie y a la profundidad del umbral para luego disminuir hasta valores de cero en la cuenca profunda anóxica (Dalsgaard *et al.* 2003). Adicionalmente, se ha observado que las masas



de agua oceánicas que entran al golfo son ricas en nitratos (Thamdrup *et al.* 1996).

Por otra parte, los altos niveles de fosfatos en las aguas profundas de la parte interna del golfo sugieren la acumulación de materia orgánica en descomposición en el fondo de la cuenca. Sin duda, tanto el ingreso de materia orgánica disuelta y particulada, como la entrada de nutrimentos al golfo han aumentado en los últimos 30 años (Cortés *et al.* 1994). Prueba de ello es la gran cantidad de sedimentos y materia vegetal en suspensión que se observan luego de períodos de fuertes lluvias (obs. pers.). Esto se debe probablemente a la deforestación y la expansión de la agricultura en la cuenca de Golfo Dulce. A pesar de esto, la profundidad de la oxiclina no parece haber cambiado dramáticamente en las últimas décadas, probablemente debido a los períodos de renovación de las aguas profundas (Córdoba y Vargas 1996, Thamdrup *et al.* 1996, Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez 2004).

### Contaminación

Davis (1997) y Sponberg y Davis (1998) han investigado la geoquímica de los sedimentos de Golfo Dulce. Davis (1997) determinó la presencia de concentraciones relativamente altas de hidrocarburos aromáticos polinucleares, así como la presencia de otros contaminantes en los sedimentos del golfo. Sponberg y Davis (1998), mientras tanto, informan bajas concentraciones de pesticidas, sobre todo en los sedimentos del río Esquinas, así como una mayor presencia de hidrocarburos aromáticos y de diesel en la zona de Golfito.

Recientemente, se realizaron una serie de trabajos enfocados en metales traza (García-Céspedes *et al.* 2004), Bifenilos Policlorinados (PCBs) (Sponberg 2004a, b), hidrocarburos (Acuña-González *et al.* 2004) y calidad bacteriológica y desechos sólidos (García *et al.* 2006) para la zona de Golfito y Golfo Dulce. En ellos se informa que existen niveles considerados entre moderados y altos de contaminación por bacterias y desechos, lo que podría estar asociado a algunas prácticas agrícolas de la zona.

Además, García *et al.* (2004) informan que la bahía de Golfito en general presenta mayores niveles de contaminación si se le compara con otros cuatro sistemas costeros de Costa Rica: Bahía Culebra en el Golfo de Papagayo, la parte sur de Golfo de Nicoya y la Isla del Coco en la costa Pacífica y la Bahía de Moín en la caribeña. Esto vendría a apoyar lo informado por Davis (1997), Sponberg y Davis (1998) y Sponberg (2004a, b) en cuanto a la presencia de contaminantes PCBs en muestras de sedimentos tomadas en Golfo Dulce. Recientemente, Sponberg (2006) ha publicado los primeros datos sobre la concentración de PCBs en sipuncúlidos del Golfo Dulce.

### Relevancia

Los estudios realizados hasta ahora tienen un enorme valor como información base a partir de la cual se puede continuar el monitoreo de las condiciones hidrográficas de la región ante eventos como el fenómeno de El Niño, el calentamiento global y fluctuaciones en la descarga de agua, nutrimentos y sedimentos por parte de ríos. No obstante, resulta claro que existe un amplio vacío en el estudio de las características hidrográficas de la región, inclusive alrededor de zonas tan importantes como el frente ribereño de los ríos Térraba y Sierpe y las áreas marinas protegidas. Aún en Golfo Dulce, la zona más estudiada, resulta necesario comprender más a fondo los patrones de circulación. Este tipo de información es particularmente necesaria para la adecuada planificación de proyectos tales como puertos, marinas, plantas hidroeléctricas y otras obras de infraestructura que puedan afectar o ser afectadas por las condiciones hasta ahora descritas. El estudio hecho por Svendsen *et al.* (2006) es un gran paso adelante para llenar éste vacío de información. La comprensión de aspectos tales como los patrones de transporte de nutrimentos, sedimentos y contaminantes a lo largo de la costa, así como de las características físico-químicas de la columna de agua, es esencial al momento de planificar el impacto de futuros proyectos de desarrollo costero. Un buen ejemplo es el caso de Golfo Dulce, una zona

que, por sus características morfológicas y oceanográficas podría resultar altamente vulnerable a la excesiva descarga de sedimentos, nutrientes y sustancias contaminantes en su cuenca.

### Plancton

Al igual que en la sección anterior, los estudios sobre plancton en el Pacífico sur se han concentrado en la región de Golfo Dulce. Existen, sin embargo, tres estudios realizados en la Isla del Caño y uno para la Bahía de Coronado.

Guzmán y Obando (1988) estudiaron la diversidad y abundancia del zooplancton en los alrededores de la Isla del Caño entre 1984 y 1985. En general, el zooplancton de la Isla del Caño presenta una mezcla de grupos neríticos y oceánicos y presenta una estacionalidad que podría estar relacionada con los patrones de precipitación local. Los autores informan un dominio del grupo de los copépodos (41-63 % de la abundancia) en todos los meses de muestreo seguido de grupos como ostrácodos, huevos y larvas de peces y mísidos. Los mayores valores de abundancia se dieron siempre durante el día y se observaron altas densidades de todos los grupos en el mes de enero de ambos años. También entre los años 1984-1985, Guzmán *et al.* (1988) estudiaron algunos aspectos sobre la biología del isópodo *Excorallana tricornis occidentalis* en los alrededores de la Isla del Caño. Los autores determinaron que el 42 % de los individuos capturados fueron juveniles, 39.8 % hembras y 17.8 % machos. *E. tricornis occidentalis* parece ser abundante y reproducirse durante todo el año en el sitio de estudio. Además, la especie muestra un fuerte ciclo de migración dial, migrando al bentos durante el día y subiendo en la columna de agua durante la tarde y noche.

Por otra parte, Guzmán *et al.* (1990) informan los efectos de una marea roja sobre los corales de la Isla del Caño y la Isla Uva, ésta última ubicada en Panamá. Dicho fenómeno se presentó en 1985 y fue ocasionado por la explosión en las poblaciones de dos especies de dinoflagelados, *Cochlodinium catenatum* y *Gonyaulax monilata*. Los autores informan

una alta mortalidad de organismos vertebrados e invertebrados en las zonas de estudio, en especial en los alrededores de la Isla del Caño, la cual podría estar asociada a la combinación de factores como toxicidad, bajos niveles de oxígeno disuelto y la mucosa secretada por los dinoflagelados.

Golfo Dulce, por su parte, presenta un comportamiento distinto de la mayoría de los ecosistemas costeros tropicales debido a que está dominado por el flujo de energía y biomasa dentro del grupo pelágico. Por esta razón, se asemeja más a un sistema oceánico abierto que a uno estuarino (Wolff *et al.* 1996). Estudios realizados en la zona muestran una fuerte estratificación de la actividad biológica junto con una estratificación física y una limitada zona fótica (Richards *et al.* 1971, Córdoba y Vargas 1996, Thamdrup *et al.* 1996, von Wangelin y Wolff 1996, Wolff *et al.* 1996, Quesada-Alpízar 2001, Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez 2004).

De acuerdo a Kuever *et al.* (1996), existen dos áreas con alta actividad microbiana en la columna de agua de Golfo Dulce. La primera es la capa superficial, hasta los 40 m (zona fótica), que contiene altos números de bacterias y organismos plácticos. En esta capa se detectó la presencia de bacterias anaeróbicas reductoras de sulfato. La segunda área se ubica en las aguas profundas y el sedimento. Además, se ha informado la presencia de bacterias anamóxicas en la cuenca anóxica de Golfo Dulce (Dalsgaard *et al.* 2003, Acuña *et al.* 2006).

En cuanto al zooplancton, las especies de copépodos de la zona costera de Costa Rica han sido relativamente poco estudiadas. En uno de los primeros estudios en la región, Yukihiro (1991) informa una variación temporal en los volúmenes de zooplancton en Golfo Dulce. Sin embargo, se trata de un estudio a corto plazo y no se detectan patrones temporales más específicos. Por otra parte, Quesada-Alpízar (2001) encontró una fuerte estratificación biológica en la columna de agua y valores promedio de biomasa de zooplancton de entre 12.07 y 19.42 mg/m<sup>3</sup> en la capa superficial. Lo anterior podría estar asociado al fuerte gradiente

en la concentración de oxígeno disuelto que se observa en la columna de agua. Los valores de biomasa del zooplancton informados confirman a Golfo Dulce como un sistema relativamente poco productivo. Debe tomarse en cuenta; sin embargo, que el período de estudio coincidió con el fenómeno de El Niño 1997-1998, y su impacto en el zooplancton no gelatinoso es evaluado con más detalle por Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez (2006). También recientemente Morales-Ramírez y Nowaczyk (2006) estudiaron el zooplancton gelatinoso de Golfo Dulce.

También resulta interesante el hecho de que la parte externa del golfo muestra valores de biomasa significativamente más altos que aquellos encontrados en la parte interna (Quesada-Alpízar 2001). De acuerdo a Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez (2004), lo anterior se puede deber al efecto combinado del ingreso de nutrimentos acarreados por el río Coto-Colorado y la fuerte influencia oceánica a la que esta sometida la parte externa del golfo. Un aspecto importante es que se observaron incrementos temporales en la biomasa del zooplancton que parecen estar relacionados con la entrada de masas de agua oceánica a Golfo Dulce (Quesada-Alpízar 2001).

Yukihara (1991) informa que el zooplancton consiste principalmente de copépodos y quetognatos, así como larváceos, ostrácodos y larvas de bivalvos. Posteriormente, Morales-Ramírez (1996) presenta una lista de 54 especies de copépodos (distribuidos en 23 familias) para la costa Pacífica de Costa Rica. De éstas, 36 especies fueron identificadas para la zona de Golfo Dulce y 17 para bahía de Coronado. Las cuatro especies más comunes en dichas regiones son: *Paracalanus parvus*, *Euchaeta* sp., *Oithona plumifera* y *O. similis*. Asimismo, las familias más importantes son Paracalanidae y Eucalanidae, con cinco especies cada una (Morales-Ramírez 1996, Morales-Ramírez 2001).

Quesada-Alpízar (2001), observa que la comunidad de zooplancton de Golfo Dulce estuvo dominada por organismos de tamaño pequeño (entre 150  $\mu$ m y 500  $\mu$ m). Su composición consistió principalmente de copépodos

(71.4 %), apendicularias (8.25 %), ostrácodos (7.99 %) y huevos de invertebrados (5.43 %), entre otros. Asimismo, de los 29 géneros de copépodos identificados durante el estudio, tan sólo cinco resultaron responsables del 91.5 % de la abundancia total: *Oithona* (46.9 %), *Paracalanus* (21.4 %), *Oncaea* (15.1 %), *Euterpina* (4.5 %) y *Corycaeus* (3.6 %) (Quesada-Alpízar 2001, Quesada-Alpízar y Morales-Ramírez 2004). Esto coincide con lo informado por Morales-Ramírez (2001), quien describe la comunidad de microcrustáceos de Golfo Dulce como una mezcla de especies estuarinas y oceánicas. Al igual que para el caso de la biomasa del zooplancton, Quesada-Alpízar (2001) determinó que la abundancia del zooplancton (y de los copépodos) es significativamente mayor en la capa superficial de la columna de agua, lo que confirma la presencia de una fuerte estratificación en la actividad biológica. Igualmente, la abundancia de zooplancton en la parte interna de la cuenca muestra valores ligeramente menores que la parte externa.

Estos resultados se ajustan a lo informado por Wolff *et al.* (1996) en cuanto a los flujos de energía en Golfo Dulce y apoyan el hecho de que este sistema presente una productividad que puede ser considerada entre baja y moderada y que varía tanto espacial como temporalmente. Lo anterior, es un aspecto de suma importancia para el apropiado manejo de las pesquerías de la zona ya que el Golfo Dulce se comporta de manera radicalmente distinta de otros sistemas del Pacífico costarricense, como el Golfo de Papagayo y el Golfo de Nicoya, por ejemplo.

Estrada (2003) realizó experimentos de incubación de zooplancton con el fin de estudiar preferencias de forrajeo del zooplancton en Golfo Dulce. Sus estimaciones indican que aproximadamente un 35 % de la producción primaria diaria es consumida por el microzooplancton. Además, las incubaciones indican que mientras organismos como el copépodo *P. parvus* prefieren alimentarse de diatomeas, otros como el copépodo *Acartia lilljeborgii* y el ostrácodo *Cypridina americana*, son más generalistas.

Con respecto a los quetognatos, su distribución y biomasa en la costa Pacífica de Costa

Rica fueron estudiadas por Hossfeld (1996). La autora identificó un total de diez especies para la zona de Golfo Dulce, de las cuales nueve especies pertenecen al género *Sagitta* y una al género *Krohmita*. En dicha investigación se observó una disminución en la riqueza de especies de las estaciones oceánicas hacia las estaciones costeras, tanto en Golfo Dulce. Esto indica la preferencia de los quetognatos holoplácticos por aguas oceánicas.

Jakob (1996) informa cuatro especies de ostrácodos para la cuenca de Golfo Dulce y describe los estadios de desarrollo y patrones migratorios de dos de ellas, *C. americana* y *Euconchoecia chierchiaie*. Jakob halló patrones estacionales y espaciales de abundancia y distribución vertical de las dos especies. Más tarde, Nowaczyk (1998) estudió el zooplankton gelatinoso en Golfo Dulce, donde informa la presencia de 41 especies, en su mayoría hidromedusas. Además, Nowaczyk (1998) observó un impacto directo del fenómeno El Niño sobre el zooplankton gelatinoso durante el período de estudio.

Finalmente, Molina-Ureña (1996) estudió el componente ictiopláctico en Golfo Dulce como parte de la expedición a bordo del B.O. Victor Hensen (Vargas y Wolff 1996) y determinó una densidad promedio de 197.2 larvas/10 m<sup>2</sup>, distribuidas en un total de 14 familias. De acuerdo al mismo estudio, la ictiofauna de Golfo Dulce está uniformemente distribuida a través de la cuenca. Otros grupos de merozooplankton no han sido estudiados a fondo en Golfo Dulce se conocen para la zona un total de 82 especies de decápodos y dos especies de estomatópodos (Castro y Vargas 1996), grupos que podrían contribuir en alguna medida al componente merozoopláctico de la región. La expedición a bordo del B.O. Victor Hensen también permitió actualizar la lista de decápodos y estomatópodos en el Golfo de Nicoya, Bahía de Coronado y Golfo Dulce para un total de 117 especies de decápodos y 10 estomatópodos (Vargas *et al.* 1996).

## Relevancia

La información sobre las características, composición y biomasa del plancton en el Pacífico sur se concentra en la zona de Golfo Dulce. Los datos generados hasta la fecha han permitido comprender la limitada productividad del golfo, su estratificación biológica y la respuesta de las comunidades plácticas al fenómeno de El Niño y a los cambios estacionales que se dan en las condiciones físicas y ambientales, entre otras cosas. Futuros estudios deben buscar generar información en zonas de importancia pesquera, como las zonas de manglar y el frente ribereño de Térraba-Sierpe, así como en zonas de importancia como reservorios genéticos y como fuentes de larvas, (eg. las áreas marinas protegidas de la región). El manejo que se dé en dichas áreas depende en gran medida de la cantidad y calidad de la información que se encuentre disponible. La conjugación de los datos generados hasta ahora sobre productividad primaria y secundaria, composición y biomasa del plancton con datos sobre geomorfología, nutrientes y patrones de corrientes, permitirá caracterizar mejor las influencias oceánicas y/o neríticas en cada región así como entender los flujos de energía en la cadena trófica.

## Bentos

Nichols-Driscoll (1976) hace la primera caracterización de la fauna béntica de Golfo Dulce e informa un total de 46 especies de poliquetos bénticos. Dean (1996) informa para la misma zona un total de 47 especies de poliquetos bénticos pertenecientes a 25 familias. Finalmente, Dean (2004) en una revisión exhaustiva de la biodiversidad de poliquetos de Costa Rica informa 32 familias y 101 especies, un número más alto del esperado para un ambiente anóxico. León-Morales (1997) y León-Morales y Vargas (1998) observan que la distinta composición de especies observada

por Nichols-Driscoll (1976) y Dean (1996) podría deberse a las fluctuaciones ambientales (temperatura y oxígeno disuelto, principalmente) asociadas a el fenómeno El Niño. Tanto Nichols-Driscoll (1976) como Dean (1996), coinciden en señalar que las especies informadas se encuentran en muestras de sedimento tomadas a menos de 100 m de profundidad, lo cual refleja los bajos niveles de oxígeno disuelto en las aguas profundas de Golfo Dulce. Los grupos identificados en el área son predominantemente animales que se alimentan de depósitos de materia orgánica (27 especies) y carnívoros (20 especies) (Dean 1996). Estos datos coinciden con lo informado previamente por Nichols-Driscoll (1976) para Golfo Dulce y con lo informado para la cuenca anóxica de Cariaco, en Venezuela y es atribuido a la estabilidad ambiental que muestran ambos sistemas (Nichols-Driscoll 1976).

Similares resultados informan León-Morales (1997) y León-Morales y Vargas (1998), quienes observaron que los sedimentos en Golfo Dulce son azoicos por debajo de los 100 m de profundidad. De acuerdo a los autores, esto se debe a las fluctuantes concentraciones en los valores del oxígeno disuelto a esa profundidad, algunas veces llegando a condiciones anóxicas. El tipo de sedimento también podría jugar un papel importante debido a que por debajo de los 100 m los sedimentos podrían ser muy inestables para el establecimiento de macroinfauna (León-Morales y Vargas 1998). Asimismo, los autores determinaron que la infauna de los sedimentos de las partes poco profundas es dominada por el poliqueto *Paranois lyra*. Al igual que en el caso de la composición, biomasa y abundancia del zooplancton, existen diferencias al comparar la infauna béntica de las partes interna (baja diversidad, en especial en aguas profundas) y externa (alta diversidad) del golfo.

Finalmente, existe un estudio béntico que se realizó en la Isla del Caño (Guzmán *et al.* 1987a) sobre la meiofauna en dos arrecifes de coral alrededor de la isla. Se determinó que los grupos dominantes fueron foraminíferos (21.2 %), copépodos (19.7 %), nemáto-

dos (19.1 %), gastrópodos (16.5 %), poliquetos (7.2 %) y bivalvos (6.6 %). La mayor diversidad fue encontrada en arenas gruesas y heterogéneas, con porcentajes altos de carbonato. Los resultados de este estudio indican que la composición de especies y la densidad de población fluctúan mucho de mes a mes. En la isla de Caño se ha recolectado hasta la fecha el único ejemplar en Costa Rica del sipuncúlido *Siphonosoma vastum* (Cutler *et al.* 1992).

### Relevancia

Resulta claro que los estudios béticos son escasos en la región. Hasta la fecha, se ha logrado caracterizar parcialmente la fauna bética en parte de Golfo Dulce e Isla del Caño, con lo cual se contribuye al conocimiento general que existe sobre dichos ecosistemas. Sin embargo, es necesario ampliar los estudios a los sustratos arenosos, lodosos y rocosos de las playas y zonas intermareales del Pacífico Sur. Estas zonas no solo tienen altas productividades e influyen directa e indirectamente las cadenas tróficas marinas, sino que representan una interfase entre los ambientes terrestre y marino (Levington 2001). Además, dada la vulnerabilidad de los organismos béticos a la contaminación y otros disturbios, estos sistemas tienen un gran valor como potenciales bioindicadores de contaminación. Por lo tanto, el contar con información base sobre estos ecosistemas resulta primordial para futuros estudios y evaluaciones de impacto ambiental que se lleven en la zona.

