

Informe final* del Proyecto DM007
Monitoreo complementarios de algas, invertebrados y peces en el Parque Nacional
Arrecifes de Cozumel

Responsable: Dr. Héctor Reyes Bonilla
Institución: Universidad Autónoma de Baja California Sur
Dirección: Carretera al Sur Km 5.5, Mezquito, La Paz, BCS, 23081 , México
Correo electrónico: hreyes@uabcs.mx
Teléfono/Fax: Tel: 01(612)123 8800 ext 4160 Fax: 01(612)123 8819
Fecha de inicio: Abril 28, 2006
Fecha de término: Septiembre 29, 2011
Principales resultados: Cartografía, hojas de cálculo, informe final, fotografías
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Reyes Bonilla, H. 2011. Monitoreo complementarios de algas, invertebrados y peces en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Universidad Autónoma de Baja California Sur. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. DM007** México D. F.
Forma de citar hojas de cálculo: Reyes Bonilla, H. 2011. Monitoreo complementarios de algas, invertebrados y peces en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Universidad Autónoma de Baja California Sur. **Hojas de cálculo SNIB-CONABIO, proyecto No. DM007** México D. F.

Resumen:

En la actualidad los arrecifes de la isla están siendo revisados con periodicidad semestral por personal del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC) como parte de los compromisos del Gobierno de la República con el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), y para el monitoreo se están siguiendo las directrices presentadas en el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM (Almada Villela et al., 2003). Los trabajos de campo se están conduciendo en seis arrecifes considerados como prioritarios por las autoridades del PNAC: Paraíso, Chankanaab, Yucab, Paso del Cedral, Dalila y Colombia (Millet Encalada et al., 2008; Fig. 1). Además, en estos arrecifes y otros se están aplicando esporádicamente varios otros protocolos de manera independiente, todos con el fin de caracterizar y evaluar el estado del ecosistema. Entre ellos podemos citar los de los proyectos Reef Check, REEF y AGRRA (Hodgson, 2000; Pattengill-Semmens y Semmens, 2003). Toda esta información está disponible para que la administración del PNAC apoye sus decisiones. Sin embargo, el volumen de la documentación es extenso y la mayoría de registros no han sido catalogados y analizados, por lo que no se puede hacer uso eficiente de esos datos para detectar cambios en las comunidades, o poner en práctica acciones de manejo. Para ayudar en la solución de este problema, el presente proyecto tiene como fin ordenar y sistematizar toda la información existente sobre las especies de interés para monitoreo en los arrecifes de Cozumel, actualizar nuestro conocimiento de la situación de los biomas, y luego apoyar en el seguimiento a largo plazo de la salud de los arrecifes de la isla.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

INFORME FINAL

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso
de la Biodiversidad (CONABIO)

**“Monitoreo complementario de algas,
invertebrados y peces en el Parque Nacional
Arrecifes de Cozumel: Primera Etapa”**

PROYECTO FB1168/DM007/06

Responsable: Dr. Héctor Reyes Bonilla

Técnicos: B.M. Laura Elena Escobosa González

B.M. Patricia Alexandra Alvarez del Castillo Cárdenas

La Paz, B.C.S., a 11 de Abril de 2010.

I. INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de la Isla de Cozumel constituyen uno de los biomas de su tipo más importantes y de mayor diversidad en el Caribe mexicano (Arriaga Carrera et al., 1998). Se conocen más de 1,500 especies marinas en la zona (Anónimo, 1998; Beltrán Torres y Carricart Ganivet, 1999; Ochoa Rivera et al., 2000; Hernández Aguilera et al., 2005; Mejía Ortiz, 2008) entre ellas varias endémicas o de distribución muy restringida (Díaz Ruíz y Aguirre León, 1993; Greefield, 2002), y algunas que están incluidas en la Norma Oficial Mexicana (Anónimo, 2001).

Además de su relevancia biológica, la isla es también clave desde la perspectiva económica dentro de la región del Caribe mexicano. Cozumel se utiliza para la pesca deportiva, la captura de langosta y caracol (Sosa Cordero et al., 1993; Lozano Álvarez et al., 2002; Briones Fourzán et al., 2008), extracción de coral negro (Padilla Souza, 2004), y otras actividades. Sin embargo la operación más desarrollada es el buceo deportivo por ser un lugar idóneo debido a la diversidad de sus ambientes subacuáticos (Spalding, 2002; Palafox et al., 2008). Debido a ello fue el segundo lugar en afluencia turística en el Caribe mexicano, detrás de Cancún en 2001, y ocupó el tercer lugar en la región del Gran Caribe en lo que a visitantes de cruceros se refiere (1.6 millones de personas; 11% del total). Todo esto representa una derrama económica sustancial anual para México (Enthorne y Miller, 2003).

Los arrecifes de Cozumel ofrecen enorme variedad de bienes y servicios ambientales, y son generadores de gran riqueza para el país. No es raro entonces que las actividades humanas hayan sido intensas desde hace décadas, y que se hayan concentrado sobre los arrecifes (Anónimo, 1998). Las presiones resultantes son múltiples y se expresan de diversas formas; puede mencionarse el anclaje de embarcaciones, el derrame de hidrocarburos, el vertimiento de desechos sólidos, y las actividades de los buzos, quienes pueden dañar a los corales por abrasión mecánica o asfixiarlos con arena levantada del fondo (Spalding, 2004). Además, la costa oeste de la isla, donde están las poblaciones principales, presentan niveles altos de nutrientes y bacterias producto de aguas residuales (Anónimo, 1998). Dada la necesidad de protección de los sistemas coralinos de Cozumel, la isla fue decretada como Refugio de Flora y Fauna en 1980, luego como Parque Marino en 1996, y posteriormente reclasificada como Parque Nacional en 2000 (Salazar Vallejo et al., 1993; Anónimo 2000). Sin embargo y aunque ha recibido atención por los investigadores desde hace décadas (Jordán Dahlgren y Rodríguez Martínez, 2003), se ha producido relativamente poca información técnica de aplicación inmediata para apoyar labores de manejo en el parque. Un ejemplo de ello es que el último estudio publicado en una revista técnica y con datos originales sobre la condición de los corales de Cozumel data de hace casi un lustro (Fenner, 1999). Esta situación llama a la necesidad de poner al día nuestro conocimiento del área y del estado de salud de sus comunidades.

En la actualidad los arrecifes de la isla están siendo revisados con periodicidad semestral por personal del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC) como parte de los compromisos del Gobierno de la República con el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), y para el monitoreo se están siguiendo las directrices presentadas en el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM (Almada Villela et al., 2003). Los trabajos de campo se están conduciendo en seis arrecifes considerados como prioritarios por las autoridades del PNAC: Paraíso, Chankanaab, Yucab, Paso del Cedral, Dalila y Colombia (Millet Encalada et al., 2008; Fig. 1). Además, en estos arrecifes y otros se están aplicando esporádicamente varios otros protocolos de manera independiente, todos con el fin de caracterizar y evaluar el estado del ecosistema. Entre ellos podemos citar los de los proyectos Reef Check, REEF y AGRRA (Hodgson, 2000; Pattengill-Semmens y Semmens, 2003). Toda esta información está disponible para que la administración del PNAC apoye sus decisiones. Sin embargo, el volumen de la documentación es extenso y la mayoría de registros no han sido catalogados y analizados, por lo que no se puede hacer uso eficiente de esos datos para detectar cambios en las comunidades, o poner en práctica acciones de manejo. Para ayudar en la solución de este problema, el presente proyecto tiene como fin ordenar y sistematizar toda la información existente sobre las especies de interés

para monitoreo en los arrecifes de Cozumel, actualizar nuestro conocimiento de la situación de los biomas, y luego apoyar en el seguimiento a largo plazo de la salud de los arrecifes de la isla.

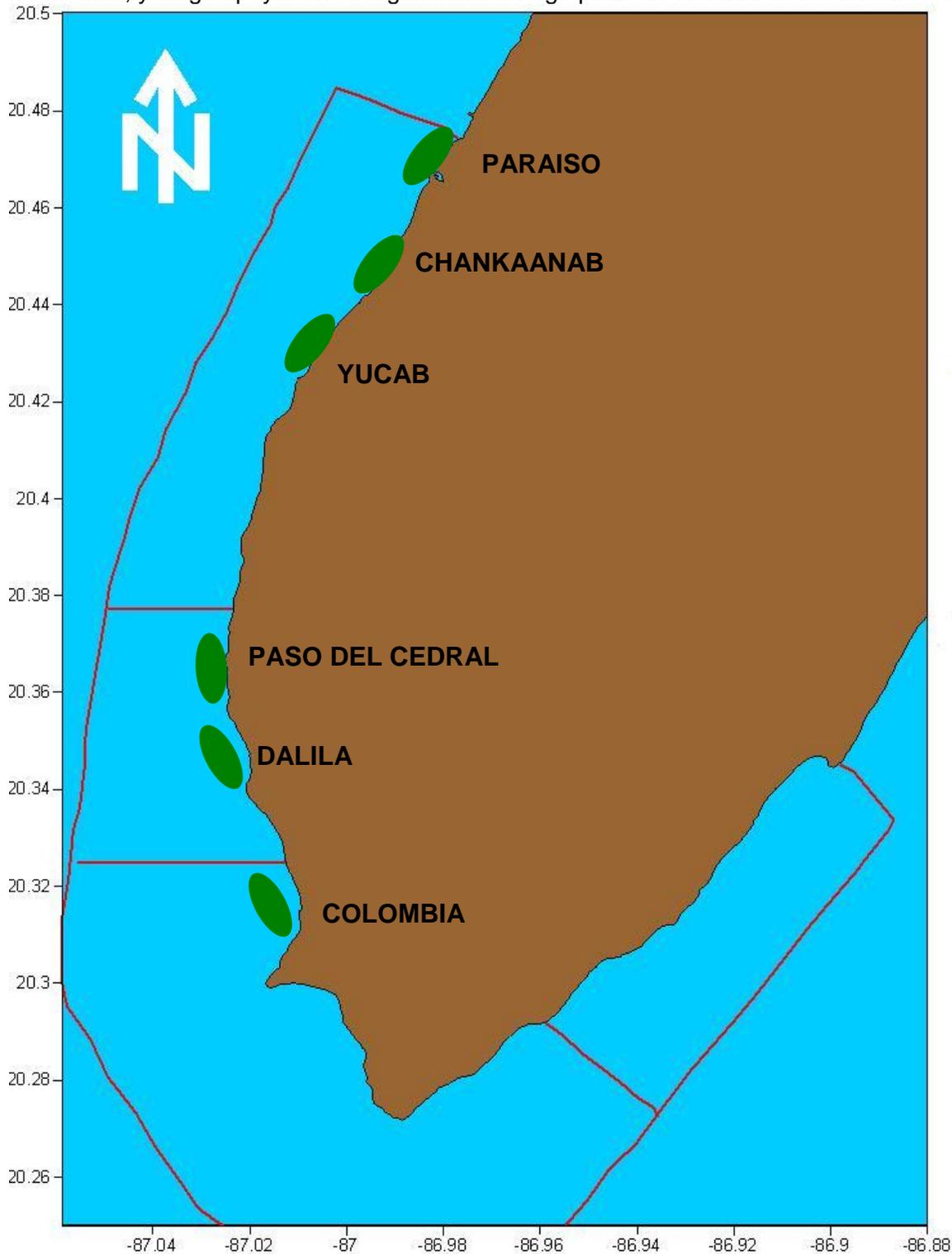


Figura 1. Mapa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (delimitado con línea continua), indicando los seis arrecifes prioritarios para el monitoreo.

II. Resultados y Productos generados

II.1. Mapa del área Arrecifal del PNAC

El trazado de los perfiles y mapeo de la fisiografía para la caracterización del PNAC se llevó a cabo utilizando la técnica de “arrastre” (“manta tow”), y los trabajos se realizaron durante Junio y Octubre del 2006. El método consistió en amarrar un cabo a la embarcación para remolcar a un observador, el cual era remolcado 25 a 30 m y a una velocidad de 1 nudo (1.8 km/h) y daba la información del tipo de fondo y bioma presente en el punto directamente debajo de su posición. Se necesitaron además dos personas registrando datos sobre la embarcación: una que georeferenciaba los registros con un GPS, y un anotador de las características de los biomas o tipo de fondo. Los arrastres se hicieron perpendicularmente a la costa desde el litoral (> 1 m de profundidad) hasta el talud (“cantil”, aproximadamente -30 m), cruzando la laguna arrecifal y los macizos coralinos, y cada línea de recorrido estaba separada por un kilómetro aproximadamente. Con la información obtenida de los arrastres se generaron mapas en el programa SURFER a escala 1:20,000, como fue solicitado por la CONABIO con el fin de permitir denotar características estructurales y paisajísticas de los componentes del fondo, que sean útiles para tomar decisiones de manejo. En la Fig. 2 se muestran los puntos donde se tomó información, y en las siguientes se detalló el perfil de tipo de fondo del PNAC; este último es uno de los compromisos principales del proyecto, y se construyó a partir de 14 variables:

1. Arena. Fondo cubierto por sedimentos blandos, generalmente de color claro y con gran cantidad de fragmentos de coral o restos de otros organismos arrecifales.
2. Arrecife lineal. Barreras de coral orientadas paralelamente a la costa o al borde de la plataforma. Presentan cresta, frente y base arrecifal.
3. Parches agregados. Formaciones de coral aisladas que no tienen una estructura organizada relativa al contorno de la costa o borde de la plataforma. Básicamente son agrupaciones de colonias creciendo sobre un sustrato duro y se caracterizan por estar rodeados por un halo de arena.
4. Parches individuales. En este caso la estructura física es similar a la descrita para la variable anterior, con la diferencia de que el diámetro del parche es igual o menor a 1 metro.
5. Coral, roca, esponja, etcétera segregados en arena. Fondo de arena con pequeñas cabezas de coral, esponjas, rocas o gorgonáceos dispersos que aparecen de manera individual o aislada.
6. Macroalgas continuas. Poblaciones o comunidades de macroalgas que cubren del 50 al 100% del sustrato.
7. Macroalgas en parches. Poblaciones o comunidades de macroalgas que cubren menos del 50% del sustrato.
8. Pastos continuos. Poblaciones o comunidades de pastos marinos que cubren del 50 al 100% del sustrato.
9. Pastos en parches. Poblaciones o comunidades de pastos marinos que cubren menos del 50% del sustrato.
10. Pavimento colonizado. Fondo plano de composición carbonatada cubierto por macroalgas, corales, gorgonias y cualquier otro invertebrado sésil, cuya densidad es tan baja que no alcanzan a cubrir el fondo mas que parcialmente. No se considera un arrecife porque los organismos no han modificado la topografía del fondo.
11. Pavimento cubierto con algas y canales de arena. Igual al anterior, pero además presentando canales rellenos de arena (“zona de macizos y canales”).
12. Pavimento no colonizado. Pavimento que usualmente esta cubierto por una delgada capa de arena, muchas veces en movimiento por la corriente. La superficie en ocasiones presenta microalgas libres, y a veces corales o gorgonidos, pero su densidad es tan baja que no cubre la superficie.

13. Pavimento no colonizado con canales de arena. Parches alargados de arena alternados por la presencia de pavimento no colonizado
14. Cantil o Talud Arrecifal. Caída casi vertical del piso hacia profundidades superiores a 30 m, casi siempre presentando solo roca desnuda, cuevas y escasa fauna incrustante (gorgonaceos y esponjas).

Versiones reducidas de los mapas que se trazaron aparecen en las figuras 2 y 3; cabe señalar que los mapas finales, siguiendo todos los lineamientos de cartografía solicitados por CONABIO, así como la información base para su construcción, se enviaron como archivos anexos a este informe final. También debe señalarse que se decidió emplear un número alto de variables de fondo con el fin de ofrecer un producto que tenga mayor utilidad para el parque, ya que esta versión detallada puede ser condensada y modificada a voluntad empleando el sistema de información geográfica con el que cuentan las autoridades, y dependiendo del tipo de usuario o de público al que la información sea ofrecida.

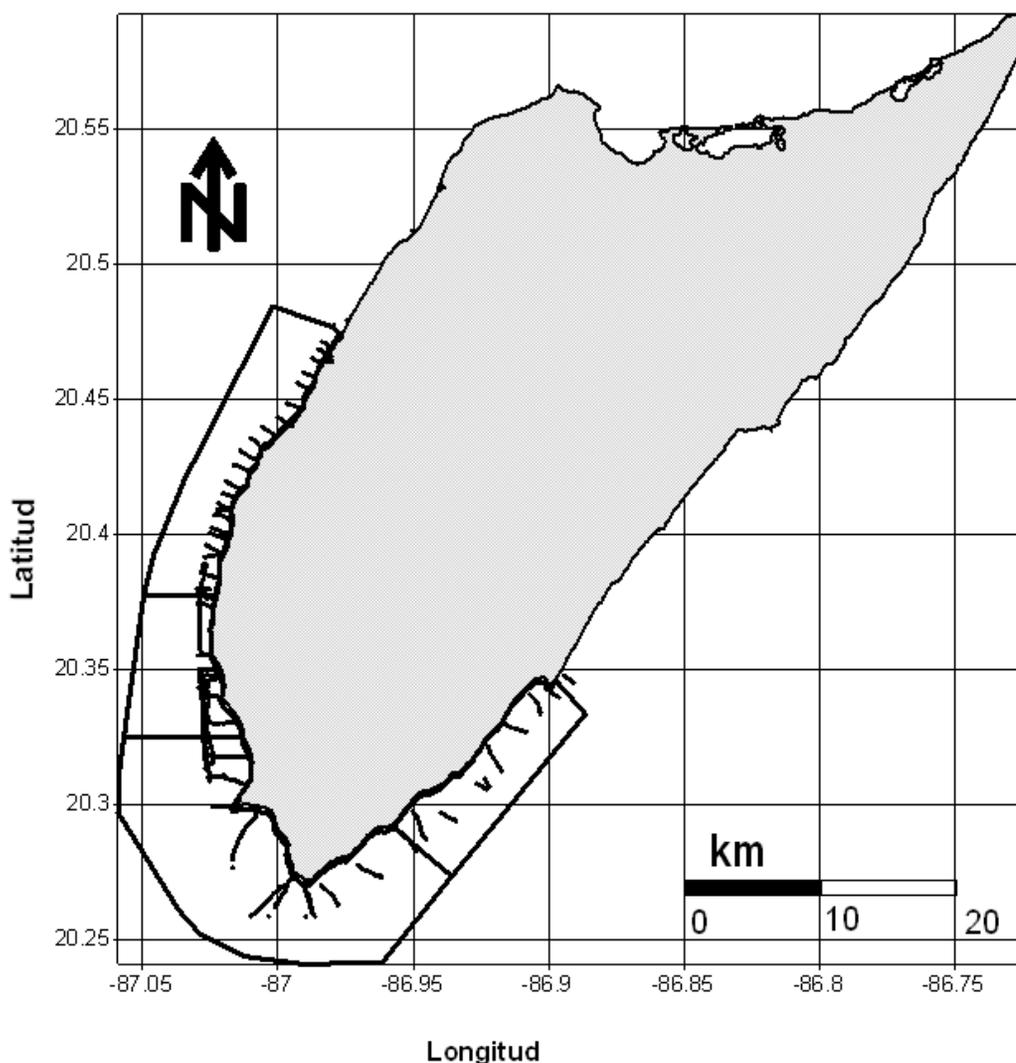


Figura 2. Transectos realizados para el trazado del mapa de fondo y los perfiles del PNAC. Se muestran los límites del parque y las Zonas de Uso definidas por los manejadores. I) Zona de Uso Intensivo; II) Zona de Uso de Baja Intensidad; III) Zona de Uso Restringido.

Como se aprecia en la figura 2, se efectuó un total de 57 arrastres o transectos, y fueron llevados a todo lo largo del PNAC, aunque su número fue menor en la zona sur, dado que las condiciones de corriente y oleaje dificultaban y hacían inseguro el buceo. En relación con los tipos de fondo del PNAC (Figs. 3 a 5), de manera general se ve que la zona norte del parque es

muy heterogénea y el límite del cantil está cercano a la costa, mientras que la zona central está dominada por fondos arenosos y pastos, y la sur tiene grandes extensiones de pavimento y arrecife lineal.

Adelante se expanden estas apreciaciones con base en la división en tres regiones que el personal del parque tiene para los arrecifes: Zona de Uso Intensivo (donde existe un mayor nivel de perturbaciones debido a que ahí se desarrollan actividades de natación, snorkel y buceo, además que aparecen los principales muelles de cruceros de la isla); Zona de Uso de Baja Intensidad (dedicada al uso de snorkel y para buzos de cierto nivel, pero donde el resto de actividades está limitada), y finalmente la Zona de Uso Restringido (donde solo se hacen buceos por personas muy experimentadas debido a la intensidad de las corrientes).

En la Zona de Uso Intensivo se encuentran tres de los arrecifes de mayor interés (Paraíso, Chankanaab y Yucab). En su sección norte hay presencia de arrecife lineal, mientras que al sur se hallan largas extensiones de arena y parches arrecifales con gran cantidad de esponjas; a la mitad entre estos sitios y a manera de transición aparecen fondos rocosos y una zona de pavimentos de diversos tipos. La Zona de Baja Intensidad presenta las mayores praderas de pastos del lado oeste de la isla, así como grandes áreas de arena con parches de arrecife. Al norte de esta sección, cerca de Paso del Cedral, se encuentra una zona de pavimentos con poca arena, ya que esa región se caracteriza por el intenso movimiento de corrientes. La Zona de Uso Restringido presenta las mejores formaciones de coral del PNAC, así como grandes praderas de pastos, aunque su extremo sur está constituido casi totalmente de roca libre o pavimentos, y el este (hacia el lado externo de Cozumel) se caracteriza por zonas con alta presencia coralina, aunque sin arrecifes consolidados. Finalmente, la parte este de la isla tiene gran extensión de praderas de pastos marinos, pavimento rocoso con y sin presencia coralina, y un par de parches arrecifales bien desarrollados, en especial hacia el norte, es decir, casi en el límite del parque.

Los revisores de la versión inicial del informe final sugirieron un cambio en la tonalidad asignada a cada tipo de fondo, para facilitar la ubicación del mismo por los usuarios. Sin embargo, se decidió mantener los colores dado que permiten discriminar tipos de fondos adyacentes, y además esto es principalmente una cuestión de criterio. Un ejemplo de lo propio son los mapas de satélite trazados a partir de colores falsos. En ellos se remarcan los patrones geográficos, topográficos o fisiográficos del terreno con tonalidades ajenas al objeto de estudio pero que permiten contrastar elementos.

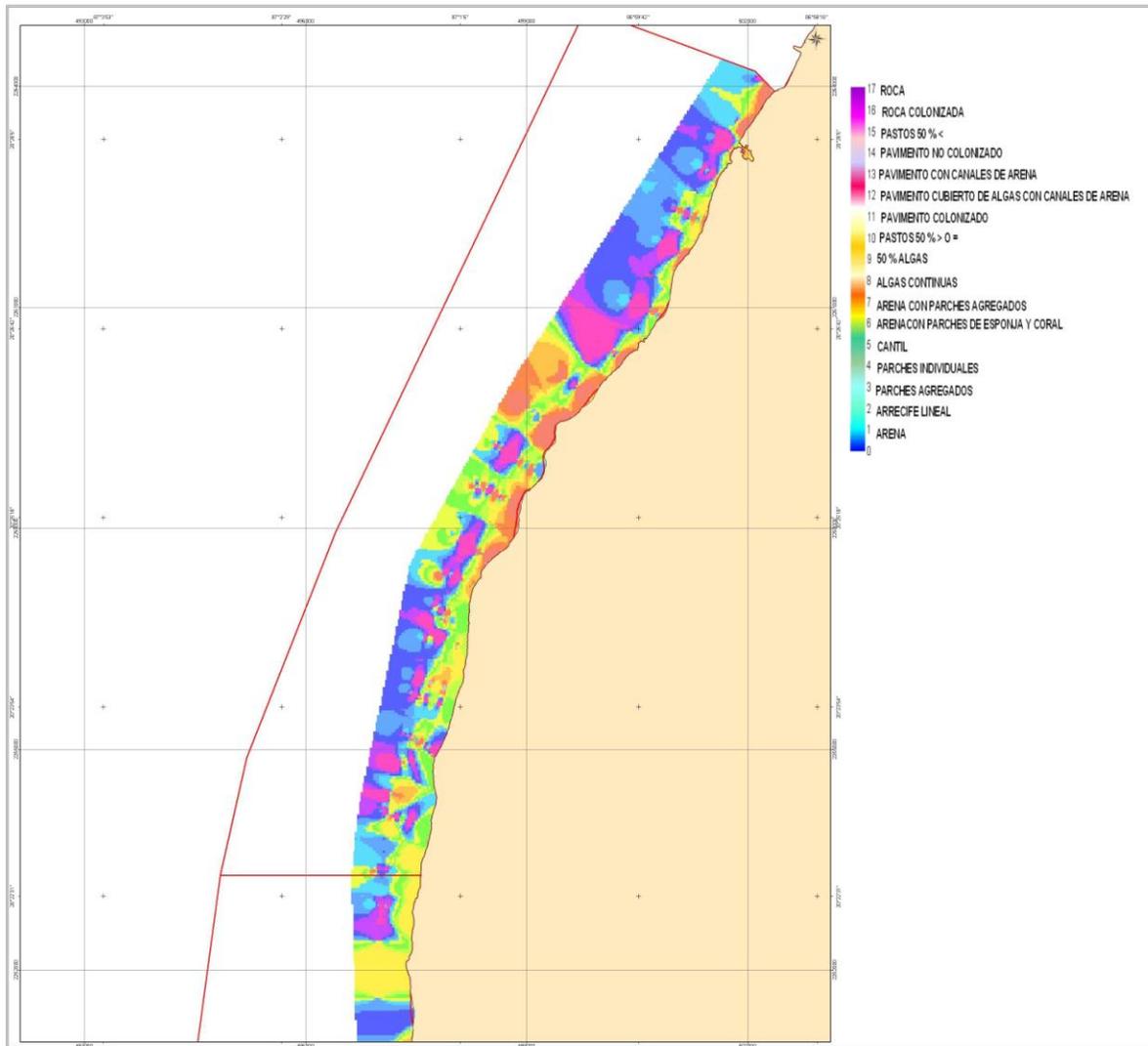


Figura 3. Mapa del tipo de fondo de la parte norte del PNAC, que incluye la Zona de Uso Intensivo, y parte de la Zona de Uso de Baja Intensidad

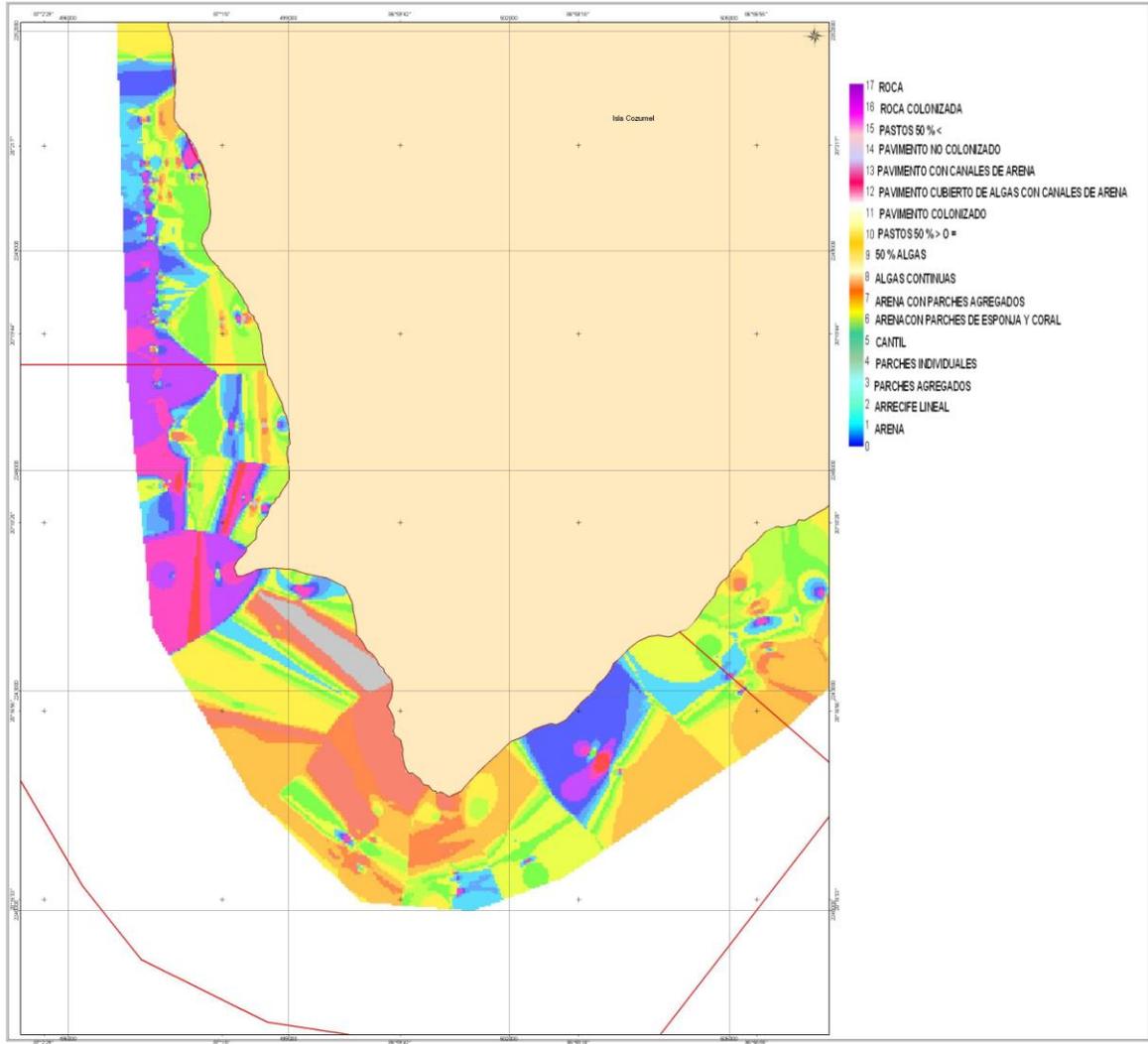


Figura 4. Mapa del tipo de fondo de la parte norte del PNAC, que incluye la Zona de Uso de Baja Intensidad, y la totalidad de la Zona de Uso Restringido.

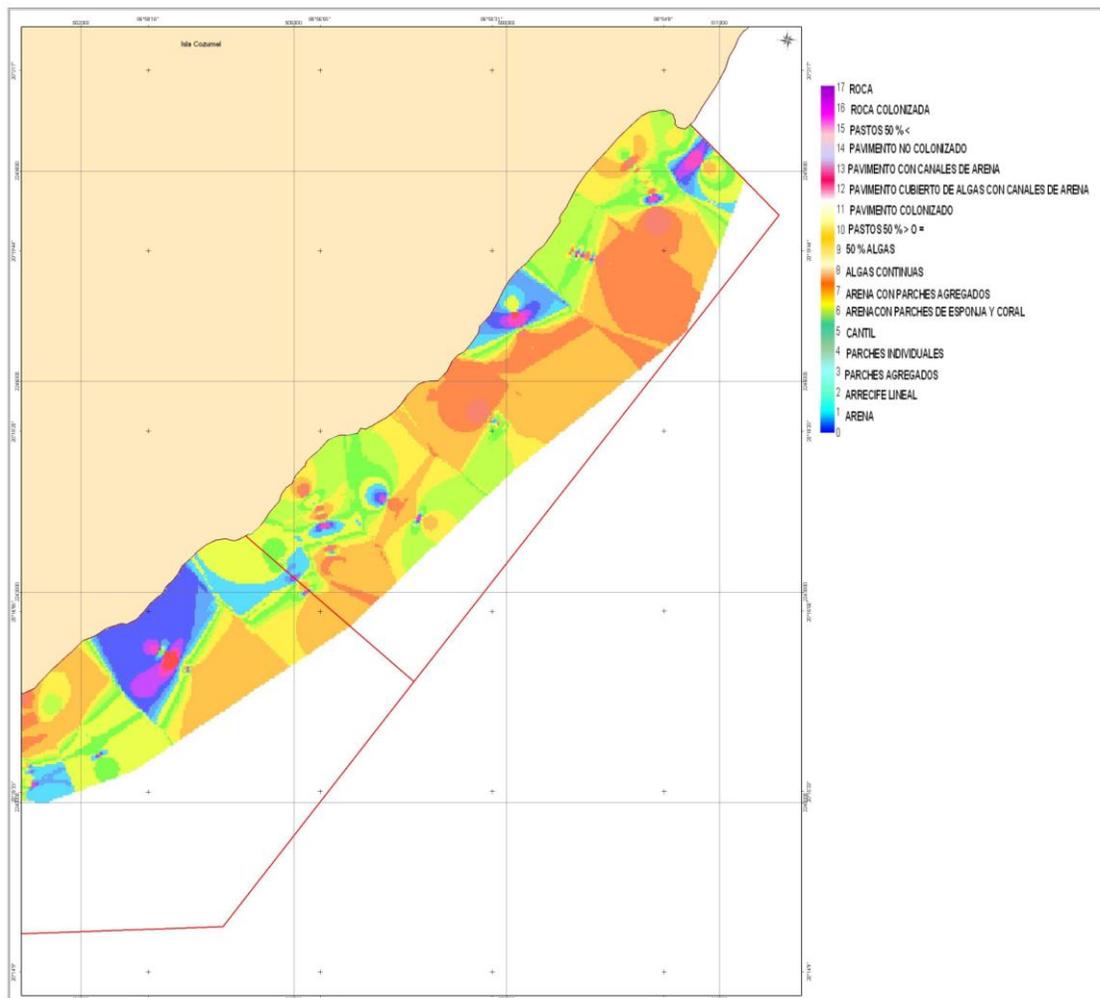


Figura 5. Mapa del tipo de fondo de la parte norte del PNAC, que incluye parte de la Zona de Uso Restringido, y la totalidad de la Zona de Uso de Baja Intensidad del oriente de la isla.

II.2. Perfiles batimétricos

Posteriormente a la hechura de los mapas de tipos de fondo, se realizó otra serie de recorridos en los que los buzos tomaron datos puntuales de la profundidad en el fondo (aproximadamente cada 100 m de distancia entre ellos), y a partir de ellos trazamos 37 perfiles batimétricos (Fig. 6), cifra que cumple cabalmente con el resultado planteado al principio del proyecto. Cabe señalar que la colocación de los puntos en las distintas Zonas de Uso del parque no fue sistemática, ya que en la parte sur y este de Cozumel no es fácil efectuar buceos, y además las autoridades del PNAC tenían particular interés en documentar en cierto detalle los arrecifes que reciben el mayor número de visitantes, es decir, de Colombia hacia Paraíso.

Como se observa en las Figs. 7 a 44 cada parte del PNAC tiene características propias. Puede verse que la sección norte del parque (Zona de Uso Intensivo, entre los 20° 28'N y 86° 58'W, y 20° 23'N y 87° 01'W; Transectos 1 a 11) es muy homogénea, con una amplia plataforma que termina en el borde del cantil, a una distancia de entre 400 y 800 m de la costa. Es interesante ver que el frente de la zona portuaria de Cozumel (cerca del Arrecife Paraíso; Transecto 1), la base arrecifal llega a extenderse casi 1 km al oeste.

