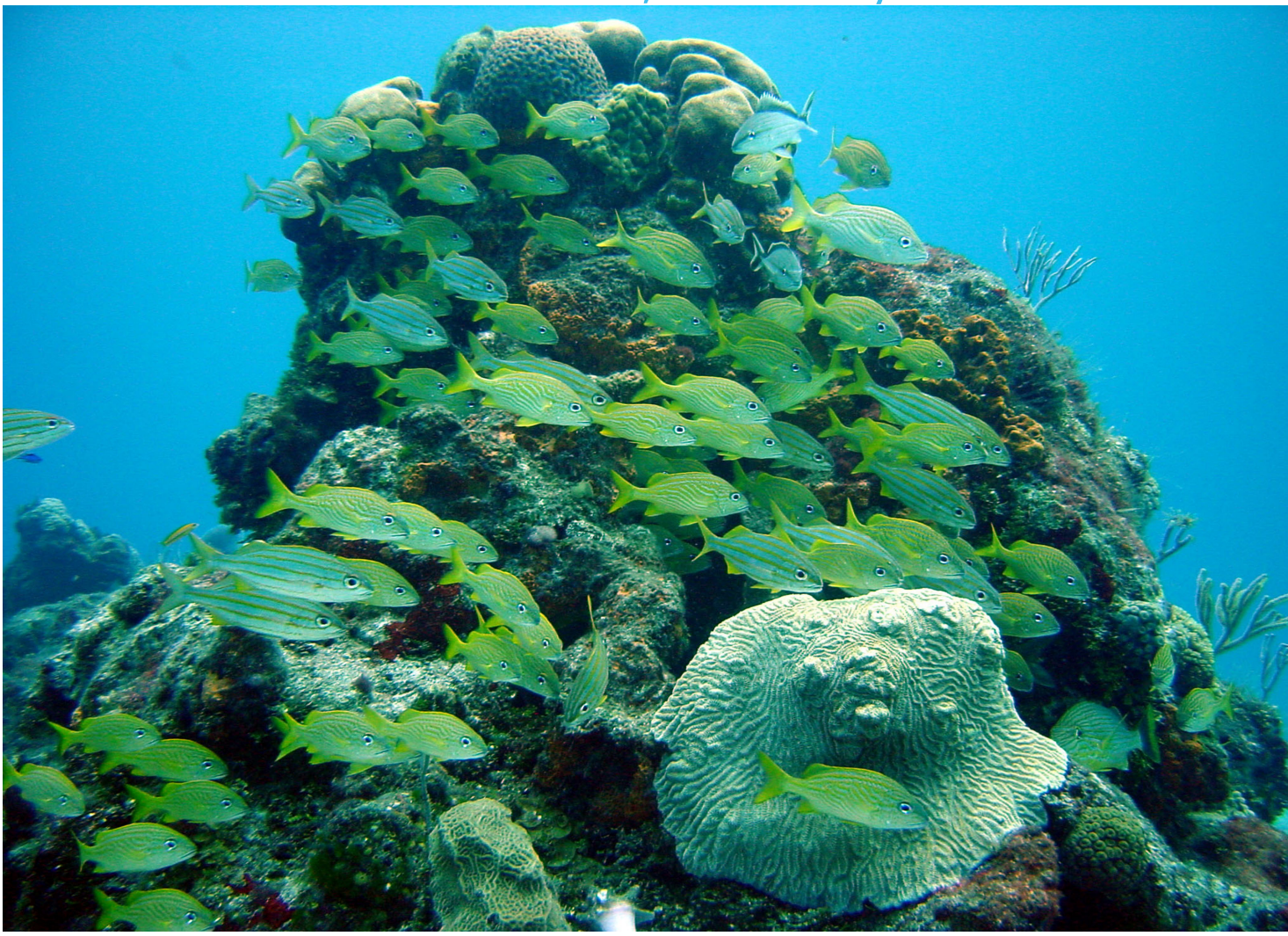
Universidad del Caribe
2000 CANCUN, QUINTANA ROO, MEXICO
CONOCIMIENTO Y CULTURA PARA EL DESARROLLO HUMANO

