
MANEJO COSTERO EN MÉXICO



CASOS DE ESTUDIO

ACCIONES DE MANEJO COSTERO
MAR CARIBE



EVALUACIÓN DEL USO SUSTENTABLE DEL CORAL NEGRO EN EL CARIBE MEXICANO

Claudia Padilla Souza

CRIP- Puerto Morelos, Instituto Nacional de la Pesca

30

CASOS DE
ESTUDIO



RESUMEN

La pesquería de coral negro en el Caribe mexicano ha presentado serios problemas para su regulación y manejo. La dificultad técnica para estudiar organismos que habitan en el arrecife profundo es la principal causa de que se ignoren muchos aspectos de su biología y ecología. De este modo, el esfuerzo de las autoridades por regular esta actividad a través de medidas como: vedas, cuotas, áreas de captura, tamaño mínimo de colecta, y hasta la inclusión de 3 especies de coral negro en la NOM-059-ECOL-2001 ha resultado ser obsoleto, dado que ni siquiera existía un registro de las especies que existen en México. En este trabajo se presentan los resultados de un diagnóstico de la condición actual de las poblaciones de coral negro sujetas a explotación comercial en el Estado de Quintana Roo, en términos de su abundancia, composición específica, y aspectos demográficos como crecimiento, sobrevivencia y reclutamiento, a través de un modelo de dinámica poblacional que permite evaluar el efecto de captura y el nivel de aprovechamiento que podrían sostener. De acuerdo a estos criterios, la pesquería del coral negro en Quintana Roo es una actividad que no puede soportar una explotación comercial bajo las normas que actualmente existen, ya que se ha venido siguiendo una estrategia de búsqueda constante de nuevos bancos, los cuales se han agotado en pocos años y luego son abandonados, poniendo en riesgo la existencia del coral negro como recurso valioso en nuestras costas. De esta manera, la estrategia de manejo que se propone a seguir es la inclusión de las especies de coral negro que se han registrado en el Caribe mexicano, en la nueva revisión de la NOM-059-ECOL-2001, bajo el régimen de protección especial.

ABSTRACT

The black coral fishery in the Mexican Caribbean has represented serious problems for its regulation and management. The technical difficulty for studying deepwater organisms is the main reason for the lack of information about their biology and ecology. Therefore, the government's effort for regulating this fishery through different tools, such as: closed seasons, fees, limitation of capture areas, total allowed catch, and even the inclusion of three species of black coral in the NOM-059-ECOL-2001, has resulted to be obsolete, since there was not any list of black coral species in Mexico. In this chapter, I present the results of a diagnosis of the current conditions of the black coral species under a commercial exploitation regime in Quintana Roo State, given terms of abundance, community spe-

Manejo Costero en México

cific composition, and demographic data, such as growth, survival and recruitment through a population dynamic model, that allow the evaluation of the effect of the capture, and the level of harvest, that may sustain. Under these criteria black coral fishery in Quintana Roo, is an activity that cannot support a commercial exploitation under the current regulation, since the strategy has been permanent seeking of new yields that have already been depleted in few years and there are abandoned; strategy that altogether has increase the risk of the mere existence of black coral as a profitable resource of our coasts. Therefore, the management strategy proposed here is the inclusion of the list of black coral species registered for the Mexican Caribbean within the new revision of the NOM-059-ECOL-2001 under a special protection regime.

INTRODUCCIÓN

El coral negro es un recurso de alto valor comercial que se utiliza para fabricar artesanía y joyería, ya que el esqueleto adquiere un aspecto de porcelana negra cuando está pulido. La mayoría de las especies de coral negro pertenecen al género *Antipathes*. En el área del Caribe existen alrededor de 30 especies de este género, pero en la parte mexicana sólo se han reportado 7: *A. pennacea*, *A. caribbeana*, *A. atlantica*, *A. gracilis*, *A. hirta*, *A. tanacetum* y *A. lenta* (Padilla, 1998 y 2000). Estos organismos encuentran hábitat propicio en las partes profundas de los arrecifes, entre 20 y 100 m de profundidad.

Probablemente la pesquería de coral negro más importante a nivel mundial sea la de Hawaii, en donde se ha llevado a cabo de manera sustentable desde los años 50s (Grigg, 1994). En México, la captura de coral negro se realiza desde los años 60s en el Caribe Mexicano en los arrecifes del Estado de Quintana Roo y está enfocada a 2 especies: *A. pennacea* y *A. caribbeana*. De este recurso depende la economía de algunos pobladores del estado. Esta pesquería se lleva a cabo de manera artesanal, ya que el pescador realiza inmersiones

con equipo de buceo SCUBA hasta profundidades de 80 m para cortar las colonias con una segueta. Las colonias cortadas se amarran con una cuerda y se lanzan a la superficie con un globo o boya que el pescador infla al terminar la inmersión.

El manejo y regulación de esta pesquería se basa en cuotas de captura, tamaño mínimo de colecta y áreas de extracción. Sin embargo, este mecanismo ha presentado muchos problemas, resultando ser ineficiente, ya que dichas restricciones se han establecido de manera arbitraria y se modifican de acuerdo a intereses sociales, más que a un conocimiento del potencial de explotación de las poblaciones.

En cuanto a conservación existen algunas acciones para proteger el coral negro: a escala internacional el género *Antipathes* está incluido en el apéndice II del CITES (Conventional on International Trade in Endangered Species), y a escala nacional existen 3 especies (*A. dichotoma*, *A. grandis* y *A. ules*) sujetas a protección especial por la Norma Oficial Mexicana NOM-059- ECOL-2001 (DOF, 2002).

ANTECEDENTES DE LA PESQUERIA

La explotación de coral negro en México se realiza en los arrecifes del estado de Quintana Roo, iniciando esta actividad a finales de los años 60s en Isla Cozumel (De la Torre, 1978). A partir de entonces este recurso ha sido fuente de ingresos para los pescadores que extraen el recurso, así como para los artesanos que se dedican a la manufacturación de las piezas y de un gran número de comerciantes que venden estos productos al turismo (Kenyon, 1984; Sosa *et al.*, 1993).

Desde su inicio, y durante casi 30 años, el recurso se obtenía únicamente de Isla Cozumel. Al principio, la colecta de coral negro se realizaba a

pulmón a una profundidad alrededor de los 25 m (De la Torre, 1978), pero en los años 70s, la introducción del buceo como arte de pesca permitió explotarlo a mayor profundidad, en donde es más abundante. El auge en la industria del coral negro provocó una sobre-explotación progresiva hacia sitios cada vez más profundos, de modo que en la década de los 90s los pescadores tenían que realizar inmersiones a más de 70 m de profundidad para lograr su captura (Camarena, 1996). El método de captura consiste en localizar los bancos mediante buceos prospectivos, y una vez que se ha elegido el sitio, 2 ó 3 pescadores realizan una inmersión para cortar las colonias con una segueta y

amarrarlas a un globo que las lleva a la superficie para ser recuperadas por la embarcación de apoyo. Esta actividad lleva asociado un alto riesgo de sufrir accidentes durante el buceo por la profundidad de la inmersión, además de que los pescadores no obedecen los procedimientos estándares de buceo y realizan sus paradas de descompresión de manera arbitraria. Así, estos pescadores frecuentemente sufren accidentes por mala descompresión y han necesitado tratamiento de cámara hiperbárica en varias ocasiones, e incluso se han reportado casos de muerte.

Esta situación representó un problema biológico y social, ya que la escasez del recurso en las partes someras motivó a los pescadores a bucear cada vez más profundo, incrementando el riesgo asociado a esta actividad. Por lo tanto, en 1995, las autoridades decidieron cerrar definitivamente la Isla de Cozumel como área de captura, y se hizo evidente el agotamiento de los bancos de coral negro ocasionado por la explotación que sostuvieron durante 30 años.