### Ecosistemas de manglar

En esta sección se comenta sobre algunos aspectos florísticos de los ecosistemas de manglar de la región, prestando especial énfasis en los estudios realizados en la zona sobre los organismos asociados a los manglares.

Jiménez y Soto (1985) describen tres tipos de zonas de manglar en la costa Pacífica de Costa Rica de acuerdo a su estructura y flora: (1) el Pacífico Norte, donde se encuentran los bosques estructuralmente menos desarrollados del



país; (2) el Pacífico Central, con bosques relativamente más desarrollados; y (3) el Pacífico sur, desde Quepos hasta Punta Burica y que abarca los manglares de Térraba-Sierpe, Coto Colorado, Golfito y Rincón. Es en esta última zona en donde los manglares del país están más desarrollados y la diversidad de especies es mayor como consecuencia de la alta precipitación y corta época seca (Polanía 1993).

En Térraba-Sierpe se encuentra el manglar más grande de Costa Rica, con una extensión aproximada de 16 700 ha, que constituyen el 42.8 % de las más de 39 000 ha de manglares con que cuenta el país (99 % en la costa Pacífica) (Cordero y Solano 2000). Los manglares de Térraba-Sierpe están dominados por *Rhizophora racemosa* y *Pelliciera rhizophorae*. Estas dos especies ocurren juntas, alternando la dominancia en distintos sectores. Sin embargo, se debe considerar que existe un gran número de especies vegetales asociadas a este tipo de ecosistemas (Jiménez y Soto 1985, Lizano *et al.* 2001, Kappelle *et al.* 2002). Jiménez y Soto (1985), por ejemplo, informan un total de 40 especies de manglar incluyendo especies marginales en la zona de Térraba-Sierpe.

Con respecto a los ecosistemas de manglar que se ubican dentro de Golfo Dulce, éstos han recibido relativamente poca atención hasta la fecha. Gillespie (1992) estudió la alteración humana en los bosques de manglar asociados a los ríos Esquinas y Coto-Colorado e informa las grandes pérdidas en cobertura vegetal e introducción en el uso de pesticidas que se han dado en esta región. Jesse (1996) comenta sobre la importancia de los pequeños parches de manglar en la parte interna de Golfo Dulce como áreas de crianza de especies comerciales de camarón. Silva y Bonilla (2001), por otra parte, estudiaron el manglar de Purruja, en Golfito. Los autores informan que el manglar tiene una extensión aproximada de 70 ha y que su vegetación nuclear está dominada principalmente por cinco especies: *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *P. rhizophorae*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Silva y Carrillo (2004) realizaron una investigación sociobiológica del manglar de Purruja que

sentó las bases para el diagnóstico de manglar y facilitó el establecimiento de metas de manejo para la extracción de pianguas. Las metas de manejo fueron las siguientes: 1) realizar la construcción del centro de acopio para organizar la entrega, procesamiento y comercialización del producto; 2) conformar grupos de vigilancia con miembros de la comunidad; 3) fortalecer la capacidad organizativa de la comunidad e 4) iniciar un proyecto divulgativo sobre la densidad y crecimiento de las pianguas bajo un sistema controlado. En la actualidad, está por publicarse una caracterización de los aspectos físico químicos asociados al manglar de Purruja (Silva y Acuña-González, *en prep.*).

Germain (2004) analizó la calidad de agua del río Conte y las del manglar, así como aspectos socio-económicos de los pobladores de Playa Blanca, Golfo Dulce. Analizó varios indicadores de contaminación del agua como nutrientes, materiales en suspensión, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), y el Número Más Probable (NMP) para las bacterias. Además, determinó las condiciones socio-económicas de los integrantes de la Asociación de Protectores del Manglar de Playa Blanca (Asomangle). Los resultados muestran que la cuenca del río Conte está relativamente poco contaminada. Sin embargo, informa sobre la presencia de bacterias coliformes, probablemente asociada a actividades ganaderas y a los numerosos asentamientos humanos en la zona cercana al río Conte. Finalmente, Germain (2004) presenta recomendaciones para una gestión sostenible de la zona costera de Playa Blanca. En lo que respecta a la fauna asociada a estos sistemas, se tiene registro de al menos 81 especies de moluscos que habitan los manglares de Térraba-Sierpe y zonas vecinas. El molusco de mayor importancia comercial en la zona es sin lugar a dudas la piangua (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*), cuya extracción se practica a nivel familiar desde hace más de 45 años. Las pianguas son organismos excavadores de fondos lodosos, por lo que su hábitat está restringido a sustratos suaves, tipo arcilloso a limo arcilloso, usualmente asociado a las partes externas de canales y a las raíces de *Rhizophora*



sp. (Silva y Bonilla 2001). Vega (1994) estudió diversos aspectos sobre la biología y prácticas de explotación de la piangua y la chucheca (*G. grandis*) en la región de Terraba-Sierpe. El autor informa que la distribución de las pianguas parece estar asociada a gradientes de salinidad y que la especie muestra densidades promedio de 1.72 ind./m<sup>2</sup>. La piangua se reproduce durante todo el año, pero muestra picos reproductivos en los meses de noviembre-diciembre y abril-mayo. La chucheca, por su parte, muestra una distribución restringida a bajos lodosos y una baja densidad asociada a la sobre explotación del recurso, el cual ya se encuentra en peligro de extinción en el país (Vega 1994).

Aunque los resultados de Vega (1994) indican que el recurso piangua no estaba sobre explotado al momento de su estudio, bien podría estarlo en la actualidad. Campos *et al.* (1990) informan la extracción de aproximadamente 5 millones de pianguas anualmente en la región de Terraba-Sierpe. Al respecto, Campos *et al.* (1990) informan que hace más de veinte años, en el área de Terraba-Sierpe, se colectaba aproximadamente 3 000 pianguas por persona por marea, mientras que en 1989, el mismo esfuerzo solo producía entre 100 y 200 animales. La fuerte presión sobre el recurso está mermando rápidamente su población, como se deduce de las pequeñas tallas que se extraen en la actualidad (Cordero y Solano 2000).

De acuerdo a Cruz y Jiménez (1994), *A. tuberculosa* llega a la edad reproductiva entre los 2.3 y 2.6 cm, talla que se alcanza en el primer año de vida, antes de alcanzar la talla mínima de colecta de 4.7 cm. Lo anterior indica que al momento de colectarse, las pianguas han estado en edad reproductiva por al menos un año. Sin embargo, a medida que se sobre explota el recurso, se extraen animales cada vez más pequeños, acortando el tiempo durante el que puede reproducirse la población (Silva y Bonilla 2001).

Con respecto a las pianguas (*A. tuberculosa* y *A. similis*) de la zona de Golfo Dulce, Silva y Bonilla (2001) estudiaron su abundancia y morfometría en el manglar de Purruja, el más importante de la bahía de Golfito. El estudio determinó que la mayor densidad poblacional

la presentó *A. tuberculosa*, con 0.9 ind./m<sup>2</sup> (longitud promedio de 43.3 mm); mientras que *A. similis* presenta una densidad de 0.2 ind./m<sup>2</sup> (longitud promedio de 42.8 mm). Los autores consideran que ambas especies se encuentran en mayor abundancia en la desembocadura de los canales, sitio donde también se da la mayor presión de extracción. En ambos casos, la extracción se da por debajo del tamaño establecido por ley (47 mm). Los resultados obtenidos por Silva y Bonilla (2001) apuntan a que la población de pianguas del manglar de Purruja podría estar disminuyendo. Recientemente, Stern-Pirlot y Wolff (2006) aportan más información sobre *A. tuberculosa* y proponen el establecimiento urgente de medida de protección de este recurso pesquero.

Los manglares de esta región se siguen considerando como poco estudiados desde el punto de vista de los invertebrados marinos. Echeverría-Sáenz *et al.* (2003) realizaron un inventario de la diversidad de decápodos en la zona, utilizando diferentes métodos de muestreo así como trabajando en diferentes sustratos con el fin de obtener el mayor número de especies. Determinan que los decápodos de Terraba-Sierpe están compuestos por 52 especies en 29 géneros y 16 familias, siendo la familia Ocypodidae (14 spp.) la más diversa, seguida por Palaeomonidae (6 spp.). Echeverría-Sáenz *et al.* (2003) comentan que en comparación con los resultados en otros manglares de Latinoamérica y el este de África, Terraba-Sierpe puede ser considerado como un sistema de manglar con una muy alta diversidad de decápodos, y posiblemente una de las más altas del Pacífico Oriental Tropical.

Además, en la zona de Terraba-Sierpe se han registrado varias especies de crustáceos marinos, dentro de las que se incluye al menos a seis especies de camarones de importancia comercial, así como varias especies de cangrejos y langostinos. Algunos de los bancos más importantes de camarón del país están en la Bahía de Coronado, frente a la desembocadura de los ríos Terraba y Sierpe (Lahmann 1999). De acuerdo a Jiménez y Muñoz (1995), en la zona de Terraba-Sierpe

se explotan las siguientes especies de camarón: *Penaeus brevirostris* (camarón rosado), *P. californiensis* (camarón café), *P. stylirostris* (camarón jumbo), *Solenaeus stylirostris* (camarón blanco), *S. agassizzi* (camarón fidel) y *Xiphopennaeus riveti* (camarón tití). Además, en la zona del ACOSA se explotan las siguientes especies de camarones y langostinos de río para consumo doméstico: *Atya crassa*, *A. dresteri*, *A. innocous*, *A. ortmannioides*, *A. scabra*, *Macrobrachium diqueti*, *M. hancocki*, *M. olfersi* y *M. panamensis*. A esta lista se le agrega la langosta, *Panulirus argus*, que es extraída de promontorios rocosos y arrecifes coralinos. La condición de camarones y langostas es considerada como crítica debido a que existe poco control sobre su extracción y su demanda crece a medida que aumenta el turismo. En la actualidad se explotan individuos de *P. argus* que ni siquiera alcanzan el tamaño mínimo para reproducirse (Jiménez y Muñoz 1995).

La pesca de camarón usando redes de arrastre de fondo tiene efectos severos sobre los ecosistemas marinos (Watling y Norse 1998). No sólo se destruye el fondo marino sino que una gran cantidad de las capturas es desechada por su escaso valor. Campos (1983), en un estudio de 15 lances de red de arrastre de camarón, determinó que se descartaron un total de 4 200 ton métricas de fauna de acompañamiento (considerado por el autor como una subestimación debido a que no se cuantificó ciertos componentes de la fauna de acompañamiento). Esta cifra representa casi el doble de todo el camarón capturado en 1980 y mucho más que todo el pescado de escama capturado ese mismo año (Campos 1983).

### Amenazas

Hoy en día los manglares se cuentan entre los hábitats más amenazados del mundo debido a su acelerada desaparición. Actividades como la deforestación, acuicultura, expansión urbana, construcción de carreteras y puentes, la desviación y alteración del caudal, y fuentes de agua dulce, y la sobre explotación de sus recursos son algunas de las principales causas

de degradación en estos ecosistemas (Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez 1999). Como ejemplo, la cuenca del río Térraba, una de las más grandes del país, presenta serios problemas de erosión debido a prácticas agrícolas, ganadería y deforestación (63 % de la cuenca está erosionada, 23 % es considerada como seriamente erosionada) (Chong 1988). Se estima que la alta descarga de sedimentos (entre 412 000 y 548 000 ton por año) ligada a dicha erosión podría estar afectando los bancos de moluscos y poblaciones de peces asociados al río Térraba (Chong 1988). El río Térraba, además, muestra perturbación y degradación de los hábitats de manglar en su desembocadura, así como erosión de las costas en la salida norte, cerca de Punta Mala. Esto es atribuido en parte a las actividades de extracción de grava y otros depósitos minerales río arriba (Anónimo 2000).

Al igual que en otras áreas del mundo, muchas personas dependen de los manglares del Pacífico sur para su subsistencia. Las principales actividades humanas que se desarrollan en los manglares de Pacífico sur son la pesca, incluida la extracción de crustáceos (eg. camarón) y moluscos (eg. pianguas); la extracción de madera como material de construcción, para la cocción de alimentos y la elaboración de carbón y la extracción de corteza de mangle para la producción de taninos. A pesar de que muchas de estas actividades son prohibidas y han disminuido en los últimos años, continúan dándose en la zona. Se debe de tener en cuenta; sin embargo, que las pobres condiciones socio-económicas de la región no ofrecen otras alternativas de sustento económico y favorecen la continua degradación socio-ambiental del sistema. Es necesario, por lo tanto, que las soluciones a tales amenazas partan de la formulación de programas integrales que atiendan las necesidades sociales y ambientales asociadas a las zonas de manglar.

### Relevancia

Hasta la fecha se ha recabado suficiente información sobre los manglares de la zona como para comprender que, debido a su tamaño,

características biológicas y estado de conservación, el manglar de Térraba-Sierpe es uno de los más importantes tanto a escala nacional como regional. Dicha información debe ser, además suficiente para establecer medidas que aseguren la protección a largo plazo de éste y otros sistemas del mismo tipo. Los sistemas de manglar mantienen una gran diversidad de redes alimentarias marinas, estuarinas, dulce acuícolas y terrestres, y sustentan importantes pesquerías tropicales al ofrecer refugio y alimento en las etapas críticas de los ciclos de vida de gran número de moluscos, crustáceos y peces que utilizan a los manglares como áreas de reproducción y crianza. Además, los manglares exportan materia orgánica, que funciona como alimento de diversos recursos pesqueros y estimula la producción primaria en el ecosistema acuático adyacente (Lugo y Snedaker 1974, Lahmann 1999, Lugo 1999, Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez 1999).

Aspectos prioritarios a considerar en un futuro cercano son la ampliación de los estudios base realizados hasta ahora en Térraba-Sierpe y Purruja a otras zonas de manglar del Pacífico sur y explorar aspectos concernientes a los flujos de energía y materia orgánica en dichos sistemas. Asimismo, se debe ampliar la información sobre aspectos relacionados con las actividades humanas en la zona, como lo son la extracción de pianguas y chuchecas, la pesca, la tala del bosque y el potencial efecto que la futura construcción de una planta hidroeléctrica en el río Térraba podría tener sobre el caudal de agua, flujos de nutrimentos, sedimentos y materia orgánica hacia el manglar.

### **Arrecifes y comunidades coralinas**

Los arrecifes del Pacífico Oriental son relativamente pobres en especies y de poca extensión. La costa Pacífica de Costa Rica presenta dos tipos de sistemas coralinos: las comunidades coralinas y los arrecifes. Los primeros se caracterizan por estar constituidos de unas pocas especies de coral concentradas en un área determinada y cuyo sustrato por lo general no es producido por los corales. Las principales

especies que se encuentran en las comunidades coralinas son *Porites lobata*, *Pocillopora damicornis*, *Pocillopora elegans* y *Psammocora stellata* (Cortés 1990a, b, 1997).

Los arrecifes coralinos de Costa Rica se encuentran sobre todo en el sur del país, en el Parque Nacional Marino Ballena, en la Península de Osa, Golfo Dulce e Isla del Caño. En algunos casos estos arrecifes cubren varias ha, con un relieve de hasta 12 m sobre el fondo. Su importancia recae en la gran diversidad de peces, moluscos y crustáceos que se encuentran asociados a ellos. Las principales especies de coral en estos arrecifes son *P. lobata*, *P. damicornis*, *P. stellata*, *P. elegans*, *Pavona varians* y *Pavona clavus*. De acuerdo a las características de las distintas comunidades, Cortés y Jiménez (2003) dividen la costa Pacífica del país en siete regiones: Santa Elena, Bahía Culebra, Península de Nicoya, Pacífico Central, Península de Osa, Golfo Dulce y, finalmente, una región que incluye las islas del Caño y el Coco. En general, el mayor desarrollo arrecifal de la costa Pacífica de Costa Rica se da en la zona sur, sobre todo en las últimas cuatro regiones mencionadas anteriormente y que están incluidas total o parcialmente dentro de ACOSA (Cortés 1992, Cortés y Jiménez 2003).

### *Pacífico Central*

Esta zona, que presenta relativamente pocos arrecifes, se discute debido a que incluye al Parque Nacional Marino Ballena (PNMB) (Fig. 3) y comprende el área desde Herradura hasta los manglares de Térraba-Sierpe (Cortés y Murillo 1985, Cortés y Jiménez 2003). El PNMB está constituido por 115 ha terrestres y 5 375 ha marinas. Se encuentra ubicado en el cantón de Osa, Puntarenas y tiene gran importancia porque representa el primer parque marino que se creó a nivel Centro Americano (Anónimo 1995).

Para esta zona se ha informado un total de trece especies de corales formadores de arrecife (Cortés 1996/1997, Cortés y Guzmán 1998, Alvarado *et al.* 2005) y cinco especies de coral ahermatípico (Cortés y Jiménez

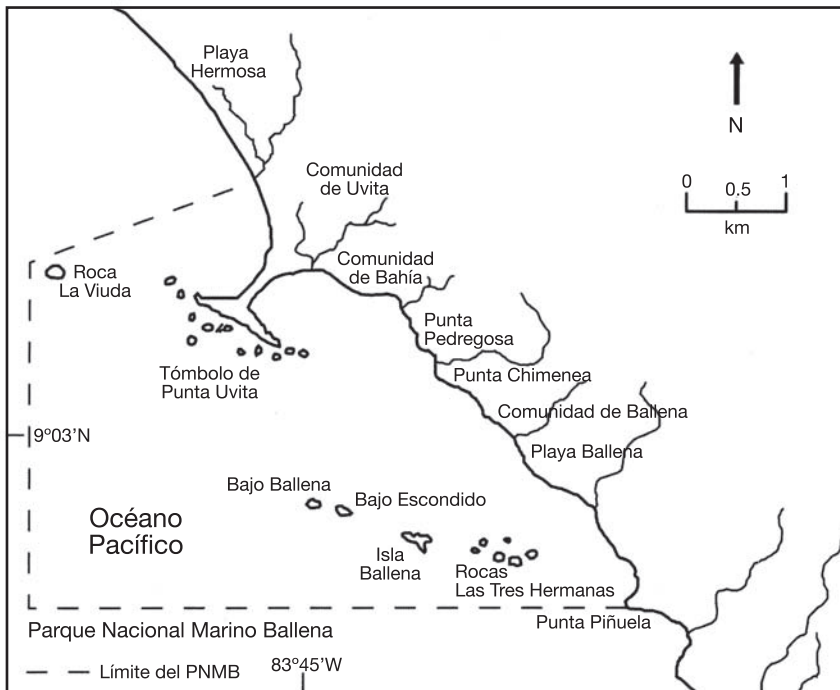


Fig. 3. Mapa del Parque Nacional Marino Ballena, costa Pacífica de Costa Rica (ver Figs. 1 y 2).

2003, Alvarado 2004a) (Cuadro 2). En los trabajos de Alvarado (2004a) y Alvarado *et al.* (2005) se reevalúan y describen de manera detallada las comunidades arrecifales en diez áreas del PNMB.

En el parque existen parches de arrecife de *P. lobata* y porciones muertas de *Pocillopora* con colonias de *P. elegans*, *P. damicornis* y *Psammocora* spp. creciendo encima. Además, existen islotes que presentan comunidades de *P. lobata*, *P. clavus* y algunas colonias de *Pocillopora* (Jiménez y Cortés 2001, Cortés y Jiménez 2003, Alvarado 2004a, Alvarado *et al.* 2005).