El límite entre la zona de Uso Intensivo y la de Uso de Baja Intensidad marca también un recorte en el tamaño de la plataforma, la cual en los transectos 12 y 13 fue de apenas 100 a 200 m de ancho. Sin embargo, posteriormente la porción que presenta los arrecifes comienza a ampliarse (Transectos 15 a 20), con un pequeño intervalo de estrechez ya dentro de la Zona de Uso de Baja Intensidad.

La parte sureste de la isla (transectos 21 al 25; Zona de Uso Restringido), muestra primero un perfil mucho más suave y sin cantil, en gran medida porque la acción oceánica ha aplanado el fondo y porque no se presentan arrecifes coralinos de consideración. Finalmente, los últimos 12 transectos se efectuaron en la Zona de Uso de Baja Intensidad del este de la isla, donde el perfil de la plataforma se vuelve a hacer similar al del margen oeste, es decir, una caída suave que termina en un cantil de perfil abrupto. Aquí es interesante denotar que la plataforma se extiende casi 1,500 m al este, hasta encontrar el borde.

Es importante anotar que existe un estudio reciente (Rioja Nieto y Sheppard, 2008) que presenta información útil para complementar nuestro esfuerzo, al realizar un análisis de los componentes del fondo en las zonas más someras del centro y norte del PNAC. Los datos base de la publicación citada están en poder de las autoridades del parque, y han sido incorporados a su sistema de información geográfica.

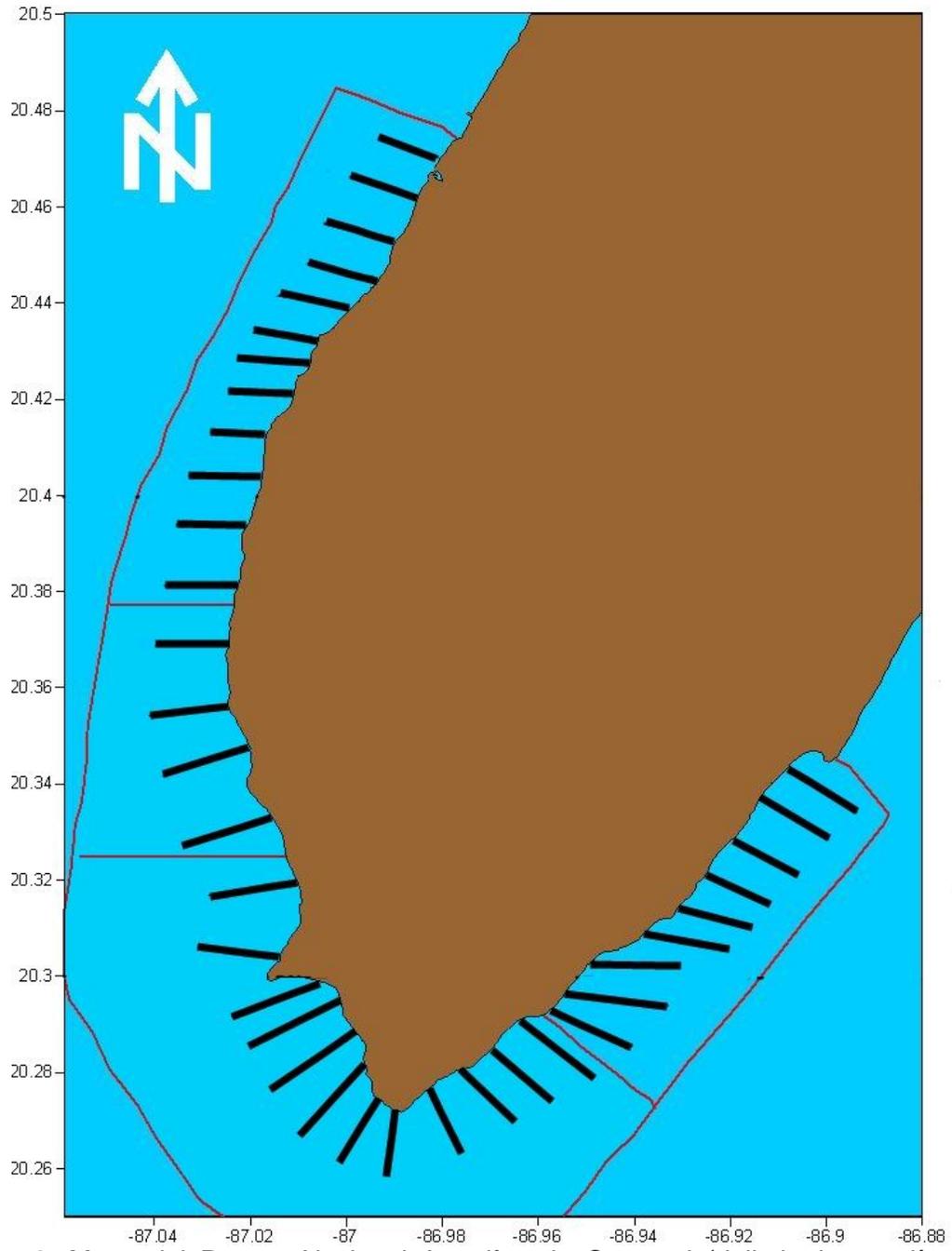


Figura 6. Mapa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (delimitado con línea continua), indicando la posición aproximada de las líneas de trazo de los 37 perfiles arrecifales efectuados. Los números indican el orden como los perfiles se presentan a continuación en este reporte.

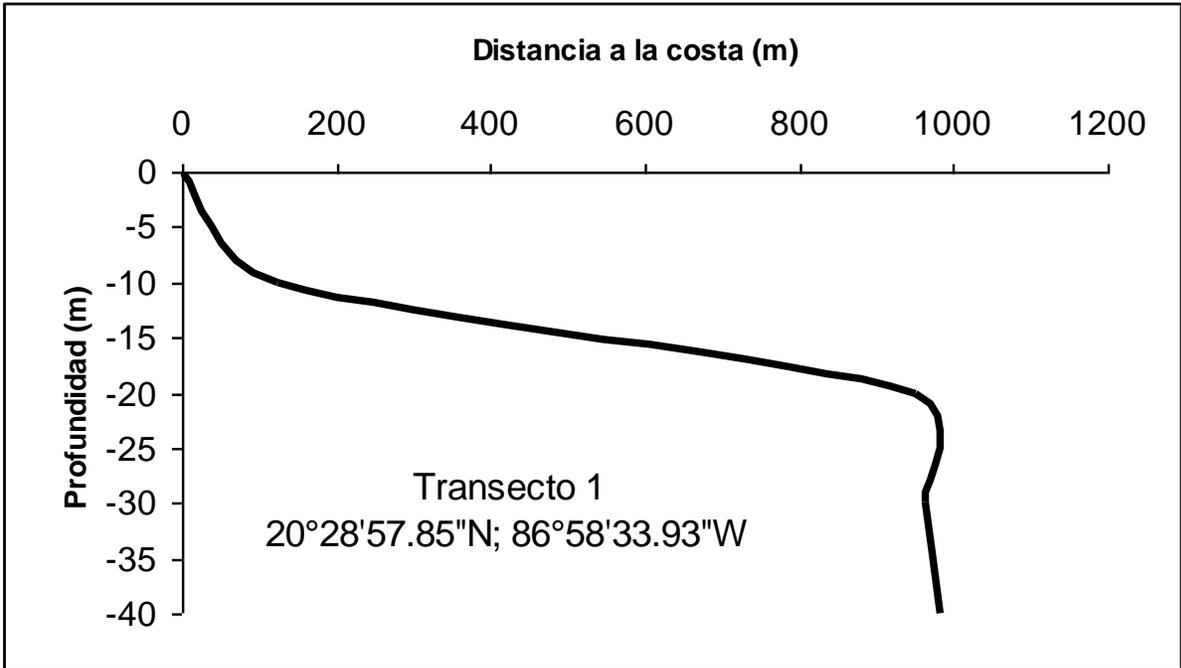


Figura 7. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo.

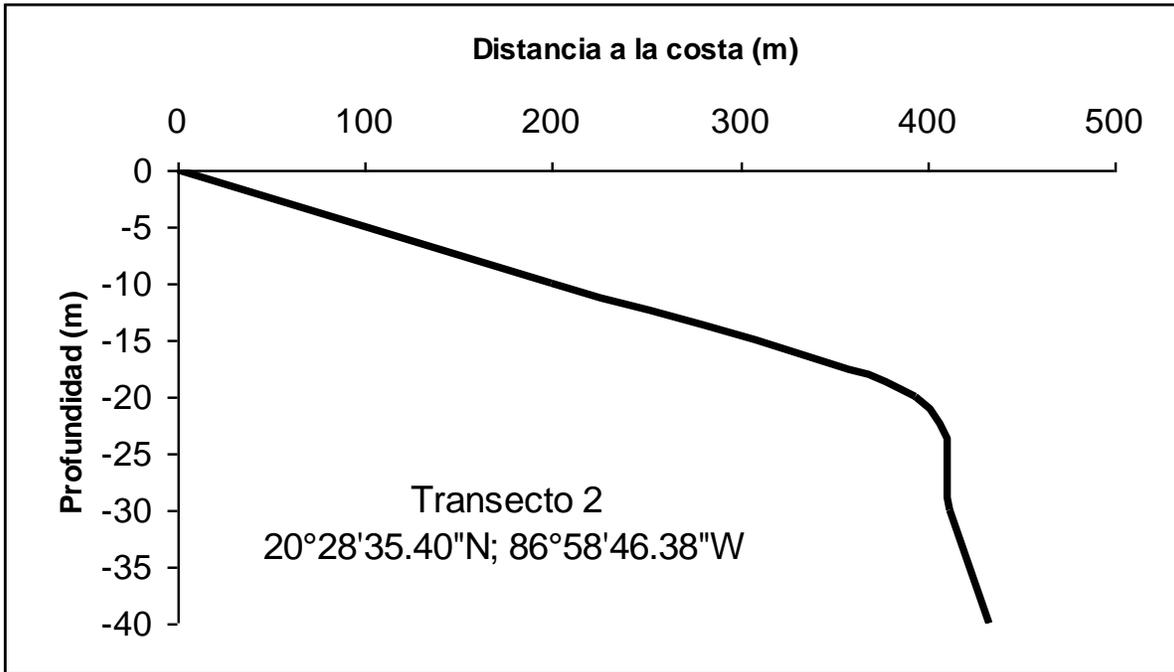


Figura 8. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo

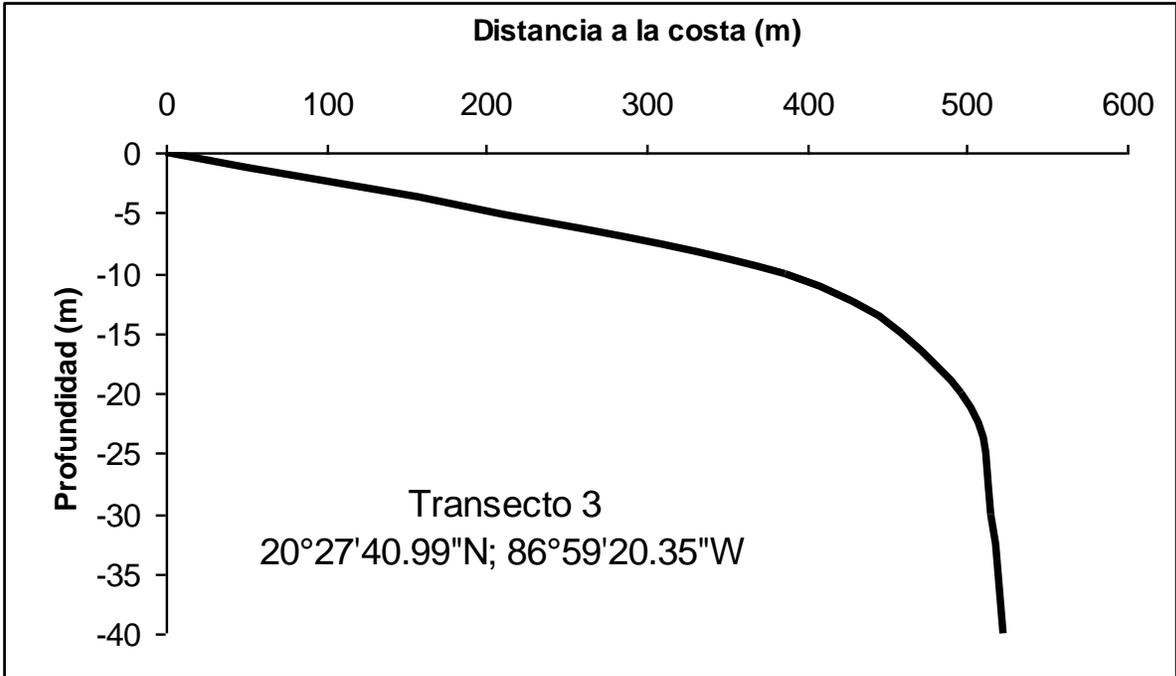


Figura 9. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo

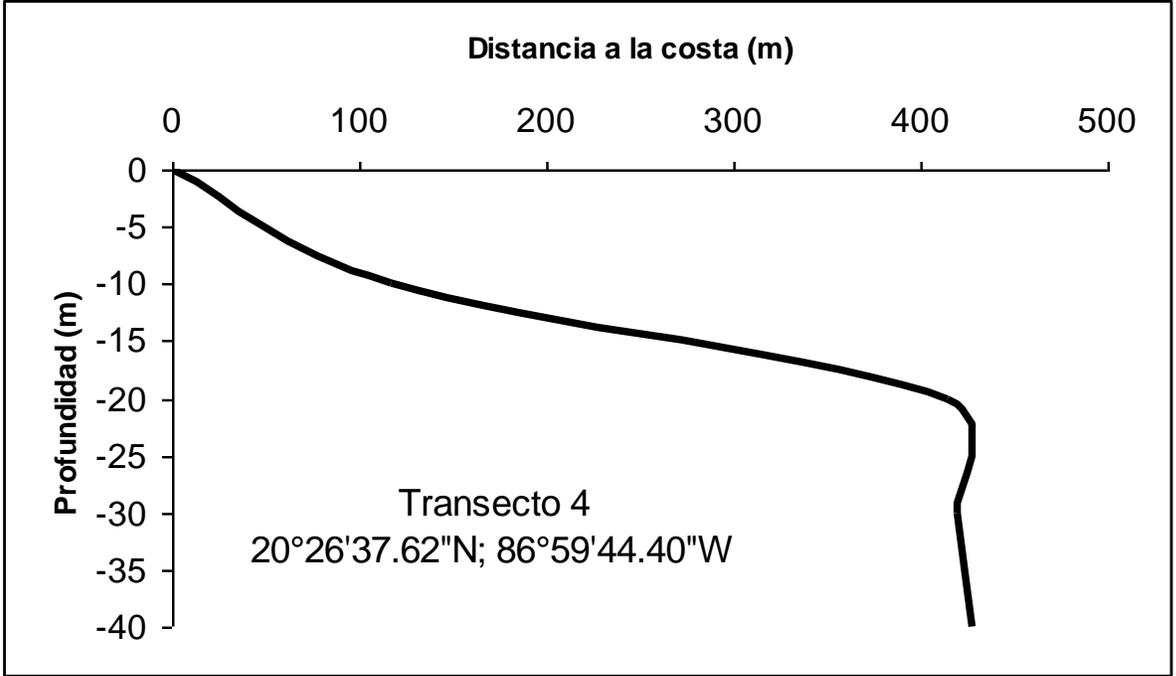


Figura 10. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo

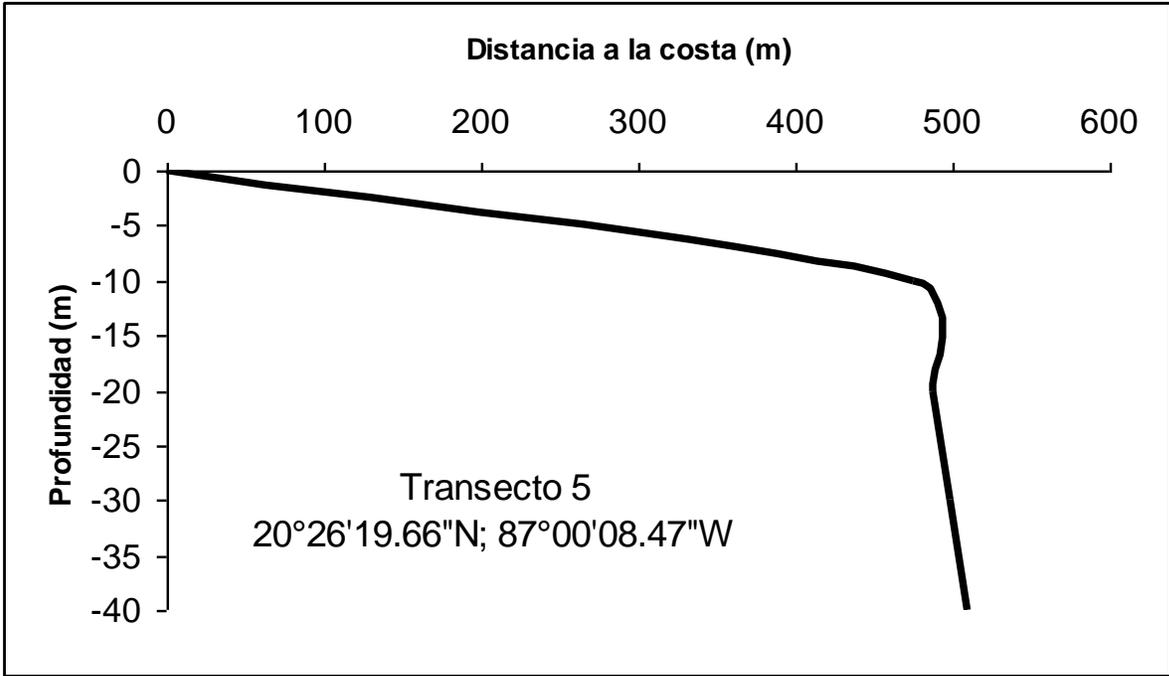


Figura 11. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo

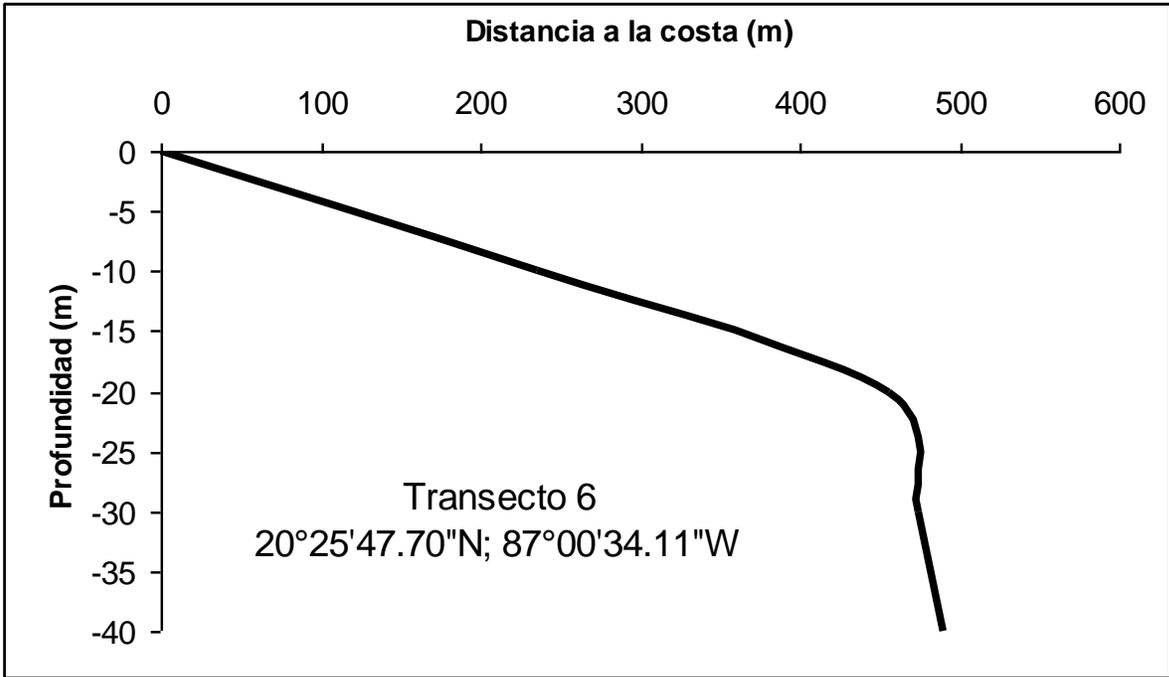


Figura 12. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo

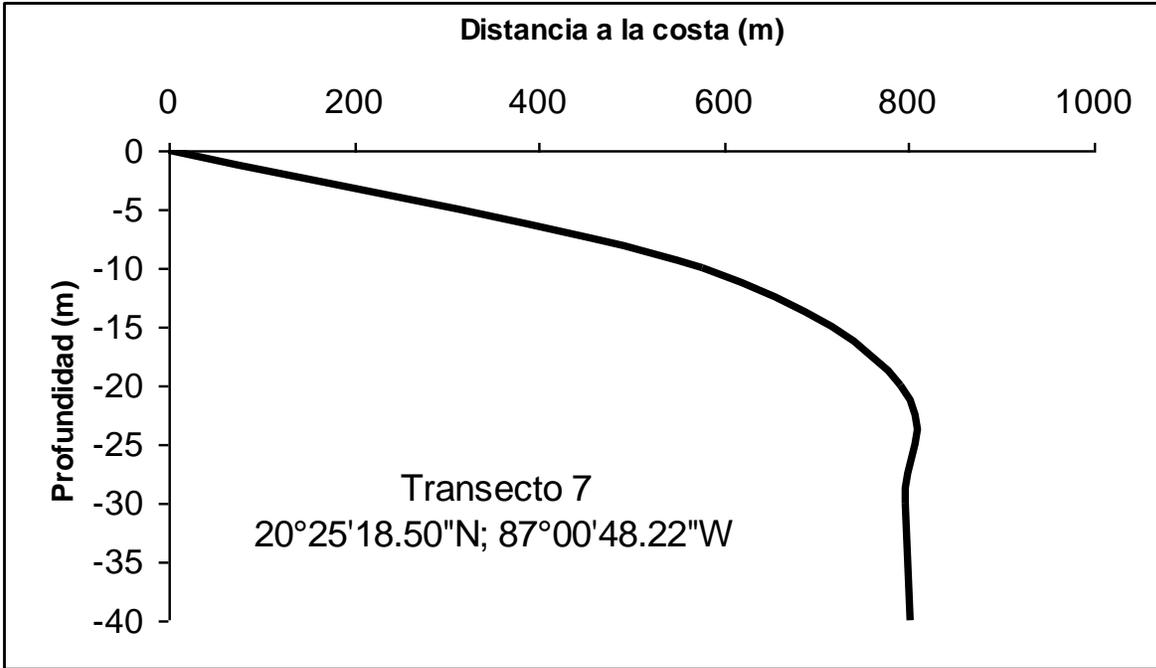


Figura 13. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo

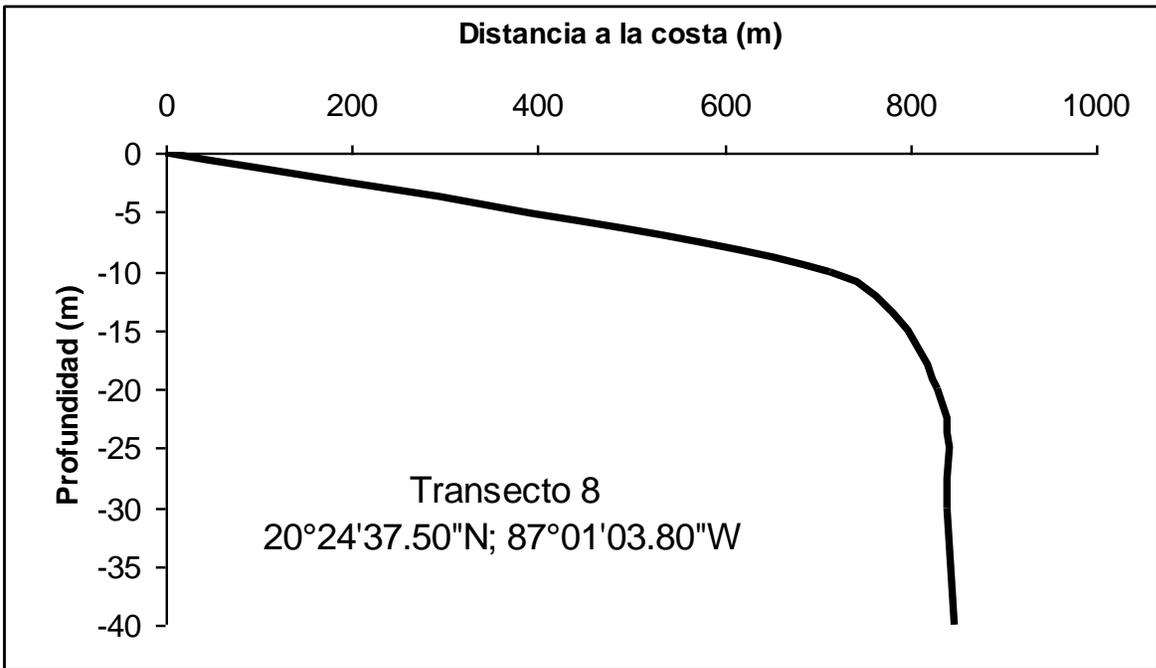


Figura 14. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo

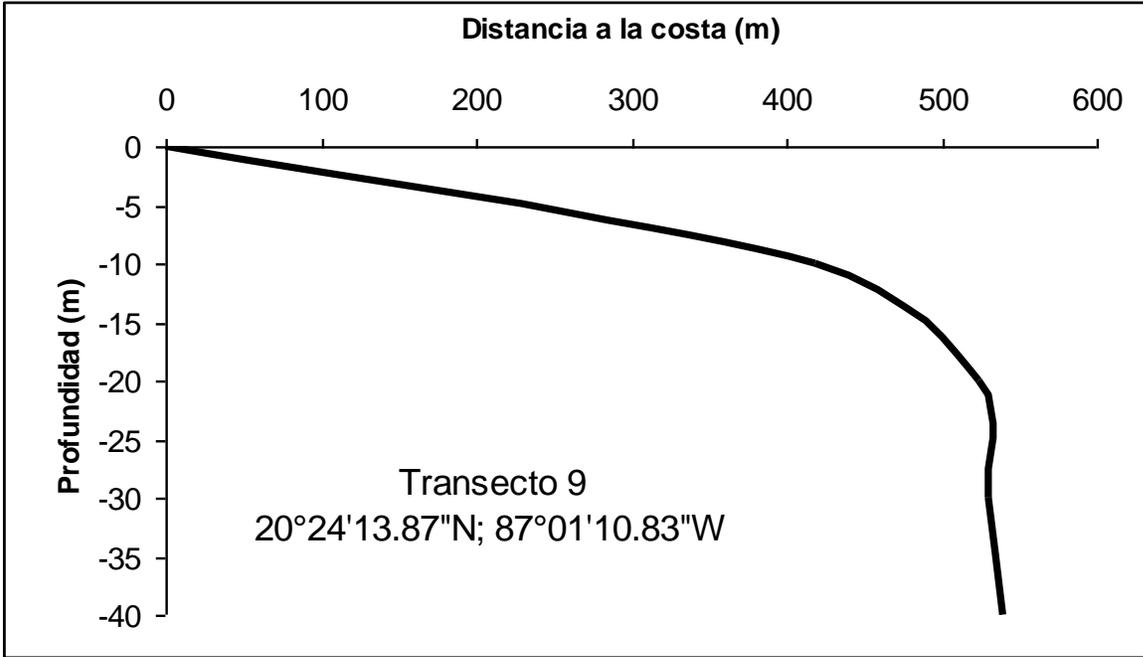


Figura 15. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo.

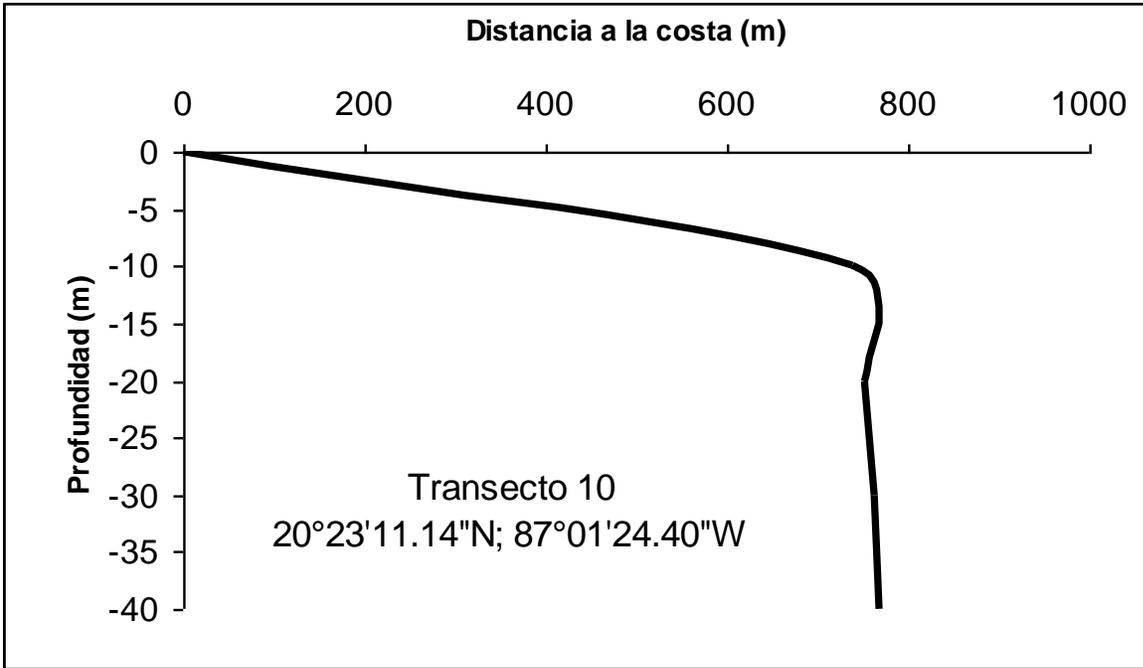


Figura 16. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo.

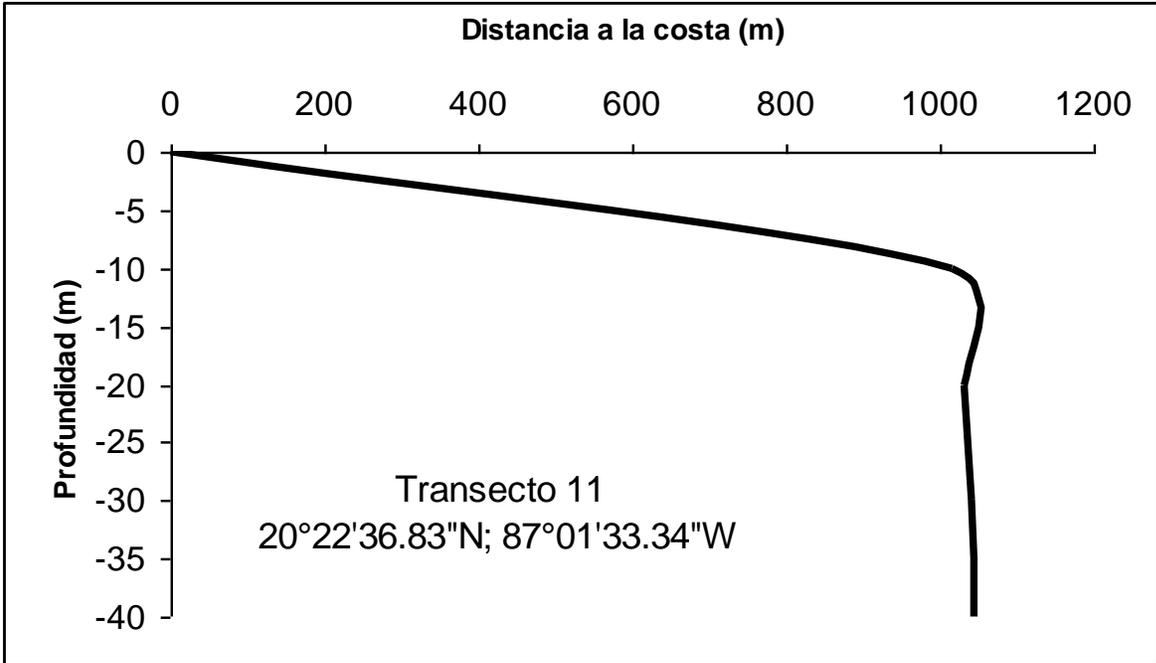


Figura 17. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Intensivo.