Después del cierre de Cozumel como área de captura, se llevó a cabo un estudio para analizar la factibilidad de explotar los bancos de coral negro en la parte oriental de Isla de Cozumel y en la franja costera entre Punta Maroma (20°43'N, 86°57'W) y Tulum (20°13'N, 87°25'W) (ver Camarena, 1996); y en febrero de 1996 se otorgó un permiso por un año a 4 buzos para extraer 100 kg mensuales de coral bruto (25 kg cada uno) en esa área. Sin embargo, el sitio resultó ser no apto para la captura, debido a la baja densidad de colonias de coral negro. Al término de éste permiso, las autoridades habían decidido suspender definitivamente los permisos, debido a las irregularidades de la actividad y a la necesidad de realizar estudios más completos en la zona. A pesar de esto, los pescadores solicitaron extraer coral negro en la parte sur del estado, en el área que abarca de Pulticub (19°06'N, 87°33'W) a Majahual (18°43'N, 87°42'W), y en el mes de mayo de 1997 se les autorizó una captura de 150 kg mensuales en el área requerida, otorgando el permiso a 3 pescadores. Adicionalmente a esta cuota, y como apoyo social, se destinaron 25 kg de coral negro para ser trabajados por artesanos del Centro de Readaptación So-

cial en Chetumal. Al año siguiente, el área de captura se extendió en su extremo sur, hasta Punta Herradura (18°32'N, 87°44'W), y a partir de entonces, los pescadores han solicitado continuamente la ampliación del área de captura, cada vez más hacia el sur, de modo que en los últimos años se ha autorizado la extracción de coral negro de Pulticub a Río Huach (18°27'N, 87°45'W).

Esta situación refleja la problemática existente en torno a la regulación de esta actividad extractiva. La causa principal que ha impedido establecer medidas eficientes para el manejo y conservación de este recurso es la falta de elementos técnicos, debido a la escasez de estudios científicos sobre aspectos básicos de la biología y ecología de estos organismos. Los estudios que existían hasta la década pasada sólo tratan aspectos muy generales de la pesquería y de su importancia social (De la Torre, 1978; Kenyon, 1984; Sosa, *et al.*, 1993; Barragán, 1994; Boletín Caribe, 1997). Debido a esta falta de información, la identidad taxonómica de las especies que se explotan comercialmente era desconocida hasta finales de la década de los 90s, y únicamente se contaba con la experiencia de los pescadores, quienes reconocen tres tipos de coral: el pino, el blanco y el cilantro (Camarena, 1996). Sin embargo, la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (D.O.F., 1994) incluye 3 especies de coral negro bajo protección especial: *Antipathes dichotoma* (citada incorrectamente como *A. bichitoena*), *A. grandis* y *A. ulex* (citada como *A. ules*).

De esta manera, las restricciones de captura que se han impuesto para la extracción de coral negro han sido muy irregulares; la asignación de cuotas de captura ha variado entre 50 y 100 kg mensuales de producto bruto y las restricciones de tamaño mínimo de colecta entre 2 y 2.5 cm de diámetro del tallo. Estas variaciones han obedecido a la demanda del producto en el mercado y a las presiones sociales, en vez de servir como instrumentos para asegurar un uso sustentable del recurso basados en el conocimiento de su potencial biológico. Así, su explotación incontrolada ha puesto en riesgo a las poblaciones de coral negro, pudiendo ocasionar su extinción como recurso en las costas de Quintana Roo.

ESTUDIANDO LAS POBLACIONES DE CORAL NEGRO EN MÉXICO

Ante la problemática de una deficiente regulación de la captura de coral negro, el Centro Regional de Investigación Pesquera Puerto Morelos del Instituto Nacional de la Pesca, inició en 1997 un proyec-

to para hacer un diagnóstico de las condiciones actuales de las poblaciones de coral negro en el Caribe Mexicano y evaluar la factibilidad de uso sustentable de este recurso (ver Padilla, 1997, 1998,



Manejo Costero en México

1999, 2000, 2001 y 2004 y Padilla y Lara, 2003a y b).

El área de estudio de estos trabajos comprende 4 regiones: 3 de ellas corresponden a los sitios en donde se ha explotado el coral negro: Isla Cozumel, Norte de Quintana Roo (Punta Maroma a Tulum) y Sur del Estado (de Pulticub a Río Huach); además de Banco Chinchorro en donde nunca se ha capturado el coral negro con fines comerciales.

En estos estudios se han implementado diversos métodos de muestreo y técnicas de análisis demográfico para generar información que ha dado sustento a algunas recomendaciones de manejo del recurso, mismos que se describen en los citados trabajos, y se resumen a continuación:

a) Videotransectos: Se hizo una prospección general del área de estudio mediante videotransectos, para lo cual se utilizó una cámara submarina operada a control remoto Phantom HD2 (Fig. 1a). Se obtuvo una descripción preliminar de la distribución geográfica y batimétrica de las poblaciones de coral negro que actualmente existen en esos sitios. Los videotransectos se llevaron a cabo en 22 localidades: 7 en el Norte, 4 en Isla Cozumel, 6 en el Sur y 5 en Banco Chinchorro. Cada videotransecto tuvo una duración entre 30 y 80 minutos, abarcando una distancia de muestreo entre 500 y 2,100 m cada uno.

b) Muestreo para mediciones *in situ*: Se realizaron inmersiones en un total de 56 localidades: 14 en el área Norte, 17 en Isla Cozumel, 22 en el Sur y 6 en Banco Chinchorro, para determinar la composición específica, estimar la abundancia y el tamaño de las colonias de coral negro en cada sitio. El muestreo se realizó mediante buceo autónomo con mezcla de gases TRIMIX, y se obtuvieron me-

didias del largo, ancho y diámetro de la base de las colonias para estimar su tamaño. Para la identificación de las especies se consultaron las guías disponibles (Cairns *et al.*, 1993; Opresko, 1996, Opresko y Carins, 1992) Los buceos se llevaron a cabo en un rango de profundidad entre 25 y 80 m sobre la pared del cantil arrecifal, abarcando en cada muestreo un área que varió entre 120 y 2,600 m², dependiendo del tiempo de cada inmersión, la distancia recorrida y el rango de profundidad abarcado.

c) Exploración con submarino: Se participó en el crucero de investigación Sustainable Seas Expedition, en mayo del 2001, a través de una colaboración entre The National Geographic Society y la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) de los Estados Unidos. En dicho crucero se realizó una exploración de los arrecifes del Caribe Mexicano hasta una profundidad de 120 m, estudiando las poblaciones de coral negro. Para ello se utilizó el sumergible Deepworker 2000 (Fig. 1b), el cual es un pequeño submarino, totalmente autónomo, con capacidad para una persona y fabricado por la compañía Nuytco Research.

d) Estaciones de monitoreo: Se establecieron estaciones de monitoreo en 3 localidades, en las cuales se llevó a cabo el seguimiento de 112 colonias de coral negro: 48 en Isla Cozumel, 34 en Cancún y 30 en Akumal, durante un período de 2 años para estimar los parámetros demográficos básicos de sobrevivencia, reclutamiento, crecimiento y mortalidad parcial.

e) Transplantes de fragmentos: Se obtuvieron 15 fragmentos de colonias de coral negro, de 10 a 20 cm de longitud, y se fijaron