Las comunidades arrecifales del PNMB se encuentran distribuidas por toda el área, pero la diversidad y la abundancia varía considerablemente entre los sitios. Existe una baja cobertura de ramificados; mientras que la cobertura de corales masivos oscila entre 0.5 % a 37 % de coral vivo. La mayoría de los parches arrecifales están dominados por *P. lobata*, en todo el ámbito de profundidades (Jiménez 1995, Jiménez y Cortés 2001, 2003, Alvarado 2004a, Alvarado *et al.* 2005). En las zonas más

afectadas por la turbulencia y los sedimentos en resuspensión se encuentra principalmente *P. lobata*, *P. clavus* y en menor cantidad *Pavona gigantea*. Otros corales como *Pocillopora* spp., *P. varians*, *Psammocora* spp. y *Gardineroseris planulata* son frecuentes pero no abundantes (Jiménez y Cortés 2001, Alvarado 2004a, Alvarado *et al.* 2005). Los octocorales son dominantes en algunos sitios, especialmente los más expuestos al oleaje y turbidez, como en los bajos Ballena y Escondido, Roca la Viuda y sobre todo en el lado oceánico de Isla Ballena, alcanzando coberturas de hasta el 72 % (Jiménez 1995, Alvarado 2004a). En Bajo Escondido existe una comunidad de octocorales de talla pequeña en la que se encuentra un gran número de estrellas quebradizas. Bajo Ballena, las Rocas Tres Hermanas y Punta Uvita son zonas que presentan un alto desarrollo de corales. La sección noreste del tómbolo de Punta Uvita cuenta con corales de gran tamaño pero poco abundantes (Cortés y Murillo 1985, Alvarado 2004a, Alvarado *et al.* 2005). En las Tres Hermanas, existen

CUADRO 2  
*Corales escleractineos informados para el Pacífico sur de Costa Rica*

	1	2	3	4
Corales azooxantelados				
<i>Astrangia concinna</i> Verrill, 1866			X	
<i>Astrangia dentata</i> Verrill, 1866	X			X
<i>Astrangia equatorialis</i> Durham & Barnard, 1952	X		X	X
<i>Oulangia bradleyi</i> (Verrill, 1866)	X	X	X	X
<i>Cladopsammia eguchii</i> (Wells, 1982)			X	
<i>Dendrophyllia gracilis</i> Milne Edwards & Haime, 1848	X			X
<i>Fungia (Cycloseris) curvata</i> (Verrill, 1870)			X	
<i>Tubastrea coccinea</i> Lesson, 1829	X			X
Totales	5	1	5	5
Corales zooxantelados				
<i>Pocillopora damicornis</i> (Linnaeus, 1758)	X	X	X	X
<i>Pocillopora elegans</i> Dana, 1846	X	X	X	X
<i>Pocillopora eydouxi</i> Milne Edwards & Haime, 1860			X	X
<i>Porites lobata</i> Dana, 1846	X	X	X	X
<i>Porites panamensis</i> Verrill, 1866	X	X		X
<i>Psammocora obtusangula</i> (Lamarck, 1816)	X		X	X
<i>Psammocora stellata</i> (Verrill, 1866)	X	X	X	X
<i>Psammocora superficialis</i> Gardiner, 1898	X	X		X
<i>Gardineroseris planulata</i> (Dana, 1846)	X	X		X
<i>Pavona chriquensis</i> Glynn <i>et al.</i> , 2001				X
<i>Pavona clavus</i> (Dana, 1846)	X	X	X	X
<i>Pavona frondifera</i> (Lamarck, 1816)	X		X	X
<i>Pavona gigantea</i> Verrill, 1869	X	X	X	X
<i>Pavona maldivensis</i> (Gardiner, 1905)	X			X
<i>Pavona varians</i> Verrill, 1864	X	X	X	X
Totales	13	10	10	15

1 = Parque Nacional Marino Ballena; 2 = Península de Osa; 3 = Golfo Dulce; 4 = Isla del Caño.

numerosas colonias de *P. lobata* de hasta 2 m de diámetro, las más grandes observadas en la zona, siendo este sitio el que presenta el mejor desarrollo de arrecifes coralinos en el PNMB (Alvarado 2004a, Alvarado *et al.* 2005).

Al igual que en otras partes del Pacífico Oriental Tropical, una de las mayores amenazas

para los arrecifes del área es el fenómeno de El Niño (Cortés *et al.* 1984, Jiménez y Cortés 2001, 2003) El evento de 1992, por ejemplo, causó que más de un 50 % de todas las colonias observadas sufrieran blanqueamiento y una alta mortalidad; posteriormente fueron cubiertas por sedimentos y algas (Jiménez y

Cortés 2001). El Niño de 1997-98 ha sido el más fuerte desde que existen registros (Enfield 2001); causó el blanqueamiento de casi todos los corales pero solamente la muerte parcial de colonias (Jiménez y Cortés 2003). Sin embargo, se ha observado una disminución paulatina en la cobertura de coral vivo a través de los años, e inclusive géneros antes abundantes ahora se han vuelto escasos, como el caso de *Pocillopora* spp. en Punta Uvita (Alvarado 2004a).

Dos de los factores más importantes que median en el desarrollo de las comunidades y desarrollo de los arrecifes y comunidades coralinas del PNMB son la sedimentación y el aporte de nutrientes durante la época lluviosa. Si bien es cierto que el fenómeno de El Niño ha sido un evento perjudicial para estos ecosistemas (Jiménez y Cortés 2001, 2003), este no ocurre todos los años, mientras que el aporte de sedimentos, por las fuertes lluvias de la zona ocurre periódicamente, provocando la desaparición de ciertos grupos de organismos (Alvarado *et al.* 2005). Sunagawa (2005) estudió el comportamiento de los nutrientes presentes en las aguas del PNMB y en la cercanía de Boca de Coronado por seis meses abarcando época lluviosa y seca. Encuentra un fuerte aporte de nutrientes (sobretodo silicato y fosfato) en la época lluviosa que está fuertemente relacionado con la descargas de agua de Boca Coronado, los cuales decaen completamente en la época seca (Sunagawa 2005).

Con respecto a otros grupos bióticos asociados a los arrecifes de coral, se ha determinado que las algas pardas más conspicuas de la zona pertenecen a los géneros *Padina* y *Dictyota* (Dictyotaceae, Phaeophyta). También se puede encontrar algunas algas rojas como *Bostrychia* spp. y algas verdes de la especie *Halimeda discoidea* (Codiaceae, Chlorophyta) (Anónimo 1995). Soto y Bermúdez (1990), por su parte, identificaron varios gastrópodos como *Oliva* spp., *Collisella* spp., *Siphonaria* spp., *Nerita* spp., *Tegula* spp., *Littorina* spp., *Agaronia* spp., y cangrejos como *Ocyrode* spp. y *Grapsus grapsus*. Además se ha observado que tanto en Punta Pedregosa como en Punta Chimenea, existe amplia cobertura de

cirripedios (*Tetraclita panamensis*) (33.3 %), algas calcáreas (22.8 %) y el bivalvo conocido como Casco de Burro (*Siphonaria gigas*) (8.8 %) (Jiménez 1995). Alvarado y Fernández (2005) presentan un estudio de la distribución y diversidad de los equinodermos del parque. Encuentran un total de 25 especies (cuatro asteroideos, seis ofiuroides, cinco equinoideos y diez holoturoideos), que sumado a informes anteriores dan un total de 33 especies. Alvarado y Fernández (2005) argumentan que la superioridad numérica y específica de pepinos de mar se debe a la alta sedimentación de la zona y al efecto negativo que ésta causa sobre los otros grupos. Alvarado (2004b) informa de la presencia del erizo de mar, *Centrostephanus coronatus* en el PNMB, el primer informe de esta especie en Centro América. Finalmente, Salas y Alvarado (en prep.) preparan un trabajo sobre la diversidad de peces arrecifales y demersales que se encuentran en el parque, encontrando un total de 71 especies.

#### *Península de Osa*

Para esta zona, que incluye al Parque Nacional Corcovado (PNC) (Fig. 4), se ha informado un total de diez especies de corales zooxantelados y una especie de coral ahermático (Cortés y Jiménez 1996, 2003) (Cuadro 2). No obstante que el PNC cuenta con importantes recursos y ambientes marinos (playas, plataformas rocosas, comunidades bénticas, arrecifes coralinos, entre otros), éstos han sido poco estudiados hasta la fecha. Cortés y Jiménez (1996) describieron las comunidades de coral y arrecifes en la Península de Osa y determinaron que existe una rica fauna coralina en las puntas rocosas e islotes del PNC. Entre estos, destaca un parche de 250 m<sup>2</sup> de *Pocillopora* en Punta Llorona, con cerca del 100 % de cobertura viva de *P. damicornis* (Cortés y Jiménez 1996). Este tipo de arrecife es poco abundante en otras partes de la costa de Costa Rica pero no en otras partes del Pacífico Oriental Tropical.

Punta Salsipuedes, que se extiende desde playa Madrigal hasta playa Sirena, presenta



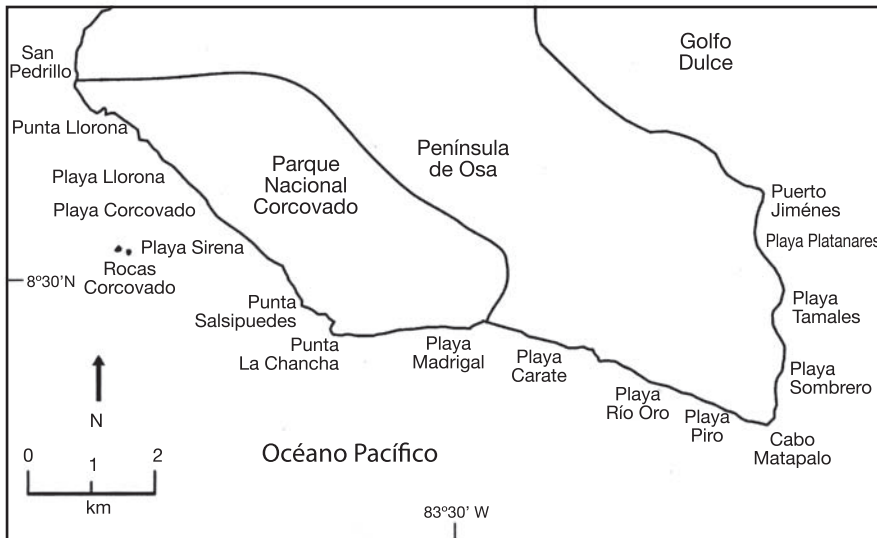


Fig. 4. Mapa de la península de Osa, costa Pacífica de Costa Rica (ver Figs. 1 y 2).

un sustrato intermareal cubierto de densas comunidades de cirripedios, algas coralinas y octocorales. Además, el sustrato rocoso intermareal en este sitio contiene muchos ambientes diferentes debido a su heterogéneo relieve topográfico. Aquí, los moluscos representan el grupo más abundante (11.7 %). De éstos, los gastrópodos *S. gigas* y *Nodilittorina aspera* son predominantes. Otros grupos importantes son las algas pardas (11 %) y crustáceos (2.4 %). En las áreas arenosas es posible observar poblaciones de hermitaños, *Coenobita compressus* y de cangrejos violinistas, *Uca* spp. (Cortés y Jiménez 1996). Punta Salsipuedes también tiene importantes poblaciones de cambute (*Strombus galeatus*), probablemente una de las más importantes en la costa Pacífica del país, luego de Cabo Blanco en la Península de Nicoya. La importancia de este hecho radica en que el cambute es una especie que ha sido virtualmente eliminada de nuestra costa Pacífica y estas poblaciones representan verdaderas fuentes de larvas, juveniles y adultos de esta especie (Cortés y Jiménez 1996).

#### Golfo Dulce

En Golfo Dulce (Fig. 5) se han identificado un total de diez especies de corales formadores

de arrecife (Cortés 1990a, b, Cortés y Guzmán 1998) y cuatro especies de corales ahermatípicos (Cortés y Jiménez 2003) (Cuadro 2) que se encuentran en varios tipos de arrecifes y comunidades de coral. Los arrecifes coralinos de Golfo Dulce son de tipo franjeante o de parches continentales (Cortés 1992). En el caso de Golfo Dulce, estos se pueden dividir en dos grupos con base a su diversidad y estructura.

En primer lugar se encuentra el grupo de arrecifes de la parte interna (Punta Islotes y Punta Bejuco), los cuales son muy similares y tienen un relieve topográfico de hasta 12 m en Punta Islotes (Cortés 1992). Además, se encuentran microatolones vivos y muertos de *P. lobata* en las zonas más someras. En general, los arrecifes de la parte interna del golfo consisten de parches vivos y muertos de *P. lobata* en el frente del arrecife, así como *P. damicornis* y *P. stellata* en la plataforma arrecifal. Se observa una baja diversidad de coral en esta zona y la cobertura de coral vivo varía desde menos de un 1 % hasta 8 % (Cortés y Murillo 1985, Cortés 1992, Cortés *et al.* 1994, Cortés y Jiménez 2003).

En la zona de Punta Bejuco, existen varios arrecifes separados por canales de arena. Los flancos y el frente del arrecife consisten de *P. lobata* (vivo y muerto), mientras que el área

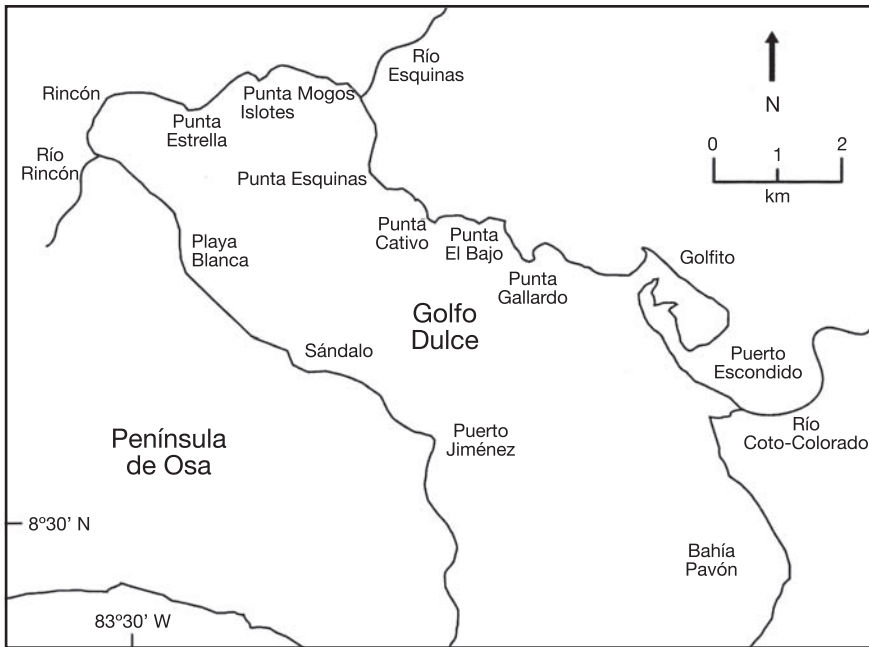


Fig. 5. Mapa de Golfo Dulce, costa Pacífica de Costa Rica (ver Figs. 1 y 2).

central consiste de *Pocillopora* spp. muerto y *Psammocora* spp. En general, la especie dominante en esta zona es *P. lobata* (Cortés 1990a, b). También existen arrecifes totalmente muertos en Punta Estrella, Isla Mogos, Playitas, Punta Saladero, Punta Esquinas y Punta Cativo, todos cerca del río Esquinas, el cual es conocido por descargar gran cantidad de sedimentos en la parte interna de Golfo Dulce (Cortés 1990a, b).

Se estima que el arrecife de coral de Punta Islotes empezó a crecer hace 5 500 años y tiene una historia que se puede dividir en cuatro etapas (Cortés *et al.* 1994). La primera, consiste en el reclutamiento de *P. damicornis* a los sustratos basálticos recientemente inundados (5 500 a 4 000 años antes del presente). La segunda etapa va de 4 000 a 1 500 años y es cuando se establece el arrecife. Durante esta etapa continua la acumulación de *P. damicornis* y la aparición de *P. lobata*. Durante la tercera etapa, entre 1 500 y 500 años se da el máximo desarrollo del arrecife. Finalmente, la etapa final, que inició hace unos 500 años, cuando el arrecife empezó a degradarse producto de un incremento en el ingreso de agua dulce y de la

sedimentación que se ha dado durante los últimos 50 años, destruyéndolo casi por completo (Cortés *et al.* 1994).

El otro tipo de arrecife de Golfo Dulce son los arrecifes de la parte externa (Sándalo y Punta El Bajo), que se diferencian por tener un relieve topográfico bajo, una cobertura de coral relativamente alta (29-46 %), un alto porcentaje de coral vivo y una alta diversidad (Cortés 1990a,b, Cortés 1992, Cortés y Jiménez 2003). Las áreas poco profundas en el arrecife de Sándalo están compuestas por *P. lobata*; mientras que la sección más profunda presenta varias especies, siendo la más abundante *P. damicornis*. Resulta importante mencionar que en esta sección también se encuentran las colonias más grandes de *Pavona frondifera* que se han informado en la región del Pacífico Oriental (Cortés 1990a, b, Cortés y Guzmán 1998). Asimismo, otro arrecife externo ubicado en Punta El Bajo, en la vertiente norte del golfo, presenta un 100 % de cobertura viva de *Psammocora obtusangula* y esta rodeado por colonias de *P. lobata* y *P. stellata* (Cortés 1992). Cortés (1990a,b) ha sugerido que las

diferencias entre las partes interna y externa del golfo posiblemente son producto de la actividad tectónica en la zona (la parte interna del golfo está subsidiando) y a diferencias de sedimentación, ya que las partes internas reciben mayores descargas de sedimentos.

Se ha informado que los arrecifes de coral de Golfo Dulce están siendo destruidos por varias especies de bioerosionadores internos y externos. Entre los bioerosionadores internos destacan dos especies del bivalvo *Lithophaga*, así como *Gastrochaena rugulosa* y el sipuncúlido *Aspidosiphon elegans*, este último en densidades de hasta 300 individuos por cada 1 000 cm<sup>3</sup> de coral (Fonseca 1999). También se ha informado la presencia de esponjas perforadoras, especialmente *Cliona ensifera*, presente en el 95 % de las colonias examinadas en Sándalo, junto con el crustáceo perforador *Upogebia rugosa* (Cortés 1991, Fonseca y Cortés 1998). Estos organismos están destruyendo los corales de Golfo Dulce a una tasa más rápida de la que crecen en la actualidad (Fonseca 1999, Fonseca *et al.* 2006).

### *Isla del Caño*

La Isla del Caño se ubica en la plataforma continental del Pacífico de Costa Rica, a aproximadamente 15 km de la costa, frente Bahía Drake, Península de Osa (Fig. 2). Los arrecifes de coral de esta zona se cuentan entre los ecosistemas mejor estudiados de Costa Rica y tienen gran valor como fuente de larvas y juveniles de peces e invertebrados (Guzmán 1986).