ISSN 1870-1515

Volumen 2, Número 1

Revista de Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad



**Una publicación de la Universidad del Caribe
en colaboración con la Dirección de Medio Ambiente del H.
Ayuntamiento del Municipio Solidaridad y
NOAA Coral Reef Conservation Program**

Quintana Roo, México
Junio, 2006

Revista de Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad

ISSN 1870-1515

La Revista de Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad, es una publicación oficial de la Universidad del Caribe, que en sus primeros números será editada e impresa con el apoyo y coordinación de la Dirección de Medio Ambiente del Honorable Ayuntamiento de Solidaridad. Este número, contiene los resultados de las investigaciones realizadas para la evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) en el proceso de certificación Bandera Azul del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, México; que surge por iniciativa y coordinación de la Dirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Solidaridad, financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), con la responsabilidad técnica del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La revista se publicara con una frecuencia de dos números por año y pretende ser una publicación pionera para la diseminación de información en temas de turismo, medio ambiente y sustentabilidad, incluyendo los aspectos sociales, políticos, económicos, logísticos y base científica que rigen estos procesos.

El segundo número del 2006, programado para diciembre , recogerá las memorias del evento ECO' 06 "Conservación y Uso Sostenido de Arrecifes Coralinos y Ecosistemas Asociados.", organizado por el H. Ayuntamiento de Solidaridad, Dirección de Medio Ambiente y el Instituto Latinoamericano de Ciencias Marinas y del Ambiente con el patrocinio del Programa para la Conservación de los Arrecifes Coralinos de la Agencia para la Administración del Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos NOAA. Los siguientes números contendrán artículos seleccionados por un comité editorial que revisara los manuscritos enviados a la revista sobre la base de contenido, formato y calidad. El formato para publicación será establecido por dicho comité y sus lineamientos se publicaran en el segundo número.

Los profesionales involucrados en estos temas, interesados en publicar sus trabajos en la revista, pueden enviar sus propuestas al Comité Editorial a la siguiente dirección: Universidad del Caribe Manzana 1, Lote 1, Región 77, Fraccionamiento Tabachines, Código Postal 77500, Cancún Quintana Roo, México ó bien al correo electrónico mota@unicaribe.edu.mx

Derechos reservados @ 2006
Universidad del Caribe

Foto: Arrecifes Riviera Maya, Cortesía Asociación de Prestadores de Servicios Acuáticos de la Riviera Maya, A.C.

CONSEJO EDITORIAL

M. en C. María Julia Bello
Coral Reef Conservatiom Program
NOAA/SEFSC, E.U.A

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino
Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
D.F., México

M. en C. Gladys Pérez de la Fuente
Subdirectora de Impacto y Gestión Ambienta
Dirección de Medio Ambiente
H. Ayuntamiento de Solidaridad
Quintana Roo, México

Agradecimiento especial:

C.P. Carlos Joaquín González
Presidente Municipal
H. Ayuntamiento de Solidaridad
Quintana Roo, México

Ing. William Saulceth Conrado Alarcón
Director General de Medio Ambiente y Desarrollo Urbano
H. Ayuntamiento de Solidaridad
Quintana Roo, México

C. Gustavo Maldonado Saldaña
Director de Medio Ambiente
H. Ayuntamiento de Solidaridad
Quintana Roo, México

Dra. Priscila Sosa Ferreira
Universidad del Caribe
Cancún, Quintana Roo, México

Prof. Pedro Moncada
Universidad del Caribe
Cancún, Quintana Roo, México

Tec. Efrain Alavez Huerta
Jefe de Departameto de Impacto Ambiental
Sundirección de Impacto y Gestión Ambiental
Dirección de Medio Ambiente
H. Ayuntamiento de Solidaridad

Las playas de la Riviera Maya son reconocidas en el ámbito internacional por la transparencia y el color peculiar de sus aguas, la arena blanca y su clima tropical. Paralelo a ellas se extiende un arrecife bordeante discontinuo que forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano, segundo más largo del mundo después de la Gran Barrera Coralina de Australia. El goce del baño en estas playas y la seducción al buceo en estos arrecifes constituyen dos de los principales atractivos para la industria turística en el Caribe Mexicano.