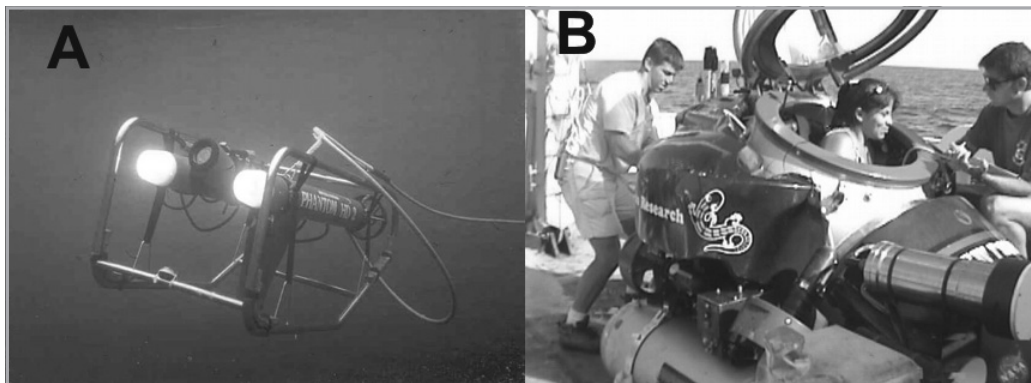


Figura 1. Métodos utilizados para el estudio de las poblaciones de coral negro: a) Vehículo de filmación operado a control remoto "Phantom HD2", b) Sumergible uniplaza Deepworker 2000, fabricado por la compañía Nuytco Research.

artificialmente al sustrato con pegamento epóxico, y se siguieron por un período de 2 años para estimar la capacidad de regeneración de las colonias.

f) Anillos de crecimiento: Se obtuvieron cortes transversales de 46 colonias para contar el número de anillos de crecimiento. Se hicieron correlaciones entre el número de anillos y el tamaño de las colonias, para hacer una estimación relativa de la edad de las mismas.

g) Crecimiento y dinámica poblacionales: Las estimaciones de los parámetros demográficos sirvieron para construir un modelo demográfico a partir de una matriz de Leftkovich, y mediante proyección matricial se esti-

maron tasas del crecimiento de la población y parámetros básicos de su dinámica poblacional.

h) Simulación de escenarios y análisis de sensibilidad: A partir del modelo matricial se llevó a cabo una simulación de escenarios con diferentes porcentajes de mortalidad por pesca para evaluar el efecto de la actividad extractiva sobre el crecimiento poblacional. Y mediante un análisis de sensibilidad se estimó la contribución relativa de los parámetros demográficos al crecimiento poblacional, y se hicieron inferencias sobre las características de historia de vida de estas poblaciones. Toda la información generada sirvió para hacer una evaluación del potencial de uso sustentable de este recurso.

CONOCIMIENTO ACTUAL DE LAS POBLACIONES DE CORAL NEGRO EN EL CARIBE MEXICANO

COMPOSICIÓN DE ESPECIES Y SU ABUNDANCIA

El coral negro en el Caribe mexicano habita en los arrecifes profundos y alcanza su mayor abundancia en el cantil arrecifal, en un rango entre los 36 y los 100 m de profundidad. Por primera vez se tiene un registro de las especies de coral negro que existen en este lugar, encontrando 8 especies: 7 del género *Antipathes* y 1 del género *Stichopathes*, de las cuales sólo 2 se explotan comercialmente: *A. pennacea* y *A. caribbeana*. La identificación taxonómica de los ejemplares colectados para determinar el

número de especies fue validada por el Dr. Denisse Opresko, del Oak Ridge National Laboratory, y por el Dr. Stephen Cairns del National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. En la región norte se registró el menor número de especies, mientras que en Banco Chinchorro se encontraron ejemplares de las 8 especies. *A. pennacea* fue la especie dominante, mientras que *A. caribbeana* tiende a una incrementar su abundancia relativa hacia la región sur y Banco Chinchorro. El resto de las especies tienen abundancias variables entre regiones (Tabla 1).

Tabla 1. Composición específica y abundancia relativa por especie. Se presenta el porcentaje de abundancia relativa por especie para 4 regiones del Caribe Mexicano.

Especie	Norte	Cozumel	Sur	Chinchorro
<i>A. atlantica</i>	12.2	17.4	10.3	7.0
<i>A. caribbeana</i>	3.14	10.8	27	56.2
<i>A. gracilis</i>	5.23	7.9	10.3	8.7
<i>A. hirta</i>	1.05	0	0.9	5.3
<i>A. lenta</i>	0	0.2	4.2	3.5
<i>A. pennacea</i>	78.4	61.6	47.3	17.6
<i>A. tanacetum</i>	0	2.1	0	1.7
<i>Stichopathes lutkeni</i>	s/d	s/d	s/d	s/d
No. spp	6	7	7	8

*s/d = sin determinar. Especie que crece en forma de látigo. No se contabilizó el número de colonias en los sitios de muestreo. Solamente se registró su presencia.



Manejo Costero en México

Las poblaciones de coral negro presentan una abundancia y distribución variables en las 4 regiones del área de estudio (Tabla 2). En la región norte y en Isla Cozumel las poblaciones son escasas y presentan una distribución más o menos uniforme, de modo que en toda el área hay presencia de colonias de coral negro, pero ningún sitio tuvo altas densidades, a excepción de la localidad de Paamul en el Norte (Figs. 2 y 3). En cambio, en la región sur y en Banco Chinchorro las poblaciones de coral negro presentan una distribución agregada, con sitios de alta densidad denominados “bancos”, y áreas extensas en donde no hay presencia de estos organismos (Fig. 4). El muestreo en Banco Chinchorro no fue tan intensivo como en los sitios en donde se captura el coral negro, ya que el proyecto estuvo enfocado a evaluar la condición de las poblaciones que han sido explotadas, por lo que no se pudo realizar un mapa de distribución de toda la zona.

Al analizar la altura de las colonias de *A. pennacea*, que fue la especie más abundante, se observó que en la región Norte las colonias tienden a ser de menor tamaño, siendo escasas las colonias que alcanzan la talla comercial de más de 1 m de altura y 2 cm de diámetro de la base. En cambio, en la región Sur y en Banco Chinchorro las colonias grandes representan un mayor porcentaje de la población (Fig. 5).

ta el tamaño de las colonias, de modo que las colonias de la categoría III (altura mayor a 1 m) son las que presentaron un incremento mensual mayor (Fig. 6).

La mortalidad total se estimó en un 5% de las colonias marcadas en las estaciones de monitoreo, en un período de 2 años. El 65% de las colonias que desaparecieron eran de tamaño pequeño, con una altura menor a 50 cm, y presentaban signos de mortalidad parcial por sobrecrecimiento de organismos epibiontes en sus ramas y de esponjas creciendo alrededor de su base de fijación y tallo principal.

En cuanto a la regeneración de los fragmentos que se fijaron artificialmente con pegamento epóxico se tuvo una sobrevivencia del 100%, tanto de las colonias donadoras como de los fragmentos fijados, en el lapso de 2 años. Los resultados preliminares de estas observaciones motivan a pensar que la capacidad de regeneración de colonias de coral negro permite la formación de nuevas colonias a partir de fragmentos fijados artificialmente con pegamento epóxico, de modo que esta característica debe ser analizada como una alternativa de manejo en estudios posteriores, ya sea con fines de cultivo y/o restauración, o como un criterio para establecer mecanismos de colecta menos dañinos a las poblaciones explotadas.

CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA

El incremento en la altura de las colonias varió entre 0.3 y 1.9 cm mensuales, mostrando diferencias entre las especies, así como entre 3 categorías de talla que se definieron para la especie *A. pennacea*. La especie *A. caribbeana*, tuvo un crecimiento mensual promedio alto, con una alta variabilidad entre colonias. En cambio, las colonias de coral negro con forma de abanico (*A. atlantica* y *A. gracilis*) mostraron un bajo incremento en la altura. En el caso de *A. pennacea* se observó que el crecimiento tiene una tendencia a ser mayor conforme aumen-

DETERMINACIÓN DE LA EDAD

El número de anillos de crecimiento que se contó en los cortes transversales de los tallos se consideró un estimador de la edad relativa de las colonias, debido a que la información bibliográfica que existe hasta el momento no permite asegurar que la formación de un anillo de crecimiento, originada por la depositación alternada de bandas de alta y baja densidad, ocurra anualmente (Goldberg, 1991; Kim, Goldberg y Taylor, 1992; Goldberg y Taylor, 1996). Actualmente se están realizando investigaciones que pretenden encontrar la relación

Tabla 2. Densidad por región. Para cada región se presenta el número de sitios trabajados, el total de colonias de coral negro medidas y el área de muestreo. Se presenta un cálculo de densidad promedio, así como la densidad mínima y máxima que se estimó en los diferentes sitios de cada área.