Los arrecifes de coral de la isla fueron descritos por primera vez en la década de los 1980 (Guzmán 1986). Existen cinco plataformas coralinas (o bajos arrecifales) con extensiones que van desde 0.8 hasta 4.2 ha: dos al norte, una al este y dos pequeñas al sur. Están formadas en su mayor parte por corales pocilopóridos muertos con colonias aisladas de pocilopóridos y porítidos y algunos microatolones de *P. lobata* (Guzmán y Cortés 1989a). El arrecife ubicado al este de la isla es el más grande y el que tiene la mayor cobertura de

coral vivo. En total, quince especies de coral formador de arrecife (Cortés y Guzmán 1998) y cinco de coral ahermatípico (Cortés y Jiménez 2003) han sido identificadas en la Isla del Caño (Cuadro 2). El crecimiento arrecifal en la isla es relativamente reciente y se estima que las colonias más grandes tienen menos de 300 o 400 años (Macintyre *et al.* 1992).

La pendiente y base del arrecife están dominados por *P. lobata*, la especie más abundante en la isla (Guzmán y Cortés 1989a). Esta especie se caracteriza por ser resistente a alteraciones ambientales, tener una alta tasa de recuperación a daños y por ser poco depredada, todo lo cual favorece su dominio en la Isla del Caño (Guzmán y Cortés 1989b). El sector sur, más expuesto a la acción de las olas, presenta extensos campos de octocorales (Guzmán y Cortés 1989a). Bancos similares se encuentran al oeste (Bajo El Diablo) y entre la isla y el continente (Bajo Paraíso) (Cortés y Jiménez 2003). Las zonas poco profundas del arrecife parecen estar estructuradas por factores físicos tales como exposición por mareas bajas, oleaje y fluctuaciones en la salinidad y la temperatura. Mientras tanto, en las zonas más profundas, los factores biológicos son los que controlan la comunidad arrecifal (degradación por organismos coralívoros, algas y bioerosionadores) (Guzmán 1988, Guzmán y Cortés 1989a).

Guzmán y Cortés (1989b) determinaron que las tasas de crecimiento de *P. lobata* y de los pocilopóridos es mayor durante la época seca. En el mismo estudio se determinó que la temperatura no parece ser un factor determinante en el crecimiento estacional de los corales y que más bien son factores como la luz (eg. turbidez, nubosidad), salinidad y tiempo reproductivo los que podrían controlar el crecimiento.

El fenómeno de El Niño 1982-83 causó la muerte de hasta un 50 % de la cobertura de coral vivo en la Isla del Caño. En general, se dio mortalidad de pocilopóridos y reducción en la abundancia de corales masivos como *P. lobata* y *Pavona* spp. (Cortés *et al.* 1984, Guzmán *et al.* 1987b, Glynn *et al.* 1988). Se observó que durante El Niño 1982/83 los corales simbióticos

perdieron zooxantelas. Sin embargo, en general para el Pacífico Oriental Tropical, se observó que la mortalidad más baja se dio en áreas que normalmente tienen temperaturas relativamente mayores, como en la Isla del Caño (Glynn *et al.* 1988). Durante los eventos de 1992 y 1997-98, también hubo blanqueamiento masivo de corales, pero la mortalidad fue relativamente baja (Guzmán y Cortés 2001).

Estudios llevados a cabo con seis de las especies formadoras de arrecife de la isla (*G. planulata*, *P. gigantea*, *P. varians*, *P. damicornis*, *P. elegans* y *P. panamensis*) muestran que estas especies se reproducen durante todo el año. Junto con esto, se observó un aumento en la actividad de las gónadas cerca de los períodos de luna llena y se estimó que el número máximo de ciclos de liberación de gametos en las especies estudiadas varía entre uno y siete (Glynn *et al.* 1991, 1994, 1996, 2000).

Además, se ha observado que algunos corales de la Isla del Caño (eg. *Porites lobata*) tienen altas densidades de macrobioerosionadores, dentro de los que destacan los bivalvos del género *Lithophaga* y el sipuncúlido *Phascolosoma perlucens* (Fonseca y Cortés 1998, Fonseca, Fonseca *et al.* 2006). Asimismo, Guzmán (1988) indica que organismos coralívoros como la estrella de mar *Acanthaster planci* y el pez balistido *Pseudobalistes naufragium*, afectan y limitan a la mayor parte de los pocilopóridos en el arrecife más profundo. Además, se ha informado que los fragmentos de *P. lobata* quebrados por *P. naufragium* a menudo sobreviven y forman nuevas colonias, lo cual parece ser el principal mecanismo de reproducción de esta especie (Guzmán y Cortés 1989a).

Finalmente, se han publicado cuatro trabajos sobre las señales de isótopos estables del Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur, utilizando colonias de *P. lobata* de la Isla (Carriquiry *et al.* 1988, 1994, Carriquiry 1994, Wellington y Dunbar 1995). Carriquiry *et al.* (1988, 1994) demuestran que los corales de la Isla del Caño presentan una fuerte señal isotópica durante el evento de El Niño de 1982-1983, por lo que son ideales para reconstruir

eventos anteriores a éste. Asimismo, Carriquiry (1994) presentó un estudio fundamentado en el problema de la sensibilidad térmica del  $\delta^{18}\text{O}$  del esqueleto coralino, para lo cual lleva una calibración entre la temperatura oceánica y la composición isotópica ( $\delta^{18}\text{O}$ ) de *P. lobata*. Su estudio revela la sensibilidad térmica de la aragonita coralina es ligeramente mayor que la calcita de moluscos, por lo que esta última debe evitarse en futuras aplicaciones paleotermométricas. Por último, Wellington y Dunbar (1995) identifican las áreas en el Pacífico Oriental Tropical con las señales más claras de eventos de El Niño en los esqueletos coralinos, siendo la Isla del Caño y las Islas Galápagos las que presentaron las mejores señales debido a su estabilidad salina. La sensibilidad térmica del  $\delta^{18}\text{O}$  de *P. lobata* de la Isla del Caño mostró una buena correlación con la temperatura superficial del agua de mar, así como parece estar poco influenciada por la salinidad. Eventos intensos de El Niño fueron bien preservados en el esqueleto debido a que esta zona experimenta persistentemente altas temperaturas que acompañan estos eventos (Wellington y Dunbar 1995).

### Amenazas

De acuerdo a Cortés y Jiménez (2003), el principal disturbio natural que afecta a los corales de la costa Pacífica de Costa Rica es el fenómeno de El Niño. Así, por ejemplo, el evento de 1982-83 causó una mortalidad de corales de hasta un 50 % en la Isla del Caño (Guzmán *et al.* 1987b) y un 90 % en la Isla del Coco (Guzmán y Cortés 1992). Algo similar sucedió en los eventos de 1992 y 1997-98. Sin embargo, en estos últimos la mortalidad fue menor y la recuperación más rápida que en el evento 1982-83 (Cortés y Jiménez 2003). En 1992 se dio blanqueamiento en el 42.7 % de los corales en la Isla del Caño (Guzmán y Cortés 2001) y en el 53.4 % de los corales en el Pacífico Central (Jiménez y Cortés 2001). En general, se puede decir que durante este evento, el blanqueamiento y la mortalidad fueron más severos en las zonas costeras que en la Isla

del Caño. Lo anterior se puede deber al efecto sumado de la sedimentación que afecta a las áreas costeras de manera más severa. Respecto al evento 1997-98, en la Isla del Caño se informó una baja mortalidad de 5 %, sugiriendo que los corales eran más tolerantes a altas temperaturas que en eventos anteriores (Guzmán y Cortés 2001). Mientras tanto, en el Parque Nacional Marino Ballena se informa de una mortalidad de ~50 %, debido principalmente a la pérdida de tejido de los corales (Jiménez y Cortés 2003).

Otro disturbio natural que afectó los arrecifes coralinos en la Isla del Caño en 1985, fueron las mareas rojas. Los corales más afectados fueron los pocilopóridos y el coral ahermatípico *Tubastrea coccinea*. Estos fueron afectados por la mucosa producida por el dinoflagelado *Cochlodinium catenatum*, que dominó la explosión de fitoplancton ese año (Guzmán *et al.* 1990). También se han observado explosiones de fitoplancton en el PNMB, pero aparentemente no han afectado los corales.

Entre los disturbios antropogénicos, quizás el más importante es la sedimentación (Cortés y Jiménez 2003). Este fenómeno ha afectado considerablemente a los arrecifes de Golfo Dulce (Cortés 1990a, b, 1992), debido a la creciente deforestación que ha impactado la zona en los últimos años. Los bosques de la región, tanto en zonas de mucha pendiente como en las orillas de ríos (eg. Río Esquinas), han sido cortados durante los últimos treinta o cuarenta años. Esto ha dejado una gran cantidad de suelos expuestos. Lo anterior, junto con la alta tasa de precipitación de la zona, provoca que los suelos se saturen rápidamente de agua y que se dé el transporte de grandes cantidades de sedimento al mar. De esta manera, un arrecife sano observado en Golfo Dulce en 1975 fue encontrado enterrado bajo el lodo cuando se le visitó de nuevo diez años después (Cortés 1990a,b). En la actualidad, la cobertura de coral vivo en la mayor parte de los arrecifes de la parte interna de Golfo Dulce es menor a un 8 % debido a las altas cargas de sedimento acarreadas por los ríos de la cuenca. Asimismo, este factor es considerado como el principal en el deterioro

de los corales del PNMB, que se ha visto incrementado por la construcción de la carretera Costanera Sur, la fuertes precipitaciones de la zona y el mal uso de terrenos aledaños al parque (Cortés y Murillo 1985, Jiménez 1995, Alvarado 2004a, Alvarado *et al.* 2005, Sunagawa 2005). Otras amenazas a los arrecifes de coral están asociadas a la extracción de coral y la destrucción de corales relacionada a actividades como el anclaje de botes, el buceo y la extracción de especies asociadas de alto valor comercial como la langosta, el cambute, el pulpo y las ostras, entre otros (Cortés y Jiménez 2003).

### Relevancia

La zona sur del país tiene muchas formaciones arrecifales y comunidades coralinas donde se ha encontrado una importante biodiversidad de organismos marinos. Es muy probable que algunos de estos arrecifes sean las fuentes de larvas y juveniles de corales y otros organismos arrecifales para otras regiones del país (Cortés y Jiménez 2003). También, se ha encontrado que en los arrecifes coralinos se encuentra gran cantidad de peces, incluyendo especies de importancia comercial (Cortés 1990a, b, Rojas 2001).

El estudio de la historia geológica de los arrecifes de Golfo Dulce nos enseña dos cosas: primero, que hace más de 500 años el Golfo Dulce era más marino, o sea, no había tanta influencia de ríos; y segundo, que en los últimos años la actividad humana en su cuenca y la consiguiente generación de sedimentos está destruyendo los arrecifes coralinos. Es importante, por lo tanto, estudiar en detalle las fuentes principales de los sedimentos que afectan Golfo Dulce, para tratar de reducir las cantidades que llegan a los arrecifes.

En la Isla del Caño los arrecifes y comunidades coralinas son un importante atractivo turístico y fuente de ingresos económicos. La zonificación de uso que se ha establecido en la Isla del Caño debe ser el modelo a seguir en otras regiones del país.

Todos estos arrecifes deben ser evaluados periódicamente para determinar si siguen



degradándose o se están recuperando. Hace falta elaborar mapas de hábitats para todos los arrecifes de la región y determinar la potencial conectividad biológica entre la Isla del Caño, el PNMB, la costa de la Península de Osa y el Golfo Dulce.

### Octocorales, moluscos y crustáceos

Los octocorales de Costa Rica se empezaron a estudiar recientemente y la región del Pacífico sur de Costa Rica es de las más ricas en especies de abanicos de mar del género *Pacifigorgia* (Breedy y Guzmán 2003). En el PNMB se han encontrado nueve especies, dos en la Península de Osa, tres en Golfo Dulce y 11 en la Isla del Caño (Breedy y Guzmán 2003, 2005). La primera especie de octocoral descrita en los últimos años, *Pacifigorgia bayeri* fue recolectada en la Isla del Caño (Breedy 2001).

Durante una expedición (Vargas y Wolff 1996) llevada a cabo en 1993/1994, a bordo del B.O. Victor Hensen, Cruz (1996) informa que los gastrópodos más abundantes en Golfo Dulce son *Polystira oxtropis* y *Strombina fusionoidea*, mientras que en cuanto a bivalvos, la especie más abundante fue *Tellina ecuadoriana*. Høisæter (1998) también ofrece una lista actualizada de los gastrópodos con concha (252 especies) en la zona intermareal y aguas someras de Golfo Dulce.

Para el ACOSA, Jiménez y Muñoz (1995) informan un total de siete especies de moluscos de importancia comercial asociadas a manglares y Campos *et al.* (1993) informan de cuatro especies marinas: *Anadara tuberculosa* y *A. similis* (pianguas), *Donax dentifer* (almeja de playa), *Grandiarca grandis* (chucheca), *Mytilus* spp. (mejillones), *Ostrea iridescens* y *O. palmula* (almejas en raíces de manglar), *Pinctada mazatlanica*, *Polymesoda inflata* (miona), *Prothotaca ecuatoriana* (almeja de manglar) y *Spondylus* spp. (ostiión vaca). La condición de la mayoría de estos recursos es considerada por los autores como crítica. También existe una gran presión sobre algunas poblaciones de gastrópodos, que son

utilizados como alimento, para elaborar tintaciones textiles (grupos indígenas) y como carnada. Las principales especies extraídas son *Melogenia patula* (cambute de barro), *Nerita* spp. (burgados), *Purpura pansa*, *Strombus gigas* (casco de burro) y *S. galeatus* (cambute) (Campos *et al.* 1993, Pizarro 1994).

Con respecto a los crustáceos del Pacífico costarricense, estudios sobre la diversidad de Decapoda y Stomatopoda se han realizado sobre todo para el Golfo de Nicoya y sólo unas pocas especies han sido informadas para el Golfo Dulce (Castro y Vargas 1996). Jesse (1996), en un análisis sobre los crustáceos demersales de varios puntos de la costa Pacífica de Costa Rica, menciona que comparativamente Golfo Dulce es un área pobre y con una biomasa y biodiversidad de crustáceos significativamente menor que Bahía Coronado, Térraba-Sierpe y el Golfo de Nicoya. Asimismo, Jesse (1996) informa que no se halló crustáceos en el centro de la fosa profunda de Golfo Dulce, pero que los pequeños parches de manglar en la parte interna del golfo parecen tener importancia como áreas de crianza de especies comerciales de camarón. Por su parte, Castro y Vargas (1996) informan un total de 23 especies de crustáceos para Golfo Dulce: 21 de decápodos y dos de estomatópodos. De estas, 19 son nuevos informes para la zona y dos, *Cancer johngarthi* y *Lysmata californica* son nuevos informes para el Pacífico de Costa Rica. En total, se han identificado hasta la fecha un total de 87 especies de decápodos y estomatópodos para Golfo Dulce (Castro y Vargas 1996). Los decápodos de Térraba-Sierpe fueron estudiados por Echeverría-Sáenz *et al.* (2003) y los resultados fueron descritos anteriormente.

### Amenazas

Aparte de aspectos vinculados a la degradación en la calidad del agua, la principal amenaza sobre las especies de importancia comercial de moluscos y crustáceos en el Pacífico sur, es su explotación. Las poblaciones de moluscos como la chucheca, la piangua y el cambute, y de crustáceos como las diversas especies de camarón



de importancia comercial, la jaiba y la langosta están siendo sometidas en estos momentos a intensas presiones de extracción. La condición de estos recursos debe ser considerada como crítica debido a la carencia de estudios actualizados sobre el estado de sus poblaciones y a que existe poco control sobre su extracción (Jiménez y Muñoz 1995). Para los octocorales, el principal impacto es la extracción y la destrucción de los ambientes arrecifales donde viven.

### Relevancia

Hasta el momento se han generado listas de especies para varios puntos del Pacífico sur y se tiene una idea clara sobre las especies de moluscos y crustáceos que son explotados comercialmente. Este tipo de información es importante puesto que presenta una perspectiva de la diversidad biológica de estos grupos en la región y permite identificar especies que, por su condición, requieren de atención inmediata. Se debe investigar en el futuro el estado de las poblaciones de las especies amenazadas y que se use efectivamente la información biológica disponible para mejorar las prácticas de explotación de dichos recursos. Al mismo tiempo, la generación de información sobre variables sociales y económicas ligadas a dichas pesquerías es fundamental para avanzar en el manejo de dichos recursos.

### Ictiofauna

Sobre la ictiofauna se han generado listados de especies, publicaciones sobre la ecología de varios grupos y estudios sobre pesquería. Bussing y López (1996) identificaron 75 especies de peces recolectadas durante la expedición del B.O. Victor Hensen en Golfo Dulce (Vargas y Wolff 1996). En el manglar de Térraba-Sierpe se han encontrado 87 especies (Chicas 1995), y es una comunidad íctica muy similar a la observada en el Golfo de Nicoya (Wolff 1996). Asociado los arrecifes coralinos y costas rocosas de Golfo Dulce se han encontrado 71 especies de peces, en 28 familias (Cortés 1992, Rojas 2001), incluyendo especies

asociadas a otros ambientes el total para Golfo Dulce es de 177 especies (Campos 1989). De las 87 especies de peces encontradas en el manglar de Térraba-Sierpe, solamente cuatro son residentes en los manglares. El hecho de que la mayoría de las especies sean visitantes ocasionales refleja claramente la importancia del sistema como sitio de crianza y reproducción (Chicas 1995, 1998, 2001).

Rojas (2001) determinó la abundancia y distribución de 71 especies de peces, en 28 familias, asociadas a arrecifes coralinos y costas rocosas de la parte interna de Golfo Dulce. Según este estudio, las familias más numerosas en cuanto a especies e individuos fueron Labridae y Pomacentridae. El 90 % de la abundancia total se concentró en tan sólo 11 especies. De éstas, *Halichoeres melanotis*, *H. chierchiae* y *Caranx sexfasciatum* fueron responsables de más del 56 % de la abundancia. Estas especies también presentaron los mayores valores de densidad por estación de muestreo. De acuerdo a Rojas (2001), sus resultados reflejan que tanto a nivel local como regional, el número de especies de peces asociadas a zonas arrecifales es bajo. Esto se puede deber a que los arrecifes y costas rocosas estudiadas son relativamente pequeños y carecen de zonación estructural de hábitat. El autor agrega que otros factores que pudieron incidir en su estudio son la heterogeneidad estructural moderada de los sustratos coralinos, la baja densidad de peces piscívoros que regulan la abundancia de otras especies y la moderada productividad de Golfo Dulce. De las 71 especies observadas por Rojas, 36 habían sido informadas por Campos (1989) como parte de las capturas comerciales. Rojas (2001) además observa que la baja proporción (33 %) de peces carnívoros, como pargos (Lutjanidae) y meros o cabrillas (Serranidae), se podría deber a la captura comercial de estas especies.

La pesca es una de las principales actividades comerciales de la Península de Osa. La actividad es realizada por embarcaciones locales y de otros sectores del país que pescan en aguas costeras y oceánicas de la Península de Osa, Golfo Dulce y Punta Burica. Además,

se da pesca artesanal y de subsistencia en manglares, lagunas costeras y desembocaduras de ríos. De acuerdo a Jiménez y Muñoz (1995) y Lagunas-Vazques (2004), entre las especies extraídas en la zona sur destacan: *Caranx caballus*, *C. vinctus* y *C. speciosus* (jureles), *Carcharinus limbatus* (tiburón de aleta negra), *Centropomus unionensis*, *C. viridis* y *C. armatus* (róbalos), *Dipterus peruvianus* (mojarras), *Elops affinis* (sábalo), *Epinephelus analogus* (cabrilla), *Gerres cinereus* (mojarra amarilla), *Hoplopargus guntheri* (pargo roquero), *Lutjanus jordani* (pargo negro), *L. novemfasciatus* (pargo rayado), *L. guttatus* (pargo manchado), *L. argentiventris* (pargo colamarilla), *L. colorado* (pargo rojo), *L. peru* (pargo seda), *Mugil curema* (lisa), *Ophisoma* spp. (congrios), *Scomberomorus sierra* (macarela), *Sphyrna lewini* (tiburón martillo), *Strongyrula exilis* (aguja), *Synoscion* spp. (corvina) y *Trachinotus paitensis* (palomas).