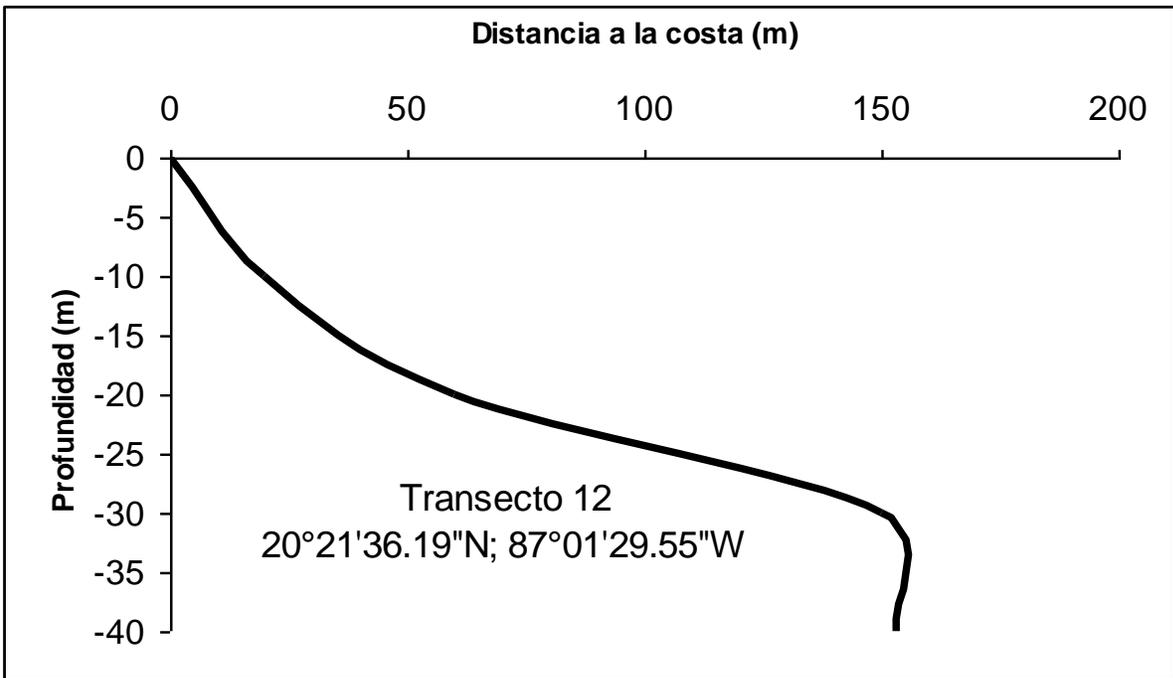


Figura 18. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad

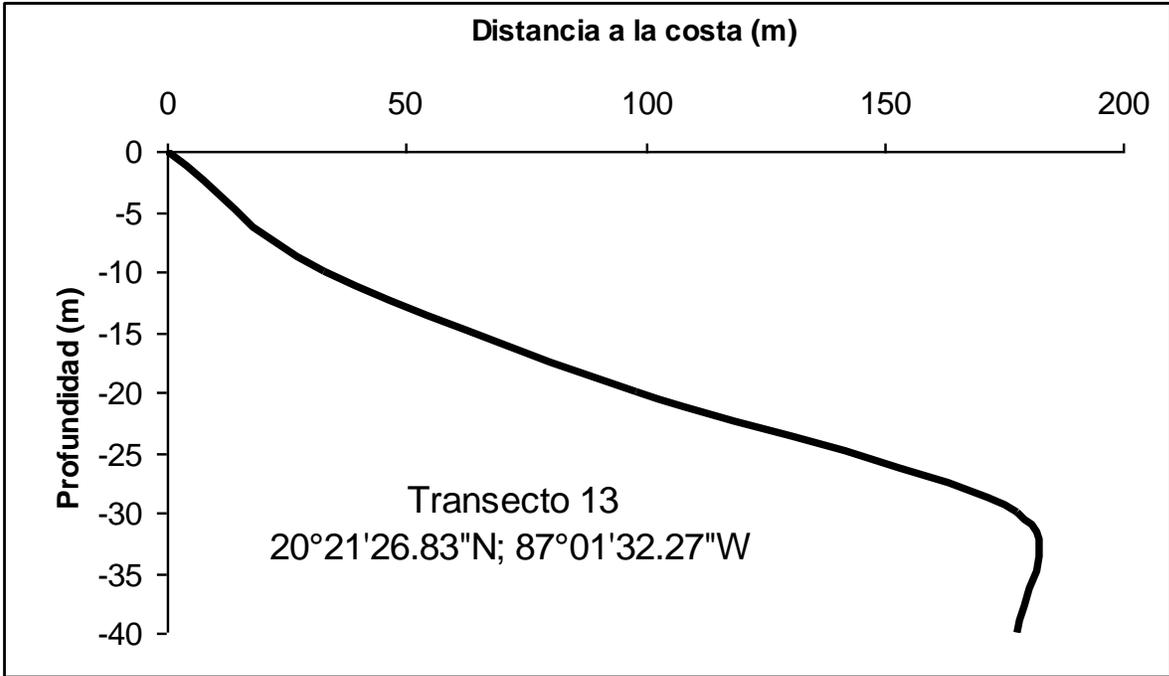


Figura 19. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad

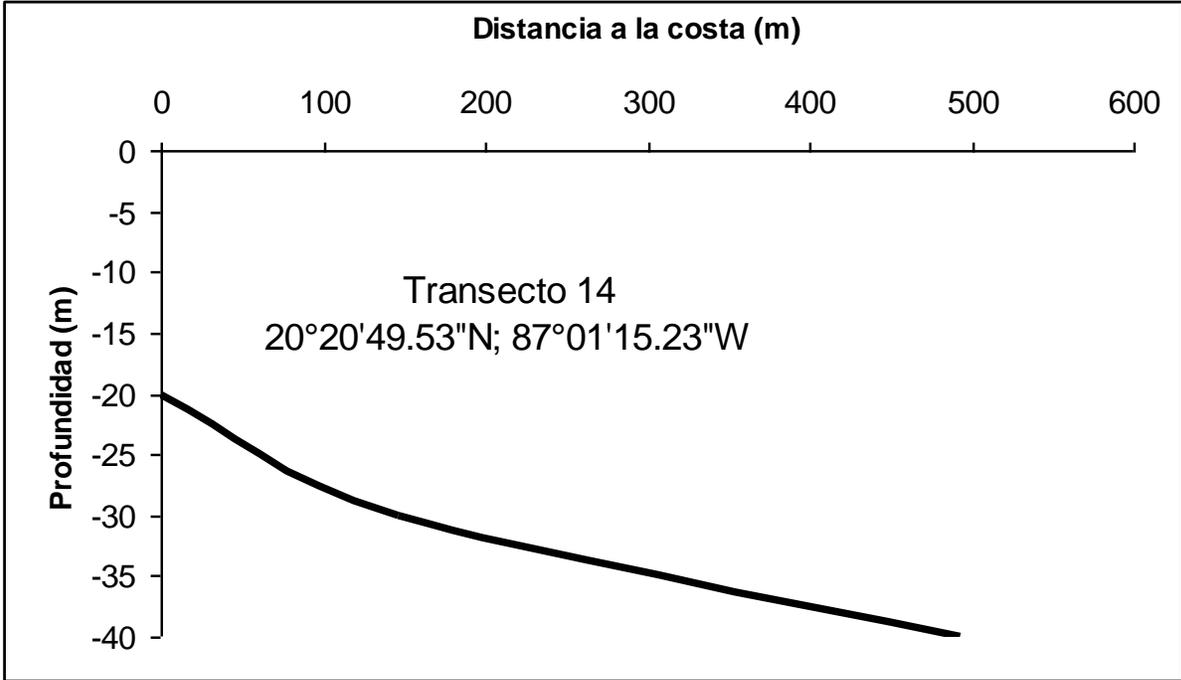


Figura 20. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad

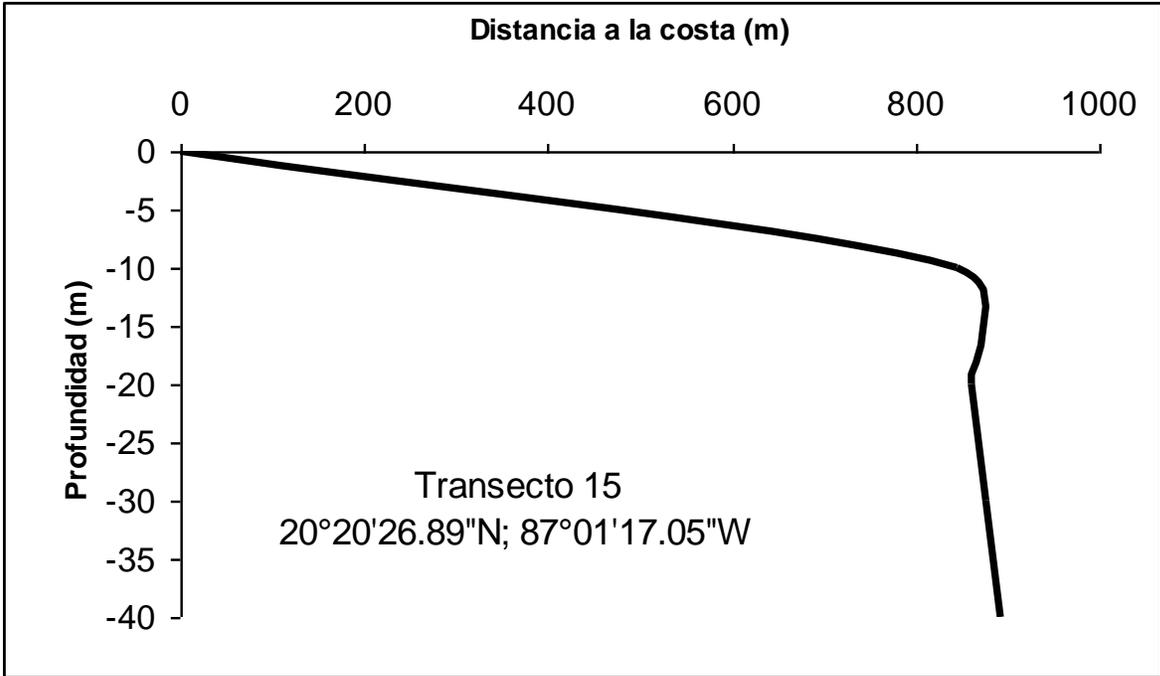


Figura 21. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad

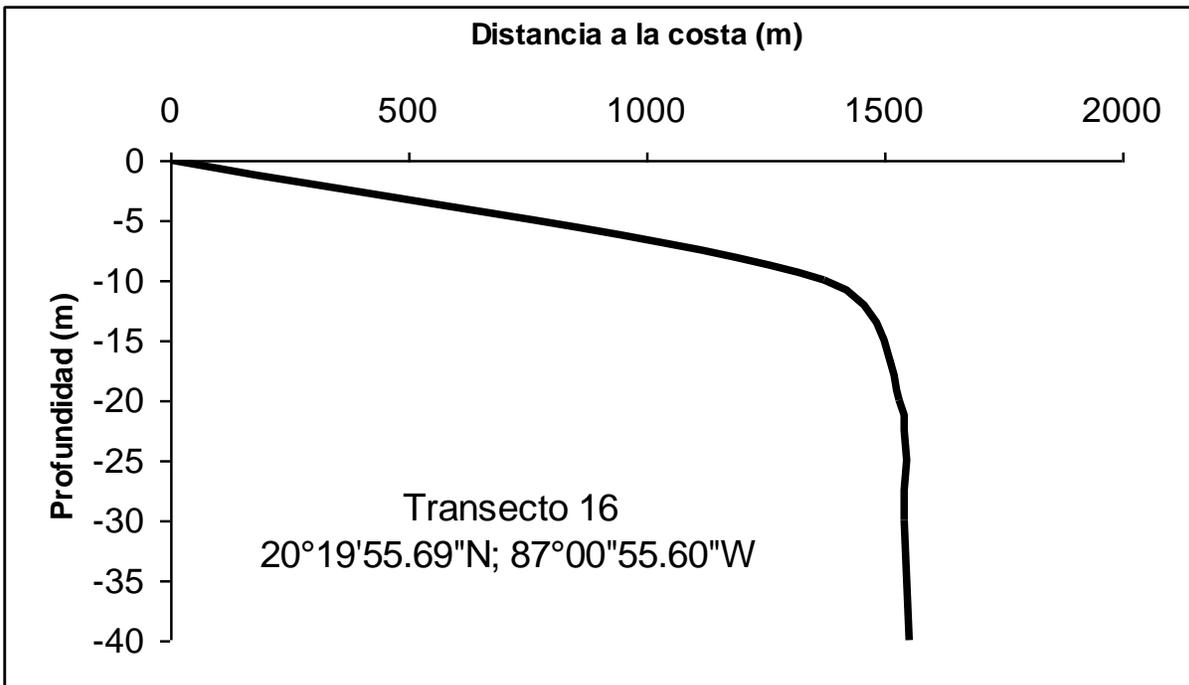


Figura 22. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad

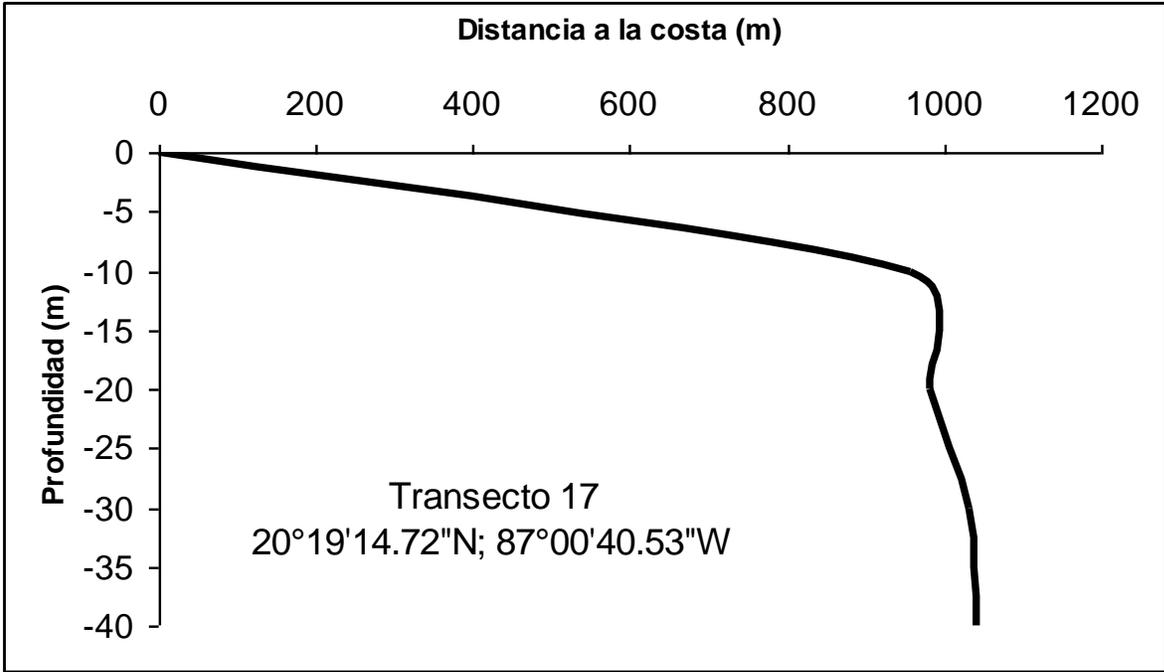


Figura 23. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad

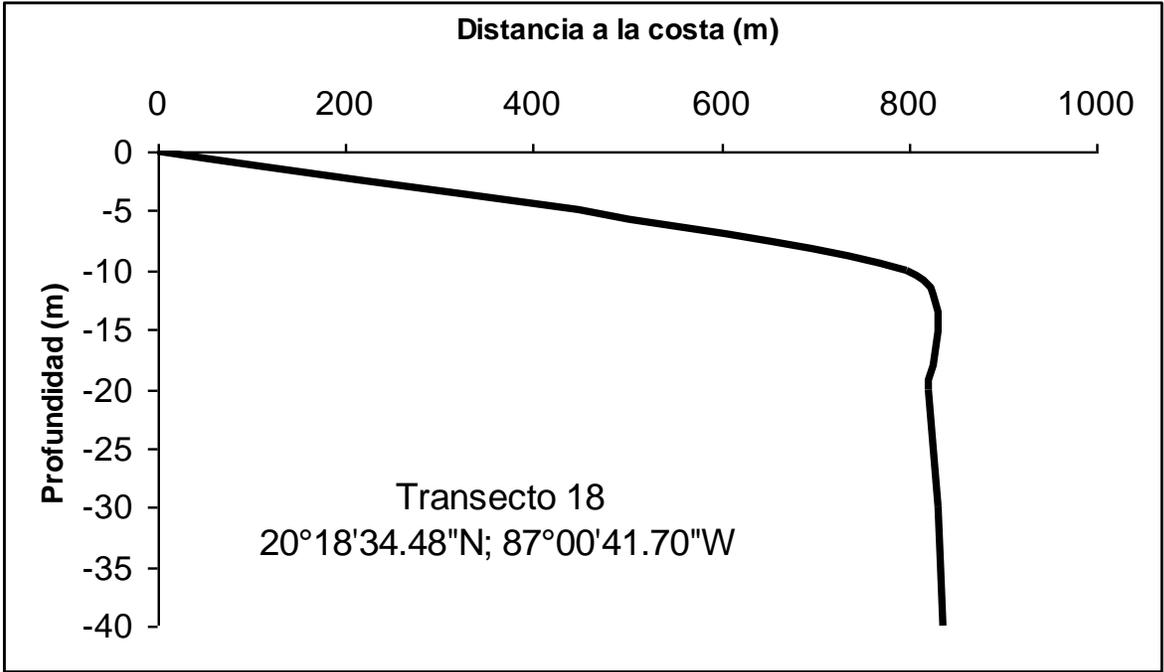


Figura 24. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

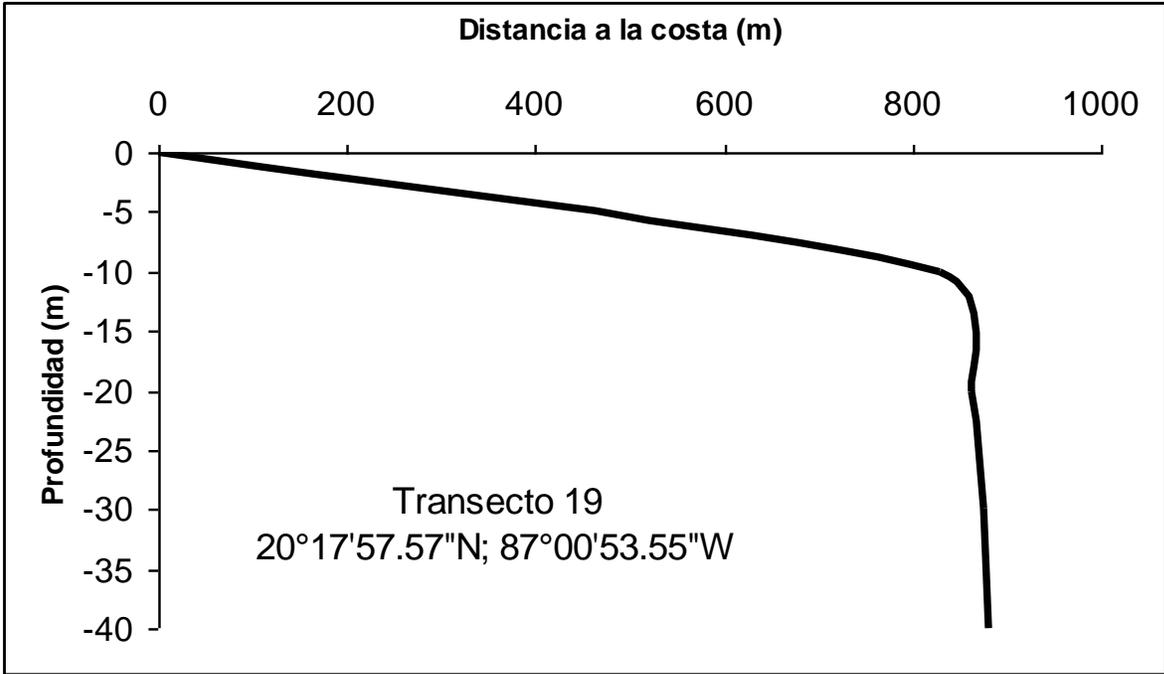


Figura 25. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

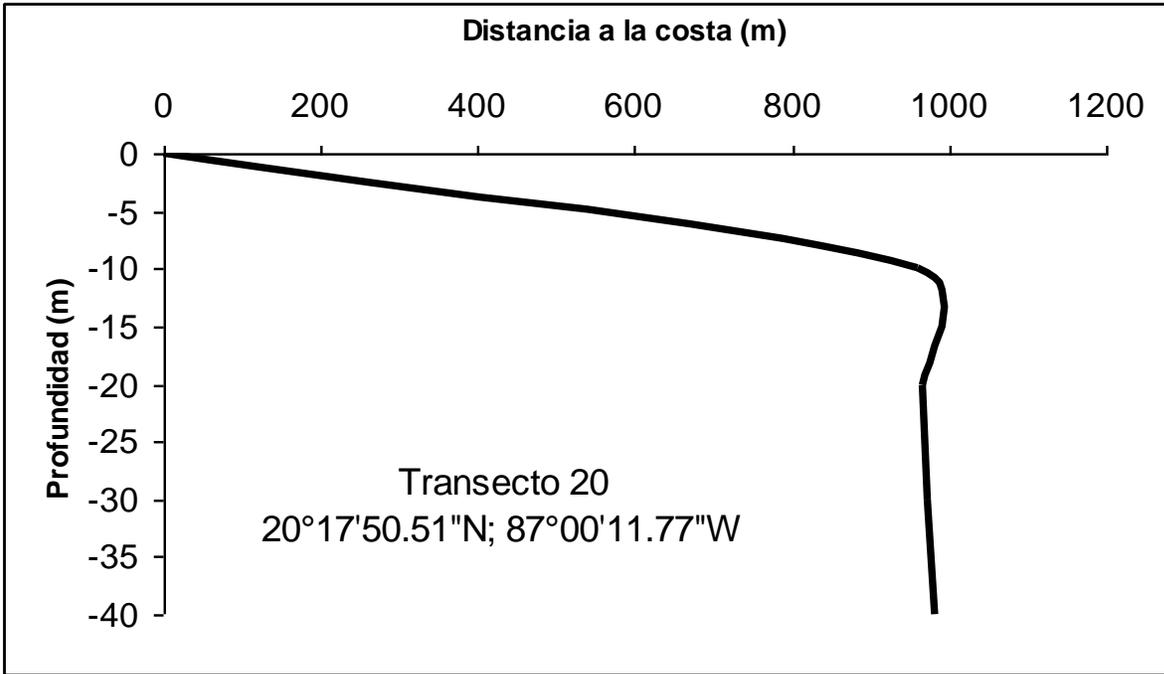


Figura 26. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

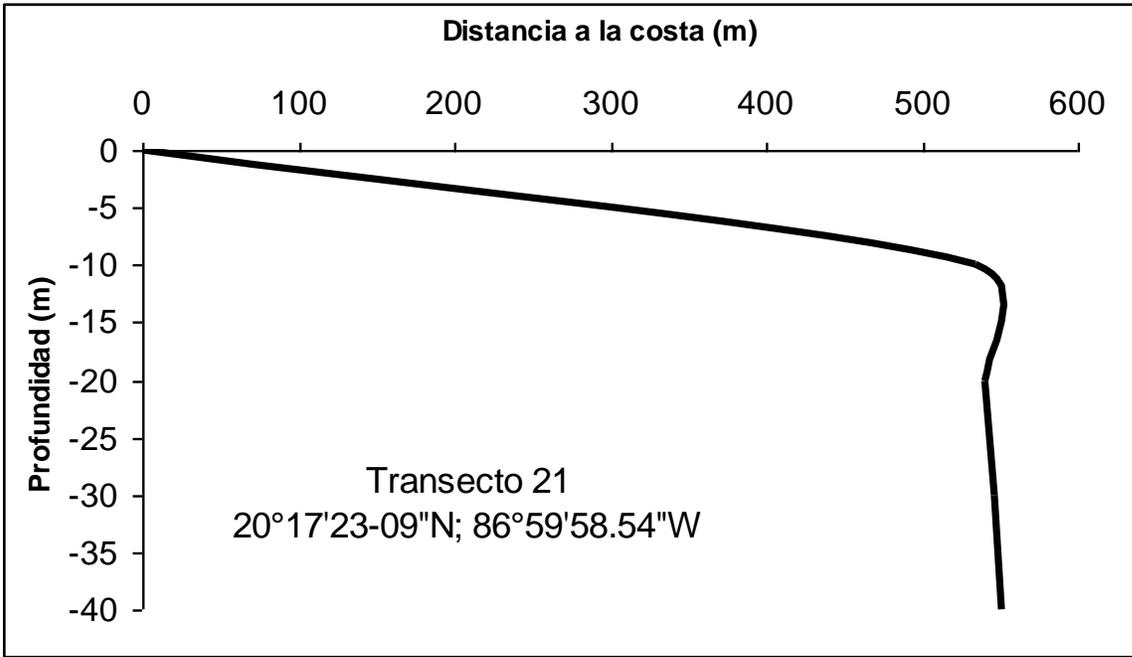


Figura 27. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

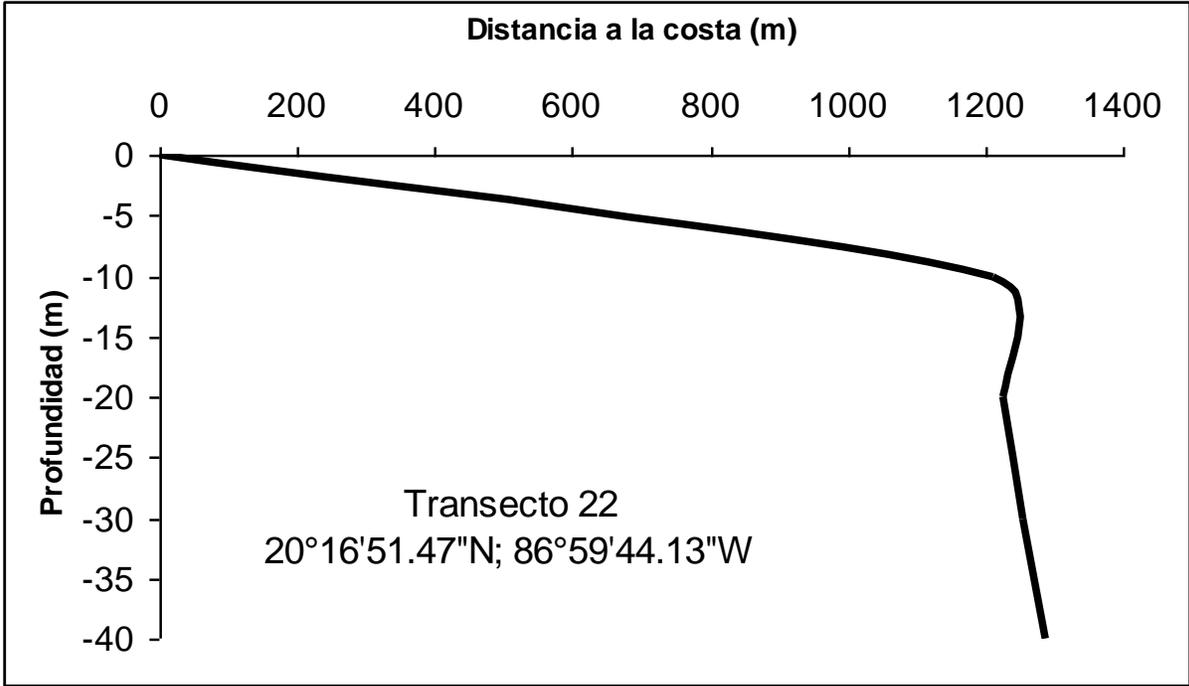


Figura 28. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

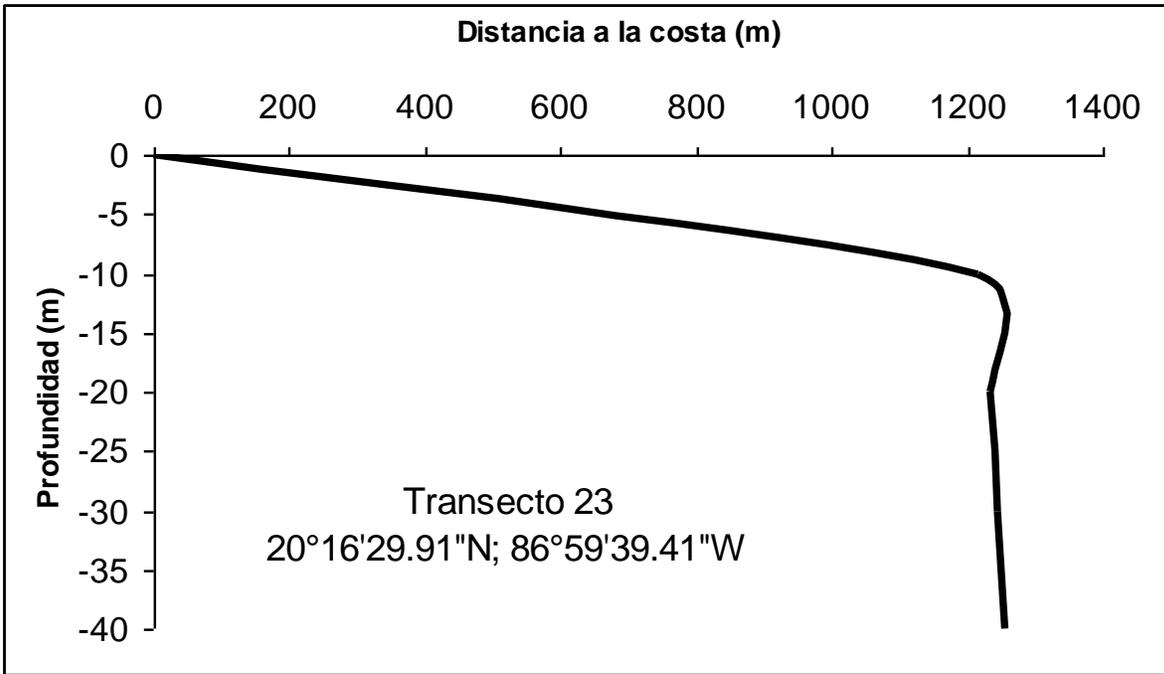


Figura 29. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

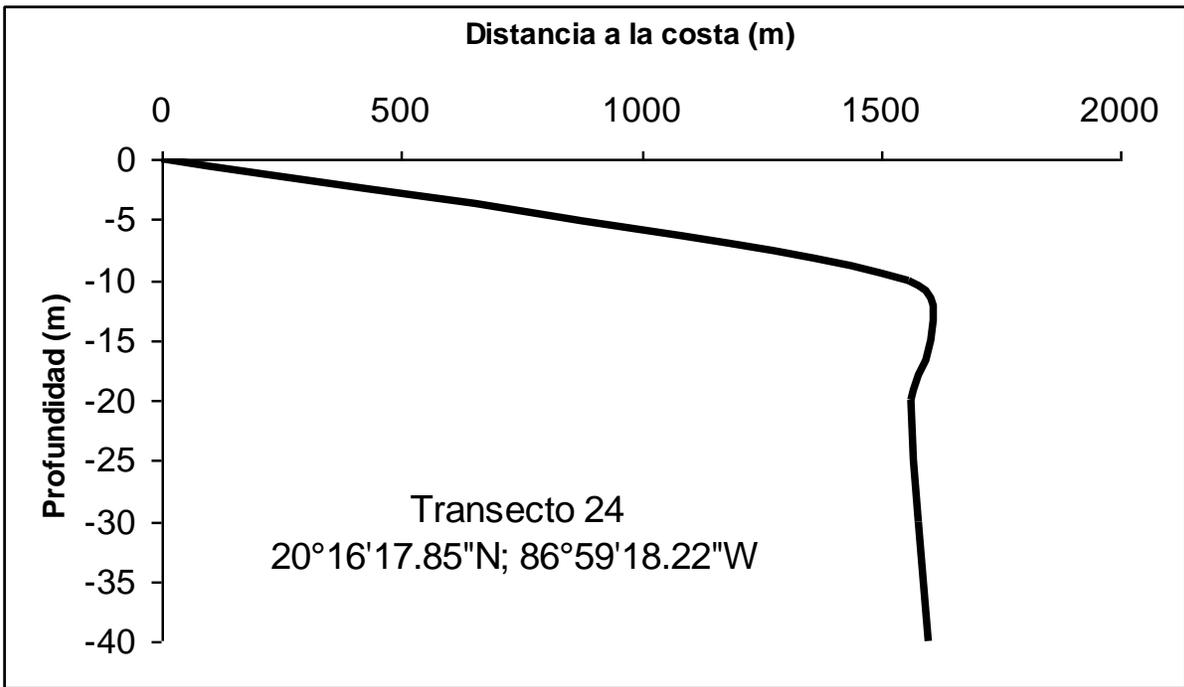


Figura 30. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

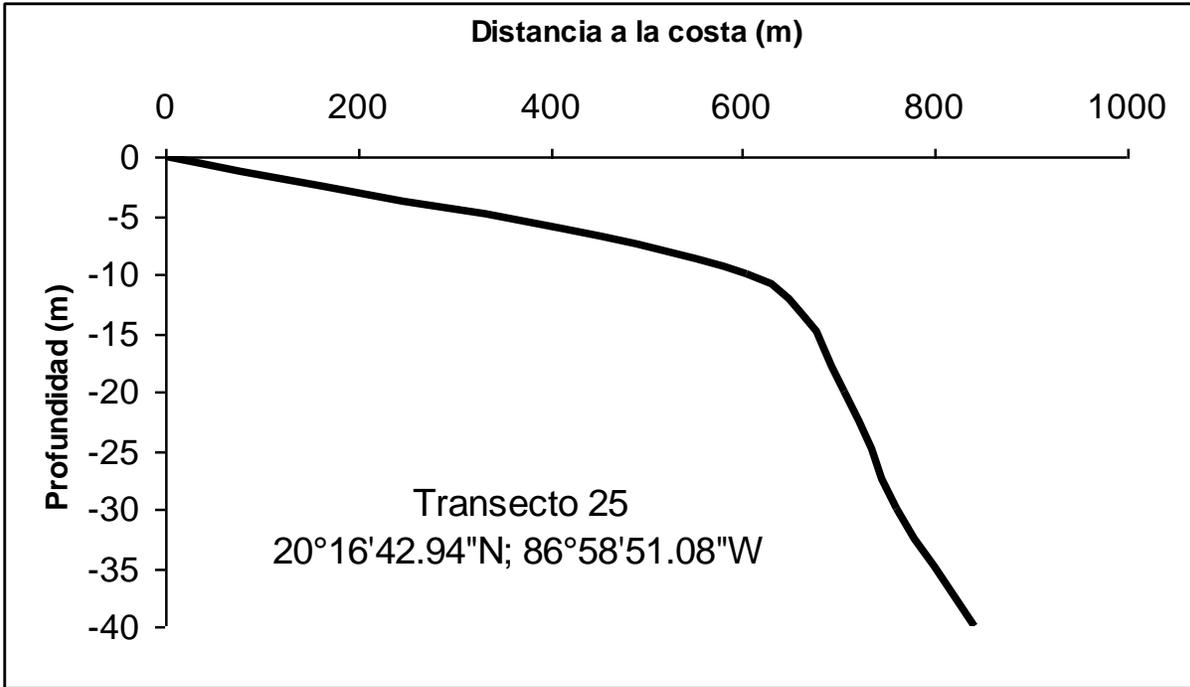


Figura 31. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

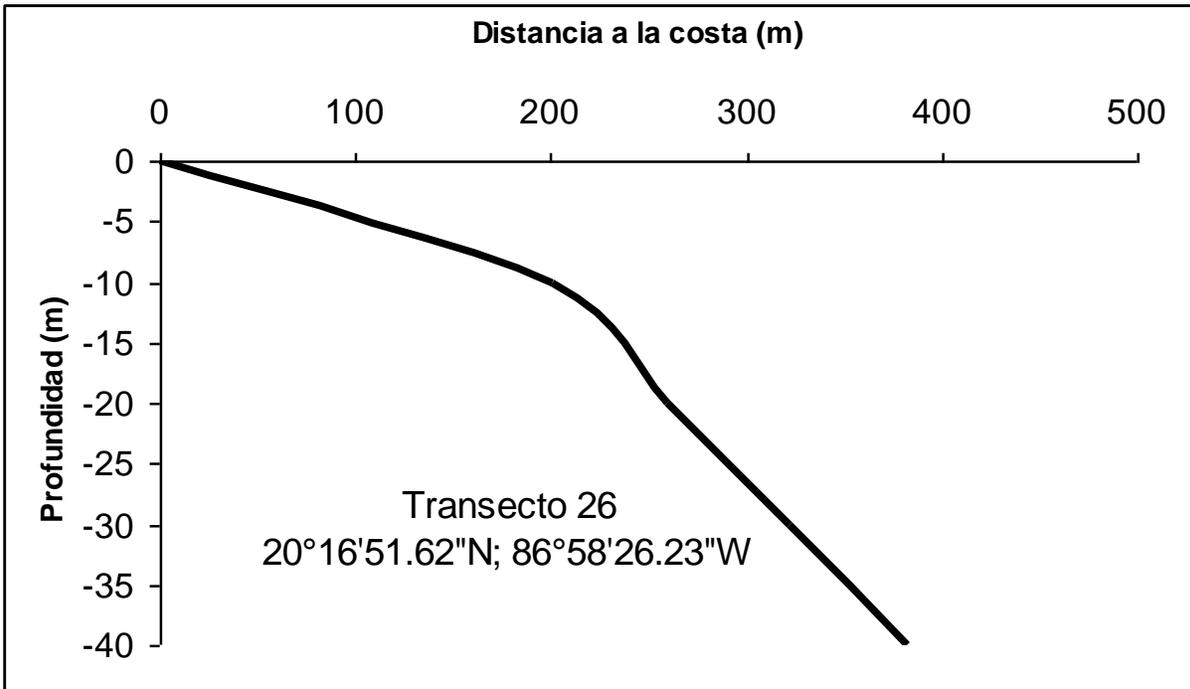


Figura 32. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

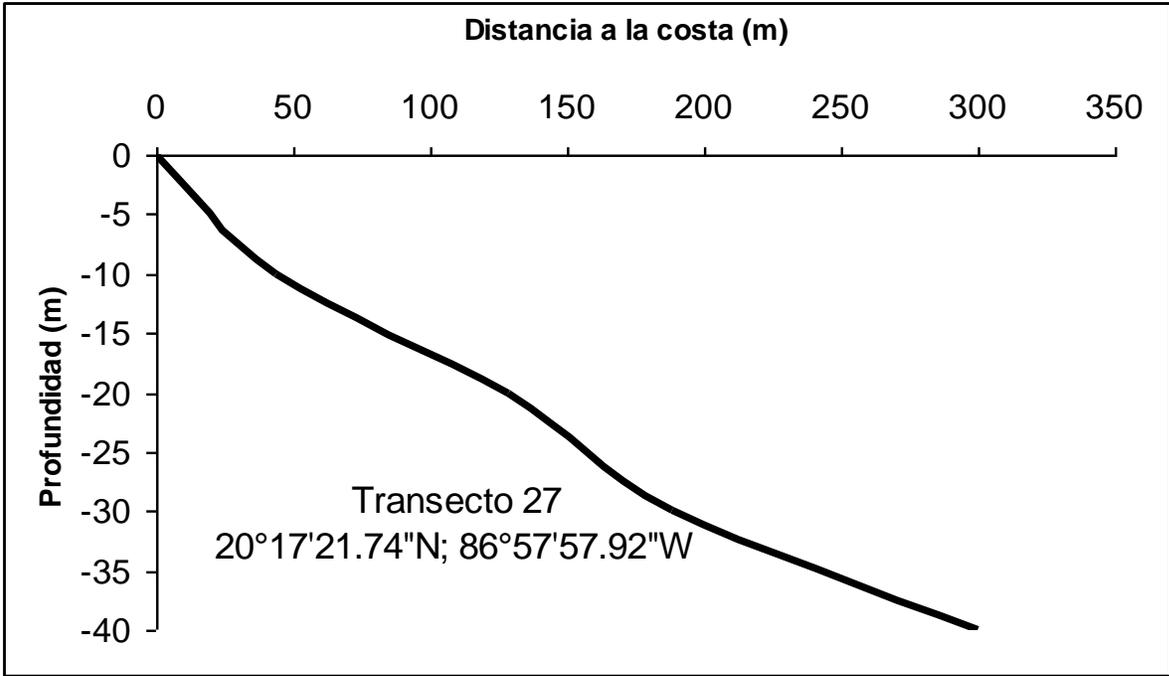


Figura 33. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

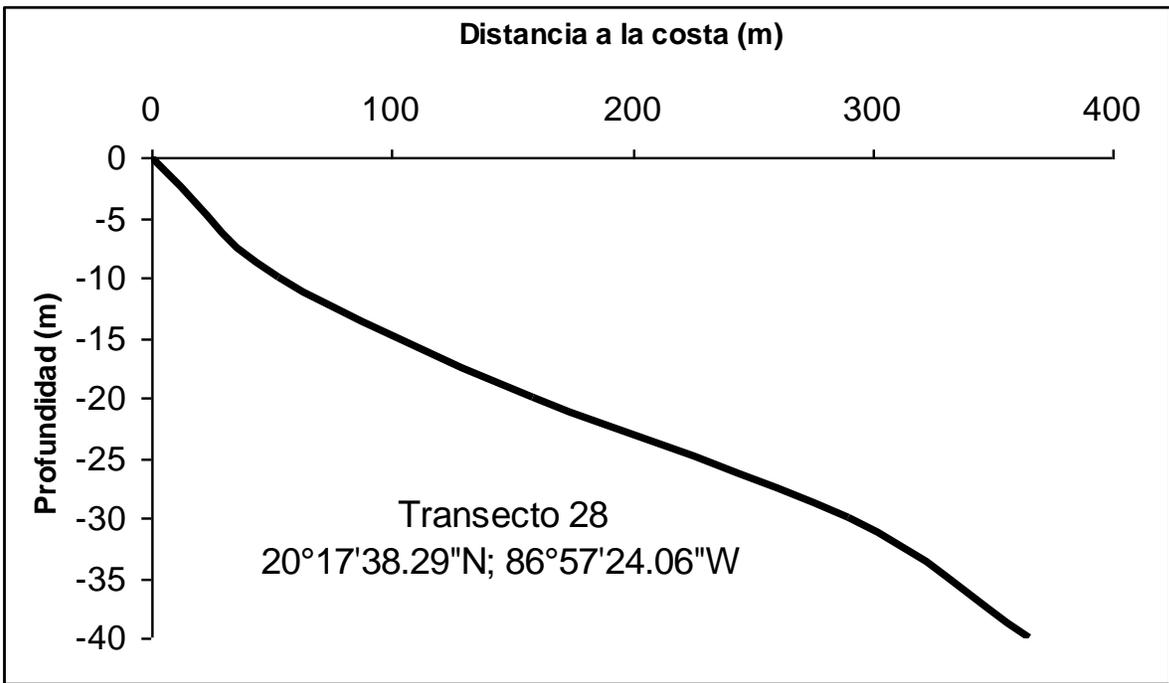


Figura 34. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

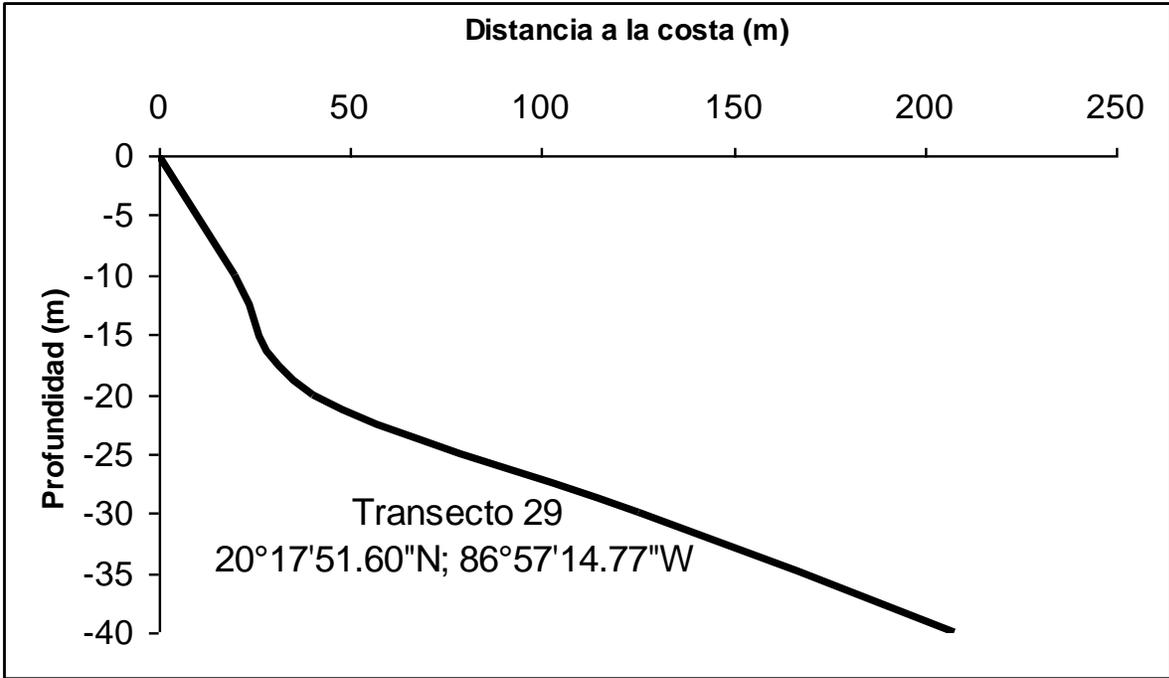


Figura 35. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

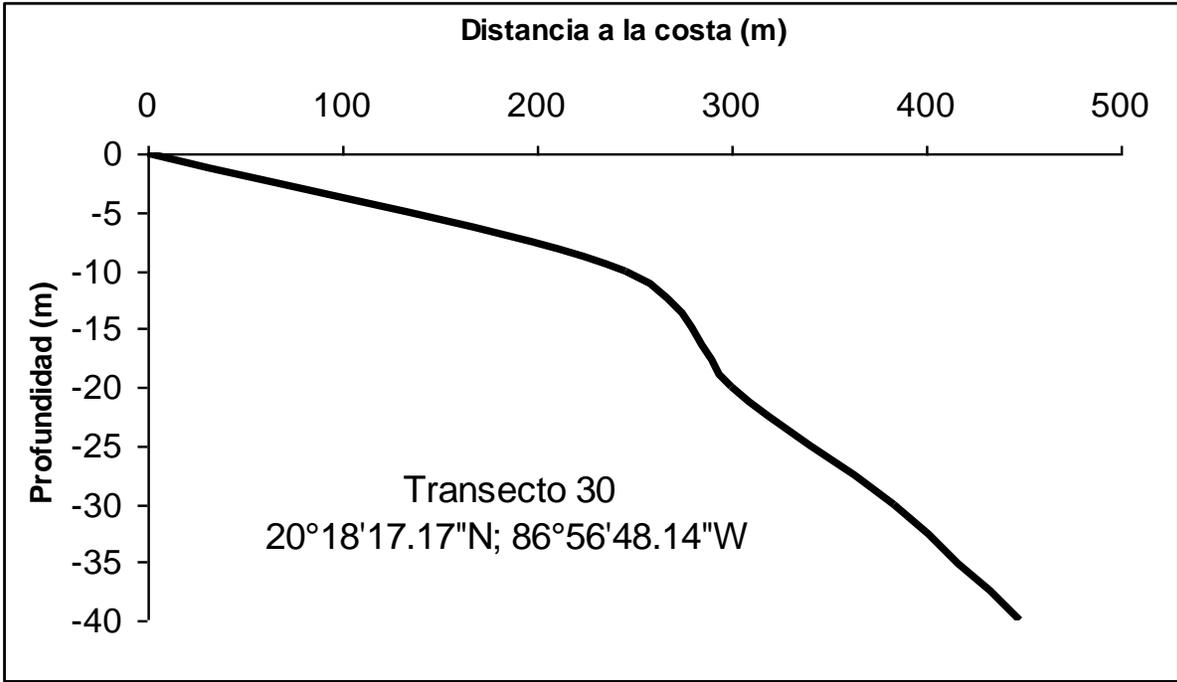


Figura 36. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso Restringido.

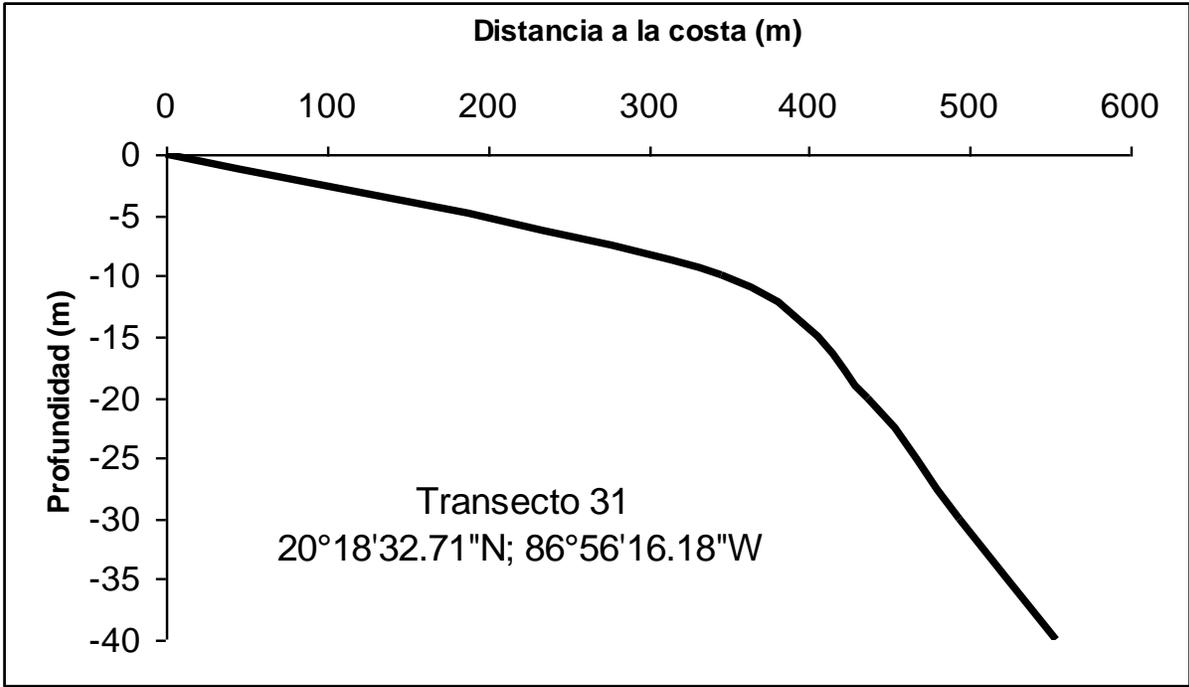


Figura 37. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad (este).

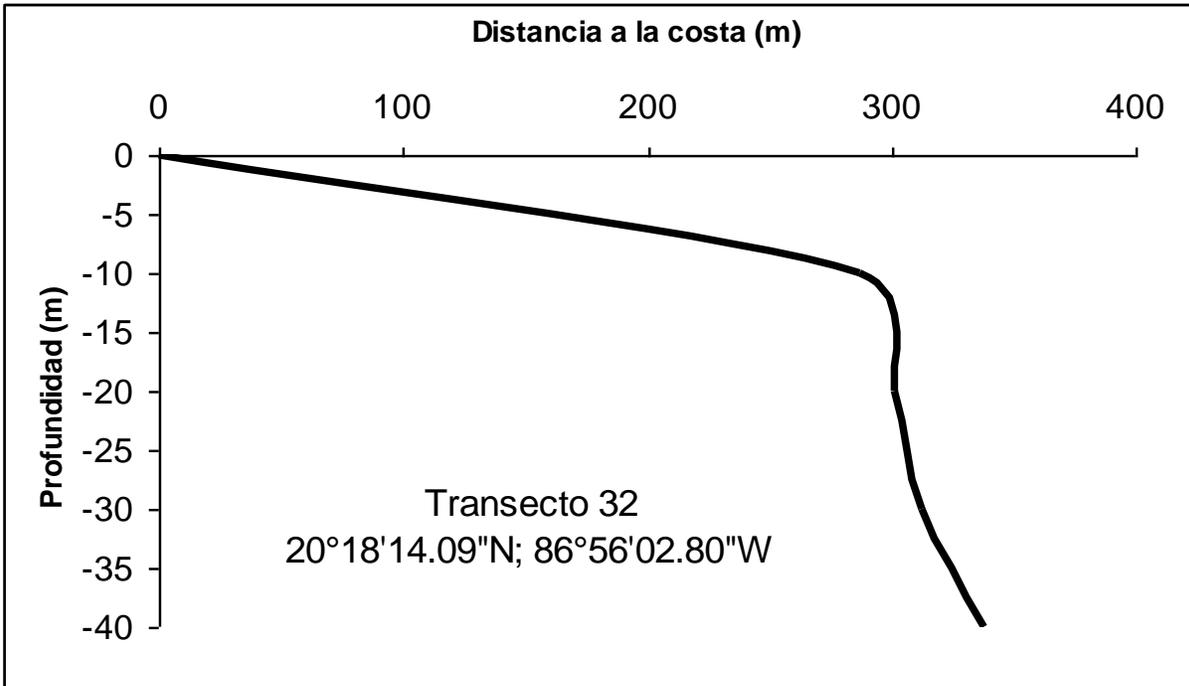


Figura 38. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad (este).

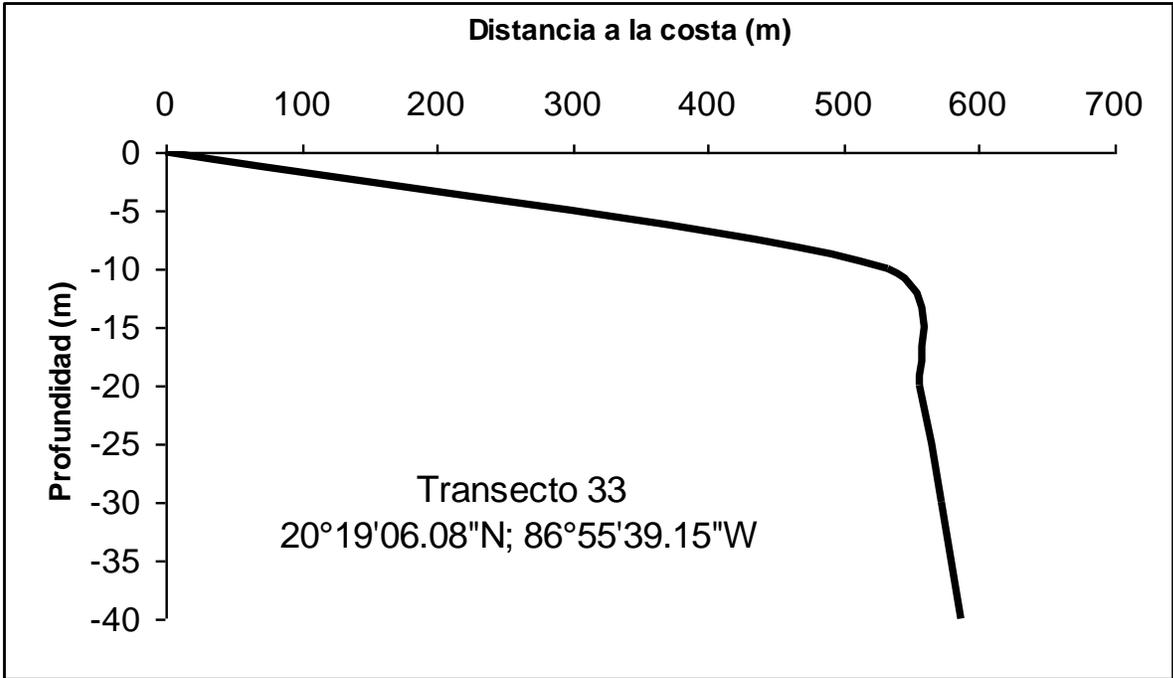


Figura 39. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad (este).

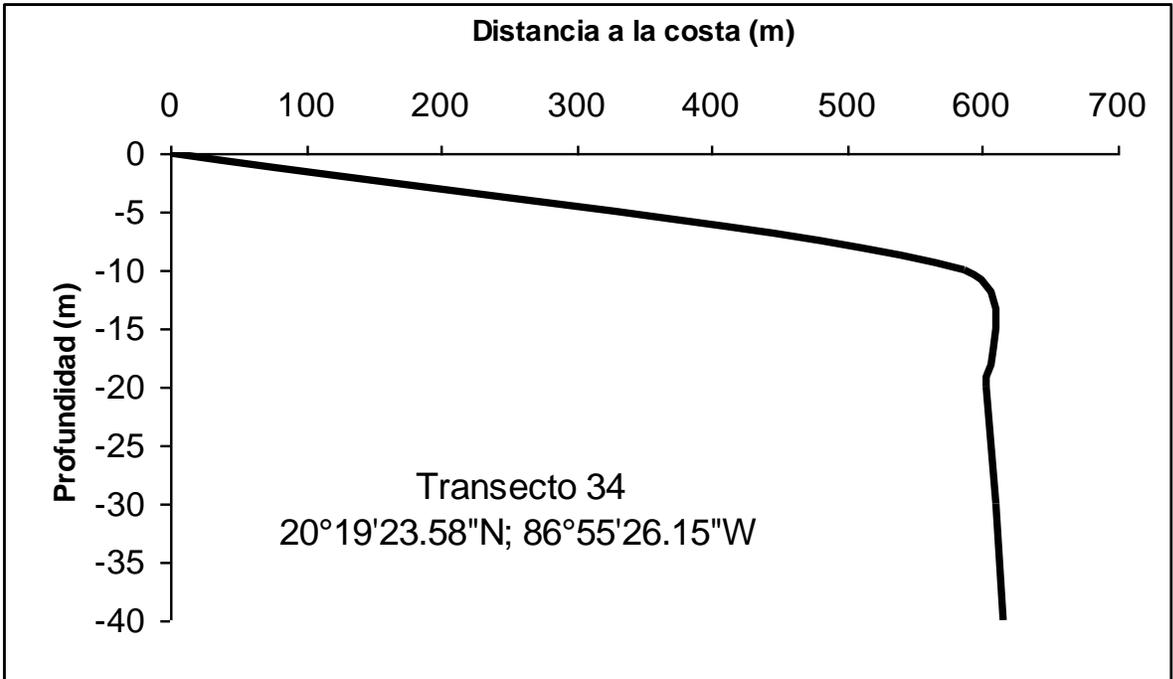


Figura 40. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad.

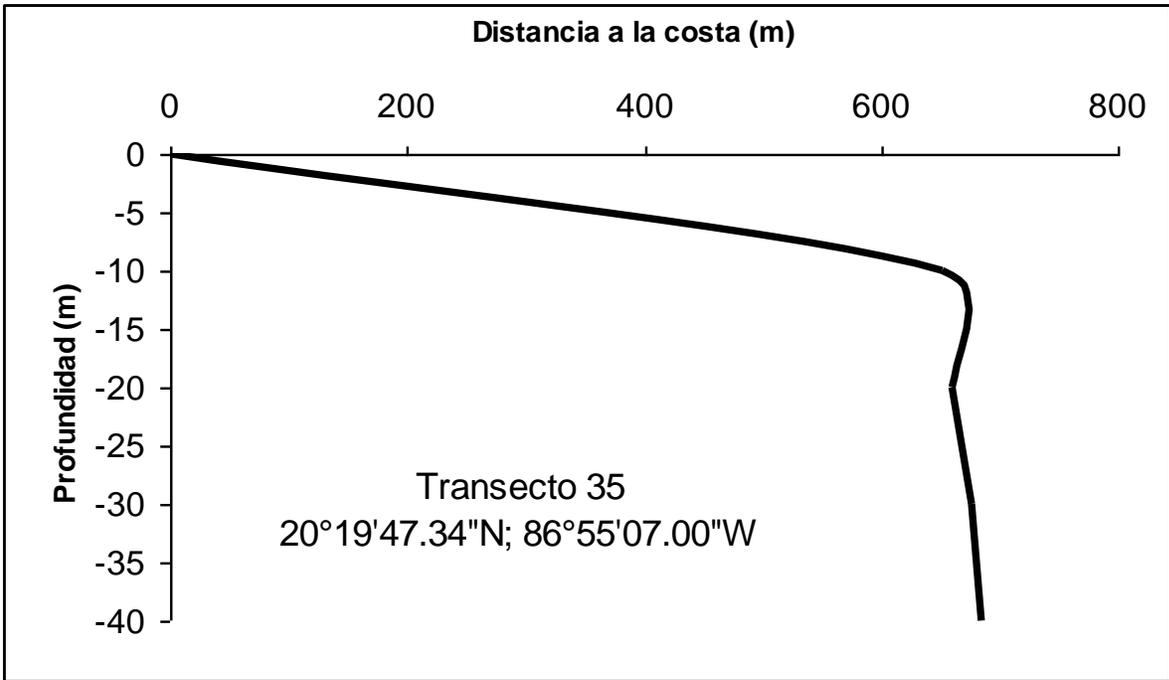


Figura 41. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad (este).

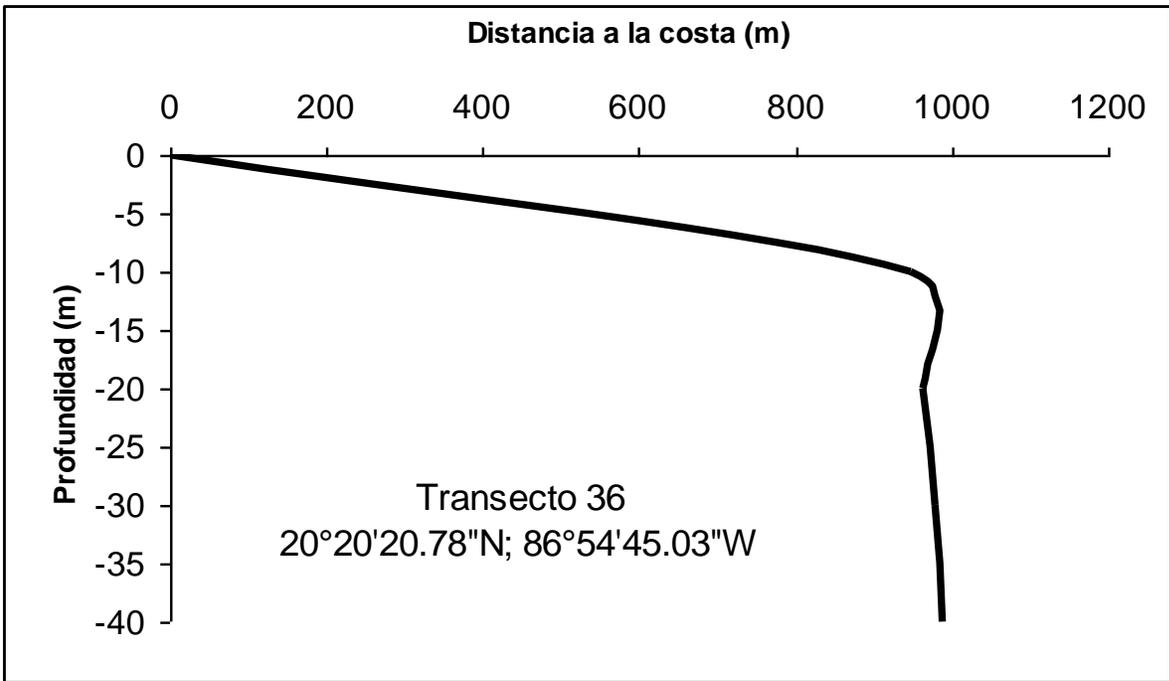


Figura 42. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad (este),

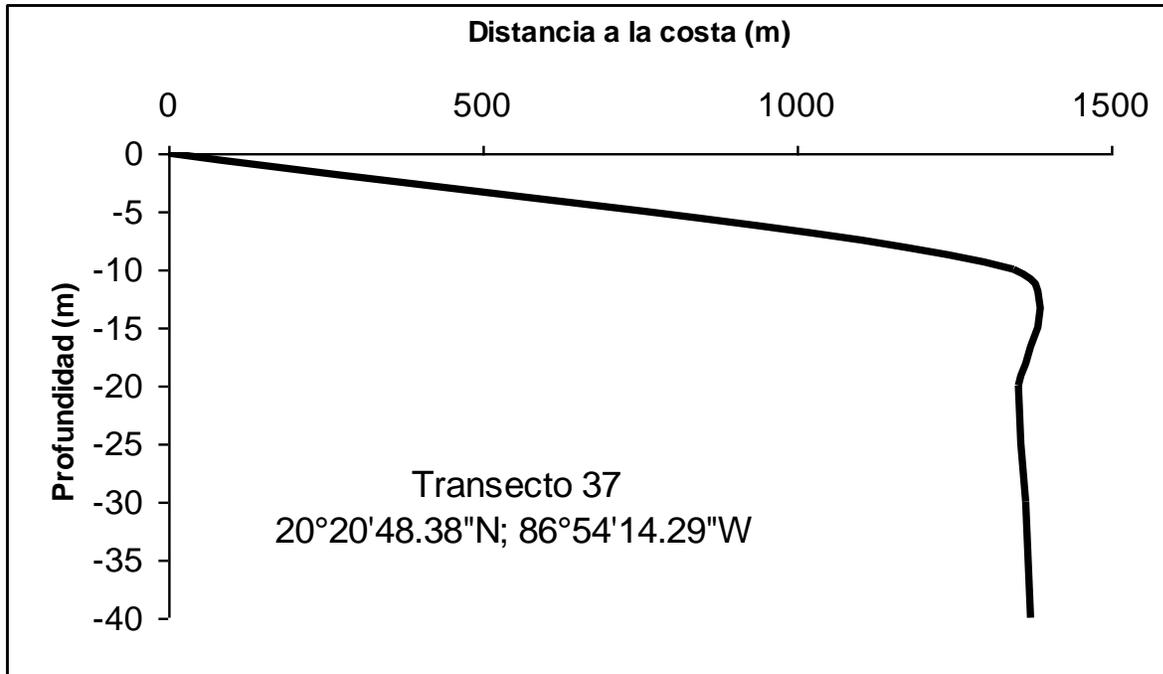


Figura 43. Perfil de Costa del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Zona de Uso de Baja Intensidad (este).

II.3. Lista sistemática actualizada de las especies presentes en el PNAC

La segunda labor del estudio consistió en armar el elenco sistemático de los taxa de interés en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, trabajo que se realizó con base en revisiones de bibliografía y con la sistematización de los registros de campo pertenecientes al PNAC. Este listado representa un producto útil ya que enriquece sensiblemente la información disponible para la revisión del Programa de Manejo del PNAC que está actualmente en proceso.

En primer lugar se utilizaron las referencias primarias sobre las comunidades biológicas del parque con las que ya contaba el grupo de trabajo (es decir, artículos o libros publicados), además de datos aparecidos en reportes internos y en el Programa de Manejo del PNAC. Esta compilación fue enriquecida con visitas a las bibliotecas de la Universidad de Miami (Miami: Julio de 2008), y el Instituto Oceanográfico Scripps (La Jolla; Marzo de 2007), donde se obtuvieron algunas referencias importantes o de difícil acceso. Estas visitas fueron llevadas a cabo con fondos institucionales propios del responsable del estudio. Por último, cabe señalar que una gran cantidad de los registros de la base de datos se obtuvieron o confirmaron en dos referencias clave: el estudio intensivo ejecutado por la ONG Amigos de Sian Ka'an en Cozumel antes de la creación del parque (García Beltrán y Loreto Viruel, 1997), y los capítulos sobre peces (Millet Encalada y Alvarez Filip, 2008; Lozano Alvarez et al., 2008), corales (Jordán Dahlgren, 2008; Millet Encalada et al., 2008) y algas (Mateo Cid y Mendoza González, 2008), del libro reciente sobre biodiversidad acuática de Isla Cozumel (Mejía Ortíz, 2008).