Región	Sitios	Colonias	Área de Muestreo (m ²)	Densidad col/m ²	Rango de Densidad col/m ²
Norte	14	286	4,744	0.061	0.005 - 0.560
Cozumel	17	380	9,889	0.038	0.005 - 0.140
Sur	22	330	9,278	0.035	0.000 - 0.450
B. Chinchorro	6	57	168	0.339	0.050 - 1.300

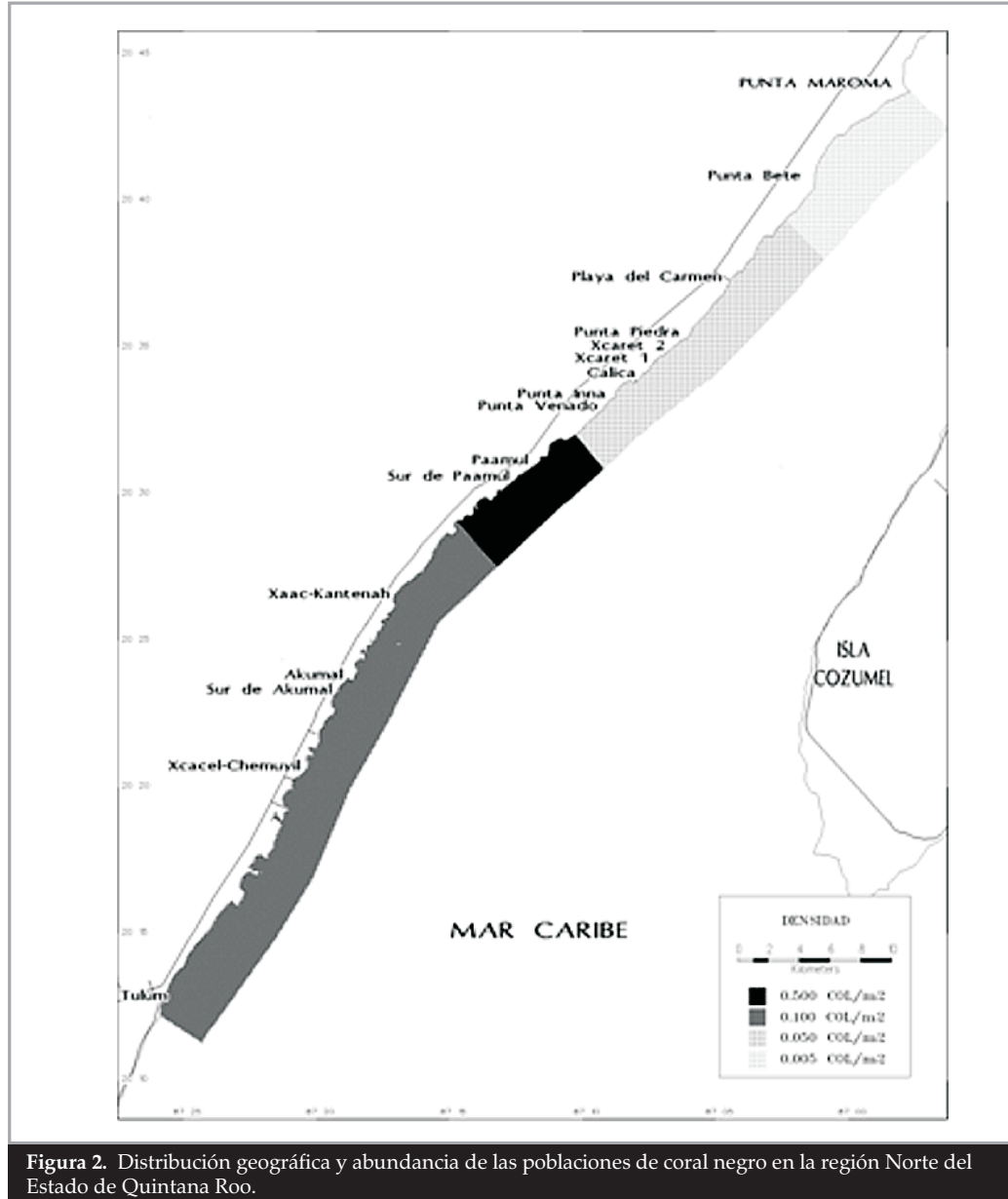


Figura 2. Distribución geográfica y abundancia de las poblaciones de coral negro en la región Norte del Estado de Quintana Roo.

entre el número de anillos de crecimiento depositados y la edad del organismo, utilizando marcadores, tanto colorantes como radioactivos, para corroborar el número de anillos que se depositan por periodo de tiempo (Goldberg, com. pers.).

Por este motivo, el número de años de una colonia de coral negro no se pudo determinar a partir del número de anillos de crecimiento contados, por lo que este parámetro se consideró únicamente como un estimador cualitativo y relativo de la edad, suponiendo que las colonias con mayor número de anillos son aquellas que tienen mayor edad, sin poder precisar el número de años que esa colonia ha vivido.

De esta manera, se estimó la correlación que existe entre este parámetro (número de anillos de crecimiento) y los diferentes estimadores de tamaño que se emplearon en este estudio. La primera asociación que se exploró fue entre el diámetro de la muestra y el número de anillos, encontrando que existe una correlación significativa ($R=0.43$, $p<0.05$). La correlación que existe entre estos dos parámetros es más fuerte si se considera únicamente a las colonias de la especie *A. pennacea* ($R=0.46$, $p<0.05$). Por otro lado, la correlación que guarda el número de anillos con la altura de las colonias también es significativa ($R=0.34$, $p<0.05$), siendo más alta para la especie *A. pennacea* ($R=0.42$, $p<0.05$). En cuanto al ancho de las colo-