El enorme valor de tales ecosistemas, y en la zona que nos ocupa, su función de protección a la costa, esencial durante tormentas y huracanes, acentúa la necesidad de retribuirlos con una atención especial. Sin embargo, desafortunadamente, éstos se están degradando a causa no sólo de fenómenos naturales sino de la presión creciente de actividades antropogénicas.

La comprensión de los efectos de estas amenazas, sus consecuencias económicas y el impacto hacia la salud humana, resulta esencial para los esfuerzos de ordenamiento sustentable de la zona. No obstante, la escasez de información y desconocimiento de su condición, entre otros aspectos, impide el manejo efectivo en virtud de su conservación.

Los artículos de este tercer ejemplar de la Revista Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad representan una aportación en la materia en cuestión, por cuanto se compilan los resultados de un estudio reciente realizado por el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que abarca aspectos relacionados con la condición de las playas y la comunidad arrecifal en la Riviera Maya.

Sobre sus inicios se comentó en la Revista anterior, mereciendo señalar que es el producto de un esfuerzo conjunto entre la iniciativa de la Dirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento del Municipio de Solidaridad, la responsabilidad técnica de la Dra. Guadalupe de la Lanza Espino de la UNAM y el financiamiento otorgado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Agradecemos este espacio a la Universidad del Caribe, que permite divulgar información ambiental relevante para el desarrollo de acciones orientadas a la conservación de ecosistemas costeros en la Riviera Maya.

Los editores

ÍNDICE

Estudio ambiental integrado de las playas del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo
Guadalupe de la Lanza Espino 1

Evaluación de la dinámica oceánica en dos localidades del caribe mexicano
Santiago Gajá Ferrer y Steven Czitrom Baus 9

Calidad del agua de las playas del municipio de Solidaridad
Guadalupe de la Lanza Espino, Salvador Hernández Pulido, Iván Penie Rodríguez y Juan Carlos Gómez 25

Cambios por erosión y acreción de las playas del Municipio de Solidaridad
Erik Márquez-García, Zuelhen Flores Erazo, Antonio Zoilo Márquez-García , Virginia Pérez-Aguilar 45

Cambios en el tamaño de los sedimentos del litoral del Municipio de Solidaridad por e fectos climáticos estaciónales
Márquez-García, Antonio Zoilo, Pérez-Aguilar, Virginia· Márquez-García, Eric Flores Erazo, Zuelhen 59

Metodología utilizada en el estudio de la comunidad arrecifal de las playas del Municipio de Solidaridad
Claudia Padilla Souza 69

Fitoplancton en los ambientes acuáticos de la Riviera Maya, Quintana Roo
José Luís Moreno Ruíz 79

Diagnóstico ecológico de los arrecifes coralinos del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México basados en microalgas arrecifales
Jhoana Díaz Larrea 89

Caracterización de las comunidades de gorgonáceos del arrecife del Municipio de Solidaridad
Claudia Padilla Souza 105

Caracterización de las comunidades de corales escleractineos del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México
Axayacatl Molina-Ramírez 115

Conteo visual de Equinodermos en los arrecifes coralinos del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México
Beatriz Yáñez Rivera 125

Caracterización de las comunidades de peces del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México
Gerardo García Beltrán 133

ESTUDIO AMBIENTAL INTEGRADO DE LAS PLAYAS DEL MUNICIPIO SOLIDARIDAD QUINTANA ROO

INTEGRATED ENVIRONMENTAL STUDY OF THE SOLIDARIDAD MUNICIPALITY BEACHES

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino
gdlle@servidor.unam.mx, gdlle@ibiologia.unam.mx