En relación con el trabajo de campo, con apoyo de las autoridades del parque se pudo acceder información de monitoreos previos al 2005, censos llevados a cabo por múltiples instituciones nacionales y extranjeras en el pasado, y datos de sistemas de monitoreo no oficiales como Reef Check o Reef. Finalmente, se incorporaron los datos generados en las labores de campo efectuadas en Mayo y Octubre del 2006, y Mayo del 2007. Una vez con las listas provisionales de especies, la validez de cada taxón fue corroborada en el Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS en inglés) con el fin de evitar el uso de sinonimias o nomenclaturas no actualizadas.

Nuestro trabajo ha arrojado una lista de 988 especies, pertenecientes a 459 géneros y 203 familias, incluyendo corales duros, gorgonáceos, esponjas, algas y peces (Tabla I). La mayoría de los taxa pertenecen al grupo de los peces (453 especies), mientras los gorgonidos son los más pobremente representados (39 especies).

Tabla I. Riqueza de familias, géneros y especies de los cinco taxa mayores de interés y que habitan el PNAC.

| Grupo | Familias | Géneros | Especies | Especies citadas en el Programa de Manejo del PNAC |
|---------------|-----------------|----------------|-----------------|---|
| Corales duros | 13 | 31 | 66 | 38 |
| Gorgonáceos | 6 | 17 | 39 | 26 |
| Esponjas | 30 | 34 | 56 | 27 |
| Algas | 63 | 153 | 374 | - |
| Peces | 91 | 224 | 453 | 240 |
| Total | 203 | 459 | 988 | 331 |

Como se indica arriba, el listado de los taxa de interés que se ha construido en este proyecto incluye 657 especies que no aparecieron en el del Programa de Manejo del área, una mejora de casi el 200% sobre la cantidad original. En parte esta diferencia debe tener su origen en el hecho que las compilaciones incluidas en los programas de las áreas no están diseñadas para documentar la totalidad de la fauna, sino solamente de anotar las especies representativas. Otra posible explicación puede ser la mucho mayor disponibilidad de referencias de parte del grupo de trabajo involucrado en este proyecto, incluyendo los excelentes trabajos de recopilación aparecidos este año (Mejía Ortíz, 2008)

Las cifras indicadas evidencian que hay grandes discrepancias en los listados por taxón al comparar nuestros datos con los del Programa de Manejo publicado hace una década. Por ejemplo, la gran mayoría de las especies de gorgonáceos citadas en nuestra base de datos aparecen en el Programa de Manejo, mientras que este no incluye especie alguna de macroalgas (solo vegetación terrestre). Para los peces se añadieron más de 200 especies al elenco del programa, y fue interesante que dentro de este grupo fue donde apareció la mayor parte de sinonimias dentro del listado oficial; en nuestro caso pasamos a corregirlas y ya aparecen actualizadas en la compilación presentada como resultado de la investigación.

Sobre los invertebrados, en lo que se refiere a las esponjas hay 29 especies que representan adiciones a la lista de las 27 indicadas en el Programa (114% de incremento), pero además hay al menos otras 15 que posiblemente lleguen a incorporarse puesto que aparecen en alguna publicación sobre Cozumel, pero existen dudas sobre su identidad taxonómica al no haber información taxonómica detallada de muchas ellas en ITIS, o en otras fuentes. Revisando los grupos restantes, para los gorgonidos encontramos 13 especies adicionales (50 % de incremento) y lo que fue más llamativo, hay 28 corales duros que no aparecían en la lista del programa original (un 68% de incremento sobre los 38 originales). Esta discrepancia se debe en gran medida a que en nuestra compilación incluimos especies azooxanteladas y de agua profunda (e.g. *Colangia* spp. o *Thalamophyllia riisei*) que no se tomaron en cuenta durante la preparación del plan de manejo del parque porque no ocurren en zonas someras. Sin embargo, hay varios corales arrecifales “típicos” que no fueron citados en dicho documento, de los cuales es un tanto difícil de entender su ausencia debido a que la gran mayoría estaba citado para la localidad desde finales de los 1980s (e.g. Fenner, 1988; Jordán, 1988). Es posible que esta situación sea resultado de que los encargados de recolectar la información pusieron en práctica los conceptos taxonómicos dominantes durante la década pasada en México (basados en Zlatarski y Martínez Estalella, 1980), donde se agrupaban diversas “formas” dentro de una “especie” con enorme variabilidad morfológica. Un claro ejemplo de ello es el “complejo *Porites porites*”, que actualmente se reconoce como una amalgama de varias especies válidas (*P.*

porites, *P. furcata* y *P. divaricata*). Este hallazgo llama la atención a no utilizar las nomenclaturas de especies marinas de manera automática en el proceso de armado de bases de datos.

El último comentario relevante en esta sección del reporte es que con el trabajo desarrollado hasta el momento hemos cubierto el compromiso adquirido con CONABIO para la Primera Etapa, que implicaba un total de 500 especies en el elenco sistemático. Considerando que aún existen algunas referencias que consultar así como ir incluyendo datos de campo, es posible que el número final de especies que se enlisten para el parque eventualmente supere las 1,000, tan solo para los grupos taxonómicos de interés.