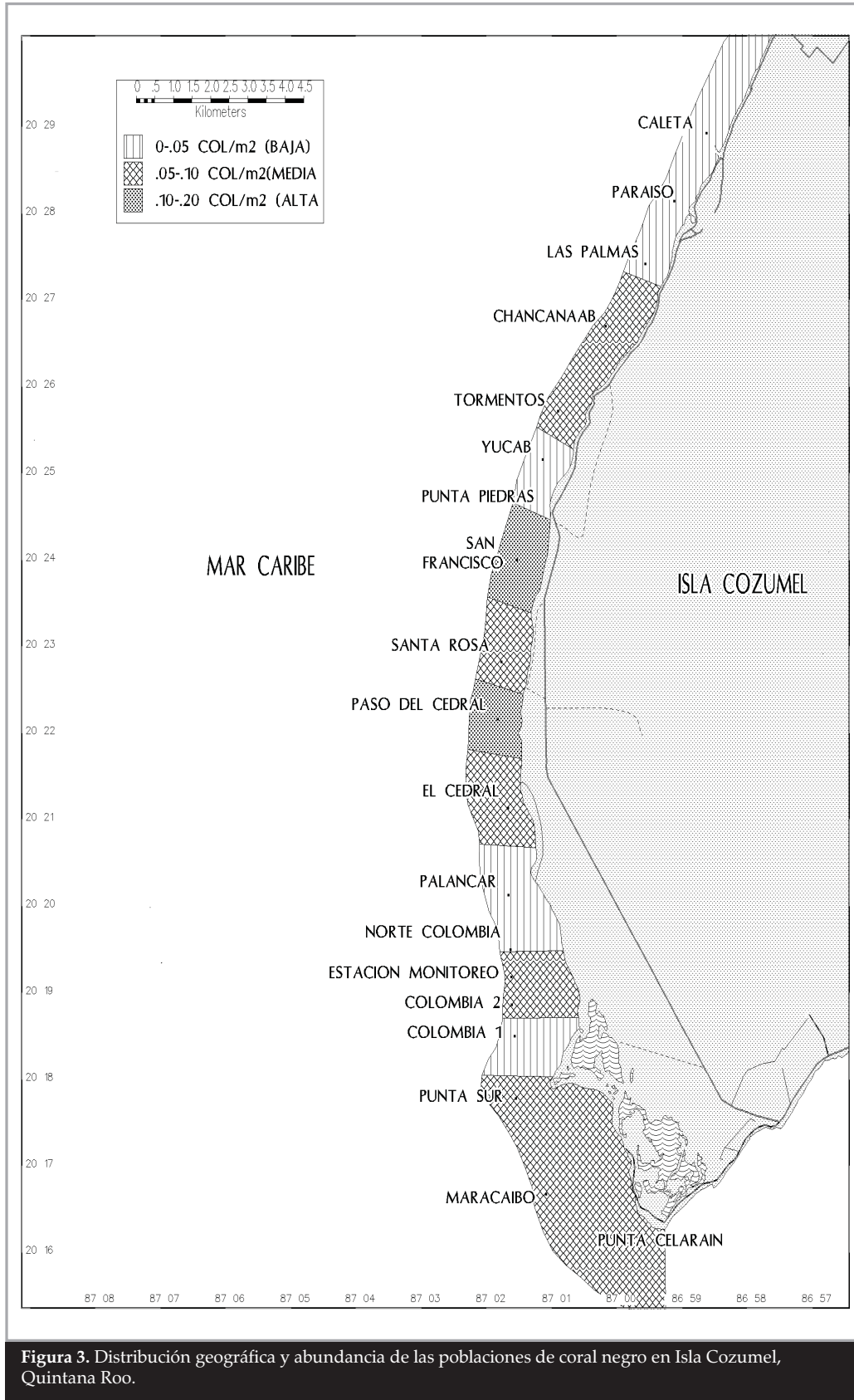
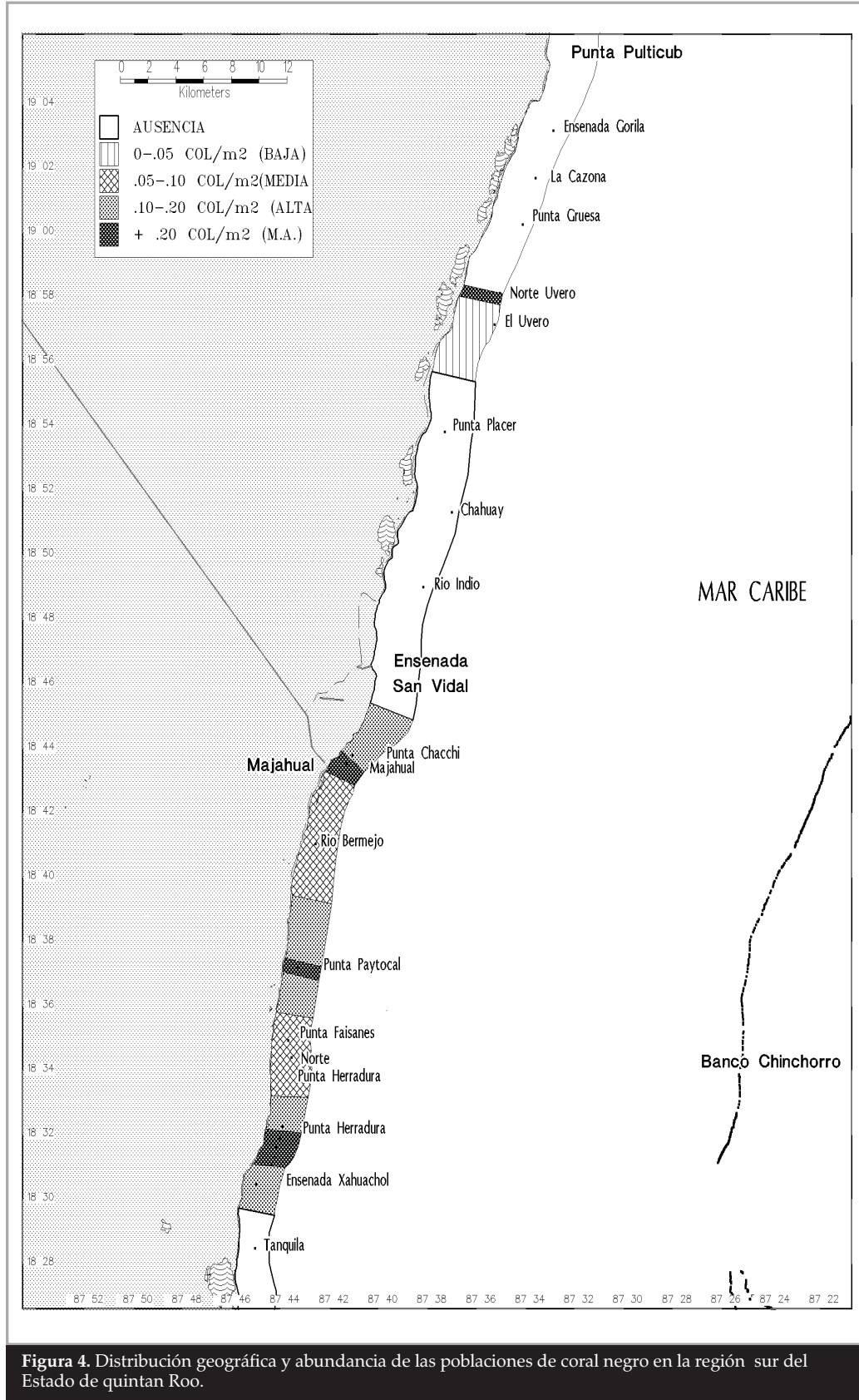


Figura 3. Distribución geográfica y abundancia de las poblaciones de coral negro en Isla Cozumel, Quintana Roo.



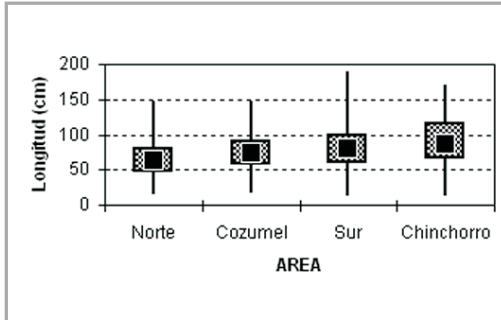


Figura 5. Tamaño de las colonias de *A. pennacea* en 4 áreas del Caribe Mexicano. La caja muestra el 50% de la población (25-75 percentiles), el promedio se representa por el pequeño cuadro negro, y las líneas indican el rango de tamaño.

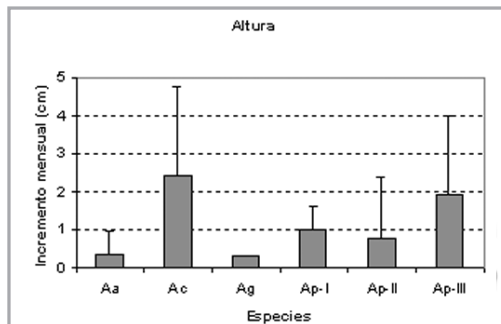


Figura 6. Incremento mensual en la altura de las colonias de coral negro en la estación de monitoreo. Aa=*A. atlantica*, Ac=*A. caribbeana*, Ag=*A. gracilis*, Ap=*A. pennacea*: I=<50 cm, II=50-100 cm, y III=>100cm de altura.

nias, no existe asociación con el número de anillos, ya que el índice de correlación fue muy bajo ($R=0.045$, $p<0.05$).