Resumen: En los presentes trabajos específicos se evaluaron: la dinámica de corrientes, la geomorfología (levantamientos topográficos, batimétricos y sedimentológicos transporte, erosión y sedimentación costeros), de playa así como, la calidad ambiental que incluyó las características físico-químicas (calidad del agua) y la comunidad arrecifal (algas, equinodermos, peces, gorgonáceos y corales) de la zona litoral de la Riviera Maya, en especial, de las playas del Municipio de Solidaridad y Tulum. Se realizaron tres trabajos de campo (noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005); tanto para el área marina como para cuatro cenotes adyacentes y su interrelación a través de isótopos estables (O^{18}). Las estaciones fueron representativas de condiciones naturales, aportes terrestres (cenotes) y descargas antropogénicas, como elementos de influencia en la calidad del agua con énfasis en la identificación del impacto de las actividades humanas y sobre el ecosistema arrecifal. Al final de cada estudio se presenta una diagnosis en forma específica al período comprendido del estudio que incluyó la influencia de un huracán (Emily); por lo que vale aclarar que la variación climática interanual puede cambiar los resultados que se obtuvieron en el citado período.

Palabras Claves: costera, calidad del agua, evolución geomorfológica, arrecifes coralinos.

Abstract: In the present specific papers were evaluated: the current dynamics, physicochemical or water quality, beaches geomorphology (topography, bathymetry and sediment transport) and arrecifal reefs community (algae, echinoderms, fishes, gorgonaceous and coral organism) of the Solidaridad Municipality, Rivera Maya's Beaches including Tulum; through three different seasons (November, 2004 and March and August, 2005). Marine and cenotes waters were also study to know their relation also using (O^{18}) stable isotopes. The study sites were representative of natural condition and anthropogenic discharges that affects the coral reef health and tourist activities. The final diagnoses were made at the end of each specific paper, before and after Hurricane Emily, since any interannual climate change could change environmental conditions and consequently the results.
Key words: Coastal circulation, water quality, geomorphologic evolution, coral reefs.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la mayor parte de las playas de México y del mundo experimentan procesos de contaminación y erosión, causados por diferentes procesos como: el turismo, actividades náuticas recreativas, construcción de obras civiles (diques, espigones rompeolas y ductos submarinos etc.), así como huracanes, época de lluvias muy variantes y elevación del nivel del mar entre otros (Chávez e Hidalgo, 1988 y Salazar-Vallejo, 1998).

La zona costera de la Riviera Maya es parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) que se extiende desde la Isla Contoy al norte de la Península de Yucatán a las Islas Bahía en Honduras, el segundo arrecife más largo del mundo. Como ecosistema, el SAM contribuye a la estabilización y protección de los paisajes costeros y sirve como hábitat para la alimentación y crianza de mamíferos marinos, reptiles, peces e invertebrados, muchos de los cuales son de gran importancia comercial con una gran relevancia socio económica ya que da empleo y es fuente de ingresos para personas que viven en las áreas costeras cercanas (INE-SAM, 1997).

En el Estado de Quintana Roo, por ser puerta de entrada al Mundo Maya, se han impulsado

proyectos para el desarrollo turístico de la zona, ya que contribuye con una tercera parte de las divisas que generan las actividades turísticas (http://www.qroo.gob.mx, 2006). Se ha incrementando entre otras cosas, el amplio sistema portuario que atiende a más de un millón de turistas que viajan en cruceros, sin que se haya prevenido el grado en que estas actividades afectarían las condiciones ambientales favorables para la proliferación de los arrecifes coralinos de la región.

Frente a las costas del Municipio de Solidaridad, se desarollan varias formaciones arrecifales, que además de la diversidad que representan y el papel que juegan dentro del ecosistema, son un punto de atracción turística importante, lo que pone de manifiesto la necesidad de conocer y monitorear la calidad ambiental y el estado de conservación (Municipio de Solidaridad, 2001).

Ello hace determinante evaluar el estado actual de las playas y otros ecosistemas importantes como el arrecife, para definir áreas de riesgo, conservación, rehabilitación y poder llevar a cabo un aprovechamiento y desarrollo sustentable de los mismos. Además, las alteraciones en la playa deben ser evaluadas debido a que pueden causar problemas de catastros municipales al modificarse los límites de zona federal, estatal y municipal.