II.4. Base de datos georeferenciados de las especies de interés

El siguiente compromiso del estudio fue preparar una base de datos en el programa EXCEL, la cual incluya registros georeferenciados de la presencia de los taxa de interés dentro del parque. Esta base se armó a partir de las variables establecidas en el convenio, a saber: nombre de la localidad; estado; municipio; latitud en grados, minutos y segundos; longitud grados, minutos y segundos; altitud; ambiente (marino, dulceacuícola, terrestre); fuente (mapa, GPS, gacetero); y precisión o escala. Además, al estarla construyendo notamos la necesidad de incluir otras variables para hacer que la información sea más completa y fácilmente accesible a los usuarios; por ello se agregaron cinco variables más: a) profundidad máxima y mínima (en m); b) procedencia del registro (observado en el caso de datos de campo, o reportado si proviene de una publicación); c) bibliografía (título, autores, fuente de la referencia y año del trabajo revisado); d) recolector de los datos; y e) método de muestreo (exclusivo para información de campo).

Los registros de la base que se está enviando acompañando este reporte se tomaron en gran medida del informe de la ONG Amigos de Sian Ka'an, titulado "Caracterización de los Arrecifes Coralinos de Isla Cozumel, Quintana Roo, México" (García Beltrán y Loreto Viruel, 1997), de otra literatura y de los monitoreos realizados en julio del 2005 y mayo del 2006 llevados a cabo utilizando el método de punto de intersección propuesto por el Proyecto SAM (Sistema Arrecifal Mesoamericano). A manera de resultados, en este momento la base contiene un total de 6,706 registros: 26% provenientes de bibliografía y 74% de campo (Tabla II). Analizando por taxón, 3,914 pertenecen a corales y 1,721 a peces; los datos de algas, esponjas y gorgonáceos son mucho menos numerosos (Tabla III). Finalmente cabe señalar que el compromiso original del proyecto era el armar una base con 1,000 registros georeferenciados para todos los taxa de interés, cifra que como se aprecia en la Tabla III ha sido casi septuplicado para este momento.

Cabe señalar que a pesar de haber superado por mucho la cifra pactada con la Comisión, aún existe un cuerpo importante de información a capturar, proveniente de la literatura (e.g. los trabajos contenidos en Mejía Ortiz, 2008), de algunos reportes internos que aún falta que nos faciliten las autoridades del PNAC, y con los censos de organismos efectuados en 2007 y 2008. Los registros se incorporarán para la siguiente fase de la investigación, con el fin de mantener la continuidad. Confiamos en que para el primer año de esta actualización podamos llegar a los 7,500 registros georeferenciados; toda esta información hará que indudablemente Cozumel será uno de los parques con componente marino mejor caracterizados de México.

Tabla II. Procedencia de los registros incluidos en la base de datos.

| Grupo | Literatura | Campo |
|--------------|-------------------|---------------|
| Corales | 3.68% | 54.69% |
| Peces | 6.07% | 19.59% |
| Algas | 9.45% | 0% |
| Esponjas | 3.88% | 0% |
| Gorgonáceos | 2.64% | 0% |
| Total | 25.72% | 74.28% |

Tabla III. Arreglo taxonómico de los registros de la base de datos.

| Grupo | Literatura | Campo | Total |
|--------------|-------------------|--------------|--------------|
| Corales | 247 | 3,667 | 3,914 |
| Peces | 407 | 1,314 | 1,721 |
| Algas | 634 | 0 | 634 |
| Esponjas | 260 | 0 | 260 |
| Gorgonáceos | 177 | 0 | 177 |
| Total | 1,725 | 4,981 | 6,706 |

II.5. Monitoreo sinóptico del PNAC

El siguiente compromiso del estudio fue llevar a cabo el análisis numérico de los resultados del monitoreo sinóptico llevado a cabo en los seis arrecifes considerados como prioritarios en el PNAC (Fig. 1); en el caso de los invertebrados y los tipos de fondo, se pactó con CONABIO que la información incluyera de Octubre de 2004 a Mayo de 2007, pero en realidad el análisis se extendió un año mas (a Mayo de 2008), para completar tres ciclos anuales con un total de 8 temporadas de campo. Los datos de peces se analizaron solo en el intervalo de Mayo de 2006 a Octubre de 2007, ya que en fechas previas se censaban solo ciertas especies de importancia comercial o gran tamaño (lo que impide realizar comparaciones válidas con nuestro trabajo, que abarca la comunidad en su totalidad), y porque la administración del PNAC no nos pudo proporcionar los datos de la salida de primavera de 2008 a tiempo, por cuestiones logísticas.

El trabajo de monitoreo se llevó a cabo en estrecha colaboración con el Departamento de Monitoreo del PNAC, el cual sigue las recomendaciones del Protocolo SAM. En el caso de los datos de tipo de fondo y conteos de invertebrados incrustantes, la metodología indica usar la técnica de punto de intersección para generar la información y para evaluar la cantidad de espacio no ocupado por la biota. El método consiste en anotar la identidad de los organismos encontrados bajo puntos marcados en transectos de fibra de vidrio cada 25 cm a lo largo de un transecto de 30 m de longitud total (N= 120 por transecto), y se presta particular atención a corales, algas, esponjas y gorgónidos. Para cada visita se han realizado 6 transectos por arrecife, en cada uno de los seis arrecifes indicados en la figura 1; esto hace un total de 48 transectos y 5,760 puntos de muestreo en cada sitio durante las 8 visitas (en resumen, 288 transectos y 34,560 puntos en total durante la investigación. Por otra parte, para estudiar los peces se utilizan transectos de banda de 30 x 2 m (8 por sitio), dentro de los que se cuentan todos los individuos que cruzan dicha área, o se estiman (en intervalos de 10 individuos) en el caso que aparezcan en forma de cardúmenes. Para este grupo se ha generado un total de 187 conteos en los cuatro monitoreos de cada uno de los seis sitios, 1,128 en total para el PNAC, y por ende, se recorrió un área de 67,680 m² de arrecife. La identificación de organismos se hizo *in situ* y con guías generales especializadas para la región (e.g. Humann, 2002; Humann y DeLoach, 2002).

Los datos de los resultados de los monitoreos se presentan en archivos de EXCEL entregado junto con este reporte, que consta de 14 hojas de trabajo. Las primeras seis contienen los datos en bruto del monitoreo así como las coberturas de los componentes béticos, y se presenta información de los seis transectos en cada arrecife trabajado (Paraíso, Chankanaab, Yucab, Paso del Cedral, Dalila y Colombia). Las coberturas de coral aparecen por especie y género, y las de los demás componentes béticos de forma agrupada. En las siguientes hojas del archivo se presenta el resumen de los porcentajes de cobertura de coral, esponjas y algas para todos los arrecifes durante el monitoreo, y el la cobertura de los diferentes géneros de coral en los seis sitios, junto con sus correspondientes gráficas.

Para los seis arrecifes también se hizo un análisis a escala de paisaje donde se calcularon y graficaron indicadores descriptivos para todos los transectos realizados (hoja 8 a 13 del archivo EXCEL citado arriba), y donde se empleó la totalidad de la información, es decir, se tomaron tanto los distintos grupos taxonómicos residentes de fondo (corales, gorgonias,

esponjas y algas; en este caso, conjuntando algas coralinas, algas foliosas y cianofitas libres o en tapete), como los diversos componentes abióticos del piso (roca, arena, coral muerto y "otros"). Los índices aplicados fueron la cobertura de organismos vivos (N), número total de componentes (biológicos o físicos; S), diversidad de Shannon-Wiener (H'), y uniformidad de Pielou (J').

II.5.1. Descripción de los arrecifes en el PNAC con base en los monitoreos sinópticos

En este apartado se describirán brevemente los patrones mostrados por los diversos indicadores del paisaje arrecifal en el PNAC, y por los organismos que fueron censados durante los monitoreos. Cabe señalar que dentro del periodo de estudio sucedieron dos eventos de la mayor relevancia para Cozumel: el impacto de los ciclones "Emily" y "Wilma", en Julio y Octubre de 2005, respectivamente, los cuales modificaron en gran medida las condiciones bióticas y ambientales de los arrecifes. Sin embargo y como se podrá apreciar, ya hay recuperación sustancial en varios indicadores ecológicos del sistema.

II.5.1.1. Análisis del paisaje

Cobertura viva

La cobertura viva sobre el sustrato de los diversos grupos taxonómicos considerados en Cozumel (algas, esponjas, corales y gorgonáceos) fue en promedio de $53.82 \pm 0.98\%$ para los ocho muestreos, aunque llegó a ser tan alta como 73% en Mayo 2005 (Fig. 44). Los huracanes de 2005 disminuyeron este indicador de forma abrupta hasta 35% en Mayo 2006, pero afortunadamente a partir de ahí la cobertura se elevó y luego estabilizó aproximadamente en el 55% del fondo. El análisis de varianza indicó que la cobertura en Mayo 2005 superó estadísticamente a cualquier otro muestreo, y que las de Octubre 2005 y Mayo 2006 fueron las más bajas ($F_{7,240} = 43.64$, $P < 0.0001$).

Considerando las localidades, todas presentan promedios de cobertura muy semejantes, alrededor del 53% al 58%, con excepción de Yucab, donde apenas se llegó al 42%; la diferencia es altamente significativa ($F_{7,240} = 45.64$, $P < 0.0001$). Sin embargo, las localidades se comportaron de forma distinta, por ejemplo, Chankanaab, Dalila y Paso del Cedral perdieron aproximadamente un 30% de la cobertura viva, y resultaron ser los sitios donde la recuperación no ha sido tan eficiente, mientras que Paraíso es el contraste, donde solo un 4% de la cobertura se ha perdido; sin embargo, hay que considerar que la situación de este arrecife no es la mas adecuada, ya que desde el principio se ha caracterizado por ser el de menor presencia de organismos vivos en el fondo (Fig. 44).

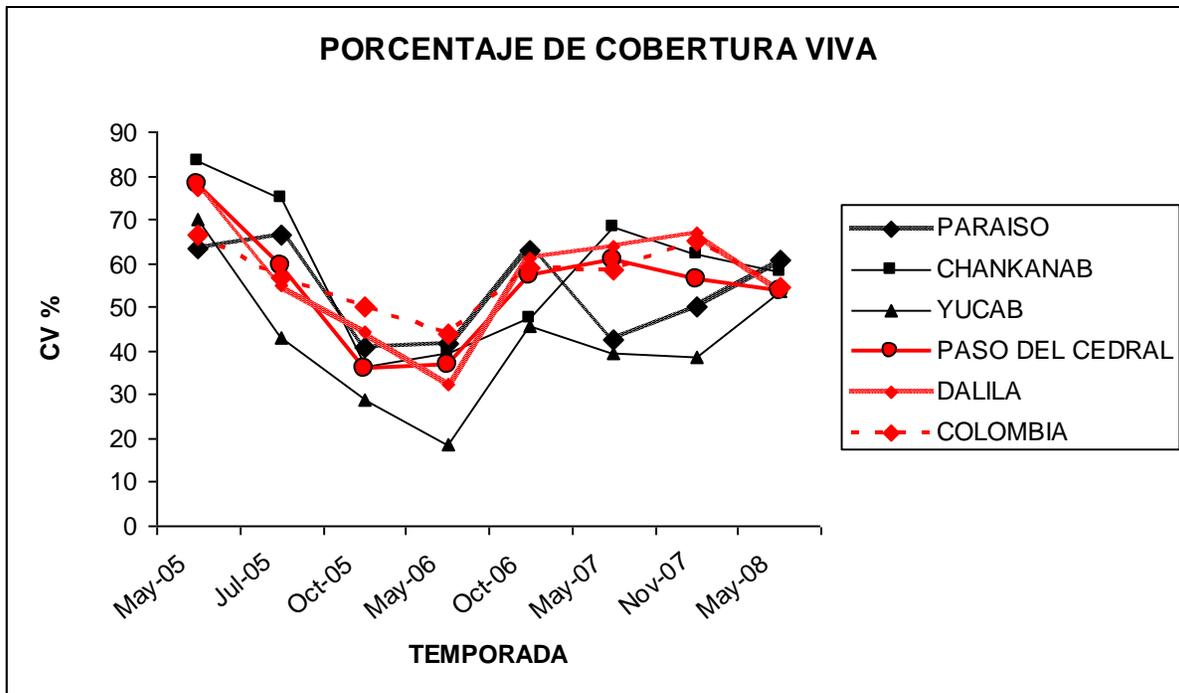


Figura 44. Cobertura de organismos vivos sobre el fondo (porcentaje) en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008. Las localidades se presentan arregladas de norte a sur.

Riqueza total de componentes del fondo

En el gráfico (Fig. 45) puede verse que la riqueza total de tipos de fondo (incluyendo variables biológicas y abióticas), cayó un poco durante 2005 como efecto de los ciclones, permaneció baja en 2006, y posteriormente se recuperó. El análisis numérico indicó que entre Mayo de 2006 y Mayo de 2007 los valores de riqueza de elementos de fondo (promedio de 6.1 a 7.4 unidades) fueron inferiores a los del resto de las temporadas de campo (7.5 a 8.0; $F_{7,279}=17.02$, $P < 0.0001$), lo cual confirma las observaciones iniciales, y demuestra que el impacto de los ciclones fue de relativamente larga duración sobre la riqueza de componentes de paisaje en Cozumel. También puede decirse que si consideramos que entre Mayo 2005 y Mayo 2008 las condiciones eran estadísticamente iguales, ello confirma la capacidad de regeneración del sistema, a mediano plazo.

En relación con los distintos arrecifes en Cozumel, los cuatro situados más al norte (de Paraíso a Paso del Cedral) tuvieron promedios de riqueza de elementos de fondo más bajos que los del sur, Dalila y Colombia (6.8 a 7.4 contra 7.9 a 8.1, respectivamente). La diferencia fue significativa ($F_{5,281}= 11.19$, $P < 0.0001$), y remarca las notables diferencias en condiciones ambientales a lo largo del PNAC; en este caso, la parte norte es sin lugar a dudas la que sufre mayores perturbaciones al estar en parte dentro de la Zona de Uso Intensivo del parque, y recibir literalmente miles de visitantes al día. Por último, llama la atención como el arrecife Dalila ha logrado mantener una posición alta en los promedios de riqueza de elementos del paisaje durante la mayor parte del estudio, mientras que Paraíso constantemente se encuentra en la parte baja del gráfico (Fig. 45); este último es el lugar con mayor intensidad de uso, y se sitúa a un lado del principal muelle de la isla. Así, nuestros resultados remarcan una vez más el deletéreo efecto humano, no solo sobre las comunidades biológicas, sino sobre la composición y estructura del ambiente en sí.

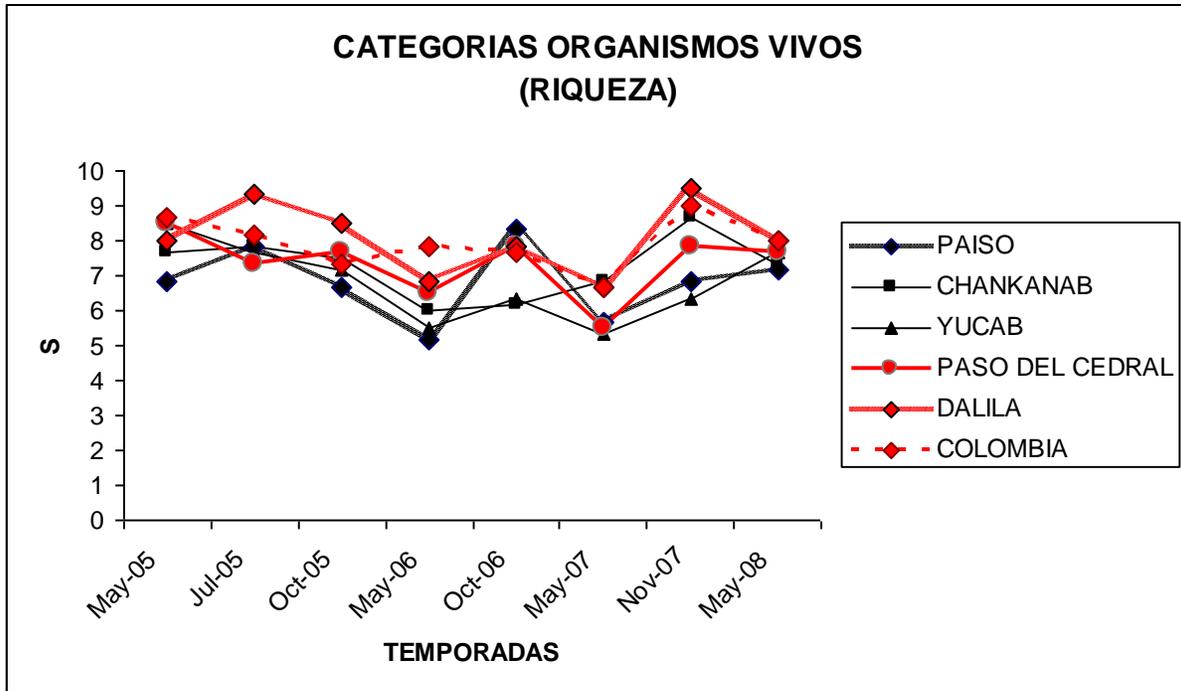


Figura 45. Riqueza de componentes de fondo (bióticos y abióticos) en los arrecifes de el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Diversidad de Shannon-Wiener y Uniformidad de Pielou

Estos índices se comportaron de forma similar en el tiempo y el espacio (Figs. 46 y 47), por lo que se discutirán en conjunto. Para la diversidad y uniformidad de componentes de fondo (indicativo de la variedad de ambientes presentes en la zona de trabajo), puede verse como entre Mayo 2005 y Octubre 2005 los valores eran altos, pero los ciclones causaron un grave daño al arrecife, el cual se preservó hasta Mayo 2007; por ejemplo, en esa temporada la diversidad de elementos paisajísticos bajó un 15% respecto del valor inicial, y la uniformidad un 21%. Posteriormente la situación mejoró, y de hecho el promedio de diversidad y uniformidad fueron ligeramente más altos en Mayo de 2008 que en Mayo 2005 (H' : 1.67 a 1.65 decits/ind, y J' : 0.83 a 0.79, respectivamente), es decir, la recuperación en la variedad de componentes del bentos (vivos y no vivos) fue completa. Cabe señalar que el promedio general de diversidad y equitatividad obtenido durante este estudio fue de 1.60 ± 0.01 decits/ind y 0.81 ± 0.004 unidades, respectivamente, y que el análisis de varianza mostró que la ambos índices tuvieron valores mas bajos entre Mayo 2005 y Mayo 2007 que en el resto de temporadas analizadas (para H' : $F_{7,279} = 23.62$, $P < 0.0001$; para J' : $F_{7,279} = 5.79$; $P < 0.0001$).

Revisando por sitios específicos, la diversidad y uniformidad de paisaje fueron menores en Paraíso que en cualquier otro sitio ($F_{5,281} = 21.66$, $P < 0.0001$; y $F_{5,281} = 8.34$, $P < 0.0001$, respectivamente). Sin embargo, la uniformidad fue homogénea entre todos los demás lugares, mientras que la diversidad presentó tres niveles: Paraíso / Chankanaab hasta Paso del Cedral / Dalila y Colombia. Esto indica que la parte sur del PNAC presenta una más alta variedad de tipos de sustrato y entornos más heterogéneos, lo que generalmente se traduce en beneficios para las comunidades bióticas en forma de diversidad de recursos y alto reclutamiento.

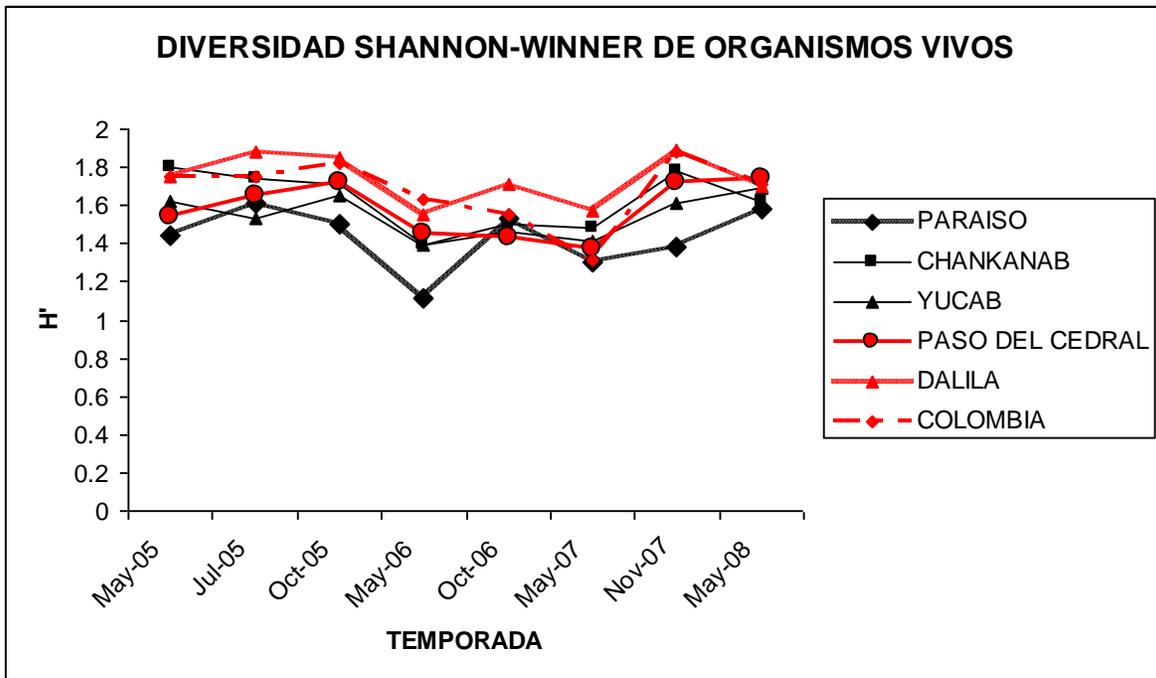


Figura 46. Diversidad de componentes de fondo (índice de Shannon-Wiener) en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

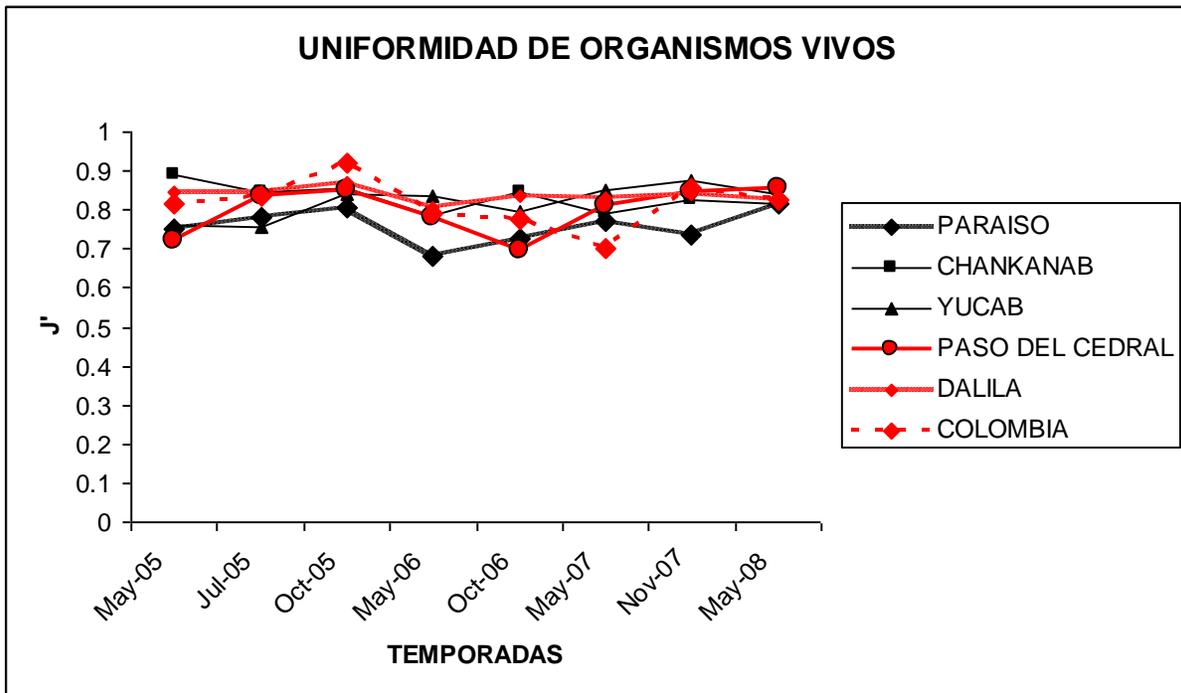


Figura 47. Uniformidad de componentes de fondo (índice de Pielou) en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

II.5.1.2. Cobertura a nivel de grupos taxonómicos particulares

Espojas

El promedio general de cobertura sobre el fondo de este taxón fue de $11.06 \pm 0.41\%$ (Fig. 48). La tendencia general en los distintos sitios de Cozumel fue de ir disminuyendo sus números hasta Mayo de 2006, lo cual era de esperarse considerando que las esponjas están entre los componentes arrecifales con menor tolerancia a la abrasión causada por el sedimento

en movimiento, y a velocidades excesivamente altas de la corriente. Después, entre Octubre de 2006 y Mayo 2007 hay un repunte considerable, pero para los últimos dos muestreos la abundancia de esponjas vuelve a bajar un tanto (Fig. 48). El análisis de varianza muestra que hay tres niveles de abundancia de esponjas ($F_{7,279} = 33.81$, $P < 0.0001$): altos (Mayo 2005, Octubre 2005-Mayo 2007), intermedios (Julio 2005, Noviembre 2007, Mayo 2008), y bajos (Mayo 2005 y Octubre 2005).

Es posible que lo sucedido se explique así; posterior a la ocurrencia de los ciclones, la zona presentó una elevación de la cobertura producto de la fragmentación de lo que eran grandes colonias de poríferos; este fenómeno se vio acompañado de una disminución notable en la talla de dichos organismos (Millet Encalada et al., en prensa). Luego, muchas de esos nuevos individuos no lograron fijarse exitosamente al fondo y continuar su crecimiento, y en respuesta la abundancia de esponjas volvió a bajar y se estabilizó, esta vez en un nivel aproximadamente 40% inferior al inicial.

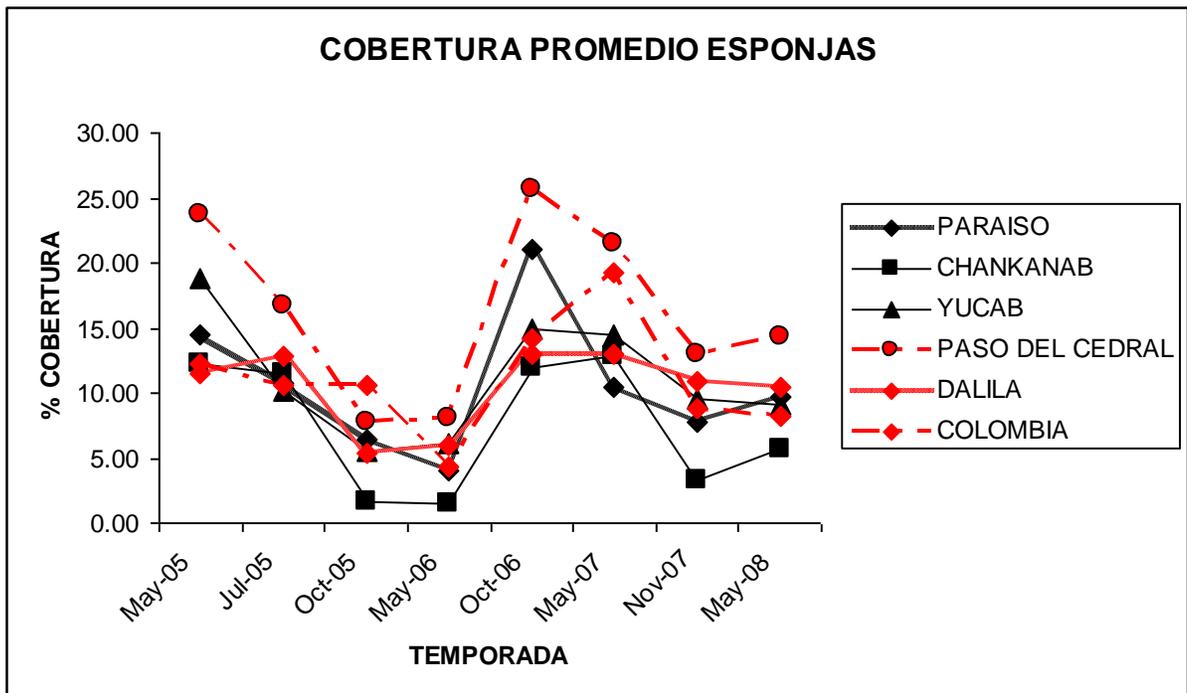


Figura 48. Cobertura de esponjas en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

El patrón descrito se reflejó en todas las localidades analizadas, pero entre ellas hubo ciertas diferencias. Por ejemplo, prácticamente en todos los muestreos la cobertura de esponjas ha sido mayor en Paso del Cedral que en los demás sitios, y la diferencia es significativa ($F_{5,281} = 17.71$, $P < 0.0001$); además el estadístico indicó que en Chankanaab la cantidad de poríferos es menor a la de cualquier otro punto muestreado en Cozumel, y así ha sido históricamente (Fig. 48). Finalmente, las zonas con mayor pérdida de esponjas fueron Chankanaab y Yucab (del 51% al 53%) y la menos dañada, Dalila (apenas 9%).

Corales pétreos Cobertura

El comportamiento de la cobertura coralina en el PNAC es similar al de las esponjas, mostrando una disminución durante los meses durante e inmediatamente después de los ciclones en 2005; luego la situación mejoró hasta Noviembre de 2007, pero para Mayo 2008 las cifras volvieron a bajar (Fig. 49). Las diferencias temporales fueron significativas ($F_{7,279} = 19.20$,

$P < 0.0001$) y mostraron un largo gradiente iniciando con Mayo 2005 (cobertura máxima), Julio 2005, y de Octubre 2006 a Noviembre 2007 (cobertura intermedia), y Octubre 2005, Mayo 2006 y Mayo 2008 (cobertura baja). Es probable que se aplique la misma explicación dada adelante; los ciclones bajaron la cantidad de corales por mortalidad, pero las cifras se elevaron luego por efecto de la fragmentación. En fechas recientes, muchas de las colonias no fijadas al fondo murieron, y ello puso la cobertura en el 12%, alrededor de la mitad del valor inicial.

Por otra parte, la abundancia de coral por sitio varió notable y significativamente ($F_{5,281} = 13.50$, $P < 0.0001$). Paso del Cedral y Colombia presentaron la mejor condición (18% al 20% de promedio de cobertura durante todo el estudio), seguidos por Dalila y Chankanaab (14% al 16%), y Paraíso y Yucab (12%). Puede verse que de nuevo la zona sur del PNAC está en un estado de conservación más aceptable que la norte. Por otra parte, la zona que tuvo mayores pérdidas de abundancia fue Yucab (un impresionante 79% menos en Mayo 2008 que en Mayo 2005), seguido por Dalila y Paso del Cedral (aproximadamente el 60% de disminución), mientras que Paraíso solo bajó un 21% de la cifra original. En resumen estamos viendo que las zonas inicialmente más pobres fueron las que menos coral perdieron luego de los ciclones; posiblemente esto se explique porque de antemano su situación era menos buena y por ello la comunidad está formada de especies muy tolerantes como *Siderastrea* spp.

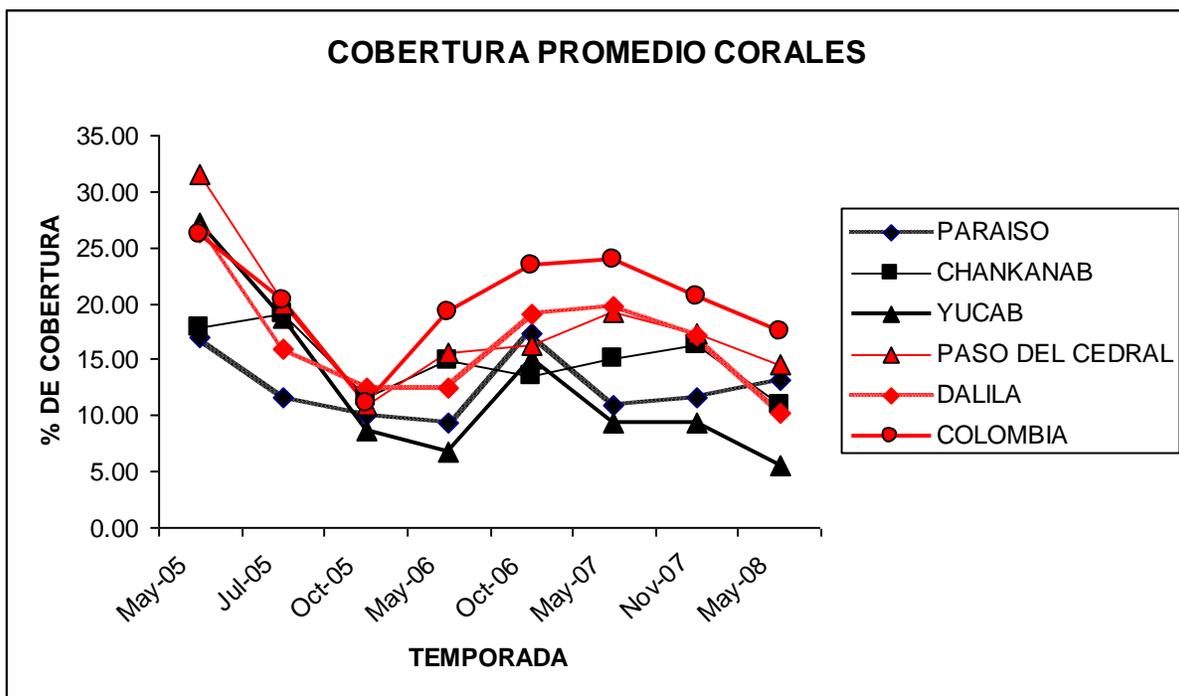


Figura 49. Cobertura de corales duros en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Riqueza

Los corales pétreos de los arrecifes de Cozumel presentaron una riqueza promedio de 6.18 ± 0.14 especies/censo (Fig. 50) y la tendencia temporal observada fue atípica; en este caso, la riqueza fue más alta en el año posterior a los huracanes (Octubre 2006), y muy similar en el resto de muestreos. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre temporadas ($F_{7, 280} = 5.92$; $P < 0.0001$), donde de Octubre 2006 a Noviembre 2007, y en Julio 2005 los valores fueron más altos (riqueza promedio mayor a 6.9 sp/censo). Para el final del muestreo la cifra fue prácticamente idéntica a la inicial, lo que indica que bajo esta perspectiva, los arrecifes de Cozumel se han recuperado plenamente de los ciclones del 2005.

Comparando la riqueza por arrecifes se encontró que Colombia y Paso del Cedral fueron los arrecifes de mayor riqueza (7.33 y 6.92 sp/censo, respectivamente), mientras que

Chankanab fue el mas bajo (5.17 sp/censo), el resto de los arrecifes se mantuvo alrededor de 6 sp/censo. Estadísticamente la riqueza de corales en Chankanab, Yucab y Dalila fue diferente a Paso de Cedral y Colombia ($F_{5,282}= 8.16$; $P < 0.0001$). También es importante denotar que en Chankanaab y Dalila la riqueza de especies de corales de hecho aumentó al comparar el final con el principio del muestreo, mientras que en Yucab se perdió más del 40% de la riqueza en el mismo tiempo. En resumen, la historia de los tres arrecifes menos ricos del PNAC no ha sido la misma, lo que denota como es importante un análisis general de las localidades para poder evaluar el estado general del parque.