ANÁLISIS DEMOGRÁFICO

El análisis demográfico se llevó a cabo para las poblaciones de *A. pennacea*, a través de una estructura de estados basada en un índice alométrico que define el tamaño de las colonias y su relación con la edad. El índice considera el diámetro del tallo principal como primer criterio, debido a que mostró una asociación más fuerte con el número de anillos, modificado por la altura y el ancho de la colonia de acuerdo con el siguiente índice:

$$I = D * (A / h)$$

I= Índice alométrico

D= Diámetro del tallo principal de la colonia

A= Ancho máximo de la colonia

h= Altura máxima de la colonia

Este índice toma valores desde 0.06 hasta 4.38 en la muestra de 390 colonias de coral negro de la especie *A. pennacea* que se midieron durante este estudio, teniendo un rango de 4.32. Se definieron 5 clases de tamaño, con intervalos de clase equidistantes, según se muestran en la Tabla 3. La relación entre la estructura de tamaños y la edad de las colonias se analizó a partir de la variación en el número de anillos que presentan las colonias de cada una de las clases de tamaño definidas a partir de este índice alométrico, para lo cual se aplicó un análisis de varianza de una vía por rangos de Kruskal-Wallis. El resultado de este análisis mostró que existen diferencias significativas entre las clases ($H=9.8$, $g.l.=4$, $p<0.05$), por lo que se puede considerar que la estructura definida a partir del índice alométrico agrupa las características del tamaño y de la edad de las colonias (Tabla 3).

Tabla 3. Diferencias en el número de anillos entre las clases de tamaño-edad definidas a partir del índice alométrico.

Clase	Índice D(A/h)	Media	25%	75%
I	< 0.75	7.5	6.0	9.0
II	0.75-1.50	8.0	7.0	10.0
III	1.50-2.25	9.0	7.0	10.25
IV	2.25-3.00	10.0	8.0	13.0
V	> 3.00	11.0	9.0	13.0

La estructura de tamaño-edad para la especie *A. pennacea*, definida a partir del índice alométrico que incorpora la relación entre el tamaño y edad de las colonias muestra que existe un elevado número de colonias pertenecientes a la clase I, con un decremento gradual hacia la clase mayor (V). Este patrón es más marcado en la zona norte, y menos evidente en la zona sur (Fig. 7)

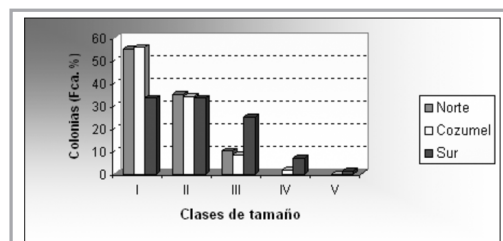


Figura 7. Estructura de tamaño-edad para la población de *A. pennacea*, para 3 regiones del área de estudio: Norte, Isla Cozumel y Sur del estado de Quintana Roo. Clases de tamaño: I<0.75, II=0.75-1.50, III=1.50-2.25, IV=2.25-3.00, V>3.00).

Una vez definido el índice alométrico y la estructura de tamaño-edad se estimó la tasa a la que ocurren algunos parámetros demográficos básicos en las poblaciones de coral negro que se trabajaron en el monitoreo de este estudio. Los procesos demográficos que se consideraron son: crecimiento (C), permanencia (P), decremento (D), mortalidad (M) y reclutamiento (R), definidos de la siguiente manera:

- **Crecimiento (C):** Probabilidad de que una colonia pase a la clase superior inmediata en el lapso de tiempo de un año, a causa de su incremento en tamaño.
- **Permanencia (P):** Probabilidad de que una colonia permanezca en la misma clase de tamaño-edad en un período de un año.
- **Decremento (D):** Probabilidad de que una colonia pase a la clase inferior inmediata en un año, a causa de pérdida de tejido por mortalidad parcial.
- **Mortalidad (M):** Probabilidad de que, en un año, una colonia perteneciente a una determinada clase de tamaño-edad desaparezca de la población, ya sea por mortalidad natural o por mortalidad inducida (extracción por pesca).
- **Reclutamiento (R):** Probabilidad de que, en el transcurso de un año, una colonia ingrese a la población y se reclute a la primera clase de tamaño-edad a causa de su nacimiento.

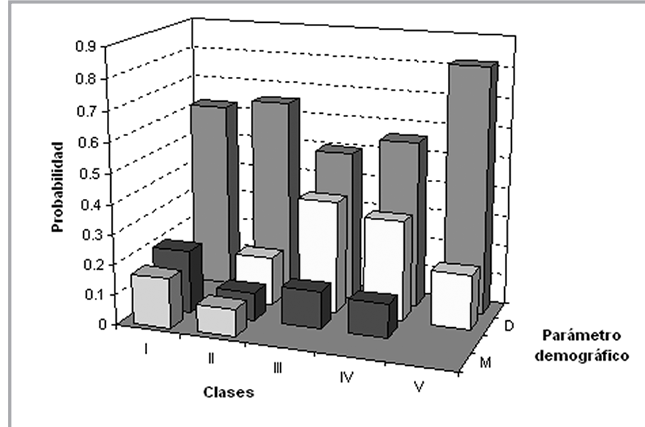


Figura 8. Parámetros demográficos por clase de tamaño-edad y probabilidad de ocurrencia. Clases: I<0.75, II=0.75-1.50, III=1.50-2.25, IV=2.25-3.00, V> 3.00. Procesos: Crecimiento (C), Permanencia (P), Decremento (D) y Mortalidad (M).

Tabla 4. Modelo de dinámica poblacional para las poblaciones de coral negro del Estado de Quintana Roo. La transferencia de colonias entre las clases (I<0.75, II=0.75-1.50, III=1.50-2.25, IV=2.25-3.00, V> 3.00) está definida por los siguientes procesos demográficos: Crecimiento (C), Permanencia (P), Decremento (D) y Mortalidad (M) del índice alométrico.

	I	II	III	IV	V
I	P	D		R	R
II	C	P	D		
III		C	P	D	
IV			C	P	D
V				C	P
Mortalidad (M)					

La tasa a la que ocurre cada uno de los procesos demográficos se estimaron para cada una de las clases de tamaño-edad (Fig. 8). Estos valores determinan las probabilidades de transición entre las clases para la elaboración del modelo de dinámica poblacional que se presenta más adelante.

El modelo de dinámica poblacional que se propone en este trabajo para las poblaciones de coral negro en el Estado de Quintana Roo está basado en la estructura de tamaño-edad que se definió a partir del índice alométrico, y en la tasa a la que ocurren los parámetros demográficos. De esta manera, la transferencia de colonias de una clase a otra está definida por un proceso demográfico específico, de acuerdo con el modelo matricial que se presenta en la Tabla 4.

El reclutamiento de nuevos organismos no fue evidente en el campo, por lo que se consideró que es poco frecuente. Sin embargo, para efectos de la elaboración del modelo de dinámica poblacional se trabajó bajo el supuesto de que existe un mínimo de cuatro colonias que ingresan anualmente a la población, por la contribución de dos colonias de cada una de las dos últimas clases de tamaño-edad (IV y V), las cuales se reclutan a la primera clase (I). De esta manera, la matriz de transición se obtuvo a partir de la probabilidad de transferencia de colonias entre clases de tamaño-edad, en el período de un año (Tabla 5).

La proyección matricial se llevó a cabo a partir de la matriz de transición y de la estructura de ta-



Manejo Costero en México

Tabla 5. Matriz de transición. Probabilidad de transición anual entre las clases tamaño-edad.