Campos (1989) y Segura y Campos (1990) estudiaron las pesquerías comerciales de Golfo Dulce mediante datos de capturas pesqueras y muestreos de campo. De acuerdo a Campos (1989), el 87 % de las capturas informadas provino de zonas poco profundas y sobre todo de la parte externa de Golfo Dulce y las desembocaduras de los ríos más grandes. Segura y Campos (1990) determinaron que un 80 % de las capturas corresponde a sólo 35 de las 177 especies identificadas por Campos (1989) y que más de un 5 % de las capturas se pierden debido a la mala manipulación del producto. Las especies más abundantes fueron la macarela (*S. sierra*), el tiburón martillo (*S. lewini*), la corvina agria (*Micropogonias altipinnis*), lisas (*M. curema*), así como algunos jureles (Carangidae), pargos (Lutjanidae), róbalos (Centropomidae) y roncadores (Haemulidae) (Campos 1989).

Recientemente, Lagunas-Vazques (2004) realizó un estudio socio ambiental sobre la pesca de subsistencia en dos comunidades costeras de Golfo Dulce: Rincón de Osa y Puerto Escondido-La Palma. La autora informa un total de 39 especies marinas (34 de peces, tres de crustáceos, una de molusco y una

especie de tortuga marina) que son utilizadas como recursos pesqueros por los habitantes de ambas comunidades. De éstas, los grupos que fueron capturadas con mayor frecuencia fueron pargos (Lutjanidae), lisas (Mugilidae), comearenas (Carangidae), barracudas (Sphyrnaeidae), atunes (Scombridae), tiburones (Sphyrnidae) y roncadores (Haemulidae).

La comunidad íctica presente en el área de Térraba-Sierpe es muy similar a la observada en el Golfo de Nicoya (Wolff 1996). Chicas (1995) identificó un total de 87 especies de peces en el manglar de Térraba-Sierpe. De éstas, solamente cuatro son residentes en los manglares de la zona: *Centropomus medius* (róbalo), *L. colorado* (pargo), *D. peruvianus* (mojarra) y *M. curema* (lisa). De acuerdo a Chicas (1995), el hecho de que la mayoría de las especies sean visitantes ocasionales refleja claramente la importancia del sistema como sitio de crianza y reproducción. Hasta la fecha, no se cuenta con información respecto al porcentaje de estas especies que se encuentra en peligro de extinción o tiene poblaciones muy reducidas.

Entre las especies de mayor importancia comercial en la zona de Térraba-Sierpe se encuentran *L. colorado*, *L. argentiventris*, *L. novemfasciatus* (pargos), *Pomadasys macracanthus*, *Anisotremus dovii*, *A. pacifici* (roncadores) y *Eugerres brevimanus* (mojarras). Chicas (1995, 1998, 2001) informa además la composición, abundancia temporal y estructura de tallas de peces juveniles en una poza de marea en Boca Guarumal, Térraba-Sierpe. De las 18 especies identificadas, cinco representaron más del 97 % de la abundancia de juveniles: *Eucinostomus currani*, *Gobionellus sagittula*, *D. peruvianus*, *Agonostomus monticola* y *Atherinella* sp.

#### Amenazas

Las amenazas sobre la ictiofauna del Pacífico sur se concentran principalmente en la destrucción de hábitats y la sobre explotación del recurso. En el primer caso, actividades como la degradación de las cuencas de los ríos

(eg. deforestación, erosión, contaminación) y el desarrollo costero pueden alterar la complejidad estructural y el funcionamiento de ecosistemas que resultan vitales para muchos grupos de peces. Ejemplos de estos ecosistemas son los manglares y arrecifes de coral. En el segundo caso, la limitada capacidad del país de velar por el adecuado uso del recurso pesquero pone una presión adicional sobre el estado de tales recursos y sobre la cadena trófica marina en general.

### *Relevancia*

Las investigaciones realizadas hasta la fecha han permitido caracterizar la ictiofauna asociada a los arrecifes coralinos y rocosos en la zona de Golfo Dulce, así como identificar las especies que son explotadas comercialmente tanto en Golfo Dulce como en Térraba-Sierpe. Dichos estudios han permitido confirmar, entre otras cosas, la importancia del sistema de manglares de Térraba-Sierpe con relación a la ictiofauna del Pacífico sur. Además, las características oceánicas y la limitada productividad de Golfo Dulce, favorecen la existencia de un marcado componente pelágico en la ictiofauna del golfo y tienen implicaciones para el manejo pesquero. En la actualidad, existe una iniciativa hacia el desarrollo de un proceso de gestión interdisciplinaria e integrada de la cuenca de Golfo Dulce (Morales y Hartmann 2001, Valdebenito 2001).

Dado el alto impacto de artes de pesca tales como las redes de arrastre sobre los ecosistemas marinos, es importante determinar los efectos que tiene el uso de dichas artes sobre las comunidades bénticas y pelágicas así como sobre la estructura del fondo marino en general. El alto costo que a menudo representa la recolección de datos ictiológicos, una alternativa hacia la necesaria y urgente estimación del estado de las poblaciones de peces en la región, especialmente aquellas que son explotadas con mayor intensidad, recae en el análisis y mejoramiento de las estadísticas pesqueras del Pacífico sur. Además, el estudio del impacto de la pesca deportiva sobre algunos recursos ícticos, debe verse como una prioridad ante el gran

crecimiento de esta industria en los últimos años. Una interesante alternativa recae en el desarrollo futuro y formal de planes de investigación cooperativos, que involucren tanto al sector científico como al sector pesquero con el objetivo de mejorar la calidad de la información de la que se dispone, y la educación y acercamiento de ambos sectores (Kaplan y McCay 2004). Ante todo, no se debe olvidar que la información generada hasta ahora sobre otros componentes del medio marino (eg. hidrografía, productividad, modelos tróficos) permiten dar los primeros pasos hacia la formulación y el mejoramiento de las medidas de conservación y la regulación de la pesca en zonas como Golfo Dulce.

### **Tortugas marinas**

De las ocho especies de tortugas marinas conocidas en el mundo, cinco se han informado para Costa Rica: la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*), la tortuga verde (*Chelonia agassizi*), la baula (*Dermochelys coriacea*), la carey (*Eretmochelys imbricata*) y la caguama (*Caretta caretta*) (Govan y ADECORO 1996). De éstas, solamente la caguama no se ha informado para el Pacífico del país, aunque se especula que podría llegar a la Península de Osa debido a que esta especie anida en Panamá (Govan y ADECORO 1996).

La Península de Osa no cuenta con playas de anidación masiva de tortugas pero sí con playas donde se da la anidación solitaria de tortugas lora, verde, baula y carey. La mayor parte de la costa suroeste de la Península es muy rocosa y expuesta como para permitir la anidación de tortugas. De igual manera, los informes de anidación en playas dentro de Golfo Dulce son mínimos. La costa de la parte interna de Golfo Dulce está cubierta predominantemente por pequeños parches de manglar o sustratos rocosos, por lo que las actividades de anidación de tortugas son raras o desconocidas (Drake 1996, Govan *et al.* 2000). Entre las playas de la península para las que se ha informado actividad de anidación de tortugas se encuentran las playas de la parte externa sur y central de la

Península de Osa, como Playa Piro, Pejeperro, río Oro y Carate. También se pueden mencionar las playas Sombrero, Tamales, Platanares y el sector de Punta Banco (Drake 1996, Govan *et al.* 2000, Bedoya y Nahill 2001).

Drake (1996) estudió la anidación y depredación de tortugas en las playas de Piro, Pejeperro, río Oro y Carate. Durante un período de un año (set. 93-oct. 94), Drake registró un total de 4 119 nidos en las cuatro playas. De éstos, 271 (7 %) eclosionaron. La mayoría de los nidos (97 %) correspondió a la tortuga lora, seguida por la tortuga verde (2.4 %), la baula (1 %) y la carey (0.03 %). Tanto la anidación como la depredación fueron mayores durante los meses de setiembre y octubre en todas las playas. La playa de río Oro tuvo los mayores valores de anidación, depredación y nidos eclosionados de las cuatro playas, probablemente debido a que las características físicas de esta playa resultan óptimas para la anidación. De hecho, la playa de río Oro presentó casi seis veces más nidos ( $n=2\ 968$ ) que playa Piro ( $n=497$ ). La depredación tuvo valores de 30 %, 31 %, 28 % y 54 % en las playas Piro, Pejeperro, río Oro y Carate, respectivamente. Sin embargo, a pesar que el porcentaje de depredación de nidos es menor en la playa de río Oro, el número total de nidos depredados en este sitio es mayor que el de las demás playas combinadas. Lo anterior se debe, entre otras cosas, a que la playa tiene calle de acceso. Los perros, además, fueron responsables de la destrucción del 49 % de los nidos depredados, mientras que los saqueadores cuantificaron un 42 % y los pizotes un 2 % de la depredación (Drake 1996). El restante 7 % de los nidos destruidos fue dañado por la acción de las olas o por razones no determinadas. La depredación por parte de humanos fue mayor a la de perros en las playas de Pejeperro y Carate (Drake 1996).

Los resultados de Drake (1996) indican que la playa de río Oro, a 20 km de Corcovado, es probablemente la más importante en términos de anidación solitaria de tortugas marinas en la Península de Osa. El tamaño de esta playa, así como las especies y número de individuos que recibe, realzan su importancia a nivel mundial.

De acuerdo a Govan y ADECORO (1996), un total de cuatro especies de tortugas anidaron 2 860 veces durante 1994 en los 5.9 km de playa de río Oro. Esto corresponde a una población de aproximadamente 1 000 hembras reproductoras. La mayoría de las hembras fueron de la especie *L. olivacea* (lora), con algunos casos de especies muy raras como *C. agassizi*, *D. coriacea* y *E. imbricata*. Por esta razón, algunos investigadores sugieren que playas de anidación solitaria como río Oro son realmente las que mantienen las poblaciones de *L. olivacea*, ya a que el éxito de eclosión de los huevos (en nidos no depredados) puede alcanzar hasta un 90 % (comparado con 1-8 % que se da en playas de anidación masiva) y las poblaciones de depredadores son mucho menores (Govan y ADECORO 1996, Govan y Montenegro 1997, 1999, Govan 1998, Govan *et al.* 2000, Bedoya y Nahill 2001).

Con respecto a Punta Banco, la principal herramienta de manejo que se ha utilizado es la operación de criaderos. De acuerdo a Arauz *et al.* (2001), los esfuerzos realizados en Punta Banco han logrado proteger 12 969 huevos en 1996, 10 347 en 1997, 9 679 en 1998 y 14 827 huevos en 1999. El único patrón que se ha logrado determinar es que la temporada de anidación inicia a finales de julio, alcanza un clímax entre la primera mitad de agosto y la segunda mitad de octubre y finaliza a mediados de diciembre. Además, destaca el hecho de que en los años 1999 y 2000 se observó un mayor número de nidos que en los tres años anteriores. Durante cinco años de actividad del proyecto de criaderos (1996-2000), se han protegido un total de 52 983 huevos y se han liberado un total de 36 175 juveniles (Arauz *et al.* 2001).

### Amenazas

Las amenazas sobre las tortugas marinas en el Pacífico sur se concentran en la extracción ilegal de huevos, carne y caparzones, la alteración y destrucción del hábitat (por razones discutidas en secciones anteriores) y la captura incidental de animales por parte de las embarcaciones pesqueras industriales y artesanales, en particular

aquellas que utilizan artes como redes de arrastre y palangre. Otras amenazas son el saqueo de nidos por parte de humanos, la destrucción de nidos ocasionada por animales domésticos introducidos, en especial perros, y la introducción de vehículos a la playa. Asimismo, el desarrollo costero e iluminación de zonas cercanas a la playa, generalmente asociada a proyectos de infraestructura turística, es un peligro creciente en la región. Playa río Oro, en particular, es una zona que dada su importancia para la anidación de tortugas, se encuentra seriamente amenazada por proyectos de desarrollo de infraestructura costera y el libre acceso del público y el saqueo de nidos.

### Relevancia

Las investigaciones realizadas sobre tortugas marinas en el Pacífico sur del país han permitido identificar las especies que anidan en la zona; los puntos de mayor importancia para la anidación de dichas especies; estudiar el valor de las playas de anidación solitaria para las poblaciones de las distintas especies; y determinar las principales amenazas naturales y antropogénicas asociadas a este grupo. El valor de esta información para el manejo de las tortugas marinas en el Pacífico sur es muy alto y permite la identificación de medidas prioritarias como la protección de playas de alta importancia para la anidación (eg. río Oro) y el desarrollo y/o modificación de las políticas de desarrollo costero y explotación pesquera en la región. Ampliar el rango geográfico de los estudios a áreas que hasta ahora no han sido exploradas, rastrear el movimiento en el Pacífico Oriental de los animales que anidan en la zona y continuar con el monitoreo de la frecuencia de anidación por especie, son sólo algunos de los aspectos que se deben explorar en un futuro.

### Mamíferos marinos

De acuerdo a Rodríguez-Herrera *et al.* (2002), las aguas costarricenses albergan aproximadamente 32 especies de mamíferos

marinos: una especie de manatí, dos especies de pinnípedios (dos especies que se observan debido a que se extravían: los leones marinos de California (Cubero-Pardo y Rodríguez 2000) y Galápagos) y 29 especies de cetáceos (ballenas y delfines). En cuanto a las especies de cetáceos, éstas se distribuyen en cinco familias: Delphinidae (16 spp.), Balaenopteridae (seis spp.), Ziphiidae (cuatro spp.), Kogiidae (dos spp.) y Physeteridae (una sp.) (Rodríguez-Herrera *et al.* 2002), lo que representa cerca del 45 % de todas las especies de cetáceos conocidas para América Latina (May-Collado en prensa). Sin embargo, hasta el momento sólo 19 especies han sido confirmadas para el Pacífico (mapas de distribución en May-Collado *et al.* 2005) algunas con poblaciones oceánicas, neríticas o ambas (Rodríguez-Fonseca 2001, May-Collado *et al.* 2005). La familia Delphinidae es la más diversa en el Pacífico, con 13 especies confirmadas, siendo *Stenella attenuata*, *S. coeruleoalba* y *Tursiops truncatus* las más comunes (May-Collado *et al.* 2005). En el Caribe nacional, se han informado cinco especies *Sotalia guianensis*, *T. truncatus*, *S. attenuata*, *Steno bredanensis*, y *Globicephala macrorhynchus* (May-Collado, en prep.). De éstas solo para *S. guianensis* y *T. truncatus* se han confirmado poblaciones residentes en el país (eg. DiBerardinis *et al.* 1997).

En el país, la investigación sobre la biología de los cetáceos se ha concentrado en especies con poblaciones costeras, como el delfín nariz de botella (*T. truncatus*) en la Isla del Coco y Golfo Dulce (Acevedo y Smultea 1995, Acevedo-Gutiérrez 1996, Cubero-Pardo 1998a, b), y el delfín costero manchado (*S. attenuata graffmani*) en el Golfo de Papagayo (May-Collado 2001, May-Collado y Forcada 2001, Rodríguez-Sáenz y Rodríguez-Fonseca 2004, May-Collado y Morales-Ramírez 2005) y a lo largo de la costa de la Península de Osa y Golfo Dulce (Acevedo y Burkhart 1998, Cubero-Pardo 1998a, b). Rodríguez-Fonseca y Cubero-Pardo (2001) realizan un estudio de los casos de encallamiento en Costa Rica entre 1966 y 1999, encontrando 35 casos que cubren 13 especies y 247 individuos. Para



ACOSA se informaron un total de 22.9 % casos de encallamiento, dentro los cuales se encuentran las especies *Orcinus orca* en playa Llorona (tres ind.), *T. truncatus* en Playa Rincón (un ind.), Golfo Dulce (un ind.) y Playa Sirena (un ind.), *S. coeruleoalba* en Playa Leona (un ind.) y *Physeter catodon* en Playa Sierpe (un ind.).

La presencia de mamíferos marinos en Golfo Dulce, a pesar de ser de conocimiento común para los habitantes locales, fue documentada científicamente hasta en 1996. Precisamente en ese año, Acevedo-Gutiérrez (1996) informó un total de ocho especies de mamíferos marinos, de los cuales únicamente el delfín nariz de botella (*T. truncatus*) y el pantropical manchado (*S. attenuata*), fueron observados con frecuencia. Asimismo, Acevedo-Gutiérrez (1996) observa que dichas especies parecen depender del área para su alimentación, reproducción y crianza, por que se les considera como especies residentes. Rodríguez-Fonseca (2001) en una extensa revisión bibliográfica de la diversidad de cetáceos en los últimos 35 años, informa un total de ocho especies para el área de Golfo Dulce, de las cuales cinco pertenecen a la familia Delphinidae, una a Physeteridae y dos a Balaenopteridae. Por su parte May-Collado *et al.* (2005) utilizando las bases de datos de avistamientos de "Southwest Fisheries Service Center", "Cascadia Research Collective" y del CIMAR entre 1979 y 2001, logran determinar la presencia de 11 especies en las aguas de ACOSA. Al comparar los trabajos de Rodríguez-Fonseca (2001) y May-Collado *et al.* (2005) se nota una similitud en las especies informadas para el área. Rodríguez-Fonseca (2001) indica la presencia de dos especies que no aparecen en la lista de May-Collado *et al.* (2005); mientras que ésta última indica cinco especies que no se informan en el primero. Esto da un total de 13 especies de cetáceos para la región de Osa. Los datos suministrados por May-Collado *et al.* (2005) indican que la Península de Osa, y en particular la Isla del Caño, es una zona importante para la crianza de individuos tanto del hemisferio norte como

del sur de la ballena jorobada, así como de especies residentes de delfines.

Acevedo y Burkhart (1998) realizaron un total de 529 avistamientos de *T. truncatus* y 200 de *S. attenuata* en Golfo Dulce entre setiembre de 1991 y diciembre de 1992. Durante el período de estudio se observó solamente un grupo mixto de estas dos especies. El tamaño promedio de los grupos de *T. truncatus* fue de  $5.8 \pm 4.17$ ; mientras que el de los grupos de *S. attenuata* fue de  $37.6 \pm 49.54$ . *T. truncatus* fue observado con mayor frecuencia en aguas poco profundas, cercanas a la costa o ríos y a lo largo de pendientes pronunciadas en el fondo marino. *S. attenuata* fue observada con mayor frecuencia en aguas profundas, en las partes interna y externa del golfo y más lejos de la costa. No obstante, los patrones de distribución temporal muestran que ambas especies utilizan las mismas áreas durante diferentes épocas. El alto número de avistamientos de *T. truncatus* hace suponer que la especie se mantiene la mayor parte del tiempo dentro del golfo. *S. attenuata*, por su parte, parece tener un mayor rango de movimiento, incluyendo la costa oeste de la Península de Osa e Isla del Caño, donde son observados con frecuencia (Acevedo y Burkhart 1998, Rasmussen *et al.* 2001a, May-Collado *et al.* 2005).