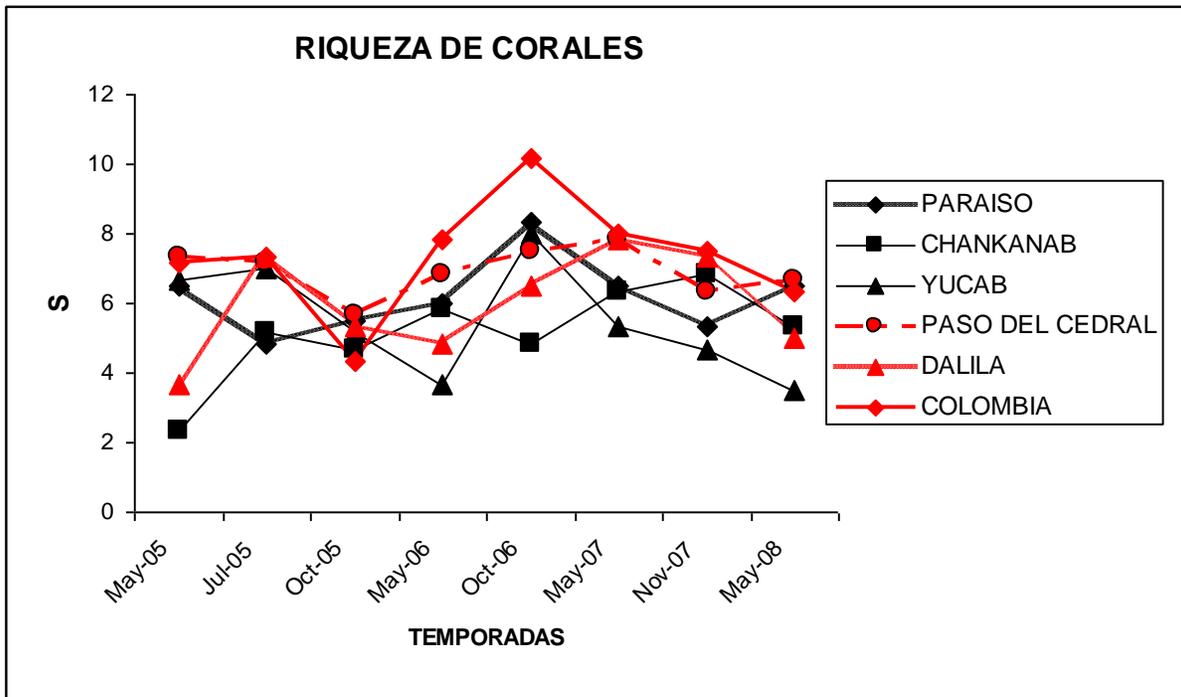


Figura 50. Riqueza de especies de coral en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Diversidad de Shannon-Wiener y Uniformidad de Pielou

En ambos índices, el promedio general para Cozumel fue muy estable (1.49 ± 0.02 decit/ind en H' , 0.86 ± 0.01 para J'), y además las tendencias temporales son similares (Figs. 51 y 52); no obstante, el tamaño de muestra es suficientemente grande para evidencias diferencias significativas entre temporadas y sitios en ambos casos. Para la diversidad, de Octubre de 2006 a Noviembre 2007, y en Julio 2005, el valor fue mas elevado, variando de 1.55 a 1.69 ($F_{7,279}= 6.93$; $P < 0.0001$), y superando a la observada en los meses cercanos a los ciclones en 2005. También, la diversidad al final del muestreo fue un 15% superior a la del inicio del mismo. Espacialmente hablando, Colombia, Paraíso y Paso del Cedral (H' de 1.57 a 1.66) fueron mas diversos que los tres sitios restantes (H' de 1.39 a 1.43), y de nuevo la diferencia fue significativa ($F_{5,282}= 6.09$; $P < 0.0001$). Por otra parte, la diversidad de corales en Dalila y Chankanaab se elevó notablemente para el final del muestreo (Mayo de 2008), mientras que solo Yucab (-14%) mostró algún efecto negativo.

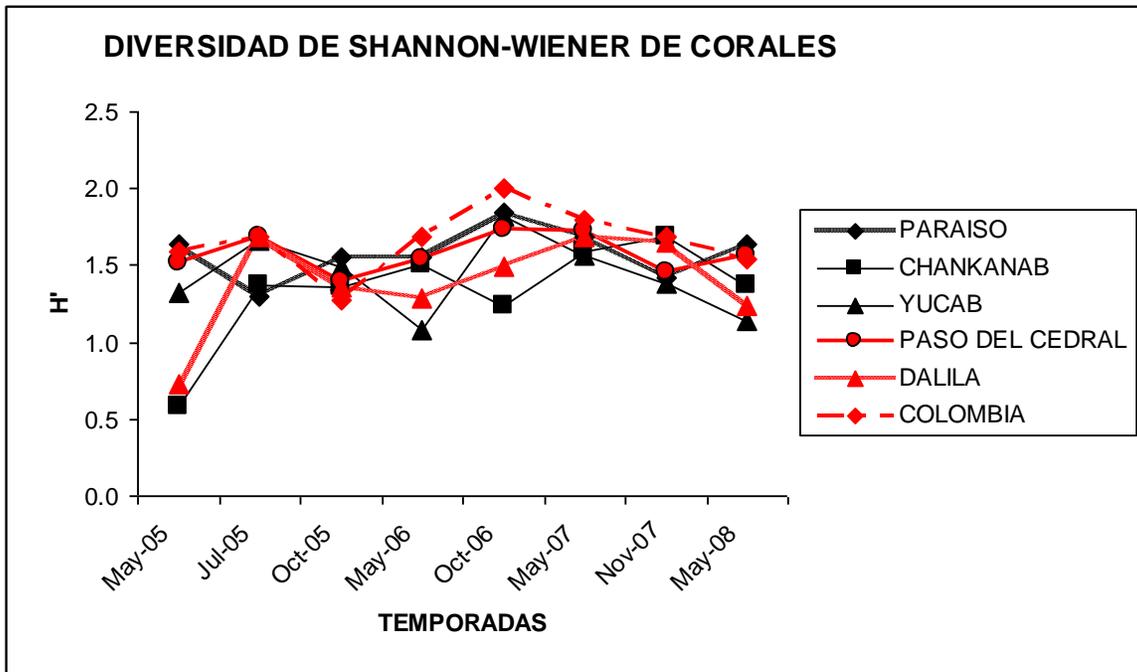


Figura 51. Diversidad de Shannon-Wiener de corales en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008

Para la uniformidad, los patrones anuales fueron muy similares (Fig. 52) y por ello solo hubo una diferencia estadística ($F_{7,279} = 2.81$; $P < 0.0078$): Mayo 2005 tuvo un valor inferior al de los demás años. Este resultado es interesante porque contrasta totalmente con todos los presentados en este reporte. Es probable que lo que estamos observando sea un ejemplo de la hipótesis del disturbio intermedio, que explica que luego de una perturbación que afecte a las especies dominantes, la diversidad de un ecosistema aumenta en vez de disminuir dada la disminución de la competencia interespecífica.

En relación con los sitios de muestreo, la comparación inter-arrecifal también demostró diferencias significativas ($F_{5,281} = 7.68$, $P = 0.00000$); la prueba a posteriori de Tukey permitió evidenciar un efecto diferenciado entre los arrecifes del norte (Paraíso, Chankanaab y Yucab) de los más sureños (Paso del Cedral, Dalila y Colombia), ya que los primeros poseen un promedio general de diversidad mayor (0.88 unidades de J') que los arrecifes del sur (0.83 unidades de J').

Para finalizar esta sección, puede decirse que la diversidad y uniformidad de los escleractinios en general han aumentado en vez de disminuir durante el tiempo de duración del estudio, lo que contrasta marcadamente con otros indicadores del ecosistema. Se concluye que los corales del PNAC como unidad han cambiado poco en los últimos 3 años, pero cada sitio dentro del parque tiene un comportamiento particular, cuya sumatoria se traduce en una mejora relativa de las condiciones del sistema.

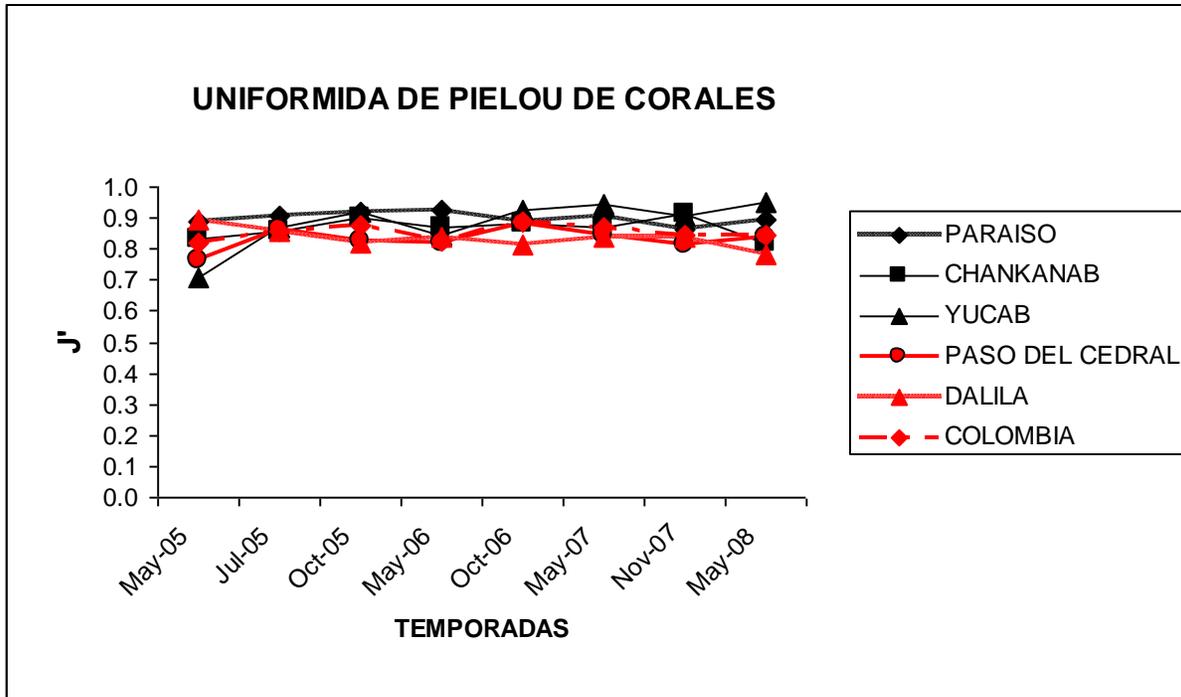


Figura 52. Uniformidad de Pielou de corales en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008

Distintividad taxonómica de corales

Los corales pétreos presentaron una diversidad taxonómica promedio de 43.97 ± 0.48 unidades. El valor del índice aumento rápido hacia Octubre 2005, y ha permanecido casi estable desde entonces, fluctuando alrededor de las 45 unidades (Fig. 53); es importante denotar que Mayo 2005 fue cuando Delta * tuvo las cifras más bajas, una vez mas contrastando con otros indicadores previamente discutidos. Las diferencias indicadas fueron significativas ($F_{7, 240} = 7.99$; $P < 0.0001$). Con estos datos puede decirse que el efecto de los huracanes de 2005 fue el de incrementar la diversidad, en este caso homogenizando un poco las abundancias relativas de los grupos mayores (géneros, familias); en concreto, los datos indican que Acroporidae y Agariciidae (géneros *Acropora* y *Agaricia*, respectivamente) bajaron un poco su cobertura y dominancia, lo que redundó en aumentos de diversidad taxonómica.

En relación con la situación espacial existen dos niveles: los arrecifes con bajo valor de Delta (Chankanaab y Dalila; 40 a 42 unidades en promedio), y aquellos con alta diversidad (el resto, con promedios de 44 a 46 unidades). La diferencia es significativa ($F_{5, 240} = 4.29$; $P = 0.0009$). En resumen, no hay un patrón geográfico que explique los valores de este índice.

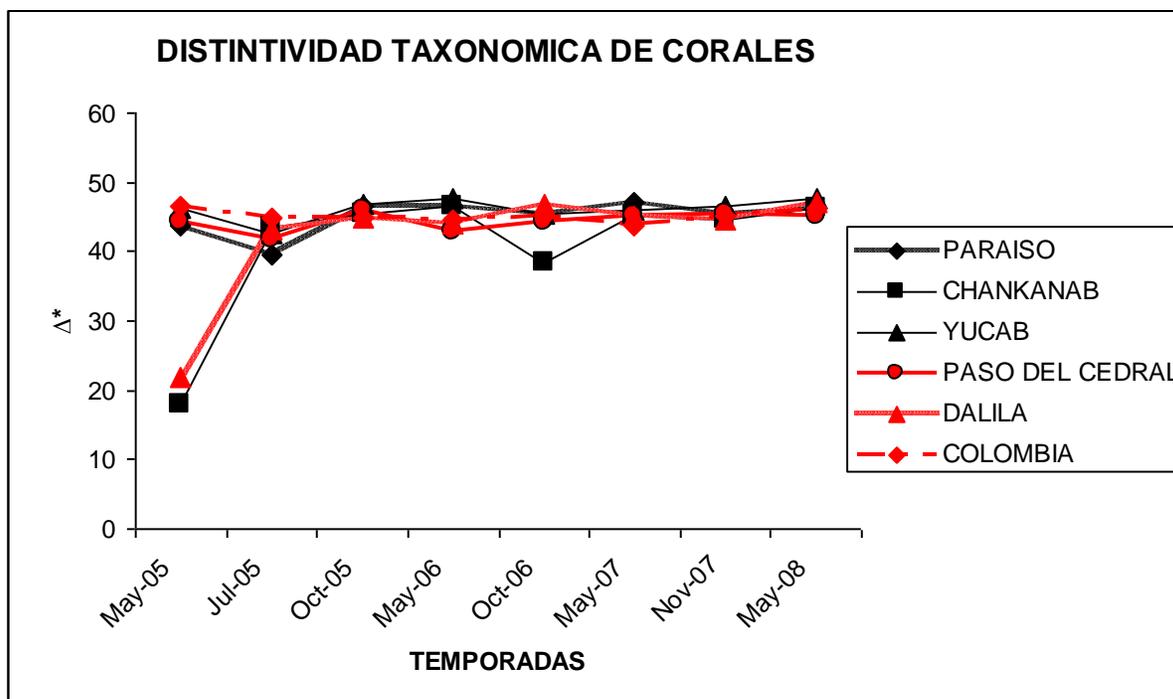


Figura 53. Distintividad taxonómica de corales en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Gorgonáceos

La cobertura promedio de los gorgonidos es y ha sido muy pobre en el PNAC, nunca superando el 5% del fondo en una localidad dada (promedio 0.85 ± 0.09), y más bien permaneciendo alrededor del 1% al 2% durante todo el estudio (Fig. 54). La baja abundancia estimada es consecuencia de que el método de muestreo (transectos de línea) es poco útil para detectar este taxón, sin embargo, se pudieron observar diferencias entre temporadas ($F_{5,281} = 7.38$, $P < 0.0001$). En el primer caso, el ANOVA indicó que los valores en los muestreos de Mayo y Julio 2005 fueron superiores a los demás, y además, que la tendencia a la baja ha sido continua, siempre encontrándose menos abundancia de gorgonáceos conforme transcurre el tiempo. En relación con los sitios, Dalila y Paraíso tuvieron más cobertura de gorgonias (> 1% del fondo), y Colombia fue donde existieron menos (0.26% en promedio), y la diferencia fue significativa ($F_{7,279} = 4.19$; $P = 0.0002$). Los resultados están indicando que si bien ha habido un efecto de caída por culpa de los ciclones, en realidad las poblaciones de gorgonias de Cozumel han estado sufriendo problemas, por razones desconocidas.

Considerando arrecifes individuales, Dalila ha sufrido los mayores efectos de la disminución de la cobertura de gorgonias, siendo actualmente solo un 17% de lo que era en 2005. Otros sitios muy dañados son Chankanaab y Paraíso (70% de disminución). En claro contraste, Colombia se mantuvo casi idéntico en lo que respecta a la abundancia de octocorales, sin embargo esto no implica que el sitio sea adecuado para este grupo; en dicho arrecife es posible observar colonias, pero su número es muy reducido y es frecuente que los conteos no arrojen individuos en un censo dado.

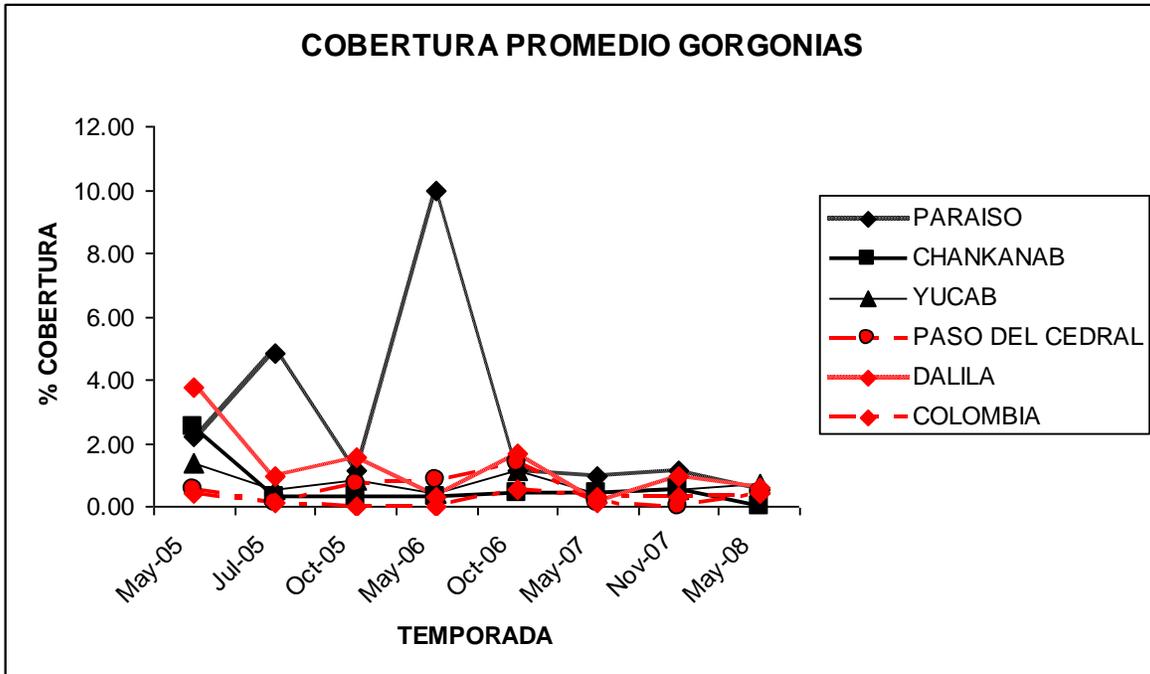


Figura 54. Cobertura de gorgonáceos en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Algas

Las macroalgas se comportaron de manera muy diferente a los demás grupos analizados. El phylum tiende a disminuir su cobertura durante los dos primeros años de estudio como efecto de los ciclones, sin embargo, a partir de ahí observamos un rápido incremento en su abundancia al grado que para Mayo 2008 las algas fueron aún más abundantes que los de Mayo de 2005 (Fig. 55). Este patrón es significativo ($F_{7,281} = 19.82$, $P < 0.0001$), y el ANOVA separa las temporadas de todo 2006 y Octubre 2005 del resto, al tener valores muy bajos.

El análisis entre sitios indica que Chankanaab presentó la mas alta abundancia de algas ($35.44 \pm 1.88\%$), y Yucab y Paso del Cedral, la menor ($< 20\%$); la diferencia es significativa ($F_{5,281} = 31.19$, $P < 0.0001$). A esta escala, Yucab y Paraíso mostraron un incremento en cobertura entre Mayo 2008 y Mayo 2005 del 69% y 25% respectivamente, mientras que en Chankanaab el valor bajó 18%.

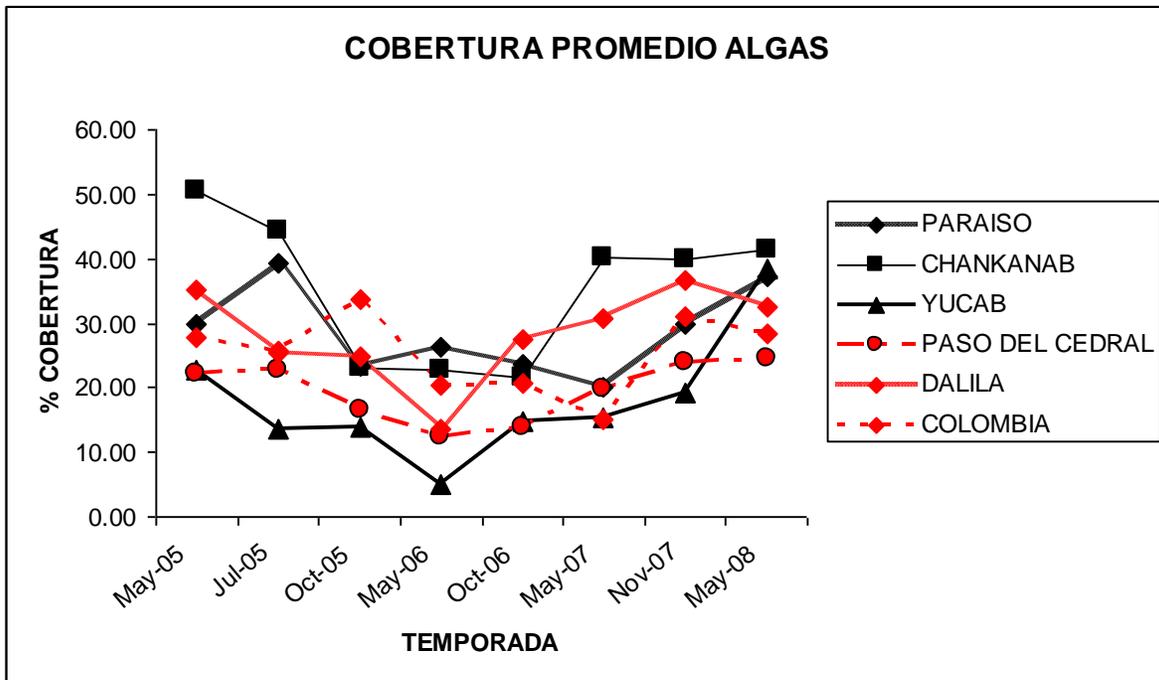


Figura 55. Cobertura de macroalgas en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

II.5.1.4. Índices comunitarios de peces

En este caso solo se presentan datos de Mayo 2006 hasta Octubre de 2007, ya que como se indicó adelante, la administración del PNAC no nos pudo proporcionar los datos de la salida de primavera 2007 a tiempo, por cuestiones internas. Además, la información de 2005 era imposible de comparar ya que el monitoreo solo incluyó la mitad de las especies (se enfocó a carnívoros y a otras especies clave).

Riqueza

La riqueza promedio para los peces arrecifales de Cozumel durante la temporada 2006-2007 fue 10.69 ± 0.33 especies/censo. De manera interesante el número de especies aumentó del primero al segundo año de muestreo, de 8.34 sp/censo en Mayo 2006 a 14.43 sp/censo en Mayo 2007, sin embargo, el número disminuyó de nuevo a 9.79 sp/censo para finales de ese mismo año. El análisis estadístico mostró que la riqueza de peces en la temporada Mayo-2007 fue la más alta de todas, y que las demás no difirieron entre sí ($F_{3, 184} = 30.62$; $P < 0.0001$). Con respecto a la riqueza por arrecifes se encontró que Paraíso fue el sitio con mayor número de especies (12.81 ± 0.96 sp/censo), seguido por Chankanab (12.17 ± 0.75 sp/censo), mientras que Colombia y Dalila presentaron el menor número de especies (9.10 ± 0.65 y 8.81 ± 0.66 sp/censo, respectivamente). El análisis estadístico mostró (Fig. 56) que la riqueza de peces de Yucab, Dalila y Colombia fue menor a la encontrada en Chankanab y Paraíso ($F_{5, 182} = 7.19$; $P < 0.0001$).

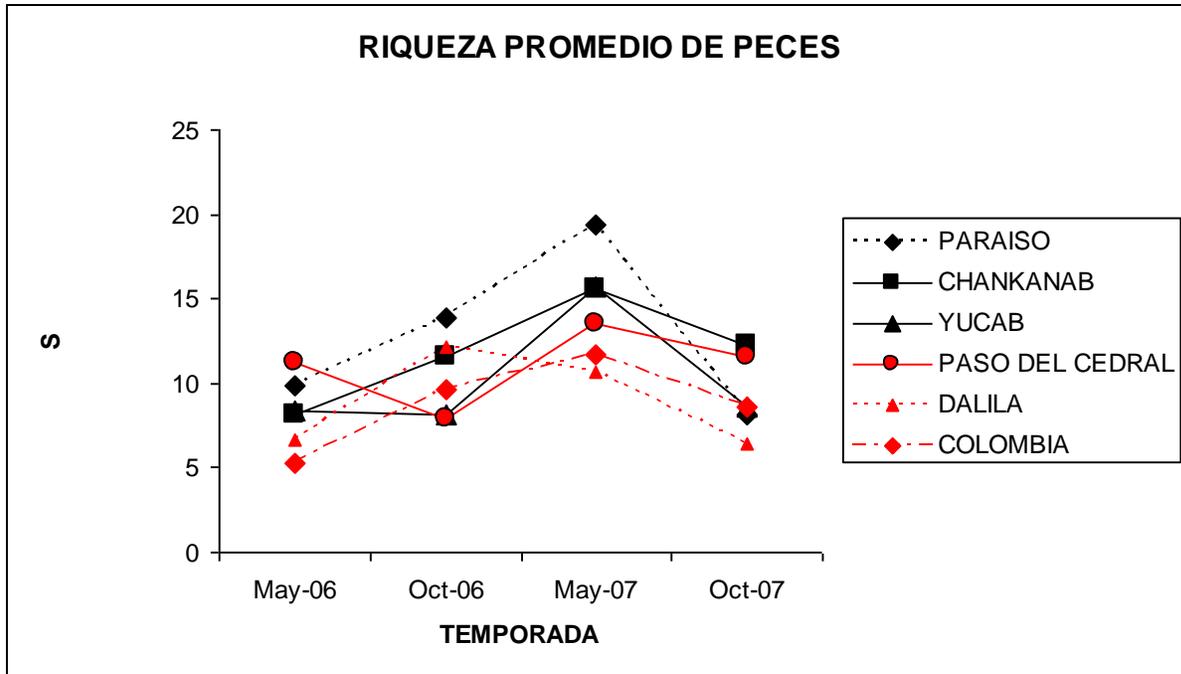


Figura 56. Riqueza de especies de peces en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Diversidad de Shannon-Wiener de peces

Durante los años de muestreo en Cozumel (2006/2007), se encontró una diversidad total de peces de 1.94 ± 0.03 decits/censo. Se encontró que la diversidad de peces aumentó de Mayo 2006 a Mayo 2007, y luego disminuyó; en el primer mes la diversidad fue de 1.75 ± 0.07 decits/censo, sin embargo, un año después llegó a 2.25 ± 0.25 decits/censo, aunque para del Octubre 2007 el índice volvió a descender. Como conclusión, el análisis estadístico mostró que la diversidad de peces de la temporada Mayo-2007 fue diferente al resto de las temporadas ($F_{3, 184} = 14.12$; $P < 0.0001$). Por otro lado, se encontró que la diversidad por arrecifes fue mayor en Paraíso con 2.14 ± 0.08 decits/censo., mientras que Paso del Cedral presentó la menor diversidad (1.85 ± 0.09). El resto de los arrecifes presentaron una diversidad que osciló entre 1.90-1.92 decits/censo (Fig. 57); quizá por tal estabilidad, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los arrecifes a lo largo del tiempo ($F_{5, 182} = 2.09$; $P = 0.0686$).

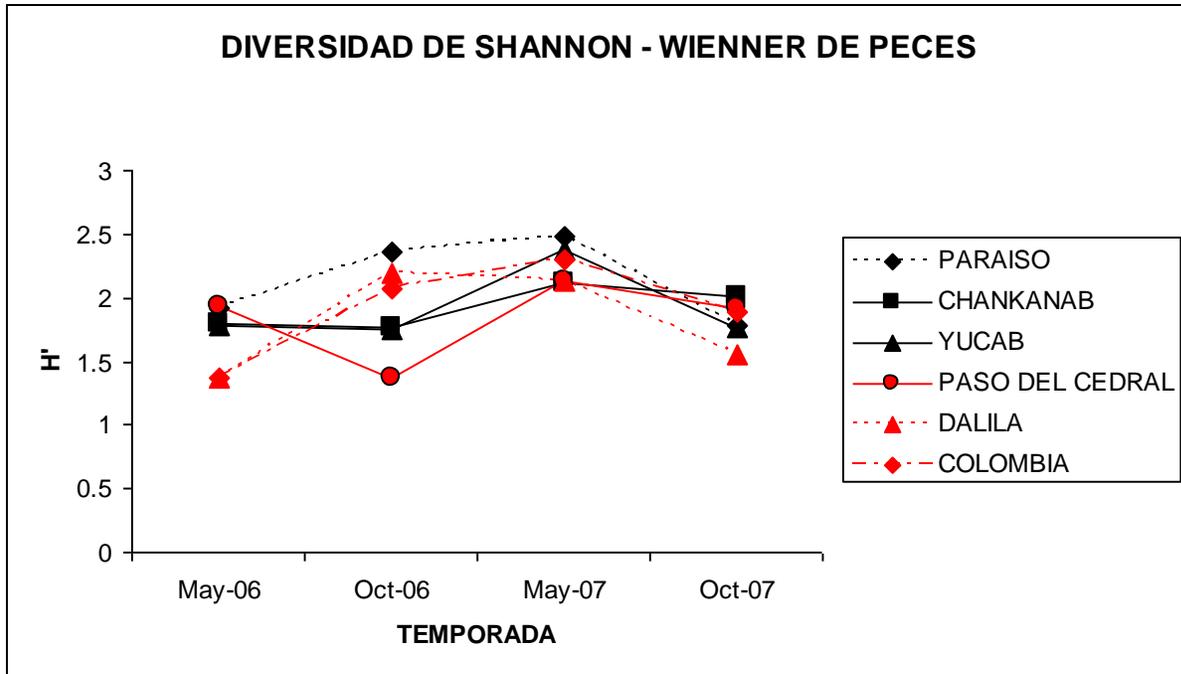


Figura 57. Diversidad de Shannon-Wiener de peces en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Uniformidad de Pielou de peces

El promedio general del índice de uniformidad encontrada para los peces arrecifales de Cozumel fue de 0.85 ± 0.01 . El gráfico (Fig. 58) mostró que aunque en 2006 la uniformidad baja en Octubre (0.83 ± 0.02), en realidad este índice mantuvo notable homogeneidad en su promedio estacional, y no presentó diferencias significativas ($F_{3, 184} = 1.67$; $P = 0.1915$). Sin embargo, entre arrecifes la uniformidad vario mas; los arrecifes Dalila y Colombia presentaron los valores mas altos (>0.90), mientras que en Chankanab y Paso del Cedral fueron de 0.80 o menos. Como consecuencia de estas discrepancias, la uniformidad de peces en Chankanab y Paso del Cedral fue menor a la encontrada en Paraíso, Dalila y Colombia ($F_{5, 182} = 6.95$; $P < 0.0001$).

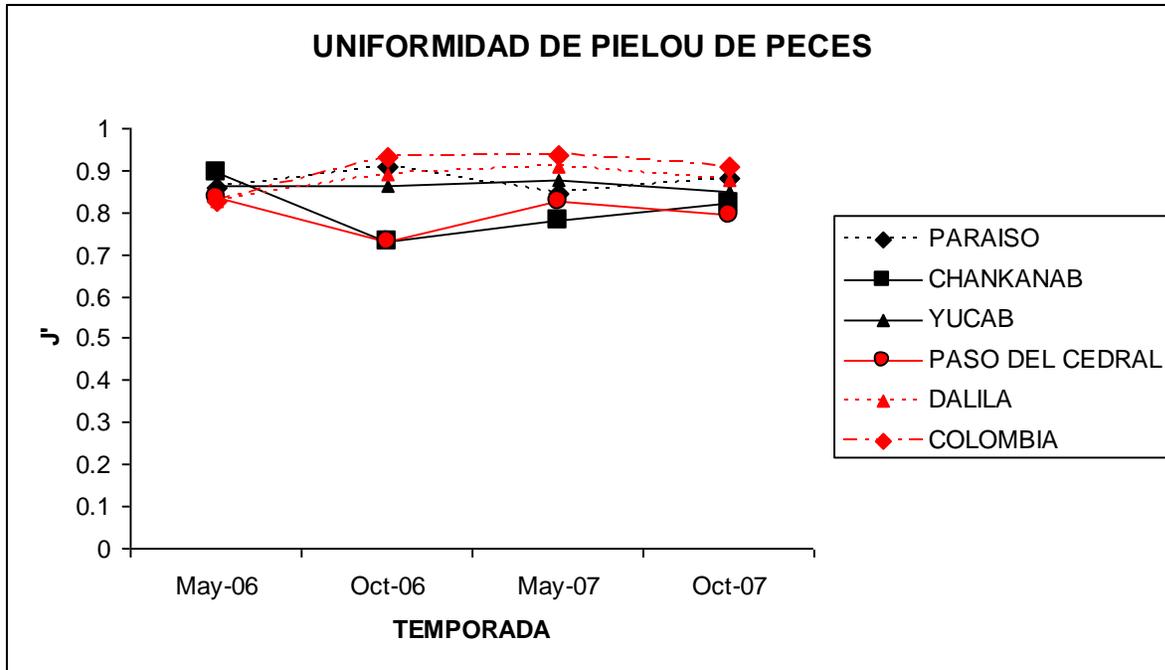


Figura 58. Uniformidad de Pielou de peces en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Abundancia de peces

Con lo que respecta al número de peces vistos por transecto, se encontró un promedio de 41.80 ± 3.09 ind/censo. La abundancia aumentó notablemente del 2006 al 2007, pues en Mayo del 2006 la abundancia era apenas 28.04 ± 5.40 ind/censo, sin embargo, un año más tarde (Mayo-2007) ya estaba en 56.35 ± 6.45 ind/censo, y para Octubre siguió siendo superior a los 50 ind/censo. Estadísticamente los dos conteos de peces en 2006 tuvieron inferiores valores a los encontrados en 2007 ($F_{3, 184} = 7.73$; $P < 0.0001$). Comparando la abundancia por arrecifes se encontró que Paso del Cedral era por mucho el mejor sitio (72.67 ± 11.51 ind/censo), seguida por Chankanab (60.00 ± 8.43 ind/censo), mientras que Dalila y Colombia fueron los arrecifes que presentaron menor abundancia (21 ind/censo). Obviamente, el análisis estadístico mostró que la abundancia de Chankanab y Paso del Cedral fue diferente al resto de los arrecifes ($F_{5, 182} = 11.11$; $P < 0.0001$; Fig. 59).