	I	II	III	IV	V
I	0.625	0.163		2	2
II	0.208	0.651	0.375		
III		0.093	0.500	0.333	
IV			0.125	0.555	0.182
V				0.111	0.818
Mortalidad (M)	0.166	0.093			

maño-edad que se estimó para cada una de las localidades del área de estudio. Este análisis muestra que la población tiende a decrecer en el tiempo, debido a que la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (λ) se estimó en 0.9931. Este mismo análisis mostró que existen diferencias entre las regiones del área de estudio, obteniéndose para la región sur una $\lambda=1.0003$, mientras que para la Isla de Cozumel $\lambda=0.9863$ y para la región norte una $\lambda=0.9578$. Este resultado indica que las poblaciones de coral negro en el Estado de Quintana Roo tienen un crecimiento poblacional muy lento, lo cual sugiere una alta vulnerabilidad de las mismas, de modo que una pequeña variación de sus tasas demográficas puede ocasionar un decremento gradual del tamaño poblacional, con una tendencia hacia la extinción del recurso.

La simulación de escenarios se llevó a cabo para evaluar el efecto de la captura sobre el crecimiento de las poblaciones de coral negro en la región sur del estado de Quintana Roo, que es el área autorizada para la captura de este recurso. La simulación consistió en suponer cambios en la tasa

de sobrevivencia (permanencia dentro de la misma clase) en las dos últimas clases de tamaño-edad, debido a que en estas clases se agrupan las colonias que por su tamaño y grosor del tallo están sujetas a explotación comercial. De esta manera se elaboraron cinco escenarios, que consideran una reducción en la sobrevivencia a causa de la mortalidad por pesca, de acuerdo a los porcentajes

Tabla 6. Simulación de escenarios con diferentes porcentajes de mortalidad por pesca y los valores de lambda obtenidos a partir de la proyección matricial.

Escenario	Mortalidad por pesca	Valor de λ
A	10% clase IV y 25% clase V	0.9681
B	25% clase V	0.9776
C	10% clase V	0.9876
D	5% clase V	0.9930
E	1% clase V	1.0001

que se presentan en la Tabla 6.

La proyección matricial que se realizó para los cuatro primeros escenarios que se simularon (A-D) arrojó valores de λ menores a 1, lo que significa que el efecto de captura altera el crecimiento poblacional, ocasionando un decremento gradual del mismo. De esta manera se estimó la mortalidad por pesca máxima que no ocasionara este efecto y permitiera obtener un valor de λ mayor a 1, lo cual se presenta en el escenario E. De esta manera se puede concluir que esta población solamente puede soportar una extracción del 0.1% de las colonias pertenecientes a la clase V sin ocasionar un deterioro gradual de su crecimiento (Tabla 6).

CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO

El coral negro es un recurso pesquero que ha sido poco estudiado en México. Los resultados del presente trabajo constituyen el primer registro sobre la identidad de las especies que existen en el Caribe mexicano, así como de su composición específica, abundancia y parámetros poblacionales, en sitios que han estado sujetos a explotación comercial. Esta información ha permitido establecer algunos elementos de juicio para evaluar si las poblaciones de coral negro que actualmente existen en el estado de Quintana Roo pueden soportar una explotación comercial, haciendo un uso sustentable del

recurso, y establecer algunas recomendaciones para el manejo de esta pesquería.

La elaboración de piezas de artesanía y joyería requiere de utilizar colonias de tallo grueso, de modo que las colonias pequeñas y medianas no se extraen. Además, el uso de buceo autónomo para la captura impone un límite máximo de 80 m de profundidad, por lo que existe una fracción de la población a mayor profundidad que permanece inaccesible a la captura. Así, se podría pensar que estas restricciones podrían funcionar como medi-

das de regulación de esta pesquería, ya que una parte de la población no está sujeta a extracción, pudiendo fungir como reservorio genético, fuente de larvas para el reclutamiento sexual y mantener el crecimiento poblacional. Sin embargo, el lento crecimiento que se estimó en este estudio, tanto de los organismos como de las poblaciones, impone una gran desventaja para el aprovechamiento del coral negro como recurso, ya que la demanda del producto en el mercado supera la tasa a la que las poblaciones pueden recuperarse naturalmente del efecto de captura. Esta situación ha provocado que los bancos de coral negro más importantes del Caribe Mexicano se hayan agotado debido a una sobreexplotación y que en los tres últimos años se haya tenido que buscar nuevas áreas de captura que corren el peligro de sufrir el mismo destino.

De esta manera, la explotación del coral negro debe regularse considerando las restricciones impuestas por la propia naturaleza de sus poblaciones. En primera instancia, la autorización de un área de captura debe considerar la abundancia del recurso y la presencia de bancos de coral negro en sitios con densidad mayor a 0.2 col/m², ya que las actividades extractivas en sitios con menor abundancia no son rentables para los pescadores por el esfuerzo de búsqueda, además de que promueve una sobreexplotación de la población. Bajo esta consideración las poblaciones de coral negro de la región norte y de Isla Cozumel no son aptas para extracción, mientras que en la región sur sitios con esta característica se reducen a ciertas localidades como El Ubero, Majahual y Punta Herradura.

Un segundo aspecto a considerar es el tamaño de las colonias, ya que si una población no presenta organismos que alcancen la talla comercial no deben estar sujetas a explotación, ya que sería removida una fracción importante de colonias que tienen mayor actividad reproductiva; además de que se fomentaría la extracción de colonias por debajo de la talla comercial. Bajo este criterio, el análisis de la estructura de tallas en este trabajo muestra que las poblaciones de la región norte y de Isla Cozumel no deberían ser explotadas, mientras que en la región sur podrían ser Majahual y Punta Herradura.

Otro aspecto que se requiere evaluar para determinar el potencial de uso sustentable es el tamaño poblacional de los bancos de coral negro sujetos a explotación, lo cual permitiría estimar la fracción de la población que está siendo removida a causa de las actividades de captura. El cálculo del tamaño poblacional se efectuó para los tres bancos de coral negro que se detectaron en la región sur del Estado de Quintana Roo, para lo cual se estimó: a) una densidad promedio para cada localidad, a partir de los valores de densidad obtenidos para cada uno de los sitios de muestreo que se trabajaron en cada una, y b) el área del banco, para lo cual se consideró la información recabada a partir de los videotranssectos realizados con el Phantom con respecto a la extensión (distancia) y la amplitud del rango de profundidad en el cual se observaron colonias de coral negro (Tabla 7).

Actualmente, la cuota de captura autorizada consta de 150 kg mensuales, lo cual corresponde a unas 450 colonias, considerando que aproximadamente 3 colonias pesan un kilo. Para estimar la fracción de la población que es removida por pesca se calculó la proporción de colonias que por su tamaño pueden ser extraídas con fines comerciales, considerando que pertenecen a las clases de tamaño-edad III, IV y V, lo cual corresponde al 22.3 % de la muestra para la parte centro y sur de la región sur. A partir de este porcentaje y el tamaño de la población calculado en la Tabla 7, se estimó el número de colonias que pueden ser susceptibles a la captura, así como el tiempo que podría llevarse a cabo esta actividad (Tabla 8). Estos resultados indican que la cuota asignada actualmente para la explotación del recurso en la región sur rebasa el potencial de la población, por lo que se recomienda que esta cuota sea modificada.

Por otro lado, el análisis demográfico revela una tasa de crecimiento poblacional muy baja, mientras que el modelo de dinámica poblacional refleja que la población podría soportar la extracción de solamente el 1% de colonias adultas, sin presentar un cambio brusco en su tasa de crecimiento poblacional. Por lo que los únicos lugares que poseen características demográficas que pudieran permitir llevar a cabo un uso sustentable del recurso son los

Tabla 7. Estimación del tamaño poblacional en tres localidades de la región sur en las cuales se detectó la presencia de bancos de coral negro.