De acuerdo a Cubero-Pardo (1998a, b), el grado y tipo de actividad de *T. truncatus* y *S. attenuata* en Golfo Dulce varía durante el día. La alimentación se da sobre todo en la mañana, dedicándose más tiempo a esta actividad durante la época seca. Lo anterior podría estar asociado a la mayor disponibilidad de potenciales presas durante esa época del año (von Wangelin y Wolff 1996, Cubero-Pardo 1998a,b). Mientras tanto, durante la época lluviosa los animales parecen dedicar más tiempo a actividades de interacción social y movimiento (Cubero-Pardo 1998a,b).

Aparte de las especies de delfín anteriormente señaladas, en el Pacífico sur de Costa Rica se han llevado a cabo varios estudios sobre *Megaptera novaengliae*, la ballena jorobada. Sus poblaciones viajan en diferentes momentos del año desde sus terrenos de alimentación



en California y la Península Antártica hacia el Golfo de Papagayo y Península de Osa (incluyendo Golfo Dulce y la Isla del Caño), respectivamente y no se descarta su presencia en otras áreas del Pacífico Central (Calambokidis *et al.* 2000, Rasmussen *et al.* 2001b). Rasmussen *et al.* (2001b) han determinado, mediante técnicas de fotoidentificación, que las aguas del Pacífico Centro Americano constituyen una zona de reproducción y descanso invernal, tanto para las poblaciones de ballenas jorobadas del Pacífico norte como para las del Pacífico sur. Asimismo, se ha determinado que el pico de avistamientos para las ballenas del norte se da entre enero y abril, mientras que el de las ballenas del sur se presenta entre julio y octubre. No obstante, se dan avistamientos de animales de ambas poblaciones durante todo el año (Calambokidis *et al.* 2000, Rasmussen *et al.* 2001b). Se ha informado, además, un alto número de avistamientos en las aguas ubicadas entre la Isla del Caño y el territorio continental (Rasmussen *et al.* 2001a). Debido al amplio ámbito de traslape espacial de estas poblaciones en el Pacífico costarricense y a la presencia de ballenas durante todo el año, Rasmussen *et al.* (2001a) consideran probable que ballenas de ambos hemisferios se encuentren e inclusive lleguen a reproducirse y/o dar a luz en la zona. Lo anterior hace de Costa Rica el único lugar del mundo donde hasta la fecha se ha documentado que ballenas jorobadas de dos hemisferios utilizan las mismas aguas para reproducirse y dar a luz. Ante esto, resulta imperativo estudiar y regular las actividades turísticas de observación de cetáceos en la zona (Cubero-Pardo 2001a, b).

### *Amenazas*

Aparte de la degradación de los hábitats costeros, varias actividades humanas a lo largo de la costa de nuestro país representan una seria amenaza para los mamíferos marinos. En el caso de la pesca, los efectos son tanto directos (captura incidental de mamíferos marinos) como indirectos (al disminuir las poblaciones de potenciales presas). Los trasmallos son una

de las principales causas de mortalidad en delfines (Palacios y Gerrodette 1996).

El crecimiento desordenado del turismo así como la falta de asesoría y regulación en cuanto a técnicas apropiadas de navegación y observación de cetáceos, podrían afectar significativamente a las poblaciones de ballenas jorobadas y delfines que habitan y transitan la zona (Cubero-Pardo 2001a, b). Otra amenaza sobre los mamíferos marinos directamente asociada con esta actividad, es la contaminación sónica, que podría estar teniendo un impacto más grande del que se ha considerado hasta la fecha, tanto sobre cetáceos como sobre otros organismos marinos. Aunque los cetáceos han evolucionado maneras para compensar el efecto del ruido natural (eg. direccionalidad, cambio de frecuencias y amplitud de las señales), el efecto que el ruido antropogénico pueda tener en su biología representa un nuevo reto que puede ser difícil de resolver.

### *Relevancia*

A pesar de ser relativamente escasos hasta la fecha, los estudios sobre mamíferos marinos en el Pacífico sur del país han contribuido significativamente al conocimiento sobre la diversidad y ecología de varias especies de este grupo, así como a la identificación de las principales amenazas asociadas a éstas. Más aún, se ha recabado información que permite identificar al Pacífico del país como una zona de gran importancia a nivel mundial por recibir la visita de ballenas jorobadas de poblaciones de los hemisferios norte y sur. Este tipo de información, combinada con el conocimiento que se tiene de la región, facilita el desarrollo de políticas de manejo del recurso y regulación de las actividades humanas asociadas a éste (eg. turismo de observación de delfines y ballenas). En cuanto a investigaciones futuras, aún restan muchas preguntas por ser respondidas para este grupo, en particular sobre dieta, patrones de movimiento, ecología y sobre los efectos del ruido y la degradación ambiental sobre su comportamiento, para citar algunas.

## CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS DE MANEJO

El Pacífico sur de Costa Rica presenta una gran riqueza biológica marina que apenas comienza a ser descrita, comprendida y valorada en el ámbito científico. Al avanzar en el desarrollo de la gestión de estos recursos, resulta fundamental dejar de lado aquellas posiciones que ven a los ecosistemas marinos como unidades aisladas e independientes de los sistemas terrestres. Hoy en día, se sabe y reconoce que los sistemas acuáticos y terrestres se influyen mutua y continuamente a través de procesos complejos que incluyen el flujo de nutrimentos, materia orgánica y organismos, entre otras cosas (Maser y Sedell 1994, Mann y Lazier 1996). De esta manera, los ríos reflejan la situación ambiental de su cuenca, debido a que son afectados por actividades humanas como la deforestación, la agricultura, la urbanización y la industria (Chong 1988, Gillespie 1992, Gurney 1997, Spongberg y Davis 1998, Umaña 1998). Estos efectos, a su vez, son trasladados a las áreas costeras. Ejemplo de ello, son los casos de Golfo Dulce y el PNMB, donde la deforestación de la franja costera ha causado la sedimentación y muerte de varios arrecifes de coral. Igualmente, la contaminación y eutroficación costera, la sobreexplotación de los recursos marinos y la destrucción de áreas de manglar empiezan a ser evidentes en algunas partes del país (eg. Golfo de Nicoya, Golfo Dulce) (Acuña-González *et al.* 2004, García-Céspedes *et al.* 2004, Vargas y Mata 2004). Desde esta perspectiva, es esencial incorporar una visión integral al proceso de gestión de cuencas fluviales y ecosistemas marino-costeros con el fin de aumentar sus posibilidades de éxito.

No obstante que el presente trabajo no ha evaluado a fondo la información científica disponible sobre los sistemas fluviales y terrestres del Pacífico sur de Costa Rica, estudios sobre uso de la tierra, cobertura de bosque y degradación de cuencas hidrográficas, por ejemplo, deben ser considerados con detenimiento al momento de formular estrategias de manejo

costero en la región. De esta manera, la presente revisión pretende ser una contribución para la posterior y necesaria integración y análisis de toda la información biológica y socioeconómica de la zona.

Como es evidente en este documento, aún existen muchos vacíos de información en el campo de las ciencias marinas para la región del Pacífico sur de Costa Rica. En general, es necesario ampliar los estudios sobre patrones de corrientes, productividad primaria y secundaria, así como de las características y el funcionamiento de los ecosistemas de manglar en la zona. En este sentido, se le debe prestar especial atención al sistema de manglares y el frente ribereño de Térraba-Sierpe, el más importante de su tipo en el Pacífico de Costa Rica y uno de los más importantes a nivel Centroamericano. Su importancia no recae solamente en los servicios ambientales (eg. protección contra tormentas, prevención de erosión costera, papel en la dinámica y productividad de las pesquerías de moluscos, crustáceos y peces, etc.) que un ecosistema de este tipo proporciona; también se deben considerar los intereses y el uso (directo e indirecto; legal e ilegal) que los habitantes de la zona y otros actores le dan al bosque de manglar (Martín 1988, Lahmann 1999, Cordero y Solano 2000) y a los recursos marinos (Vega 1994, Chicas 1995, 1998, 2001, Cubero-Pardo 2001a, b). Todos son factores relevantes al momento de tomar decisiones que involucren a estos sistemas.

La misma lógica se aplica al caso de los arrecifes y comunidades de coral. Como se ha señalado anteriormente, estos sistemas son altamente productivos y diversos; además, sirven como zonas de crianza, reproducción y fuentes de larvas para gran número de especies marinas. Para algunas áreas, como la Isla del Caño, el PNMB y el Golfo Dulce, ya se ha generado suficiente información científica como para avanzar en procesos de gestión (zonificación, conservación y uso) de los principales arrecifes. De hecho, ya se han dado pasos positivos en este sentido para el caso de la Isla del Caño y el PNMB (Jiménez y Muñoz 1995, Solís 2002). Es necesario, sin embargo, continuar con el monitoreo y evaluación de

estos ecosistemas, así como mejorar la regulación de actividades como la extracción de recursos, el buceo recreativo y el uso de redes de arrastre de fondo.

Igualmente, se debe impulsar la investigación y gestión del Golfo Dulce, un sistema único a escala mundial gracias a sus características morfológicas, oceanográficas y biológicas, y quizás el sistema mejor estudiado en el Pacífico sur del país. La información disponible sobre su fuerte estratificación física y biológica, limitada productividad y relativa vulnerabilidad a los disturbios antropogénicos, deben de ser incorporados a las políticas y prácticas de gestión costera en esta zona del país. De hecho, el Golfo Dulce se perfila en estos momentos como uno de los mejores candidatos a desarrollar un proyecto de manejo costero integrado. Como se mencionó, un esfuerzo de este tipo ya se encuentra en marcha en la zona (Morales-Ramírez y Hartmann 2001, Valdebenito 2001). La disponibilidad de un modelo trófico (Wolff *et al.* 1996) para el Golfo Dulce es un gran paso hacia el manejo del Golfo como un ecosistema.

En este sentido, es importante señalar que el PNMB también es objeto de esfuerzos por mejorar el manejo de sus recursos. A principios del año 2002, representantes del gobierno y de las comunidades de Bahía, Uvita y Ballena retomaron un proyecto de co-manejo iniciado en 1996 y cuyo objetivo es el impulsar, a mediano y largo plazo, el cumplimiento de los objetivos de conservación para los que fue creada el área y al mismo tiempo promover el desarrollo de dichas comunidades (Solís 2002). Procesos como éste se han beneficiado de la información científica de la que se dispone hasta ahora y, además, facilitan la identificación de las necesidades específicas de información para cada área a través de métodos participativos.

Este trabajo también muestra que es necesario contar con información actualizada sobre el estado de los "stocks" de peces, moluscos y crustáceos de importancia comercial en la zona, así como del grado de presión ejercida por los sectores de pesca de subsistencia y pequeña escala. Se estima que, a escala mundial, estos

sectores emplean a más del 90 % de los pescadores y son responsables de aproximadamente el 50 % de las capturas (Coull 1993, Berkes *et al.* 2001, FAO 2004). Futuros estudios deben ampliar sus objetivos a fin de evaluar los efectos de distintos artes de pesca sobre distintos ambientes bénticos y pelágicos (eg. arrecifes, manglares, fondos lodosos, etc.) del país, en particular sobre grupos altamente vulnerables a la captura incidental, como tortugas y mamíferos marinos. Estas insuficiencias de información, unidas a la falta de controles efectivos de la actividad pesquera en general, son puntos débiles en los esfuerzos de conservación y manejo de los recursos marinos del país.

A escala nacional, sería conveniente avanzar en el estudio de variables (eg. transporte de larvas de peces, patrones de corrientes) que permitan identificar el grado de conectividad que existe entre las distintas áreas marinas protegidas de la región y su relación con el resto de la costa nacional. Estudios que, principalmente, evalúen el papel que juegan las áreas marinas protegidas para la regeneración de pesquerías y de poblaciones de otras especies costeras (Roberts 1995, Cowen *et al.* 2000, 2006, Roberts *et al.* 2001, 2003, Halpern y Warner 2002, Gell y Roberts 2003). Lo anterior con el fin de acercar las políticas de manejo de pesquerías a aquellas concernientes al manejo que se le da a otros recursos naturales en el país.

Este acercamiento, sin embargo, no debe limitarse al punto de vista biológico y/o productivo, sino que debe de considerar el valor de aspectos sociales y de desarrollo comunal relativos al ambiente costero (Agardy 2000, Agardy *et al.* 2003, Anónimo 2003, Mascia 2003, Quesada-Alpizar 2006). Las evaluaciones biológicas de una región o área marina protegida en particular, deben de acompañarse de evaluaciones socio-económicas sobre la dependencia y relación de las comunidades costeras con tales recursos, así como sobre la percepción que tienen los actores sobre determinadas prácticas de manejo y sus resultados (Anónimo 2003, Quesada-Alpizar 2006).

En síntesis, el establecimiento de estrategias de protección, conservación y manejo

para la región marino-costera del ACOSA, debe incluir el amplio ámbito de factores biológicos, sociales y económicos que afectan directa e indirectamente los diversos ecosistemas marinos de la zona. Es preciso que Costa Rica avance hacia la integración efectiva de las comunidades costeras en los procesos de toma de decisiones que afectan el uso de los recursos costeros. También resulta obligatorio fortalecer la educación; la legislación ambiental; la cooperación y coordinación inter-institucional así como entre los sectores público y privado; y la capacidad de gestión de las instituciones relacionadas con el manejo de recursos terrestres y marino-costeros (Quesada-Alpízar 2006). Sean cuales sean, no se debe olvidar que las soluciones a los problemas ambientales actuales deben fundamentarse en la mejor información científica existente sobre las características, estructura, funcionamiento y vulnerabilidad de los ecosistemas marinos y terrestres.

Un paso en la dirección apropiada se dará al mejorar la divulgación y análisis de la información científica de la que se dispone en el país, ya que este proceso previene la duplicación de esfuerzos de investigación. Permite, además, mayor claridad al identificar preguntas que son relevantes para el manejo de cada región. Sin duda, un mayor segmento de la ciencia nacional se debe dirigir directamente a resolver los conflictos y necesidades sociales que surgen en torno al uso y manejo de los recursos marinos.

#### AGRADECIMIENTOS

Se extiende un especial agradecimiento a The Nature Conservancy de Costa Rica por el financiamiento de la presente investigación, y al CIMAR por el apoyo al primer autor para realizar este trabajo. Asimismo, se extiende un agradecimiento a las siguientes personas, cuyos comentarios mejoraron este trabajo considerablemente: Jenaro Acuña, Guillermo Alvarado, Juan José Alvarado, Peter O. Baumgartner, Percy Denyer, Héctor M. Guzmán, Laura May-Collado, Álvaro Morales y Raúl Rojas.

#### RESUMEN

Se presenta una revisión de la literatura científica sobre los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica. La mayor parte de la información generada hasta la fecha se concentra en el área de Golfo Dulce, un fiordo tropical y la única cuenca anóxica de la costa Pacífica Americana. A pesar de que existe una cantidad considerable de información, aún existen muchos aspectos sobre los ecosistemas marinos de la región que permanecen sin estudiar. Entre estos, destacan patrones de circulación, dinámica de manglares, biodiversidad de sedimentos suaves y aguas profundas, y ecología de especies de moluscos, crustáceos y peces de importancia comercial. Se le debe prestar especial atención al estudio de Golfo Dulce y los sistemas de manglar de Térraba-Sierpe debido a su importancia biológica y carácter único a nivel regional. El manejo costero de la región debe basarse en la mejor información científica existente, integrando criterios biológicos, sociales y económicos; y buscar el mejoramiento de la coordinación inter-institucional a fin de lograr soluciones integrales a las amenazas que existen sobre los recursos marinos.

**Palabras clave:** Costa Rica, Pacífico Oriental, Golfo Dulce, ecosistemas marinos, fiordo tropical, manejo costero, Áreas protegidas.

#### REFERENCIAS

- Acevedo-Gutiérrez, A. 1996. Lista de mamíferos marinos en Golfo Dulce e Isla del Coco, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44: 933-934.
- Acevedo, A. & S. Burkhart. 1998. Seasonal distribution of bottlenose (*Tursiops truncatus*) and pantropical spotted (*Stenella attenuata*) dolphins (Cetacea: Delphinidae) in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 91-101.
- Acevedo, A. & M. A. Smultea. 1995. First records of humpback whales including calves at Golfo Dulce and Isla del Coco, Costa Rica, suggesting geographical overlap of northern and southern hemisphere populations. *Mar. Mamm. Sci.* 11: 554-560.
- Acuña-González, J.A., J.A. Vargas-Zamora, E. Gómez-Ramírez & J. García-Céspedes. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 43-50.
- Acuña-González, J.A., José A. Vargas-Zamora & Rocío Córdoba-Muñoz. 2006. A snapshot view of some vertical distributions of water parameters at a deep (200 m) station in the fjord-like Golfo Dulce, embayment, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Suppl. 1): 193-200.

- Acuña, J., T. Dalsgaard & B. Thamdrup. 2006. El Golfo Dulce de Costa Rica: un sumidero de nitrógeno oceánico. *Invest. Cien.* 352: 34-35.
- Agardy, T. 2000. Information needs for marine protected areas: scientific and societal. *Bull. Mar. Sci.* 66: 875-888.
- Agardy, T., P. Bridgewater, M. Crosby, J. Day, P.K. Dayton, R. Kenchington, D. Laffoley, P. McConney, P.A. Murray, J.E. Parks & L. Peau. 2003. Dangerous targets? Unresolved issues and ideological clashes around marine protected areas. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 13: 353-367.
- Alvarado, J.J. 2004a. Descripción de las comunidades arrecifales del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico central-sur de Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 80 p.
- Alvarado, J.J. 2004b. Abundancia del erizo de mar *Centrostephanus coronatus* (Echinoidea: Diademataidae) en el Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52: 911-913.
- Alvarado, J.J. & C. Fernández. 2005. Equinodermos del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 53 (Supl. 3): 275-284.
- Alvarado, J.J., J. Cortés, C. Fernández & J. Nivia. 2005. Comunidades y arrecifes coralinos del Parque Nacional Marino Ballena, costa del Pacífico de Costa Rica. *Cien. Mar.* 31: 641-651.
- Anónimo. 1995. Propuesta: Plan general de manejo, Área de Conservación Osa, y Anexo I: Sondeo ecológico rápido. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 120 p.
- Anónimo. 2000. Características de la unidad de planeamiento turístico Corcovado-Golfito, Cap. 5: 1-39. *In* Estudio para plan de uso de la tierra en las zonas costeras de las unidades de planeamiento turístico en la República de Costa Rica. ICT, y Pacific Consultants International & Yachiyo Engineering, San José, Costa Rica.
- Anónimo. 2003. Social science research strategy for Marine Protected Areas. National Marine Protected Areas Center, MPA Science Institute, California, EEUU. 31 p.
- Anónimo. 2004. Human Population: Fundamentals of Growth Population. Growth and Distribution. Population Reference Bureau, Washington, DC, EEUU. (On line at: <http://www.prb.org>)
- Arauz, R., S. Crossland, G. Miller & A. Myers. 2001. Sea turtle conservation and research using coastal community organizations as the cornerstone of support. *In* Report (July –December 2000) to PRETOMA, San José, Costa Rica. 17 p.
- Baumgartner, P.O., J.A. Obando, C. Mora, J.E.T. Channell & A. Steck. 1989. Paleogene accretion and suspected terranes in southern Costa Rica (Osa, Burica, Central America). Abst. p. 9. *In* 12th Carib. Geol. Conf., Aug. 7-11. St. Croix, Islas Vírgenes, EEUU.
- Bedoya, S. & B. Nahill. 2001. Current state of sea turtles nesting on the Osa Peninsula, Costa Rica. *In* Proc. 21st Ann. Sea Turtle Symp., EEUU.
- Beese, D. 1995. Zur Rekonstruktion des Paläoklimas im Golfo Dulce, Costa Rica anhand der stabilen Isotopenverhältnisse in Foraminiferen- und Pteropodenschalen. Diplomarbeit Teil 2 (Laborarbeit) im Fachbereich Geowissenschaften, Universität. Bremen, Alemania. 41 p.
- Berkes, F., R. Mahon, P. McConney, R. Pollnac & R. Pomeroy. 2001. Managing Small-Scale Fisheries. Alternative Directions and Methods. Int. Develop. Res. Centre, Canadá. 309 p.
- Berrangé, J.P. & R.S. Thorpe. 1988. The geology, geochemistry and emplacement of the Cretaceous-Tertiary ophiolitic Nicoya Complex of the Osa Peninsula, southern Costa Rica. *Tectonophysics.* 147: 193-220.
- Breedy, O. 2001. A new species of *Pacifigorgia* from the eastern Pacific (Coelenterata: Octocorallia: Gorgoniidae). *Bull. Biol. Soc. Wash.* 10: 181-187.
- Breedy, O. & H.M. Guzmán. 2003. Octocorals from Costa Rica: The genus *Pacifigorgia* (Coelenterata: Octocorallia: Gorgoniidae). *Zootaxa* 281: 1-60.
- Breedy, O. & H.M. Guzmán. 2005. A new species of *Leptogorgia* (Coelenterata: Octocorallia: Gorgoniidae) from the shallow waters of the eastern Pacific. *Zootaxa* 899: 1-11.
- Buchs, D.M. & P.O. Baumgartner. 2003. The Osa-Caño Accretionary Complex (Southern Costa Rica): sedimentary processes in the Middle American Trench recorded in an emerged Eocene-Miocene accretionary prism. *In* 11th Swiss Meet. Sedim., 25.I.2003, Universidad. Fribourg. Abstr. p. 35.
- Bussing, W. & M. López. 1996. Fishes collected during the Victor Hensen Costa Rica expedition (1993/1994). *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 183-186.
- Calambokidis, J., G.H. Steiger, K. Rasmussen, J.R. Urbán, K.C. Balcomb, P. Guevara, M. Salinas, J.K. Jacobson, L.M. Herman, S. Cerchio & J.D. Darling. 2000. Migratory destinations of humpback whales that feed off California, Oregon and Washington. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 192: 295-304.