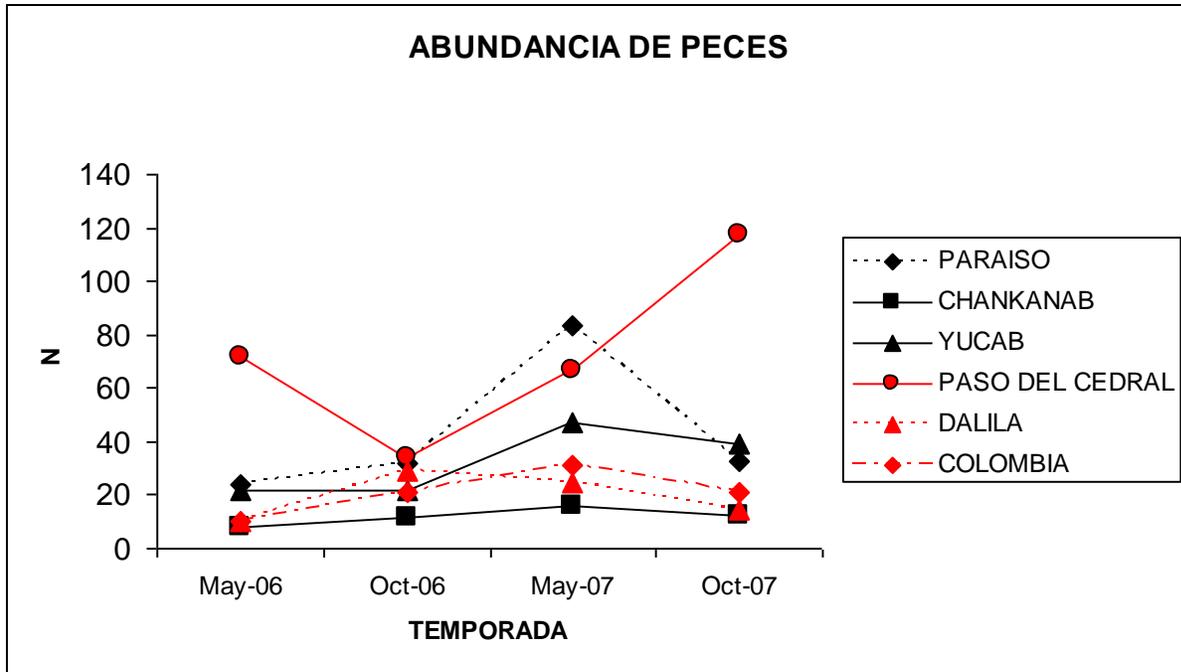


Figura 59. Abundancia de peces en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

Distintividad taxonómica de peces

Los peces de Cozumel presentaron una distintividad taxonómica (Delta*) de 32.77 ± 0.45 , y el valor del índice fue casi estable entre 2006 y 2007, variando de 30.01 ± 0.92 en Octubre 2007 a 33.61 ± 0.57 en Mayo 2007. El análisis estadístico mostró que la distintividad taxonómica de los peces encontrada en las temporadas de Octubre-2006 y Mayo-2007 fue mayor a la encontrada en Octubre-2007 ($F_{3, 184} = 4.00$; $P = 0.0087$). Comparando por arrecifes se encontró que Dalila obtuvo el valor mas alto (35.09 ± 0.56), seguido por Yucab (33.61 ± 0.89), mientras que Paso del Cedral presentó cifras bajas, con 27.92 ± 1.55 . Se encontró que estadísticamente la distintividad taxonómica de los arrecifes de Chankanab y Paso del Cedral fue diferente y mas baja que el resto de los sitios ($F_{5, 182} = 6.69$; $P < 0.0001$; Fig. 60).

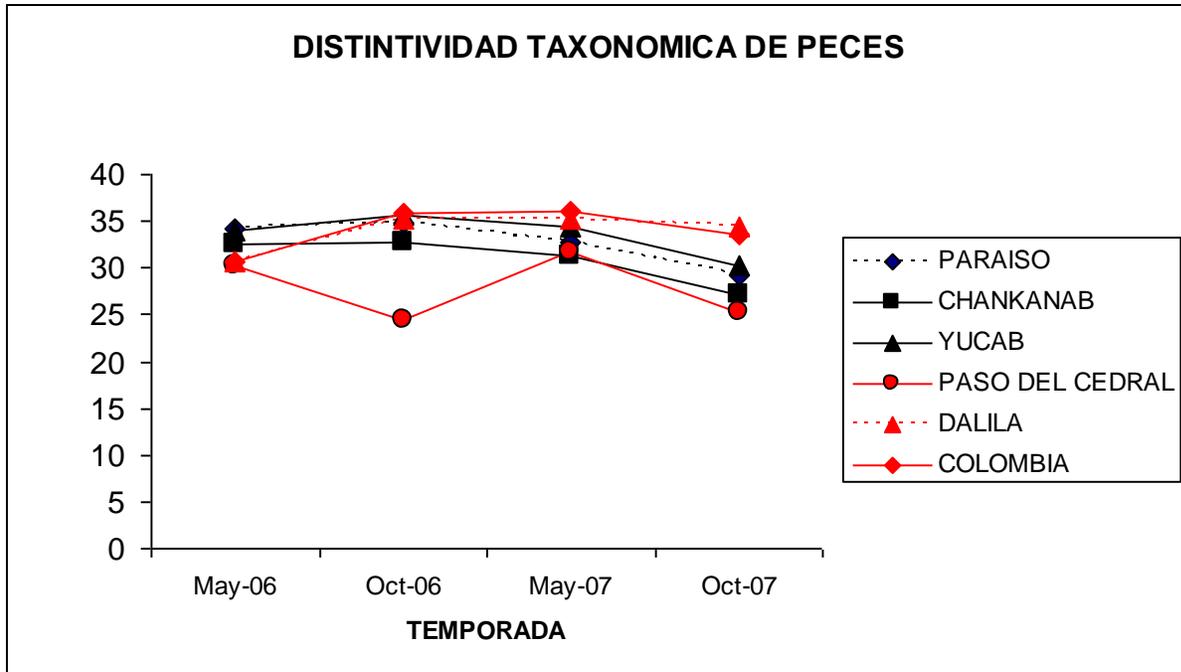


Figura 60. Distintividad taxonómica de peces en los arrecifes de interés en el PNAC, entre Mayo de 2005 y Mayo de 2008.

II.5.1.5. Observaciones adicionales

La información que se presentó en las páginas previas es eminentemente descriptiva, dado el objetivo mismo de este estudio. Sin embargo, ello no implica que los autores del presente reporte no hayamos dedicado tiempo a analizarla en mayor detalle y generar avances en el conocimiento respecto a la estructura y función de los arrecifes de Cozumel. A este respecto, en los Anexos de este informe se presenta un listado de los artículos científicos, memorias de congreso y tesis de posgrado y licenciatura que han sido terminadas (o están en proceso), y forman parte de los primeros resultados científicos de la investigación. Entre otros resultados relevantes podemos incluir los siguientes:

- Los ciclones “Emily” y “Wilma” causaron una baja del 56% de la cobertura coralina en Cozumel, afectando todos los géneros con la misma intensidad, y modificando la estructura de tallas por mortalidad diferencial de especies (Alvarez Filip et al., 2009; Reyes Bonilla et al., en preparación).
- Dichos meteoros además homogeneizaron la condición arrecifal, al punto que las diferencias significativas en los índices ecológicos que se detectaban antes de 2005 entre los distintos arrecifes, desaparecieron pasadas las perturbaciones (Alvarez del Castillo Cárdenas et al., 2009).
- A pesar de lo anterior, la cobertura coralina de Cozumel está entre las mas altas del Caribe mexicano, y del Sistema Arrecifal Mesoamericano en general (García Salgado et al., 2009).
- La riqueza de peces y la cobertura de coral son los indicadores más claros de la “salud ambiental”, definida esta como un índice de valor obtenido por técnicas de multicriterio y empleando todos los indicadores citados aquí, amén de la riqueza, abundancia, diversidad, uniformidad y distintividad taxonómica de equinodermos (Barajas Piña et al., en preparación).

Además, se espera que en el futuro cercano comencemos nuevos estudios relacionados con el estado de conservación del PNAC, incluyendo el análisis de la capacidad de carga para buceo y embarcaciones, y la relación de las condiciones ambientales y arrecifales, con la presencia del pez león (*Pterois* spp).

II.VI Programa de monitoreo

II.VI.1 Estimación del tamaño de muestra para el seguimiento de las condiciones arrecifales en el PNAC

Uno de los compromisos fundamentales de este proyecto es revisar la eficiencia del programa de monitoreo del PNAC, y proponer en su caso, modificaciones a los procedimientos que el parque está llevando a cabo desde 2005. El primer resultado al respecto que presentaremos aquí, consiste en el análisis del número total de censos que se requeriría hacer para evaluar con eficiencia una variable ecológica cualquiera.

El método empleado (Steidl y Thomas, 2001) inicia cuantificando el promedio y la variabilidad natural del indicador, es decir su desviación típica (por ejemplo, del índice de riqueza). Posteriormente se seleccionan valores del error alfa del estimador (generalmente fijo en 0.05), y beta; para este caso se pueden elegir opciones (normalmente se considera aceptable un error del 0.1 a 0.2), sin embargo, en nosotros seleccionamos el valor de 0.05, con lo cual se garantiza una precisión muy alta, pero potencialmente un alto tamaño de muestra (Underwood, 1997). Al final, se emplean fórmulas específicas que combinan los errores alfa y beta, con el promedio y la desviación típica del estimador, y de ahí se llega al tamaño de muestra que se requiere para llegar a un nivel de precisión dado. Un ejemplo de los resultados obtenidos aparece en la Tabla 4, y los cálculos totales se entregan en una hoja de EXCEL, como producto del estudio.

Cabe señalar aquí que aunque en el proyecto inicial se sugería la aplicación de fórmulas para mejorar la asignación del esfuerzo con base en los costos y la variabilidad natural de los datos (Cochran, 1980), la dirección del PNAC solicitó que en cualquier caso se considerara que el esfuerzo de monitoreo por sitio debe ser igual (homogéneo) ya que no es factible delimitar de manera efectiva donde termina un arrecife y empieza el siguiente pues esta es una barra coralina continua. Este detalle es relevante ya que se requiere obligatoriamente un estimador del tamaño arrecifal para poder hacer las asignaciones de tamaño de muestra diferencial. En conclusión, se tomará la convención que cualquiera que sea el esfuerzo de monitoreo conducido en el PNAC, este se distribuirá por parejo entre todos los arrecifes de interés.

La tabla indica que el tamaño de muestra actual (36 censos semestrales en 6 localidades, que se traduce a un total anual de 72), conlleva un error del 1.8% de la cobertura de coral medida en campo, es decir, un 11.2% del valor real del estadístico. Si se duplicara el esfuerzo, la ganancia neta de precisión sería del 3.3% (11.2 - 7.9), mientras que si se triplicara o cuadruplicara, los beneficios reales serían apenas del 4% o 5%; en resumen, no se podría justificar una elevación sustancial del esfuerzo de monitoreo del parque, considerando la inversión en personal, tiempo y recursos logísticos y monetarios que conlleva el trabajo. La curva de eficiencia calculada se muestra en la Figura 61, y se observa que para los 72 censos la precisión de los estimadores está casi en la asíntota. En resumen, para este índice se sugiere que la cantidad de 6 censos semestrales para 6 localidades (72 en total al año), es el adecuado.

Tabla 4. Ejemplo de la determinación de precisión del estimador de un índice ecológico, en este caso, la cobertura coralina en el PNAC. Promedio de la variable (Mayo 2005 a Mayo 2008): 15.8609. Desviación típica: 7.6799. Nota: la línea de los 36 censos indica el esfuerzo semestral, y las letras negras, el esfuerzo anual.

| Número de censos | Promedio de censos por sitio | Censos semestrales | Precisión (valor absoluto) | Precisión (porcentaje de la media) |
|------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 1 | < 1 | < 0.5 | 15.05 | 94.90 |
| 6 | 1 | 0.5 | 6.15 | 38.74 |
| 12 | 2 | 1 | 4.35 | 27.40 |
| 18 | 3 | 1.5 | 3.55 | 22.37 |
| 24 | 4 | 2 | 3.07 | 19.37 |
| 30 | 5 | 2.5 | 2.75 | 17.33 |
| 36 | 6 | 3 | 2.51 | 15.82 |
| 72 | 12 | 6 | 1.77 | 11.18 |
| 108 | 18 | 9 | 1.44 | 9.13 |
| 144 | 24 | 12 | 1.25 | 7.91 |

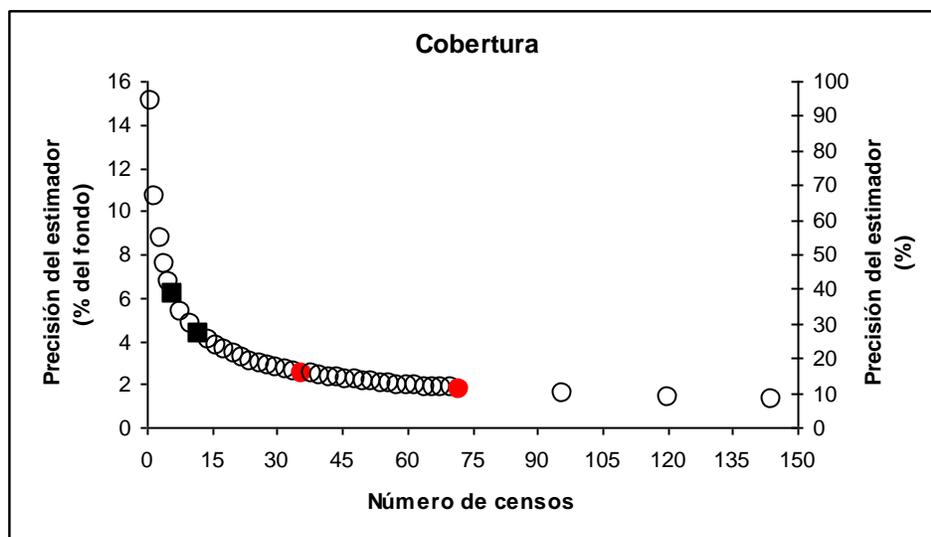


Figura 61. Precisión del estimador de la cobertura de coral en el PNAC, empleando distinto número de censos totales al año. El punto rojo a la derecha marca la precisión que se alcanza para evaluar la cobertura coralina, a partir de los 72 censos que se están desarrollando actualmente.

Para apoyar a las autoridades del PNAC se generaron estimaciones como la anterior para cada indicador ecológico y grupo mayor: corales duros (riqueza, abundancia, diversidad, uniformidad y diversidad taxonómica), peces óseos (mismos estimadores), y cobertura viva (cobertura total, así como la abundancia de esponjas, gorgonáceos, y algas). En resumen se tienen 14 variables que describen la comunidad arrecifal del PNAC, y para cada una se estimó cuántos censos se requieren para obtener una evaluación eficiente bajo valores fijos de error alfa y beta, y del promedio y la desviación típica del índice. Un resumen de los resultados se presenta en la Tabla 5 donde se denota la precisión actual de la evaluación de cada índice ecológico, y la que se alcanzaría si se duplicara el esfuerzo actual. Como se observa, casi en todos los casos la ganancia es mínima considerando que el multiplicar el número de salidas proveería de mejoras de alrededor del 2% en cada estimador; la excepción al patrón la presenta la abundancia de los gorgonáceos, en los que el doble de censos mejoraría en un 13% la

estimación en campo. Sin embargo, en general los resultados de la Tabla 5 apoyan lo indicado adelante; el tamaño de muestra anual que se está efectuando en el PNAC por parte de las autoridades del Programa de Monitoreo es adecuado, y no se ven razones claras para incrementarlo.

Tabla 5. Evaluación de la ganancia en eficiencia de estimación para diversos índices ecológicos y taxa, dependiendo del número de censos anuales a conducir.

| Taxón | Índice ecológico | Censos anuales | Precisión absoluta (unidades del índice) | Precisión relativa (% del valor del índice) |
|----------------------|------------------|----------------|--|---|
| Coral | Riqueza | 72 | 0.54 | 8.77 |
| | | 144 | 0.38 | 6.21 |
| | Cobertura | 72 | 1.77 | 11.18 |
| | | 144 | 1.25 | 7.91 |
| | Diversidad | 72 | 0.09 | 6.38 |
| | | 144 | 0.07 | 4.51 |
| | Uniformidad | 72 | 0.04 | 4.43 |
| | | 144 | 0.03 | 3.13 |
| | Delta * | 72 | 1.87 | 4.26 |
| | | 144 | 1.32 | 3.01 |
| Peces | Riqueza | 72 | 1.04 | 9.81 |
| | | 144 | 0.74 | 6.93 |
| | Abundancia | 72 | 9.82 | 23.48 |
| | | 144 | 6.94 | 16.61 |
| | Diversidad | 72 | 0.11 | 5.69 |
| | | 144 | 0.08 | 4.03 |
| | Uniformidad | 72 | 0.03 | 3.84 |
| | | 144 | 0.02 | 2.72 |
| | Delta * | 72 | 1.43 | 4.42 |
| | | 144 | 1.01 | 3.12 |
| Esponjas | Cobertura | 72 | 1.60 | 14.48 |
| | | 144 | 1.13 | 10.24 |
| Gorgonias | Cobertura | 72 | 0.36 | 42.67 |
| | | 144 | 0.26 | 30.17 |
| Algas | Cobertura | 72 | 2.78 | 10.75 |
| | | 144 | 1.96 | 7.60 |
| Cobertura viva total | Cobertura | 72 | 3.85 | 7.15 |
| | | 144 | 2.71 | 5.05 |

II.VI.2 Estimación del cambio mínimo detectable de diversos indicadores ecológicos en el PNAC.

La siguiente labor en este apartado consistió en evaluar el llamado “cambio mínimo detectable” de las variables clave. Este concepto se refiere al hecho que el resultado y conclusión de una prueba de hipótesis o análisis de varianza, dependen directamente del grado de variabilidad de los datos (Zar, 1999); si este es muy alto, el poder de la prueba será bajo y por ende aún existiendo diferencias biológicas entre las serie de datos, estas no podrán ser detectadas y se cometerá el llamado “error beta” (aceptar la hipótesis nula cuando esta debe rechazarse; Zar, 1999).

En este caso, el análisis tiene dos componentes. De nuevo se calcula el promedio y la desviación típica de la variable de interés (digamos, la abundancia de peces), y posteriormente se computa un estimador insesgado de la media (con valor idéntico al anteriormente presentado), y del error típico. Este último parámetro en teoría representa “mejor” el rango de

condiciones biológicas (en este caso, la variabilidad de peces observados en un conteo dado), ya que considera la desviación típica y la pondera con base en el tamaño de muestra. La aplicación de los dos parámetros descritos al último, permite graficar de manera acumulativa cómo conforme el tamaño de muestra aumenta, el error de estimación ira disminuyendo gradualmente hasta tocar una asíntota, equivalente al nivel de variación natural bajo un tamaño infinito de muestra (Krebs, 1999; Elzinga et al., 2001). Una vez con estos productos, es factible comocer el cambio mínimo detectable por comparación entre estimadores de la variabilidad.

Un ejemplo de los resultados de la aplicación de la técnica para estimar el nivel mínimo de cambio detectable aparece en la Fig. 62. Se aprecia en rojo la variabilidad natural (“real”) de la cobertura de coral, y en negro cómo la estimación estadística del mismo parámetro. Como se ve, con un total de menos de 12 censos las líneas se intersectan, es decir, con un tamaño de muestra relativamente pequeño se puede conocer el valor “correcto” de la variabilidad natural de la cobertura de coral en este ecosistema. Cuando se alcanza la cifra de 72 censos (el esfuerzo anual ejercido por el PNAC), se denota que ya se ha alcanzado un nivel de precisión suficientemente alto como para opinar que el tamaño de muestra es correcto. Ahora, desde la perspectiva del cambio mínimo detectable, nuestros resultados indican que el poder de un ANOVA practicado con los datos de cobertura de coral (como el que se ejecutó en este estudio), seguramente será capaz de denotar diferencias estadísticas significativas cuando estas ocurran; ello se debe a que con el tamaño de muestra anual (72 censos), el valor de la desviación típica estimada es notablemente menor que el de la variación natural.

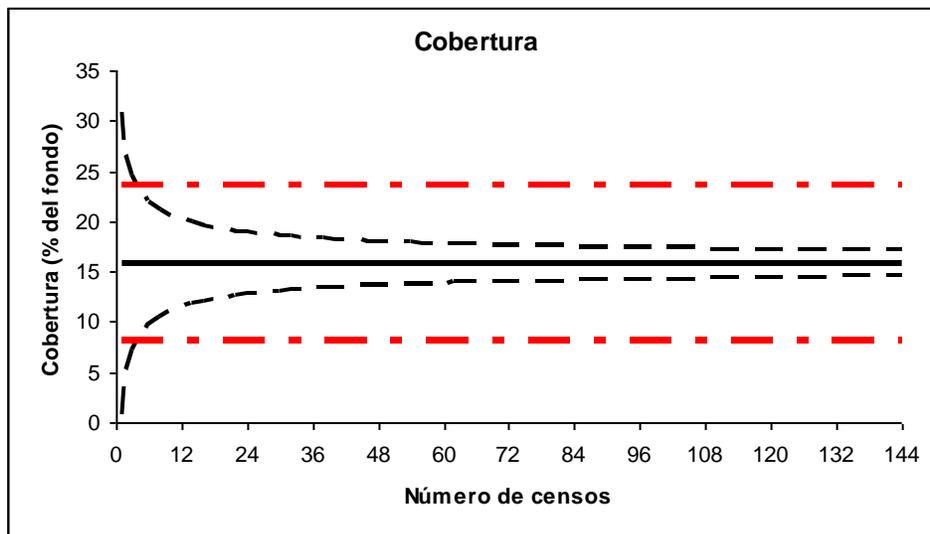


Figura 62. Evaluación del nivel mínimo de cambio detectable de la cobertura de coral en el PNAC, empleando distinto número de censos al año. La línea negra continua representa el promedio general de la cobertura de coral, y las líneas rojas, la desviación típica (ambos estimados a partir de 288 censos). Las líneas puntuadas de color negro muestran el valor del estimador insesgado de la variabilidad de cobertura, bajo un escenario

Finalmente, cabe señalar que en el caso específico del PNAC un aumento en el tamaño de muestra en relación con el actual puede generar otro problema estadístico que es el exceso de poder. Esto ocurre cuando la prueba de hipótesis determina diferencias significativas pero tan pequeñas que en realidad son irrelevantes desde el punto de vista biológico. La sugerencia proviene de la conjunción de los resultados de este estudio y el anterior (estimación del tamaño de muestra requerido para evaluar los parámetros comunitarios), y donde observamos que la N actual produce muy buenos resultados.

II.VI.3. Programa de monitoreo

La parte final de este reporte es la entrega de recomendaciones específicas para el desarrollo de las labores de monitoreo del PNAC a partir de los resultados presentados con anterioridad. Para facilitar la comprensión, se dividió el tema en varias secciones que se irán abordando parcialmente.

De entrada debe decirse que este estudio desde el principio NO pretendía establecer un programa de monitoreo en Cozumel, ni proponer un cambio radical en las metodologías; esto sería una medida impráctica considerando que la administración del parque ya tiene años llevando a cabo seguimientos, y que existe un compromiso a nivel nacional con el Sistema Arrecifal Mesoamericano, el cual para cumplirse obliga a la puesta en práctica de procedimientos de campo específicos. Mas bien, en esta última sección pretendemos analizar la situación del programa actual, su funcionamiento, y de ahí hacer propuestas específicas para su mejora o conservación.

Apoyo a las actividades del PNAC

Desde la primera salida de campo, a fines de 2006, las actividades de la UABCS y de los investigadores que colaboran en el estudio han sido clave para llevar a cabo la labor de monitoreo biológico en el PNAC, de tal modo que a la fecha se sigue apoyando este trabajo por medio de estancias de técnicos o estudiantes cada semestre. Los fondos para estas visitas se han generado por proyectos independientes a CONABIO, y nos han permitido mantener la continuidad de la investigación.

La asociación que se ha formado entre las instituciones ha sido de gran utilidad para las autoridades ya que garantizan la obtención de los datos cada semestre, y eventualmente su análisis, y para el desarrollo académico de los estudiantes e investigadores de las universidades participantes, pues existen ya varios proyectos de tesis de licenciatura en proceso, amen de al menos tres tesis de licenciatura y dos de maestría que ya han sido presentadas o lo harán en fechas próximas. Consideramos que este proyecto, con todo y las dificultades para su ejecución, ha sido y será de un enorme beneficio para todas las partes involucradas, e impactará positivamente aspectos académicos, científicos y de manejo, con el consecuente beneficio para las actividades de conservación de los arrecifes de Cozumel.

Periodicidad de los muestreos

Los análisis de los diversos componentes de la comunidad mostraron que en la Isla Cozumel no parece existir un ciclo anual de abundancias de las especies, o cambios cíclicos de la estructura comunitaria. Esta regularidad es muy benéfica para cuestiones de manejo porque en el caso extremo puede llevar a que las autoridades requieran de un solo censo anual para analizar el estado del sistema, como ocurre en sitios tan distintos como Isla Natividad, B.C. o Loreto, B.C.S. (obs. pers.). En el otro extremo, se sabe de lugares del Caribe mexicano, y del Pacífico y Golfo de California, donde la periodicidad es de 4 censos estacionales al año, como ocurre en Isla Espíritu Santo, B.C.S. (G. Anaya Reyna, Sociedad de Historia Natural Niparajá, A.C., com. pers. 2008), y en Huatulco, Oax. Bajo esta óptica puede decirse que un número intermedio de muestreos, distribuidos espaciadamente durante un año, puede ser una cifra adecuada; es decir, las dos temporadas de censo que se llevan a cabo en Cozumel entrarían en este apartado.

Sin embargo existen al menos dos aspectos a considerar, que pudieran apuntar hacia la necesidad de hacer al menos un muestreo más en nuestra zona de estudio. Primero, los datos de 2005-2008 muestran que los efectos de los ciclones, de relativamente corta duración, pueden efectuar cambios de gran escala que modifiquen el ecosistema de manera inmediata y brusca. Es decir, cada año existe el potencial de impactos que requieran de una visita urgente al campo para denotar sus efectos. En segundo lugar, el parque de Cozumel recibe una cantidad importante de recursos por concepto de pago de derechos de entrada, y ello puede abrir la puerta para que se invierta mas en el seguimiento de las condiciones de los arrecifes, el recurso económico y ecológico fundamental en la isla.

Dichos puntos son importantes, pero en Cozumel puede hablarse que existen contrapartes interesantes. Como se dijo, el parque es privilegiado en el sentido económico y los dos monitoreos que se llevan a cabo actualmente no representan una erogación difícil de cubrir. Sin embargo, dichas labores representan una cierta carga operativa en tiempo y recursos para la administración, ya que los miembros del staff que participan en la actividad invierten entre 10 y 14 días anuales de 8 horas, mas el tiempo de captura de datos en la oficina, que descarta la posibilidad de trabajar en algún otro tema. Por otra parte, existe un buen número de personas dentro del staff que pueden colaborar en los censos, sin embargo no son comisionadas dadas las múltiples tareas que ellos deben cubrir dentro del parque, incluyendo labores de educación, extensionismo, etc. En tercer lugar, el uso de las embarcaciones, equipos de buceo y otros insumos en forma exclusiva durante los días en que se llevan a cabo los monitoreos puede causar un retraso en las acciones de otros proyectos de manejo. Por último, en 2008 se abrió la consulta pública para extender el área del parque hacia el lado noreste de la isla, lo que si es aceptado repercutirá inmediatamente en la cuestión operativa y financiera, y limitará el aumento en el esfuerzo de censos. Considerando todo lo anterior, en realidad las mismas autoridades del PNAC estén reticentes a invertir mas tiempo y recursos de su gente en este tipo de trabajos y ponderan los beneficios del conocimiento contra los problemas operativos que podría conllevar un esfuerzo excesivo.

En resumen de todo lo discutido, los autores de este informe concluimos que el procedimiento que planteó el Departamento de Monitoreo del PNAC, que involucra dos monitoreos anuales en los arrecifes, parece ser el mas adecuado para las condiciones ecológicas y la disponibilidad logística y de personal del parque. Además, si se incrementa el tamaño del PNAC, será mucho más difícil el aumentar el esfuerzo que ahora se emplea.

Número de sitios de trabajo y su localización.

La administración del PNAC ha elegido ciertos arrecifes para realizar sus monitoreos, los cuales se mencionaron repetidamente en este reporte. La razón por la que ellos fueron seleccionados es múltiple; el nivel de uso (en especial Paraíso y Yucab), la calidad (los arrecifes del sur, que se caracterizan por una gran belleza escénica) y la ocurrencia dentro de las distintas Zonas de Uso del parque. Este balance ha permitido hacer un seguimiento fino de las condiciones locales en áreas de mayor perturbación, y paralelamente obtener una imagen general y sistemática del status de los arrecifes a lo largo de la costa oriental de Cozumel; sin embargo, podría tener cierto margen de mejora.

El planteamiento citado ha funcionado por casi 5 años, y cuando se discutió la posibilidad de modificarlo (aún sin tener datos a la mano), los manejadores manifestaron su poca disposición dado que a su parecer, los lugares elegidos con los correctos y además hay datos científicos que remarcan su relevancia. Durante la investigación se visitaron otras zonas del PNAC, pero en realidad vimos que los seis arrecifes bandera representan una muestra típica de los ambientes del parque, son accesibles, atractivos, y atraen usuarios (razón por la cual hay que mantener su cuidado). En resumen, no se recomienda la modificación de los sitios que el parque visita semestralmente, ya que no hay argumentos científicos o políticos que lo ameriten.

Independientemente de lo mencionado arriba, es importante anotar que los seis arrecifes de interés son monitoreados exclusivamente en la porción arrecifal y de ahí hacia el cantil de la plataforma. El PNAC no hace estudios de la zona de laguna arrecifal dado que la cobertura coralina y la abundancia de sus especies focales (peces, gorgonáceos, esponjas) es baja, sin embargo, esto representa un problema por diversas razones. Inicialmente, la zona cercana al arrecife Paraíso es una de las favoritas para llevar a bucear turistas, en los llamados "ceibadales" (grandes extensiones de pastos marinos en agua somera). Por otro lado, las lagunas arrecifales en sitios como Chankanaab y otros, reciben un número indeterminado de visitantes que llevan a cabo natación con snorkel, y agitan y perturban el fondo. Finalmente, a pesar de toda la protección aun existen casos de entrada de pescadores a la parte somera de los arrecifes con el fin de extraer caracol burro. Esta situación indica que es prioritario que ya

sea el PNAC o los investigadores a cargo del presente estudio, prestemos mas atención a lo sucedido en la zona arrecifal mas cercana al margen insular.

Concluimos esta sección indicando que además de todo lo anterior, los encargados del monitoreo en el parque opinan que debe hacerse un esfuerzo para muestrear sitios afuera del parque mismo por dos motivos: Para tener una mejor representatividad de la condición arrecifal en la isla como un todo, y porque como nuestros resultados demuestran, los efectos de las perturbaciones naturales y antropogénicas no son iguales, sino que afectan diferencialmente los lugares. La potencial extensión del PNAC hacia el noreste de la isla podrá ayudar a cubrir esta deficiencia.

Tamaño de muestra

Como se explicó en mayor detalle en secciones previas de este documento, el número de censos efectuado semestral y anualmente en el PNAC permite sin lugar a dudas tener una idea adecuada de las condiciones imperantes para la mayor parte de los taxa, y ofrece una gran tolerancia en lo que respecta al cambio mínimo detectable. Claro está, hay excepciones a esta generalidad; por ejemplo, el seguimiento de los gorgonáceos es muy ineficiente con la N actual, ya que su abundancia es baja, y su variabilidad natural es mucha. Algo similar puede decirse para un parámetro clave en el arrecife como lo es la abundancia total de los peces; en este caso el problema es la presencia de cardúmenes, que incrementan sensiblemente la varianza y por ello hacen compleja e imprecisa la evaluación de la variable. Por otra parte, se ha discutido también en esta sección la dificultad que planea para la operación diaria del parque el intentar elevar el número de censos durante el año, y que además este problema puede ser mas severo en el futuro cercano. La evidencia apunta a que el número de censos que se está llevando a cabo anualmente en el PNAC (72), es suficiente para las necesidades del parque, y representa una erogación válida y relevante.

¿Cuáles serían las opciones para aumentar el tamaño de muestra? En varios parques nacionales tanto de México como de otros países, se ha buscado aprovechar la presencia de visitantes, buceadores y prestadores de servicio, y se han integrado programas diseñados para que una persona no especializada pueda tomar datos que fueran útiles para el manejo. Desde la perspectiva de atención pública e imagen, el método es eficiente y de hecho las autoridades del PNAC han puesto en práctica programas de capacitación a los usuarios de los arrecifes de manera oficial, o reciben todo tipo de reportes que el público tiene la atención de llevar hasta sus oficinas. Sin embargo, la información con la que el parque cuenta de estas fuentes adolece de los estandares de calidad del observador, y aumenta la ya gran carga de trabajo que tiene el staff; en resumen, los datos generados por el público no se utilizan para aspecto alguno de la parte práctica de la conservación y el manejo del área arrecifal de Cozumel. En este caso, los investigadores que colaboramos en el proyecto hemos echado una ojeada a la información y encontrado reportes poco creíbles, o excesivamente concentrados en las especies grandes o atractivas. No es recomendable usar estas apreciaciones como elementos objetivos en un plan de trabajo para el parque, y por ello abogamos porque los monitoreos continúen de la manera como se han estado haciendo, lo cual garantiza su eficiencia aún con una pequeña pérdida de calidad relativa de los datos, dado que siempre un muestreo más es bienvenido. Por último cabe indicar que la dirección del parque tiene interés en montar un programa de capacitación con estas técnicas, pero dirigido a los residentes locales y a los jóvenes de preparatoria y niveles educativos similares. Ya se verá si eventualmente esta estrategia tiene éxito y mejora las evaluaciones de la condición de los arrecifes de Cozumel.

Estratificación

En el proyecto original se sugirió plantear un método de muestreo estratificado para que las autoridades del PNAC lo siguieran y obtuvieran no solo estimaciones adecuadas de la condición general del sistema, sino que fueran capaces de enfocarse en sitios específicos con el fin de conocer sus cambios en el tiempo, y así, si era necesario, plantear estrategias individuales de manejo. El tema se discutió entre los investigadores que colaboran en el trabajo

y con las autoridades del parque, y como se ha dicho, vimos que los procedimientos actuales parecen ser la mejor opción en virtud de las condiciones locales. Además, los investigadores anotaron que como se denotó que como los análisis de varianza, de hecho el tamaño de muestra conducido actualmente es capaz de percibir rápida y eficientemente esta serie de cambios naturales o inducidos. En resumen, los responsables de la presente investigación recomendamos que se sigan efectuando los muestreos en los arrecifes tradicionales, y que actualmente no es necesaria la estratificación de los arrecifes con el fin de efectuar monitoreos más dirigidos por sitio.

Variables de análisis

El método de monitoreo actual se concentra en la abundancia de ciertos grupos clave: corales, esponjas, gorgonias, algas y peces. Tales taxones fueron elegidos porque se consideran universalmente como buenos indicadores de la “salud” arrecifal, en el sentido que son elementos clave que determinan la diversidad y la gama de funciones del ecosistema. No obstante ello, tanto los autores de este reporte como las autoridades del PNAC consideramos que existen otros grupos dignos de atención, para los cuales se pueden aplicar los métodos en uso actualmente, y no representan una inversión excesiva de tiempo o recursos.