Localidad	Densidad (col/m ²)	Extensión (m)	Amplitud (m)	Área del Banco (m ²)	N Poblacional (núm. colonias)
El Ubero	0.20	500	35	17,500	3,500
Majahual	0.37	1,000	30	30,000	11,100
P. Herradura	0.26	2,000	40	80,000	20,800



Manejo Costero en México

Tabla 8. Estimación del número de colonias susceptibles a la captura (colonias) y tiempo que la población podría soportar esta actividad (tiempo).

Localidad	Colonias	Tiempo (meses)
El Ubero	780	1.7
Majahual	2,475	5.5
P. Herradura	4,638	10.3

bancos de coral negro localizados en la región Sur del estado de Quintana Roo, en donde se encuentra concentrada la mayor abundancia de estos organismos, y que por la estructura de tamaño-edad que presentan sus poblaciones existen colonias que pueden ser sujetas a explotación comercial. Además, los resultados obtenidos indican que el actual ritmo de explotación que se está llevando a cabo en estas poblaciones puede rebasar la capacidad de recuperación natural de las mismas, ya que el número de bancos detectados mediante este estudio es muy bajo y la estimación que se obtuvo del área de los mismos es reducida, por lo que es posible que la explotación que actualmente se realiza en estas poblaciones no pueda continuarse por mucho tiempo sin afectar a la población. De esta manera resulta necesario modificar la regulación de las actividades extractivas que actualmente se llevan a cabo, para conservar el coral negro como recurso en los arrecifes del Caribe Mexicano.

Por otra parte, en el ámbito de la legislación nacional también es urgente realizar adecuaciones a la ley, ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL1994 (DOF, 1994) y su actualización NOM-059-ECOL-2001 (DOF, 2002) para la protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres, incluyen 3 especies de coral negro bajo el régimen de sujetas a protección

especial, mismas que han sido reportadas en Hawaii (Grigg, 1976; 1993; 1994) y que ahora sabemos no existen en el Caribe Mexicano, y muy probablemente en ninguna otra parte de nuestro país. Esta incongruencia va más allá del desconocimiento de la identidad taxonómica de las especies de coral negro que existían en México al momento de la publicación de dicha Norma, ya que 2 especies están mal citadas, refiriéndose a *A. dichotoma* como *A. bichitoea*, (existiendo errores de cita diferentes en cada una de las revisiones de la citada NOM) y a *A. ules* como *A. ulex*.

En este sentido, durante el proceso de revisión de la citada norma que ha venido llevando a cabo la CONABIO, el CRIP Puerto Morelos del INP ha aportado los elementos técnicos necesarios para justificar la modificación de la NOM en este rubro, tendiente a buscar la protección de las especies de coral negro que existen en el Caribe Mexicano. Bajo este criterio, y considerando la información generada en los estudios que ha llevado a cabo y que se presentan en este trabajo, la opinión técnica del CRIP es que la explotación comercial del coral negro es una actividad que no puede llevarse a cabo de una manera sustentable por más tiempo. Una vez que los bancos de coral negro de Isla Cozumel se agotaron después de ser explotados por 30 años, los pescadores se han dedicado a buscar nuevas áreas de captura, empleando una estrategia de manejo de sistema rotativo de explotación, en donde los sitios se explotan hasta agotar el recurso y luego se abandona para permitir su descanso y recuperación. Sin embargo, debido a que los bancos de coral se agotan rápidamente y que el tiempo necesario para que una población sobre-explotada se recupere puede ser muy largo en términos antropocéntricos, esta táctica parece orillarnos a estar buscando constantemente nuevos bancos de extracción, lo cual pone en riesgo de extinguirlo como recurso en nuestras costas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por la Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO/M-160) y por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN/A1-97-023). Se agradece el apoyo de Amigos de Sian

ka'an, A. C. y la participación en el trabajo de campo de Mario Lara, Rosa Loreto, Juan Carlos Huitrón, José Hernández, Germán Yáñez, Ricardo García, Roberto Ibarra y Donaldo Martínez.

LITERATURA CITADA

- Barragán, S., 1994.** La extracción de coral negro en el municipio de Cozumel, Quintana Roo, México. *Manifestación de Impacto Ambiental*. México. 97p.
- Boletín Caribe, 1997.** Coral Negro. Delegación Quintana Roo, SEMARNAP. 10p.
- Cairns, S., D. Opresko, T. Hopkins, y W. Schroeder, 1993.** New records of deep-water Cnidaria (Scleractinia & Antipatharia) from the Gulf of Mexico. *Northeast Gulf Sci*, 13: 1-11.
- Camarena, T., 1996.** Análisis de las posibilidades de otorgar permisos de pesca de coral negro en Cozumel. Reporte final. SEMARNAP. Cozumel, México. 12p.
- De la Torre, R., 1978.** Coral negro: Un recurso o una especie en peligro, p. 158-163. *In: Proceedings of the thirty-first annual meeting*. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Florida, USA.
- Grigg, R. W., 1976.** Fishery Management of Precious and Stony Corals in Hawaii. The University of Hawaii Sea Grant Program. UNIH-SEGRANT-TR-77-03. pp.15-31.
- Grigg, R. W., 1993.** Precious coral fisheries of Hawaii and the U.S. Pacific Islands. *Mar. Fish. Rev.*, 55: 50-60.
- Grigg, R. W., 1994.** History of the precious coral fishery in Hawaii. *Precious Corals and Octocoral Research*, 3: 1-18.
- Kenyon, J., 1984.** Black coral off Cozumel. *Sea Frontiers*, 30: 5267-5272.
- Diario Oficial de la Federación (DFO), 1994.** Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994). Diario Oficial de la Federación. Tomo CDLXXXVIII No. 10, México, D.F. 16 de mayo, 1994.
- Diario Oficial de la Federación (DFO), 2002.** Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001). Diario Oficial de la Federación. México, D.F. 6 de marzo, 2002.
- Opresko, D., 1996.** New species of black coral (Cnidaria: Anthozoa: Antipatharia) from the Caribbean. *Bull. Mar. Sci.*, 58: 289-300.
- Opresko, D., y S. Cairns, 1992.** New species of black coral (Cnidaria: Antipatharia) from the Northern Gulf of Mexico. *Northeast Gulf Sci.*, 12: 93-97.
- Padilla, C., 1997.** Prospección de las poblaciones de coral negro en Banco Chinchorro. *CRIP Puerto Morelos Informa*, 4: 8-10.
- Padilla, C., 1998.** Descripción de los bancos de coral negro en la región centro-norte de Quintana Roo. Final report. CRIP-Puerto Morelos, INP/CONABIO. Mexico. 62p.
- Padilla, C., 1999.** El coral negro ¿un recurso renovable o no? *Boletín Amigos de Sian Ka'an*, 18: 10-14.
- Padilla, C., 2000.** Evaluación del potencial de uso sustentable del coral negro en Isla Cozumel y parte sur de Quintana Roo. Reporte final. CRIP-Puerto Morelos, INP/FMCN. Mexico. 70p.
- Padilla, C., 2001.** El coral negro, un recurso en la profundidad. *Biodiversitas*, 35: 7-10.
- Padilla, C., 2004.** Caracterización de una comunidad de coral negro que no ha sido explotada. *Boletín Amigos de Sian Ka'an*, 19: 31-34
- Padilla, C., y M. Lara, 2003a.** Banco Chinchorro: The last shelter for black coral in the Mexican Caribbean. *Bull. Mar. Sci.*, 73(1):197-202.
- Padilla, C., y M. Lara, 2003b.** Descripción de las poblaciones de coral negro en Quintana Roo. Sian ka'an. Serie Documentos 6 (en prensa).
- Sosa, E., A. Medina, A. Ramírez, M. Domínguez, y W. Aguilar, 1993.** Invertebrados marinos explotados en Quintana Roo, p. 709-734. *In: Salazar, S. y N. González (Eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO-CIQRO. 865 p.



Manejo Costero en México