- Campos, J. 1983. Estudio sobre la fauna de acompañamiento del camarón en Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 31: 291-296.
- Campos, J. 1989. Evaluación de la pesca artesanal del Golfo Dulce. 195 p. *In* Informe Final de Proyecto, CIMAR, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Campos, J., M.L. Fournier & R. Soto. 1990. Estimación de la población de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en Sierpe-Térraba, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 38: 477-480.
- Campos, J., M. Fournier, A. Vega & F. Chicas. 1993. Estudios biofísicos en la Reserva Forestal Térraba-Sierpe (Informe parcial). Proyecto DANIDA-Manglares, CATIE/UICN, San José, Costa Rica. 31 p.
- Carriquiry, J.D. 1994. Fraccionamiento del  $^{18}\text{O}$  en la aragonita coralina de *Porites lobata*: implicaciones en los estudios de paleotemperatura oceánica. *Cienc. Mar.* 20: 585-606.
- Carriquiry, J.D., M.J. Risk & H.P. Schwarcz. 1988. Timing and temperature record from stable isotopes of the 1982-1983 El Niño warming event in eastern Pacific corals. *Palaios* 3: 359-364.
- Carriquiry, J.D., M.J. Risk & H.P. Schwarcz. 1994. Stable isotope geochemistry of corals from Costa Rica as proxy indicator of the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Geochim. Cosmochim. Acta* 58: 335-351.
- Castro, M. & R. Vargas. 1996. Annotated list of species of marine crustaceans (Decapoda and Stomatopoda) from Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 87-95.
- Chicas, F.A. 1995. Distribución, diversidad y dinámica poblacional de la ictiofauna comercial de la Reserva Forestal Térraba-Sierpe, Puntarenas, Costa Rica. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 114 p.
- Chicas, F.A. 1998. Dinámica trófica de seis especies de peces depredadores en un ecosistema de manglar del Pacífico sur de Costa Rica. *Quehacer Científico* 3: 45-51.
- Chicas, F.A. 2001. Peces juveniles en una poza de marea, Reserva Forestal Térraba-Sierpe, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 307-314.
- Chong, P.W. 1988. Forest management plan for Playa Garza pilot area: Térraba-Sierpe mangrove reserve, Costa Rica, 373 p. *In* Tech. Report, FAO-DGF.
- Cordero, P. & F. Solano. 2000. El manglar más grande de Costa Rica: experiencias de la UICN en el proyecto DANIDA- Manglares de Térraba-Sierpe. UICN, San José, Costa Rica. 40 p.
- Córdoba, R. & J.A. Vargas. 1996. Temperature, salinity, oxygen and nutrient profiles at a 200 m station in Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 233-236.
- Cortés, J. 1990a. Coral reef decline in Golfo Dulce, Costa Rica, eastern Pacific: anthropogenic and natural disturbances. Tesis de Doctorado, University Miami, Florida, EEUU. 147 p.
- Cortés, J. 1990b. The coral reefs of Golfo Dulce, Costa Rica: distribution and community structure. *Atoll Res. Bull.* 344: 1-37.
- Cortés, J. 1991. Los arrecifes coralinos de Golfo Dulce, Costa Rica: aspectos geológicos. *Rev. Geol. Amér. Central* 13: 15-24.
- Cortés, J. 1992. Los arrecifes coralinos de Golfo Dulce, Costa Rica: aspectos ecológicos. *Rev. Biol. Trop.* 40: 19-26.
- Cortés, J. 1996/1997. Biodiversidad marina de Costa Rica: Filo Cnidaria. *Rev. Biol. Trop.* 44/45: 323-334.
- Cortés, J. 1997. Biology and geology of coral reefs in the eastern Pacific. *Coral Reefs* 16 (Supl.): S39-S46.
- Cortés, J. & H.M. Guzmán. 1998. Organismos de los arrecifes coralinos de Costa Rica: Descripción, distribución geográfica e historia natural de los corales zooxantelados (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico. *Rev. Biol. Trop.* 46: 55-92.
- Cortés, J. & C.E. Jiménez. 1996. Coastal marine environments of Parque Nacional Corcovado, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 35-40.
- Cortés, J. & C.E. Jiménez. 2003. Corals and coral reefs of the Pacific of Costa Rica: history, research and status, p. 361-385. *In* J. Cortés (ed.). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier Science, Holanda.
- Cortés, J. & M.M. Murillo. 1985. Comunidades coralinas y arrecifes del Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 33: 197-202.
- Cortés, J., M.M. Murillo, H.M. Guzmán & J. Acuña. 1984. Pérdida de zooxantelas y muerte de corales y otros organismos arrecifales en el Caribe y Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 32: 227-231.
- Cortés, J., I.G. Macintyre & P.W. Glynn. 1994. Holocene growth history of an eastern Pacific fringing reef, Punta Islotes, Costa Rica. *Coral Reefs* 13: 65-73.
- Cortés, J., A.C. Fonseca & D. Hebbeln. 1996. Bottom topography and sediments around Isla del Caño, Pacific of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 11-17.

- Coull, J. 1993. Fishers today: between the devil and the deep blue sea, p. 7-12. *In* H.D. Smith (ed.). World Fisheries Resources. Routledge, Inglaterra.
- Cowen, R.K., K.M.M. Lwiza, S. Sponaugle, C.B. Paris & D.B. Olson. 2000. Connectivity of marine populations: open or closed? *Science* 287: 857-859.
- Cowen, R.K., C.B. Paris & A. Srinivasan. 2006. Scaling of connectivity in marine populations. *Science* 311: 522-527.
- Cruz, R. 1996. Annotated checklist of marine mollusks collected during the RV Victor Hensen Costa Rica Expedition. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 59-67.
- Cruz, R. & J.A. Jiménez. 1994. Moluscos asociados a las áreas de manglar de la costa Pacífica de América Central. Fundación UNA, Heredia, Costa Rica. 182 p.
- Cubero-Pardo, P. 1998a. Distribución y patrones de actividad del bufeo (*Tursiops truncatus*) y el delfín manchado (*Stenella attenuata*) en el Golfo Dulce, en relación con variables ambientales. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 86 p.
- Cubero-Pardo, P. 1998b. Patrones de comportamiento diurnos y estacionales de *Tursiops truncatus* y *Stenella attenuata* (Mammalia: Delphinidae) en el Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 103-110.
- Cubero-Pardo, P. 2001a. Assessing the impact of whale-watching activities on wild cetaceans in Costa Rica. *In* 14<sup>th</sup> Biennial Conf. Biol. Mar. Mamm., Nov. 28-Dec. 2, Vancouver, Canadá.
- Cubero-Pardo, P. 2001b. Estrategia de educación y manejo en torno a la observación de cetáceos silvestres en Costa Rica. 13 p. *In* Informe Sector Golfo Dulce, Fundación Promar, San José, Costa Rica.
- Cubero-Pardo, P. & J. Rodríguez-F. 2000. *Zalophus californianus* (Pinnipedia: Otariidae) in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 48: 273.
- Cutter, N.J., E.B. Cutter & J.A. Vargas. 1992. Peanut norms (Phylum Sipuncula) from Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 40: 153-158.
- Dalsgaard, T., D.E. Canfield, J. Petersen, B. Thamdrup & J. Acuña-González. 2003. N<sub>2</sub> production by the anammox reaction in the anoxic water column of Golfo Dulce, Costa Rica. *Nature* 422: 606-608.
- Davis, P. 1997. A geological investigation of the Golfo Dulce sediments, Costa Rica. M.Sc. Thesis, University of Toledo, Ohio, EEUU. 128 p.
- Dean, H.K. 1996. Polychaete worms (Annelida) collected in Golfo Dulce, during the Victor Hensen Costa Rica Expedition (1993/1994). *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 81-86.
- Dean, H.K. 2004. Marine biodiversity of Costa Rica: Class Polychaeta (Annelida). *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 131-181.
- Denyer, P. & G. Cárdenas. 2000. Costas marinas, p. 185-218. *In* P. Denyer & S. Kusssmaul (eds.). Geología de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Denyer, P., W. Montero & G.E. Alvarado. 2003. Atlas tectónico de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 81 p.
- Deuser, W.G. 1975. Chapter 16: Reducing Environments, p. 1-37. *In* J.P. Riley & G. Skirrow (eds.). Chemical oceanography. Academic, Inglaterra.
- DiBerardinis, A., S. Larkin & V. Schot. 1997. Identification of *Sotalia fluviatilis* (tucuxi) outside of previously reported range. 9 p. *In* Report to Ministerio del Ambiente y Energía, Costa Rica.
- Di Marco, G. 1994. Les terrains accrésés du sud du Costa Rica: Évolution tectonostratigraphique de la marge occidentale de la plaque Caraïbe. Tesis de Doctorado, Univ. LaEEUUnne, Suiza. 183 p.
- Di Marco, G., P.O. Baumgartner & J.E.T. Channell. 1995. Late Cretaceous-early Tertiary paleomagnetic data and a revised tectonostratigraphic subdivision of Costa Rica and western Panama. *In* P. Mann (ed.). Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper* 295: 1-27.
- DOD. 1994. Atlas of Pilot Charts: North Pacific Ocean. Defense Mapping Agency, Department of Defense, US Government. EEUU. 12 p.
- Drake, D.L. 1996. Marine turtle nesting, nest predation, hatch frequency and nesting seasonality on the Osa Peninsula, Costa Rica. *Chelon. Conserv. Biol.* 2: 89-92.
- Echeverría-Sáenz, S., R. Vargas & I.S. Wehrtmann. 2003. Diversity of decapods inhabiting the largest mangrove system in the Pacific of Costa Rica. *Nauplius* 11: 91-97.
- Enfield, D.B. 2001. Evolution and historical perspective of the 1997-1998 El Niño-Southern Oscillation event. *Bull. Mar. Sci.* 69: 7-25.
- Estrada, E. 2003. Zooplankton dynamics in the Golfo Dulce, Costa Rica: feeding preferences and grazing rates in main groups of microcrustaceans. M.Sc. Thesis, University of Bremen, Alemania. 90 p.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. The State of World Fisheries and Aquaculture 2002. Available at: <http://www.fao.org>
- Fischer, R. 1980. Recent tectonic movements of the Costa Rican Pacific coast. *Tectonophys.* 70: T25-T33.
- Fisher, D.M., T.W. Gardner, P.B. Sak, J.D. Sanchez, K. Murphy & P. Vannucchi. 2004. Active thrusting in the inner forearc of an erosive convergent margin, Pacific coast, Costa Rica. *Tectonics* 23: 1464-1475.
- Fonseca, A.C. 1999. Bioerosión en arrecifes coralinos del Pacífico sur de Costa Rica. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 206 p.
- Fonseca, A.C. & J. Cortés. 1998. Coral borres of the eastern Pacific: the sipunculan *Aspidosiphon* (A.) *elegans* and the crustacean *Pomatogebia rugosa*. *Pac. Sci.* 52:170-175.
- Fonseca, A.C., H.K. Dean & J. Cortés. 2006. Non-colonial coral macroborers as indicators of coral reef stress in the south Pacific of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54: 101-115.
- García-Céspedes, J., J.A. Acuña-González & J.A. Vargas-Zamora. 2004. Metales traza en sedimentos de cuatro ambientes costeros de Costa Rica *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 51-60.
- García, V., J. Acuña-González, J.A. Vargas-Zamora & J. García-Céspedes. 2006. Calidad bacteriológica y desechos sólidos en cinco ambientes costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Suppl. 1): 35-48.
- Gardner, T.H., D. Verdonck, N.M. Pinter, T. Slingerland, K.P. Furlong, T.H. Bullard & S.G. Wells. 1992. Quaternary uplift astride the aseismic Cocos Ridge, Pacific coast, Costa Rica. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 104: 219-232.
- Gell, F. & C. Roberts. 2003. Part 1: Review, p. 5-31. *In* The Fishery Effects of Marine Reserves and Fishery Closures. WWF-US, Washington, EEUU.
- Germain, N. 2004. Importancia de la calidad de agua del río Conte y recomendaciones para un plan de acción de gestión sostenible, Playa Blanca, Golfo Dulce, Costa Rica. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 81 p.
- Gillespie, H.J. 1992. Recent human disturbance of mangrove forests in the Golfo Dulce region of Costa Rica. M.Sc. Thesis, University of California, Los Angeles, EEUU. 58 p.
- Glynn, P.W., J. Cortés, H. Guzmán & R.H. Richmond. 1988. El Niño (1982-83) associated coral mortality and relationship to sea surface temperature deviations in the tropical eastern Pacific. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp. Australia* 3: 237-243.
- Glynn, P.W., N.J. Gassman, C.M. Eakin, J. Cortés, D.B. Smith & H.M. Guzmán. 1991. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos Islands (Ecuador), Part I - Pocilloporidae. *Mar. Biol.* 109: 355-368.
- Glynn, P.W., S.B. Colley, C.M. Eakin, D.B. Smith, J. Cortés, N.J. Gassman, H.M. Guzmán, J.B. del Rosario & J. Feingold. 1994. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos Islands (Ecuador) - II. Poritidae. *Mar. Biol.* 118: 191-208.
- Glynn, P.W., S.B. Colley, N.J. Gassman, K. Black, J. Cortés & J.L. Maté. 1996. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and Galapagos Islands (Ecuador). III. Agariciidae (*Pavona gigantea* and *Gardineroseris planulata*). *Mar. Biol.* 125: 579-601.
- Glynn, P.W., S.B. Colley, J.H. Ting, J.L. Maté & H.M. Guzmán. 2000. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panamá and Galapagos Islands (Ecuador). IV. Agariciidae, recruitment and recovery of *Pavona varians* and *Pavona* sp. a. *Mar. Biol.* 136: 785-805.
- Govan, H. 1998. Conservación comunitaria de tortugas marinas en río Oro, sobre la costa del Pacífico de Costa Rica. *Noticiero de Tortugas Marinas* 80: 10-11.
- Govan, H. & ADECORO. 1996. El recurso de tortugas marinas en río Oro, Península de Osa. 40 p. *In* Informe al Ministerio del Ambiente y Energía, San José, Costa Rica.
- Govan, H. & E. Montenegro. 1997. ADECORO y el recurso de tortugas marinas en río Oro, Península de Osa: enero 1996-julio 1997. Informe TUVa, Puerto Jiménez, Costa Rica.
- Govan, H. & E. Montenegro. 1999. Tortugas marinas de Río Oro, Península de Osa, Costa Rica. *In* III Taller Regional para la Conservación de las Tortugas Marinas en Centro América, abril 1999. Shiroles, Costa Rica.
- Govan, H., E. Montenegro, G. Cascante, S. Mesén, D. Vásquez & O. Sandoval. 2000. Community monitoring of leatherback turtle nesting on the Osa Península, Costa Rica, 1999-2000. *In* Final Report to the U.S. Nat. Mar. Fish. Serv. EEUU.
- Gurney, S. 1997. Geophysical reconnaissance of the Golfo Dulce drainage basin and environs of Costa Rica. M.Sc. Thesis, University of Toledo, EEUU. 78 p.
- Guzmán, H.M. 1986. Estructura de la comunidad arrecifal de la Isla del Caño, Costa Rica y el efecto