En México, particularmente en el Estado Quintana Roo en las zonas arrecífales cercanas al área de estudio, se han realizado las caracterizaciones de los arrecifes de Majahual (Maldonado Gasca, 1998) de Alacranes y de Boca Paila (Membrillo-Venegas, 1999). Garza-Pérez (2000), comparó la estructura de cuatro comunidades coralinas aplicando las técnicas de videotransectos.

También, es importante destacar los trabajos de caracterización, monitoreo y propuestas de manejo para Sian Ka`an, Xcalac Cozumel, Cancún, Banco Chinchorro, y el efecto de los huracanes (Gutiérrez et al, 1991,1994,1995,1996; Gutiérrez y Bezaury. 1993; García y Loreto, 1996a, 1996b; García et al., l997; Lara et al., 1998; Loreto, 1998 y Vega y Loreto, 2001). Además, existe un plan de manejo para la reserva de la biosfera de San Ka'an (www.conanp.gob.mx, 2006).

La Dirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Solidaridad viene desarrollando desde hace algún tiempo el Programa Municipal "Campaña Bandera Azul", con el objetivo de crear una cultura ambiental responsable para la conservación de las playas en todos los sectores de la sociedad, estudiar y analizar la situación real en que se encuentran y consecuentemente, actuar para implementar un manejo integral que conlleve a elevar y mantener la calidad del ecosistema en cuestión. Con ello, se persigue optar por un reconocimiento en el ámbito municipal, nacional, regional e internacional, brindando un valor agregado al rubro económico-turístico más importante de la municipalidad.

En el presente trabajo (que incluye varias contribuciones), se plantea un programa de diagnóstico de la situación actual de la zona costera del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, principalmente en las playas de mayor acceso y actividad turística (Playa del Carmen, Akumal y Tulum), a través de la evaluación de los efectos que tienen las actividades playeras, las emisiones de contaminantes, la infiltración de aguas interiores, la erosión y depósito de los sedimentos así como la dirección e intensidad de las corrientes.

Se evalúan parámetros físico-químicos y de calidad del agua; así mismo se utilizaron indicadores biológicos tales como la concentración y distribución de organismos del fitoplancton, las asociaciones fitoplánctonicas con las variables abióticas en las distintas épocas climáticas para identificar a las algas microscópicas bioindicadoras de calidad del agua, que permitirá diagnosticar de forma temprana cambios de la calidad ambiental en el entorno de los arrecifes coralinos.

En el aspecto biológico se incluye la evaluación del estado actual de las zonas arrecífales también frente a las costas del Municipio de Solidaridad, para la comprensión del posible impacto de las actividades antropogénicas en la región. Se analiza la composición, porcentaje de cobertura y

grado de blanqueamiento del coral; además, de abarcar otros grupos faunísticos como peces y equinodermos (distribución por el tamaño de los individuos).

El diagnóstico incluye la geomorfología y dinámica del transporte de sedimentos, así como la descripción de las corrientes litorales y su relación con la dinámica de las aguas oceánicas adyacentes, con el objetivo de determinar zonas de riesgo a partir del patrón de circulación costera.

El objetivo general es evaluar las condiciones ambientales, para lo que se monitoreó desde noviembre del 2004, a agosto del 2005, la zona costera del Municipio de Solidaridad desde el punto de vista ambiental considerando a las playas en la certificación "Bandera Azul" y la influencia de la calidad del agua en los sistemas arrecifales; generando información para desarrollar un programa de manejo sustentable integral en etapas posteriores. Las contribuciones individuales se centran en los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la físico-química o calidad del agua de la zona costera (playas) para la protección de la vida acuática y uso recreativo, según criterios oceanográficos y ecológicos de 1989.
2. Identificar las principales fuentes de contaminación marina.
3. Determinar los patrones de oleaje y circulación de las aguas costeras.
4. Efectuar un levantamiento topográfico de las tres principales playas del municipio con acceso público.
5. Realizar un estudio sedimentológico (textura y composición de las arenas) de las citadas playas: definir la erosión y el transporte de los sedimentos que constituyen a las playas.
6. Determinar las variaciones morfológicas de la línea de costa, a través del tiempo: pronosticar la evolución y tendencias de las playas en estudio.
7. Evaluar el estado de la condición arrecifal en la Riviera Maya.