El primer grupo que debe atenderse son las algas marinas. El método SAM agrupa este taxón como una unidad, lo cual representa una burda generalización dado que diferentes componentes de la comunidad ficológica realizan funciones muy distintas en el ecosistema, y su presencia es señal de procesos ecológicos muy disímolos (Santelices et al., 2009), por lo que llama a diversas estrategias de manejo, en su caso. Es claro que el análisis fino de la comunidad algal es una de las partes que sería muy deseable incorporar en un monitoreo, pero existe un enorme impedimento en campo que es la determinación efectiva de las especies presentes. Aún habiendo buenas guías de campo (e.g. Humman y DeLoach, 2002a), la taxonomía algal es harto compleja y los autores remarcan la necesidad de realizar colectas para confirmar identificaciones (Littler y Littler, 2000). Quizá esa es la razón por la que el SAM no toma en cuenta este componente mas que en forma genérica (“algas”)

Para mediar en esta cuestión y considerando las observaciones de autores como Littler y Littler (2000) y Santelices et al. (2009), aquí se propone hacer un ajuste al modo como se toman los datos en el campo, el cual no representará una inversión excesiva de tiempo ni modificará los métodos seguidos por el PNAC. Proponemos que los datos de cobertura algal se dividan en cuatro componentes, cada uno de los cuales desarrolla distintos papeles en la función arrecifal: a) algas filamentosas (tapete de cianofitas); b) algas frondosas (pardas y verdes); c) algas coralinas ramificadas; d) algas coralinas incrustantes. Las primeras son productoras de nitrógeno en el arrecife y pueden ser vistas como un componente normal de un sistema en buen estado y donde la herbivoría mantiene bajo control al resto de las algas. Las algas frondosas, por el contrario, son la señal inequívoca del “cambio de fase”, y por ende, de una perturbación mayor. Finalmente, las algas coralinas representan elementos importantes para el crecimiento arrecifal al ser una de las fuentes principales de sedimento y ayudan a la consolidación química de la matriz arrecifal (Sheppard et al., 2009). Cabe indicar que esta misma separación está siendo empleada en nuestros estudios en el Pacífico mexicano (Alvarez Filip et al., 2006), y por experiencia sabemos que la toma de datos no impone un esfuerzo mucho mayor al normal. La ganancia en información y el beneficio tanto para el conocimiento ecológico como para las recomendaciones de manejo, justificarían la modificación aquí sugerida.

Por otro lado, los equinodermos (en especial erizos de mar) son reconocidos como los principales erosionadores de carbonatos en los arrecifes del Caribe, y los controladores por excelencia de la abundancia algal, al grado que pueden ser determinantes para minimizar o incluso evitar el problema del cambio de fase arrecifal, en circunstancias normales y en aguas no hipertróficas (deYoung et al., 2008). El conteo de los equinoideos es rápido, su identificación es sencilla, y sus números no son excesivos; es decir, no sería un problema su análisis de manera estandarizada dentro del protocolo de monitoreo. Para 2006 que este estudio comenzó,

en el PNAC no existían datos de las abundancias o la estructura comunitaria de este grupo, pero los investigadores que colaboran con el proyecto CONABIO comenzaron los conteos de manera unilateral en 2007 y los han continuado. La información es de gran calidad, aparece ya en un par de tesis de grado recientes (Anexo 1), e indica que, por ejemplo, la situación de una especie clave, el erizo Diadema antillarum, se ha ido recuperando lentamente. Además, nos ha permitido denotar la importancia de otras dos especies en el parque, las cuales son incluso más abundantes que Diadema: el erizo punta de lápiz Eucidaris tribuloides y el erizo rojo, Echinometra viridis. Es desafortunado que ninguna de ellas esté tomada en cuenta por el método SAM, pero al menos en el caso de Cozumel, nos hemos dado a la tarea de corregir esta omisión. En adición a este grupo de equinodermos, el grupo de trabajo que colabora con el autor de este reporte está en trabajos con el Departamento de Monitoreo del parque con el objetivo de evaluar el reclutamiento de pepino de mar, con vistas a un análisis prospectivo de pesca. Es de esperarse que los resultados se presenten en el futuro y arrojen nueva información sobre la relevancia potencial de este recurso.

El caso de los tunicados ha llamado la atención ya que a partir de la perturbación en el sistema producto de los huracanes de 2005, su cobertura sobre el fondo se ha elevado sensiblemente. Estos organismos compiten por espacio con corales y gorgonáceos, e incluso los “ahogan”, al crecer sobre sus bases. Son particularmente abundantes en Paraíso (la zona de más bajo estado de conservación en la isla), donde casi el 1% del fondo está cubierto por estos organismos; para denotar la importancia del dato, esta cifra es superior a la de gorgonáceos en dicha localidad. La función ecológica de los tunicados es el filtrar plancton, pero por sus características fisiológicas y bioquímicas, no representan un eslabón importante dentro de la estructura trófica del sistema, y casi no son consumidos por peces o invertebrados. Así, el incremento en este grupo puede ser visto como el signo de una perturbación en proceso dentro del PNAC, pero desafortunadamente no se le está haciendo el seguimiento adecuado.

Por otra parte, en el presente estudio se convenció a las autoridades a realizar una modificación al método de censo de peces ya que la técnica SAM solo se enfoca a especies de importancia comercial, de gran talla, o carismáticas. En 2006 seguimos las instrucciones para el monitoreo pero el grupo de investigadores tomó datos de todas las especies presentes, con el fin de realizar comparaciones. Lo que observamos es que la selección de especies genera una visión muy sesgada de la verdadera estructura comunitaria de la ictiofauna en Cozumel, dado que se subestima severamente la importancia de los peces de las familias Labridae y Pomacentridae, dos de las de mayor abundancia local y que son herbívoros y omnívoros relevantes. A partir de 2007 el PNAC junto con el grupo de trabajo apoyado por CONABIO comenzamos a hacer el seguimiento de toda la comunidad de peces, aunque para el SAM solo reporta una parte de la información. Los resultados sobre este grupo que se presentan en el actual informe son una demostración de las grandes ventajas que trae aparejada la colaboración entre académicos y manejadores.

Finalmente, durante las visitas y por recomendaciones resultado de la evaluación externa de esta primera etapa, notamos lo que es quizá el mayor problema del monitoreo que se está llevando a cabo en el PNAC. Si bien la zona coralina un componente clave, los arrecifes intercambian materia y energía con otros biomas relevantes y complementarios, y dicha interacción representa el fundamento de la correcta función del ecosistema. A este respecto, uno de los entornos periféricos al arrecife que tiene mayor importancia en la región del Mar Caribe es la laguna arrecifal y la zona de presencia de pastos marinos; desafortunadamente, ambas han sido obviadas en el programa de monitoreo del PNAC, y por ello en gran medida se desconoce su situación ecológica actual y pasada. Es probable que esta omisión sea resultado de la limitación normal de recursos logísticos, económicos y la falta de tiempo disponible para los administradores del PNAC. Sin embargo es claro que la falta de información sobre las especies y los procesos que se llevan a cabo en la pradera arrecifal evita tener una comprensión completa del ecosistema y del parque mismo, y además es una separación artificial por lo mencionado anteriormente. El método SAM explícitamente menciona la necesidad de obtener información de monitoreos en zonas de pastos (Almada Villela et al.,

2003), sin embargo, según García Salgado et al. (2006), para México solo se ha realizado este trabajo en el Parque Nacional Banco Chinchorro; es decir, la situación presente en el PNAC es típica de las áreas protegidas del oriente del país. Debido a la relevancia de este componente del ecosistema como fuente de propágulos, y sitio recursos pesqueros, hacemos aquí una recomendación sustantiva para que las autoridades del Parque de Cozumel analicen la pertinencia de estas acciones y comiencen el seguimiento anual de la zona de pastos marinos.

Sobre el método SAM

La administración del PNAC aplica el método oficial sancionado por el Sistema Arrecifal Mesoamericano (Almada Villela et al., 2005), tanto porque es un compromiso nacional con las demás naciones que forman esta sociedad, como para tratar de mantener homogeneidad de formas de obtención de datos que en su momento puedan ser comparables entre distintos parques nacionales de la costa de Quintana Roo, especialmente.

Las autoridades del parque no parecen tener inconveniente en seguir aplicando el método, tanto por cuestiones oficiales como porque como se ha denotado en este reporte, está dando buenos resultados. Sin embargo y como comentamos en secciones previas, se reconocen ciertas carencias en los procedimientos en relación con la evaluación de equinodermos, peces y algunos otros invertebrados que pueden ser importantes ecológicamente en los arrecifes. Además de las observaciones que ya se hicieron, discutimos la relevancia de incluir métodos que permitan evaluar los gorgonáceos de forma mas eficiente (básicamente, cambiar la técnica de transectos de línea hacia transectos de banda), la aplicación de cuadrantes para evaluar el reclutamiento coralino, y eliminar la parte del “buzo errante” del procedimiento, ya que toma mucho tiempo y no arroja beneficios netos; prácticamente no hay diferencias en los listados que traen los buzos que hacen los conteos y que anotan la presencia de especies fuera de los transectos, a los del buzo viajero.

Como se ha indicado, el PNAC seguirá aplicando este método de monitoreo, lo cual no es malo en sí. Quizá lo único que podemos recomendar aquí es que el personal del Departamento de Monitoreo del parque haga extensivo su conocimiento, observaciones e inquietudes a los miembros de los demás parques nacionales con componente arrecifal en el Caribe mexicano y Golfo de México, e incluso que los comenten con las autoridades del SAM en Belice; es muy posible que encuentren terreno abonado para sus notas ya que en el seno del Sistema se está discutiendo una serie de adecuaciones a las metodologías de monitoreo, fundamentalmente porque para los países centroamericanos representan un gran gasto económico en su aplicación y para la formación de personal y eventualmente se vuelven un problema mas que una solución.

III. Curso de actualización taxonómica para el personal del PNAC

Uno de los compromisos para CONABIO fue apoyar en la ejecución de las labores de monitoreo del PNAC con un curso de actualización taxonómica impartido por los responsables del proyecto. Afortunadamente existe enorme cantidad de información sobre las formas de identificación de los grupos blanco del estudio, así como de sus características diagnósticas, incluyendo claves dicotómicas, pictóricas, y muchas mas. En general hay más de 20 guías de peces e invertebrados del Mar Caribe, y por esa razón era redundante preparar material específico (imágenes, claves, etc.) para desarrollar la labor, sino mas bien lo que se hizo fue llevar al PNAC una serie de guías clave (e.g. Humann y de Loach, 2002a, b, 2003; Collin et al., 2005), durante la primera visita oficial (Octubre de 2006). Además, uno de los antiguos administradores del parque nos proporcionó un documento en CD que muestra las principales especies de Cozumel, con la cual se espera preparar al futuro personal en la labor de campo.

Sin embargo, al llegar al parque nos dimos cuenta que la preparación sugerida era un tanto innecesaria dado que los elementos del Departamento de Monitoreo, y la mayor parte del staff del parque, llevaban ya varios años cumpliendo su labor y conocían en todo detalle los organismos presentes en Cozumel. Con esta situación se vio que lo mejor era realizar pláticas informales con el personal que colabora en los monitoreos, en las cuales se discutieron las

formas de determinar ciertas especies en el campo (en especial en su estadio juvenil), la forma como estimar el número de individuos dentro de cardúmenes, y se discutió la identidad de algunos morfos de coral, que son particularmente difíciles de diferenciar. Al mismo tiempo, estas “clases” se impartieron a estudiantes de la UABCS quienes estaban iniciando sus tesis de licenciatura, y que en la actualidad siguen ayudando al personal del PNAC en sus labores semestrales de seguimiento de la comunidad.

IV. Anexo fotográfico

Se enviaron 26 fotografías de alta calidad mostrando diversos aspectos de los arrecifes de Cozumel, incluyendo el trabajo de los investigadores, algunas escenas de paisajes submareales, e imágenes de especies carismáticas (peces, tortugas, corales, esponjas). Las fotos fueron tomadas por el B.M. Israel Sánchez Alcántara, y éstas pueden encontrarse en el Banco de Imágenes de la CONABIO.

V. Información adicional

Además de los resultados que hemos obtenido en el estudio y que se describen en secciones previas, llevamos a cabo un trabajo no considerado en el convenio pero que es de interés para las autoridades del parque: una batimetría aproximada de la Isla de Cozumel, a partir de fuentes indirectas. En este caso, hicimos uso de la información detallada sobre los datos de profundidad alrededor de la isla que aparecen en el programa MAPSOURCE, el cual a su vez representa una recopilación de muy diversas cartas de navegación disponibles para las dos costas de las Américas. Este acervo fue incrementado con datos tomados in situ durante el desarrollo de los transectos de mapeo, y con información proporcionada por el PNAC. El número total de puntos de mapeo de profundidades fue de poco más de 33,400. Como puede verse en las figuras 11 a 13, la isla presenta una gran planicie somera en su porción norte, y la plataforma continental es más amplia en el lado este que en el oeste de la isla (donde está situado el PNAC). Otra observación importante es que los límites externos del parque no están cercanos a la costa sino que ocupan profundidades mayores a los 300 m; esto es relevante porque en ocasiones los prestadores de servicio suponen que la zona protegida termina con la isobata de -30 m.

Los datos de esta batimetría han sido entregados a las autoridades del parque y a CONABIO junto con el informe final para que puedan utilizarlos a conveniencia. Posteriormente se espera poder georeferenciarlos en detalle, y usarlos como un apoyo más durante la definición de los sitios permanentes de monitoreo a trabajarse durante la Segunda Fase de la investigación. Un ejemplo de los mapas citados aparece en las Figuras 63 a 65.

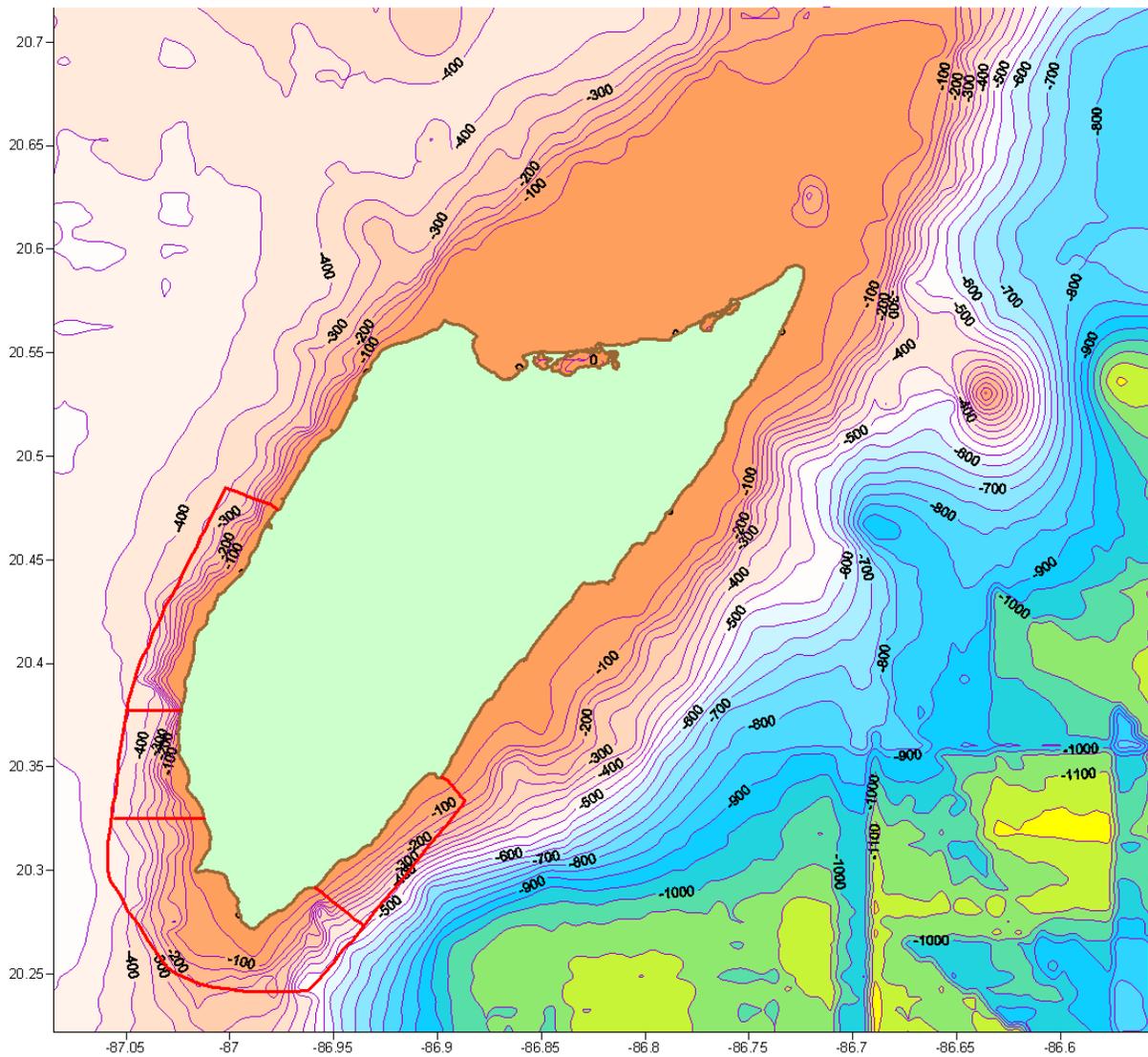


Figura 63. Batimetría de la Isla Cozumel, con isobatas de 50 metros. Información tomada del software MAPSOURCE, y datos de campo y proporcionados por el PNAC.

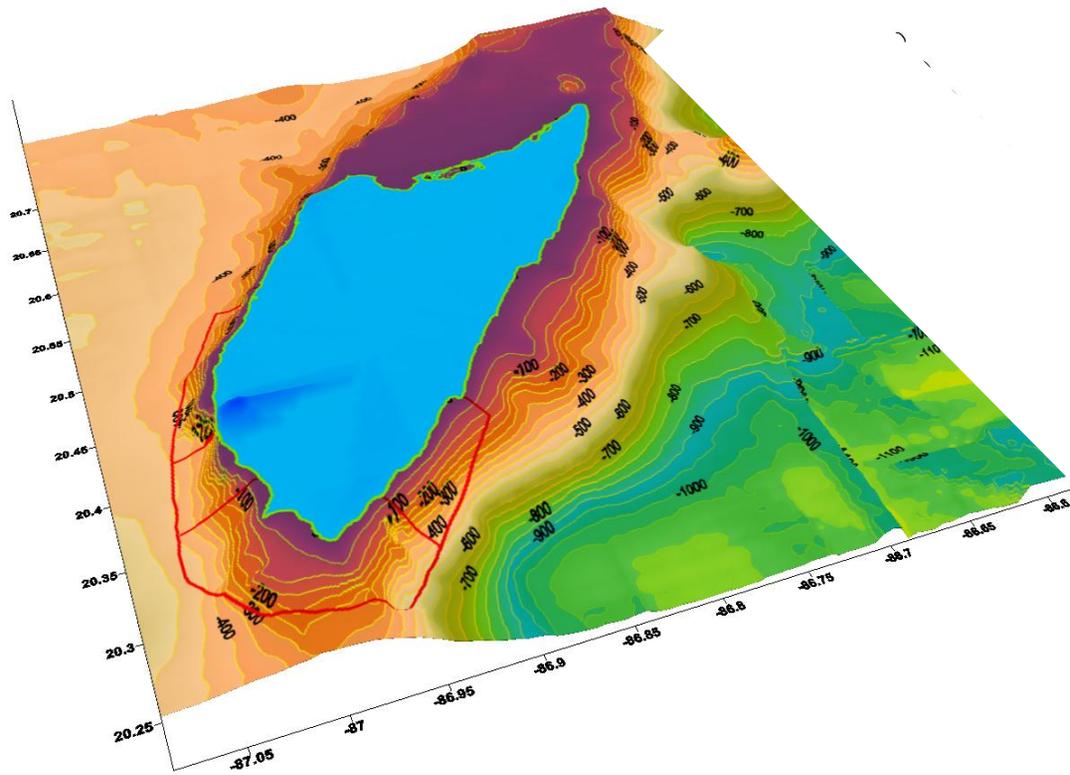


Figura 64. Batimetría "3D" de Isla Cozumel, con isobatas de 50 metros.

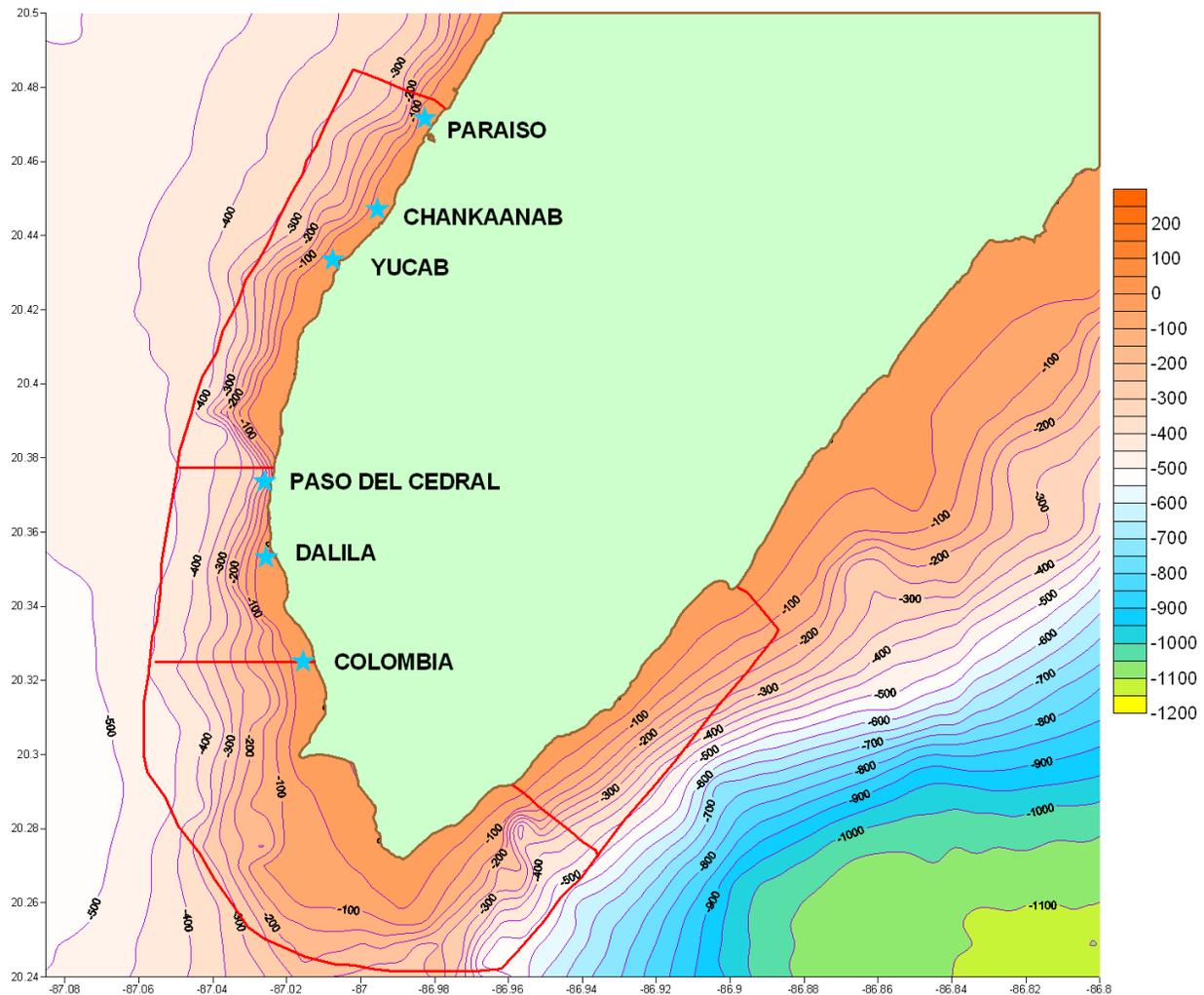


Figura 65. Batimetría del PNAC con isobatas de 50 metros, e indicando los seis arrecifes de interés para el estudio.

VI. Productos entregados

Esta es la lista de productos que se entregan junto con este informe semestral:

- Tres mapas del área de estudio (escala 1:20,000 cada uno), tanto en formato digital como impreso.
- Perfiles arrecifales de todo el PNAC (36 en total).
- Base de datos georeferenciados de las especies de corales y peces del PNAC, con más de 6,000 registros.
- Lista sistemática actualizada de las especies del parque, con un total de casi 1,000 taxa (PRODUCTO 4; archivo WORD)
- Hojas de cálculo con los datos de los monitoreos de 2006 a 2008, incluyendo datos en bruto, índices ecológicos, análisis estadísticos y gráficos de ordenación, todo para corales, peces y otros grupos de invertebrados benthicos.
- Estimaciones de los tamaños de muestra ideales para estimar cada variable ecológica calculada en el Producto 5, y del cambio mínimo detectable de las mismas.
- Folder con información electrónica y algunos de los materiales taxonómicos empleados para las discusiones-cursos efectuados en el PNAC.

- Anexo fotográfico de la investigación, con 30 fotos tomadas en los arrecifes de Cozumel. Algunas de las fotos entregadas fueron incorporadas al Banco de Imágenes de CONABIO y otras
- Informe final de actividades, incluyendo el resumen de los trabajos, los resultados alcanzados, y las observaciones al Programa de Monitoreo del PNACA.

Además, adelante listamos otros productos derivados de la investigación, que también fueron entregados a la CONABIO:

a) Publicaciones generadas parcial o totalmente por el proyecto.

Alvarez Filip, L., M. Millet Encalada y H. Reyes Bonilla. 2009. Impact of hurricanes “Emily” and “Wilma” on the coral community of Cozumel Island, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 84: 295-306.

Alvarez del Castillo Cárdenas, A., H. Reyes Bonilla, L. Alvarez Filip, M. Millet Encalada y L.E. Escobosa González. 2009. Cozumel island: a disturbance history. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Fort Lauderdale* 1: 701-705.

García Salgado, M.A. y 12 coautores. 2009. Declining trends on the Mesoamerican Reef System Marine Protected Areas. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Fort Lauderdale* 1: 883-888.

Reyes Bonilla, H., L. Alvarez Filip y M. Millet Encalada. En preparación. Community structure of scleractinian corals in non-protected areas of Cozumel Island, Mexico. A ser enviado a *Atoll Research Bulletin*.

Barajas Piña, J.J., H. Reyes Bonilla y H. Pérez España. En preparación. Comparación de la estructura comunitaria de corales pétreos (Scleractinia) de los arrecifes de Veracruz (Golfo de México) y Cozumel (Caribe Mexicano). A ser enviado a *Ciencias Marinas*.

b) Tesis parcialmente apoyadas por el proyecto.

Barajas Piña, J.J. 2009. Estructura comunitaria de componentes arrecifales en dos parques nacionales y su uso como indicador en cuestiones de manejo y conservación. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 79 p.

González Azcárraga, A. 2009. Estructura de las asociaciones y diversidad morfológica de erizos de mar (Echinoidea) en los Parques Nacionales Sistema Arrecifal Veracruzano y Arrecifes de Cozumel, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 65 p.

Alvarez del Castillo Cárdenas, P.A.. 2009. Cambios en el paisaje arrecifal del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel resultantes de perturbaciones naturales. Tesis de Licenciatura en Biología Marina, UABCS.

Campos Salgado, A.I. En proceso. Evaluación de la presión de uso por actividades subacuáticas en el estado de conservación de los corales escleractinios del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

VII. REFERENCIAS

- Almada Villela, P.C., P.F. Sale. G. Gold Bouchot y B. Kjerfve. 2003. Manual de métodos para el Programa de Monitoreo Sinóptico del SAM. Sistema Arrecifal Mesoamericano, Belice City.
- Alvarez Filip, L.A. 2008. Efecto de los huracanes "Emily" y "Wilma" en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. pp. 361-372, In: L.M. Mejía Ortíz (ed.). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Alvarez Filip, L., H. Reyes Bonilla y L.E. Calderón Aguilera. 2006. Community structure of fishes in Cabo Pulmo reef, Gulf of California. *Marine Ecology* 27: 253-262.
- Anónimo. 1998. Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. Instituto Nacional de Ecología, México-
- Arriaga Carrera, L., E. Vázquez Domínguez, J. González Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López y V. Aguilar Sierra (coordinadores). Regiones prioritarias marinas de México. CONABIO, México.
- Beltrán Torres, A.U. y J.P. Carricart Ganivet. 1999. Lista revisada y clave para los corales pétreos zooxantelados (Hydrozoa: Milleporina; Anthozoa: Scleractinia) del Atlántico mexicano. *Revista de Biología Tropical* 47: 813-829.
- Briones Fourzán, P. y E. Lozano Alvarez. 2008. Aspectos poblacionales del caracol rosado (*Strombus gigas*) y las langostas (*Panulirus argus* y *P. guttatus*) del Parque Chankanaab. pp. 279-308, In: L.M. Mejía Ortíz (ed.). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Collin, R., M.C. Díaz, J. Norenburg, R.M. Rocha, J.A. Sánchez, A. Schulze, M. Schwartz y A. Valdés. 2005. Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas del Toro, Panamá. *Caribbean Journal of Science* 41: 638-707.
- deYoung, B. M. Barange, G. Beuagrand. R. Harris, R.I. Perry, M. Scheffer y F. Werner. 2008. Regime shifts in marine ecosystems: detection, prediction and management. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 402-409.
- Díaz Ruíz, S. y A. Aguirre León. 1993. Diversidad de la ictiofauna de los arrecifes del sur de Cozumel, Quintana Roo. pp. 817-831, In: S.I. Salazar Vallejo y N.E. González (eds.). Biodiversidad marina y costera de México. CIQRO/CONABIO, Chetumal.
- Enthorne, T.L.H. y M.M. Millar. 2003. Cuban tourism in the Caribbean context. *Journal of Travel Research* 42: 84-93.
- Fenner, D.P. 1999. New observations on the stony coral species (Scleractinia, Milleporidae, Stylasteridae) of Belize (Central America) and Cozumel (Mexico). *Bulletin of Marine Science* 64: 143-154.
- García Beltrán, G. y R.M. Loreto Viruel. 1997. Caracterización de los arrecifes coralinos de Isla Cozumel, Quintana Roo. Informe Final de Proyecto. Amigos de Sian Ka'an. Cancún.
- García Salgado, M.A., T. Camarena L., G. Gold B., M. Vasquez, G. Galland, G. Nava M., G. Alarcón D. y V. Ceja M. 2006. Línea base del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Programa de monitoreo sinóptico 2004-2005. Sistema Arrecifal Mesoamericano, Belice City.
- Greerfield, D.W. 2002. *Palatogobius grandoculus*: a new deep water western Caribbean goby (Teleostei: Gobiidae). *Copeia* 2(3): 716-718.
- Hernández Aguilera, J.L., J.A. Ruiz Nulo, R.E. Toral Almazán y V. Arenas Fuentes. 2005. Camarones, langostas y cangrejos de la costa este de México. Vol. I. ECONATURA/CONABIO, México
- Hodgson, G. 2000. Coral reef monitoring and management using Reef Check. *Integrated Coastal Zone Management* 1: 169-179.
- Humann, P. y N. DeLoach. 2002a. Reef creature identification. Florida, Caribbean, Bahamas. New World Publications, Jacksonville.
- Humann, P. y N. DeLoach. 2002b. Reef fish identification. Florida, Caribbean, Bahamas. New World Publications, Jacksonville.
- Humann, P. y N. DeLoach. 2003. Reef coral identification. Florida, Caribbean, Bahamas. New World Publications, Jacksonville.

- Jordán Dahlgren, E. y R. Rodríguez Martínez. 2003. The Atlantic coral reefs of México. pp. 131-158, In: J. Cortés (ed.). Latin American coral reefs. Elsevier, Amsterdam.
- Jordán Dahlgren, E. 2008. Arrecifes coralinos. pp. 163-187, In: L.M. Mejía Ortiz (ed.). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Littler, D.S. y M.M. Littler. 2000. Caribbean reef plants. Offshore Graphics, Orlando.
- Lozano Alvarez, E., P. Briones Fourzán y F. Negrete Soto. 2002. Chankana'ab Lagoon (Cozumel Island, Mexico): a prime refuge for spiny lobsters (*Panulirus argus*)? Bulletin of Marine Science 72: 1033-1042.
- Lozano Alvarez, E., D. Guevara Muñoz y P. Briones Fourzán. 2008. La comunidad de peces arrecifales del Parque Chankanaab. pp. 309-326, In: L.M. Mejía Ortiz (ed.). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Mateo Cid, L.E. y A.C. Mendoza González. 2008. Flora ficológica: diversidad, importancia económica y conservación. pp. 81-114, In: L.M. Mejía Ortiz (ed.). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Mejía Ortiz, L.M. 2008. Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Millet Encalada, M. y L. Alvarez Filip. 2008. Peces arrecifales. pp. 239-256, In: L.M. Mejía Ortiz (ed.). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Millet Encalada, M. L. Alvarez Filip y H. Reyes Bonilla. 2008. Estructura comunitaria de corales escleractinios en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. pp. 327-348, In: L.M. Mejía Ortiz (ed.). Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel. Plaza y Valdés/ Universidad de Quintana Roo, México, D.F.
- Ochoa Rivera, V., A. Granados Barba y V. Solís Weisz. 2000. The polychaete cryptofauna from Cozumel island, Mexican Caribbean. Bulletin of Marine Science 67: 137-146.
- Padilla Souza, C. 2004. Evaluación del uso sustentable del coral negro en el Caribe mexicano. pp. 429-444, In: E. Rivera Arriaga, G.J. Villalobos Zapata, I. Azuz Adeath y F. Rosado May (eds.). El manejo costero en México. Universidad Autónoma de Campeche/SEMARNAT/CETYS/UQROO.
- Pattengill-Semmens, C.V. y B.X. Semmens. 2003. Conservation and management applications of the REEF volunteer fish monitoring program. Environmental Monitoring and Assessment 81: 43-50.
- Rioja Nieto, R. y C. Sheppard. 2008. Effects of management strategies on the landscape ecology of a Marine Protected Area. Ocean and Coastal Management 51: 397-404.
- Salazar Vallejo, S.I., J.C. Zurita, N.E. González. F. Pérez Castillo y H.C. Gamboa. 1993. Areas costeras protegidas de Quintana Roo. pp. 687-707, In: S.I. Salazar Vallejo y N.E. González (eds.). Biodiversidad marina y costera de México. CIQRO/CONABIO, Chetumal.
- Santelices, B., J.J. Bolton y I. Meneses. 2009. Marine algal communities. pp. 153-194, In: J.D. Witman y K. Roy (eds.). Marine macroecology. University of Chicago Press, Chicago.
- Sheppard, C.R.C., S.K. Davy y G.M. Pilling. 2009. The biology of coral reefs. Oxford University Press, Oxford.
- Schaeffer, R.L., W. Mendenhall y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Iberoamericana, México.
- Sosa Cordero, E., A. Medina Quel, A. Ramírez González, M. Domínguez Viveros y W. Aguilar Dávila. 1993. Invertebrados marinos explotados en Quintana Roo. pp. 709-733, In: S.I. Salazar Vallejo y N.E. González (eds.). Biodiversidad marina y costera de México. CIQRO/CONABIO, Chetumal.
- Spalding, M.D. 2004. A guide to coral reefs of the Caribbean. University of California Press, Berkeley.

- Steidl, R.J. y L. Thomas. 2001. Power analysis and experiment designs. pp. 14-36, In: S.M. Scheiner y J. Gurevitch (eds.). Design and analysis of ecological experiments. Oxford University Press, Oxford.
- Underwood, A.J. 1997. Experiments in ecology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical analysis. 4° ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.