- de perturbaciones naturales severas. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 179 p.
- Guzmán, H.M. 1988. Distribución y abundancia de organismos coralívoros en los arrecifes de la Isla del Caño, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 36: 191-207.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1989a. Coral reef community structure at Caño Island, Pacific Costa Rica. *P.S.Z.N.I: Mar. Ecol.* 10: 23-41.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1989b. Growth rates of eight species of scleractinian corals in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 44: 1186-1194.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1992. Cocos Island (Pacific of Costa Rica) coral reefs after the 1982-1983 El Niño disturbance. *Rev. Biol. Trop.* 40: 309-324.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 2001. Changes in reef community structure after fifteen years of natural disturbances in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 69: 133-149.
- Guzmán, H.M. & V.L. Obando. 1988. Diversidad y abundancia diaria y estacional del zooplancton marino de la Isla del Caño, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 36: 139-150.
- Guzmán, H.M., V. Obando & J. Cortés. 1987a. Meiofauna associated with a Pacific coral reef in Costa Rica. *Coral Reefs* 6: 107-112.
- Guzmán, H.M., J. Cortés, R.H. Richmond & P.W. Glynn. 1987b. Efecto del fenómeno "El Niño Oscilación Sureña" 1982/83 en los arrecifes coralinos de la Isla del Caño, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 35: 325-332.
- Guzmán, H.M., V.L. Obando, R.C. Brusca & P.M. Delaney. 1988. Aspects of the population biology of the marine isopod *Excorallana tricornis occidentalis* Richardson, 1905 (Crustacea: Isopoda: Corallanidae) at Caño Island, Pacific Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.* 43: 77-87.
- Guzmán, H.M., J. Cortés, P.W. Glynn & R.H. Richmond. 1990. Coral mortality associated with dinoflagellate blooms in the eastern Pacific (Costa Rica and Panama). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 60: 299-303.
- Guzmán, H.M., C.A. Guevara & O. Breedy. 2004. Distribution, diversity, and conservation of coral reefs and coral communities in the largest marine protected area of Pacific Panama (Coiba Island). *Environm. Conserv.* 31: 111-122.
- Halpern, B.S. & R.R. Warner. 2002. Marine reserves have rapid lasting effects. *Ecol. Lett.* 5: 361-366.
- Hebbeln, D. & J. Cortés. 2001. Sedimentation in a tropical fjord: Golfo Dulce, Costa Rica. *Geo-Mar. Letters* 20: 142-148.
- Hebbeln, D., D. Beese & J. Cortés. 1996. Morphology and sediment structures in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 1-10.
- Høisæter, T. 1998. Preliminary check-list of the marine, shelled gastropods (Mollusca) of Golfo Dulce, on the Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 263-270.
- Hossfeld, B. 1996. Distribution and biomass of arrow worms (Chaetognatha) in Golfo de Nicoya and Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 157-172.
- Jakob, J. 1996. Zur Ökologie und Biometrie pelagischer Ostracoden im Golfo Dulce (Costa Rica). Diplomarbeit, Freien Universität Berlin, Alemania. 114 p.
- Jesse, S. 1996. Demersal crustacean assemblages along the Pacific coast of Costa Rica: a quantitative and multivariate assessment based on the Victor Hensen Costa Rica Expedition (1993/1994). *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 115-134.
- Jiménez, C.E. 1995. Ambientes marino costeros. *In* Plan General de Manejo: Área de Conservación Osa (ACOSA). Anexo 1: Sondeo ecológico rápido. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Jiménez, C.E. & J. Cortés. 2001. Effects of the 1991-1992 El Niño on scleractinian corals of the costarrican central Pacific coast. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 239-250.
- Jiménez, C.E. & J. Cortés. 2003. Coral cover change associated to El Niño, eastern Pacific, Costa Rica, 1992-2001. *P.S.Z.N.: Mar. Ecol.* 24: 179-192.
- Jiménez, C.E. & F. Muñoz. 1995. Plan de estrategias de uso múltiple de los recursos marinos y costeros del ACOSA. Parte primera: Evaluación del estado de los recursos, 23 p.; Parte segunda: Zonificación, 43 p. MINAE, Costa Rica.
- Jiménez, J.A. & R. Soto. 1985. Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 33: 25-37.
- Kaplan, I.M. & B.J. McCay. 2004. Cooperative research, co-management and the social dimension of fisheries science and management. *Mar. Policy* 28: 257-258.
- Kappelle, M., M. Castro, H. Acevedo, L. González & H. Monge. 2002. Ecosistemas del Área de Conservación Osa (ACOSA). *INBio*, Costa Rica. 496 p.
- Kolarsky, R.A., P. Mann & W. Montero. 1995. Island arc response to shallow subduction of the Cocos Ridge, Costa Rica. *In* P. Mann (ed.). *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in*

- Southern Central America. Geol. Soc. Amer. Spec. Paper 295: 235-262.
- Kuever, J., C. Wawer & R. Lillebæk. 1996. Microbiological observations in the anoxic basin Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 49-57.
- Kurmis, R. 1997. Rekonstruktion der Sedimentationsbedingungen im Golfo Dulce (Costa Rica) während der letzten 2800 Jahre. Diplomarbeit im Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Alemania. 66 p.
- Kussmaul, S. 2000. Estratigrafía de las rocas ígneas, p. 63-86. *In* P. Denyer & S. Kussmaul (eds.). Geología de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Lagunas-Vazques, M. 2004. Análisis socioambiental de la pesca ribereña como actividad de subsistencia en las comunidades costeras de Rincón de Osa y Puerto Escondido-La Palma, Península de Osa, Costa Rica. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 89 p.
- Lahmann, E.J. 1999. La Reserva Forestal de Térraba-Sierpe, Costa Rica: un ejemplo de uso adecuado del manglar, p. 291-298. *In* A. Yáñez-Arancibia & A.L. Domínguez (eds.). Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Instituto de Ecología, México; UICN/ORMA, Costa Rica; NOAA/NMFS, Silver Spring, Maryland, EEUU.
- León-Morales, R. 1997. Estudio del bentos del Golfo Dulce, Costa Rica, con base en la expedición del buque oceanográfico Victor Hensen. 1993-1994. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 54 p.
- León-Morales, R. & J.A. Vargas. 1998. Macrofauna of a tropical fjord-like embayment: Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 81-90.
- Levington, J.S. 2001. *Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology.* Oxford, Inglaterra. 420 p.
- Linkimer, L. & T. Aguilar. 2000. Estratigrafía sedimentaria, p. 43-62. *In* P. Denyer & S. Kussmaul (eds.). Geología de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Lizano, O.G., J. Amador & R. Soto. 2001. Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 331-340.
- Lugo, A.E. 1999. Mangrove ecosystem research with emphasis on nutrient cycling, p. 17-38. *In* A. Yáñez-Arancibia & A.L. Lara-Domínguez (eds.). Ecosistemas de Manglar en América Tropical. Inst Ecol., México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS, Silver Spring, Maryland, EEUU.
- Lugo, A.E. & S.C. Snedaker. 1974. The ecology of mangroves. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5: 39-64.
- Macintyre, I.G., P.W. Glynn & J. Cortés. 1992. Holocene reef history in the eastern Pacific: mainland Costa Rica, Caño Island, Cocos Island, and Galapagos Islands. *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp., Guam* 2: 1174-1184.
- Madrigal, R. 1977. Terrazas marinas y tectonismo en Península de Osa, Costa Rica. *Rev. Geogr.* 86: 161-166.
- Mann, K.H. & J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in the Oceans. Blackwell Science, Inglaterra. 394 p.
- Martín, I. 1988. Manejo integral de un área de manglar en Costa Rica, Reserva Forestal de Térraba-Sierpe: información básica. 140 p. *In* Informe Técnico TCP/COS/ 6652, FAO/Gobierno de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Mascia, M.B. 2003. The Human dimension of coral reef Marine Protected Areas: recent social science research and its policy implications. *Conserv. Biol.* 17: 630-632.
- Maser, C. & J.R. Sedell. 1994. From the Forest to the Sea: the Ecology of Wood in Streams, Rivers, Estuaries and Oceans. St. Lucie, Florida, EEUU. 200 p.
- May-Collado, L.J. 2001. Ecología y comportamiento del delfín manchado costero, *Stenella attenuata graffmani* (Cetacea: Delphinidae) del Pacífico norte de Costa Rica. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 78 p.
- May-Collado, L.J. & J. Forcada. 2001. Abundance, occurrence and behavior of the coastal spotted dolphin (*Stenella attenuata graffmani*) in the northern Pacific of Costa Rica. *In* 14<sup>th</sup> Biennial Conf. Biol. Mar. Mamm. Nov. 28-Dec. 2. Vancouver, Canadá.
- May-Collado, L.J. & A. Morales-Ramírez. 2005. Presencia y patrones de comportamiento del delfín manchado costero, *Stenella attenuata graffmani* (Cetacea: Delphinidae) en el Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 53: 265-276.
- May-Collado, L.J., T. Gerrodette, J. Calambokidis, K. Rasmussen & I. Sereg. 2005. Patterns of cetacean sighting distribution in the Pacific Exclusive Economic Zone of Costa Rica based on data collected from 1979-2001. *Rev. Biol. Trop.* 53: 249-263.
- McCann, J. & P. Rubinoff. 1997. Integrated coastal management: an effective tool to promote sustainable use of coastal resources. Special Issue – Xcalak, Boletín 17. Amigos de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. 52 p.



- McMillan, I., P.B. Gans & G. Alvarado. 2004. Middle Miocene to present plate tectonic history of the southern Central American Volcanic Arc. *Tectonophys.* 392: 325-348.
- Molina-Ureña, H. 1996. Ichthyoplankton assemblages in the Gulf of Nicoya and Golfo Dulce. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 173-182.
- Mora, S. 1979. Estudios geológicos de una parte de la región sureste del Valle del General, Provincia de Puntarenas, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 157 p.
- Morales-Ramírez, A. 1996. Checklist of copepods from Gulf of Nicoya, Coronado Bay and Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica, with comments on their distribution. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 103-113.
- Morales-Ramírez, A. 2001. Biodiversidad marina de Costa Rica, los microcrustáceos: Subclase Copepoda (Crustacea: Maxillopoda). *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 115-133.
- Morales-Ramírez, A. & H.J. Hartmann. 2001. El Golfo Dulce: un ecosistema único en el Pacífico americano y un caso para la gestión integral. *In* A. Morales-Ramírez & H.J. Hartmann (eds.). 1ª Sesión del 1º Ecoforo de la Zona Sur Cándida Badilla, 6-9 de septiembre 2001, Golfito, Costa Rica.
- Morales-Ramírez, A. & J. Nowaczyk. 2006. El zooplancton gelatinoso del Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica, durante la transición de la estación lluviosa a la seca 1997-1998. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Suppl. 1): 201-223.
- Nichols-Driscoll, J. 1976. Benthic invertebrate communities in Golfo Dulce, Costa Rica, an anoxic basin. *Rev. Biol. Trop.* 24: 281-297.
- Nowaczyk, J. 1998. Gelatinöses zooplankton in Golfo Dulce (Costa Rica), während des Überganges von der Regen-zur Trockenzeit 1997-1998. M.Sc Thesis, Universität Bremen, Alemania. 82 p.
- Obando, V. & J.R. García (eds). 2000. Estrategia de conservación y uso sostenible de la biodiversidad: Área de Conservación Osa (ACOSA). MINAE, San José, Costa Rica. 43 p.
- Olsen, S. 1998. Foreword, p. xi. *In* D. Hinrichsen (ed.). *Coastal Waters of the World: Trends, Threats and Strategies*. Island, Washington D.C. EEUU.
- Olsen, S. & P. Christie. 2000. What are we learning from tropical coastal management experiences? *Coast. Manag.* 28: 5-18.
- Palacios, D.M. & T. Gerrodette. 1996. Potential impact of artisanal gillnet fisheries on small cetaceans populations in the eastern tropical Pacific. 16 p. *In* Administrative Report JL-96-11. National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Science Center.
- Pizarro, F. 1994. Diagnóstico de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica, p. 34-63. *In* J.F. Angulo y H. Suman (eds.). *El ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: Su manejo y conservación*. University of Miami, EEUU.
- Polanía, J. 1993. Mangroves of Costa Rica, p. 129-138. *In* L.D. Lacerda (ed.). *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions*. International Society for Mangrove Ecosystems, Japan.
- Quesada-Alpízar, M.A. 2001. Caracterización, composición, abundancia y biomasa del zooplancton en el Golfo Dulce durante el período 1997-1998. Tesis M.Sc., Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 172 p.
- Quesada-Alpízar, M.A. 2006. Participation and fisheries management in Costa Rica: from theory to practice. *Mar. Policy* 30: 641-650.
- Quesada-Alpízar, M.A. & A. Morales-Ramírez. 2004. Comportamiento de las masas de agua en el Golfo Dulce durante un periodo El Niño (1997-1998). *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 3): 95-103.
- Quesada-Alpízar, M.A. & A. Morales-Ramírez. 2006. Posible efecto de El Niño en el zooplancton no gelatinoso del Golfo Dulce, Pacífico de Costa Rica, 1997-1998. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Suppl. 1): 225-240.
- Rasmussen, K., J. Calambokidis & G. Steiger. 2001a. Report of the Oceanic Society 2001 field season in cooperation with Elderhostel Volunteers. *Oceanic Soc. Exp.*, Vancouver, Canadá. 22 p.
- Rasmussen, K., J. Calambokidis, G. Steiger, M. Saborío, L. May-Collado & T. Gerrodette. 2001b. Extent of geographic overlap of North Pacific and South Pacific humpback whales on their Central American wintering grounds. p. 175. *In* 14th Biennial Conf. *Biol. Mar. Mamm.*, Nov. 28-Dec. 2. Vancouver, Canadá.
- Richards, F.A. 1965. Anoxic basins and fjords, p. 611-645. *In* J.P. Riley & G. Skirrow (eds.). *Chemical Oceanography Academic*. Inglaterra.
- Richards, F.A., J.J. Anderson & J.D. Cline. 1971. Chemical and physical observations in Golfo Dulce, an anoxic basin on the Pacific coast of Costa Rica. *Limnol. Oceanogr.* 16: 43-50.
- Roberts, C.M. 1995. Rapid build-up of fish biomass in a Caribbean marine reserve. *Conserv. Biol.* 9: 815-826.

- Roberts, C., J.A. Bohnsack, F. Gell, J.P. Hawkins & R. Goodridge. 2001. Effects of marine reserves on adjacent fisheries. *Science* 294: 1920-1923.
- Roberts, C., S. Andelman, G. Branch, R. Bustamante, J.C. Castilla, J. Dugan, B. Halpern, K. Lafferty, H. Leslie, J. Lubchenco, D. McArdle, H. Possingham, M. Ruckelhaus & R. Warner. 2003. Ecological criteria for evaluating candidate sites for marine reserves. *Ecol. Appl.* 11 (Supl.): S199-S214.
- Rodríguez-Fonseca, J. 2001. Diversidad y distribución de los cetáceos de Costa Rica (Cetacea: Delphinidae, Physeteridae, Ziphiidae y Balaenopteridae). *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 135-143.
- Rodríguez-Fonseca, J. & P. Cubero-Pardo. 2001. Cetacean strandings in Costa Rica (1966-1999). *Rev. Biol. Trop.* 49: 667-672.
- Rodríguez-Herrera, B., F.A. Chinchilla & L.J. May-Collado. 2002. Lista de especies, endemismo, y conservación de los mamíferos de Costa Rica. *Rev. Mex. Mastozool.* 6: 19-41.
- Rodríguez-Sáenz, K. & J. Rodríguez-Fonseca. 2004. Avistamientos del delfín manchado, *Stenella attenuata* (Cetacea: Delphinidae) en Bahía Culebra, Costa Rica, 1999-2000. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 189-194.
- Rojas, R.E. 2001. Caracterización de la ictiofauna de los sustratos duros de la parte interna del Golfo Dulce, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 71 p.
- Sak, P.B., D.M. Fisher & T.W. Gardner. 2004. Effects of subducting seafloor roughness on upper plate vertical tectonism: Osa Peninsula, Costa Rica. *Tectonics* 23: 1474-1488.
- Segura, A. & J. Campos. 1990. Pérdidas post captura en la pesquería artesanal del Golfo Dulce y su proyección al Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 38: 425-429.
- Silva, A.M & R. Bonilla. 2001. Abundancia y morfometría de *Anadara tuberculosa* y *A. similis* (Mollusca: Bivalvia) en el manglar de Purruja, Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 315-320.
- Silva, A.M. & N.N. Carrillo. 2004. El manglar de Purruja, Golfito, Costa Rica: un modelo para su manejo. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 195-201.
- Solís, V. 2002. El Parque Marino Ballena y su gente: un proceso de manejo conjunto en construcción. Coope SoliDar, San José, Costa Rica. 62 p.
- Soto, R. & M. Bermúdez. 1990. Plan de desarrollo Parque Nacional Marino Ballena. MINAE, San José, Costa Rica. 125 p.
- Sponberg, A.L. & P. Davis. 1998. Organochlorinated pesticide contaminants in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 111-124.
- Sponberg, A.L. 2004a. PCB contamination in surface sediments in the coastal waters of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 1-10.
- Sponberg, A.L. 2004b. PCB contamination in marine sediments from Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 2): 23-32.
- Sponberg, A.L. 2006. PCB concentrations in intertidal sipunculan (Phylum Sipuncula) marine worms from the Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 27-33.
- Stern-Piriot, A. & M. Wolff. 2006. Population dynamics and fisheries potential of *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) along the Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 87-99.
- Sunagawa, S. 2005. Seasonal Variations in Symbiont Densities and Skeletal Phosphorus Concentrations in the Eastern Pacific (Costa Rica) coral *Pavona clavus*. MSc. Thesis dissertation, University of Bremen, Alemania. 58 p.
- Svendsen, H., R. Rosland, S. Myking, J.A. Vargas, O.G. Lizano & E.J. Alfaro. A physical-oceanographic study of Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Supl. 1): 147-170.
- Thamdrup, B., D.E. Canfield, T.G. Ferdelman, R.N. Glud & J.K. Gundersen. 1996. A biogeochemical survey of the anoxic basin Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 19-33.
- Tournon, J. & G. Alvarado. 1997. Mapa geológica de Costa Rica, incluyendo Folleto explicativo. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. 79 p. y Mapa 1:500000.
- Umaña, G. 1998. Characterization of some Golfo Dulce drainage basin rivers (Costa Rica). *Rev. Biol. Trop.* 46 (Supl. 6): 125-135.
- Valdebenito, S. 2001. Comisión Presidencial de Alto Nivel para la Península de Osa, Seminario, Documentación de sus Resultados. MINAE, Deutsche Gesellschaft für Technische ZEEUmmenarbeit (GTZ), Abril 2001.
- Vargas, J.A. & A. Mata. 2004. Where the dry forest feeds the sea: the Gulf of Nicoya Estuary. p. 126-135. *In* G.W. Frankie, A. Mata & S.B. Vinson (eds.). Biodiversity Conservation in Costa Rica: Learning the Lessons in a Seasonal Dry Forest. Univ. Calif. Press. Berkeley, EEUU.
- Vargas, J.A. & M. Wolff. 1996. Pacific coastal ecosystems of Costa Rica with emphasis on the Golfo Dulce

- and adjacent areas: a synoptic view based on the RV Victor Hensen expedition 1993/1994 and previous studies. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 1-238.
- Vargas, R., S. Jesse & M. Castro. 1996. Checklist of crustaceans (Decapoda and Stomatopoda) collected during the Victor Hensen Costa Rica Expedition (1997-1994). *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 97-102.
- Vega, A.J. 1994. Estructura de población, rendimiento y épocas reproductivas de *Anadara* spp. (Bivalvia: Arcidae) en la Reserva Forestal Térraba-Sierpe, Puntarenas, Costa Rica, con recomendaciones para su manejo. Tesis M.Sc., Univ. Costa Rica, Costa Rica. 119 p.
- von Wangelin, M. & M. Wolff. 1996. Comparative biomass spectra and species composition of the zooplankton communities in Golfo Dulce and Golfo de Nicoya, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 135-155.
- Watling, L. & E.A. Norse. 1998. Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: a comparison to forest clearcutting. *Conserv. Biol.* 12: 1180-1197.
- Wellington, G.M. & R.B. Dunbar. 1995. Stable isotopic signature of El Niño-Southern Oscillation events in eastern tropical Pacific reef corals. *Coral Reefs* 14: 5-25.
- Wells, S., T. Bullard, C. Menges, P. Drake, K. Karas, K. Kelson, J. Ritter & J. Wesling. 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. *Geomorphol.* 1: 239-265.
- Wolff, M. 1996. Demersal fish assemblages along the Pacific coast of Costa Rica: a quantitative and multivariate assessment based on the Victor Hensen Costa Rica Expedition (1993/1994). *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 187-214.
- Wolff, M., H.J. Hartmann & V. Koch. 1996. A pilot trophic model for Golfo Dulce, a fjord-like tropical embayment, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Supl. 3): 215-231.
- Yáñez-Arancibia, A. & A.L. Lara-Domínguez. 1999. Los manglares de América Latina en la encrucijada, p. 9-16. *In* A. Yáñez-Arancibia & A.L. Lara-Domínguez (eds.). *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Inst. Ecol., México; UICN/ORMA, Costa Rica; NOAA/NMFS, Silver Spring, Maryland, EEUU.
- Yukihara, H. 1991. Cultivo experimental de la ostra del Pacífico *Crassostrea gigas* (Pelecypoda: Ostreidae) en la Bahía Golfito, Costa Rica. Universidad Nacional; Costa Rica/Servicio de Voluntarios Japoneses (JOCV/JICA). Costa Rica. 23 p.