ÁREA DE ESTUDIO

El litoral en estudio, localizado entre los 20º43'-20º47' latitud norte y 86º57'-87º26' longitud oeste, constituye la parte más significativa de lo que se conoce mundialmente como Riviera Maya; ocupa la región centro-meridional del corredor turístico Cancún Tulum, que se extiende a lo largo de unos 120 Km y es uno de los destinos turísticos más importantes de México y de todo el Caribe (Municipio Solidaridad 2001, Fig. 1).

La zona es una típica llanura costera carsificada con menos de 25 metros de altitud, desarrollada sobre rocas calcáreas terciarias hacia las zonas más interiores. Hacia la costa predominan las rocas calcáreas cuaternarias, recubiertas por depósitos recientes arcilloso-pantanosos en las zonas bajas de lagunas y humedales. En los sectores de playas y dunas las rocas calcáreas cuaternarias están recubiertas por arenas. A escala regional es evidente la distribución de las unidades geográficas en franjas paralelas a la línea de costa. Los paisajes se suceden desde las playas y dunas a una franja intermedia de superficies carsificadas y lagunas costeras interiores, hasta la plataforma continental característica de la parte central de la Península de Yucatán (Universidad Autonoma Metropolitana de Iztapalapa UAMl, 2003).

Según la UAMI, este tipo de estructura paisajística se caracteriza por una intensa dinámica funcional, influenciada por los procesos costeros, las fluctuaciones climáticas y cambios del nivel medio del mar; razones por las cuales la interacción tierra-mar es mas acentuada que en paisajes

jóvenes sobre llanuras holocénicas y pleistocénicas tardías; produciéndose un escenario inestable, por ende, frágil y susceptible a los impactos humanos. Debe destacarse que en la zona de estudio se localiza un área con régimen de conservación con relevancia internacional como el Parque Nacional de Tulum.

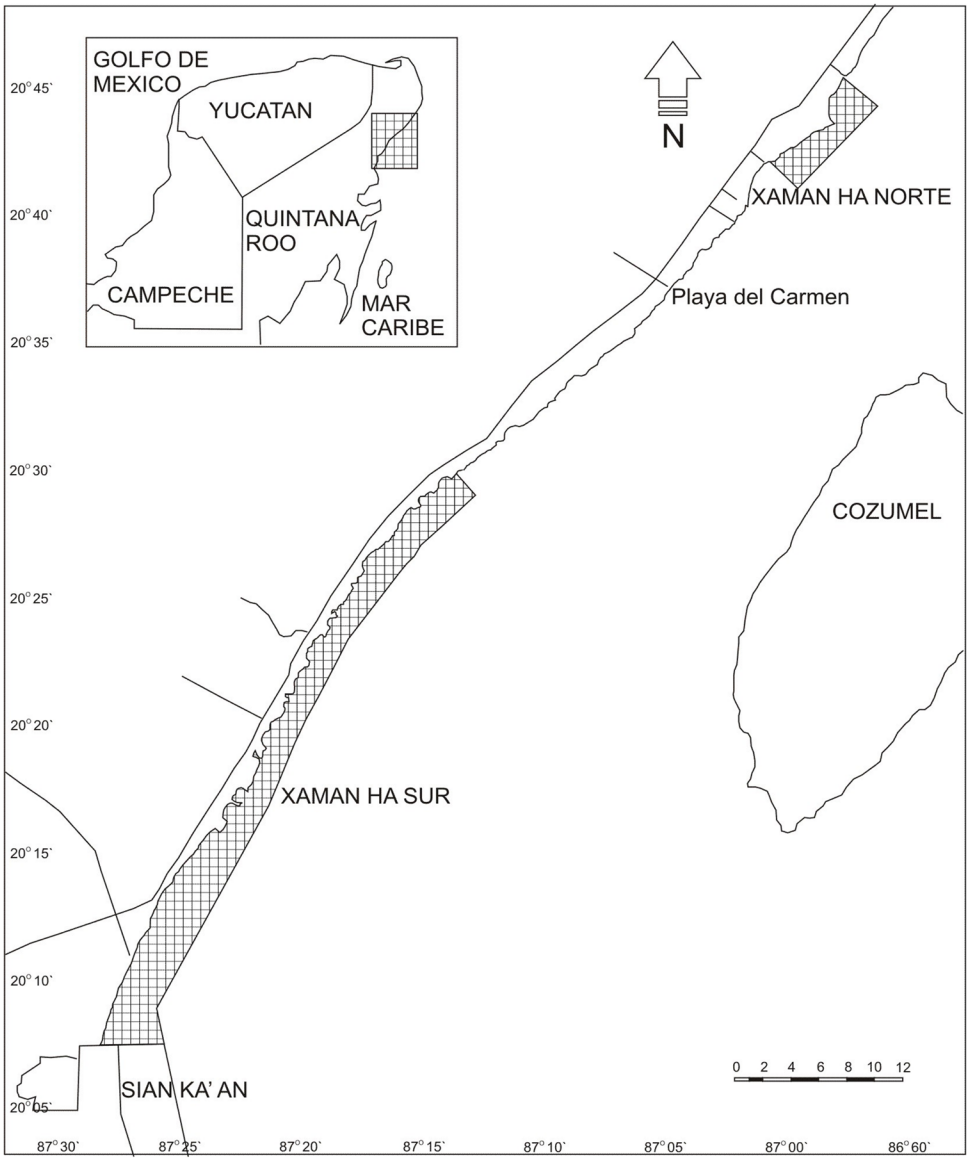


Fig. 1. Localización del área de los estudios.

La zona representa también una zona de anidación, alimentación y descanso para gran cantidad de aves, crustáceos y tortugas marinas, cuya existencia depende en buena medida de los procesos que se llevan a cabo en las playas; lo que incrementa su fragilidad y resulta en un factor limitante que debe ser analizado antes del establecimiento de una infraestructura costera.

El arrecife de coral es una parte importante de todo este extenso sistema litoral. Se extiende paralelo a la costa, en forma discontinua desde el norte de Quintana Roo hasta la Bahía en Honduras. Incluidos los arrecifes de Cuba, el SAM se conoce como el Gran Arrecife Mesoamericano y es reconocido como el segundo más largo del mundo (lNE-SAM. 1997). Por su cercanía a la costa, las formaciones arrecifales juegan un papel relevante para las playas, ya que proporcionan protección contra el oleaje, así como ante las tormentas y huracanes característicos del Caribe Mexicano (Maldonado-Gasca, 1998)

Asociados directamente a los arrecifes de coral, se presentan lagunas arrecifales donde es posible encontrar pastos marinos (*Thalassia sp.* y *Syringodium sp.*). Usualmente se les reconoce por la importancia ecológica que tienen para el desarrollo de las larvas y juveniles de muchos invertebrados y peces que habitan en el arrecife coralino: como alimento para varias especies de tortugas marinas que anidan en las playas, en los meses de mayo a octubre; además de servir como trampas de sedimento, estabilizando el fondo y proporcionando protección contra la erosión costera.

En ciertas partes se pueden encontrar, franjas de humedales, lagunas costeras y manglares, localizados tierras adentro, después de la barra arenosa, que también están fuertemente asociados a la estructura paisajística costera, a través de múltiples procesos y geoflujos hídricos y biológicos (UAMI, 2003); encontrándose además un buen número de cenotes.

En zonas donde no se presenta la protección de la barrera arrecifal, se producen fenómenos de erosión, que afectan la estructura de la playa, como es el caso de la zona próxima al Hotel Porto Real, con la aparición de afloramientos rocosos y en los extremos de la Bahía de Akumal (Municipio Solidaridad, 2001).

El Municipio Solidaridad, tiene una extensión territorial de 4245.6 km^2 y se ha destacado a nivel de todo el país por el acelerado crecimiento de su población durante los últimos años, coincidiendo con el fuerte despegue y desarrollo del turismo.

METODOLOGÍA

El proyecto comprendió cuatro grupos temáticos (oceanografía física, química ó calidad del agua, geología marina y arrecifes coralinos). En la primera salida para trabajo de campo, se definió la intensidad del muestreo, las posiciones idóneas de las estaciones para las cuatro especialidades. Igualmente se determinó la influencia de la intrusión a las playas de aguas interiores por infiltración, a través de O^{18}, como elemento trazador en los cenotes adyacentes a la zona litoral.

Las presentes contribuciones permitirán determinar el estado actual de las playas que optarán por la certificación "Bandera Azul", la calidad de sus aguas y la condición de tos recursos naturales como los arrecifes coralinos. Ello igualmente permitirá prevenir impactos ambientales, así como situaciones emergentes de contaminación y evitar daños a bañistas; elemento clave en este certificado de manejo integral de playas.

Con la información detallada en cada contribución se podrán definir las zonas potencialmente más sensibles al impacto ambiental desde el punto de vista dinámico.

BIBLIOGRAFÍA

Chávez, E. A. y E. Hidalgo 1988. Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socio económico. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 15:167-176.

García-Beltrán, G. y R. M. Loreto. 1996a. Arrecifes Coralinos de Cozumel. Caracterización y Recomendaciones de Manejo. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

García-Beltrán, G. y R. M. Loreto. 1996b. Caracterización de los Arrecifes de la Poza de Xcalak. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

García-Beltrán, G. y R. M. Loreto. 1997. Caracterización de arrecifes de Isla Cozumel. Amigos de Sian Ka´an, A.C. Rep. Int. México.

García-Beltrán, G. y R. M. Loreto. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Amigos de Sian Ka´an, A.C. Rep. Prelim. México.

García-Beltrán, G., R. Loreto y M. Lara. 1997. Caracterización de la Flora y Fauna Terrestre y Marina de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. 1ª. Campaña de trabajo. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

García-Beltrán, G., M. Lara-Pérez-Soto y R. M. Loreto-Viruel. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Reporte preliminar correspondiente a la campaña del 21 de abril al 13 de mayo de 1997. Amigos de Sian Ka'an. México: 71 p.

Garza-Pérez, J. R. 2000. Análisis comparativo de cuatro comunidades coralinas arrecifales del Caribe Mexicano, Tesis de Maestría Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del lPN, Unidad Mérida, Sección de Recursos del Mar. México. 64 p.

Gobierno del Estado de Quintana Roo. 2006. http://www.qroo.gob.mx/qroo/index.php

Gutiérrez, D., M. Lara y C. Padilla. 1991. Los Arrecifes Coralinos de Sian Ka'an. Boletín Amigos de Sian Ka'an No. 9:12-13.

Gutiérrez, D. y J. Bezaury. 1993. Manejo del Sistema arrecifal de Sian Ka'an, p. 772-786. en Salazar, S. I. y. González N. E. (Eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CIQRO. México.

Gutiérrez, D., C. García-Saez, M. Lara, C. Padilla, J. Pizaña y R. Macías. 1994. Caracterización de Arrecifes de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Q. Roo. Sian K'an Serie Documentos No. 1:1-47.

Gutiérrez, D., T. Camarena, G. García-Beltrán y J. E. Bezaury-Creel. 1995. Arrecifes coralinos de Quintana Roo. Puerto Aventuras-Punta Petempich. Caracterización y propuesta para el manejo. Informe Final. Biocenosis, Amigos de Sian Ka'an, A.C. México.

Gutiérrez, D., G. García, M. Lara, C. Padilla, y R. M. Loreto. 1996. Los Arrecifes Coralinos del Sur de Quintana Roo. Sian Ka'an. Serie de Documentos. No. 6. México.

Instituto Nacional de Ecología-Sistema arrecifal Mesoamericano (INE-SAM). 1997. Sistema arrecifal del Caribe Mesoamericano. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y de Pesca. México: 10 p.

Lara, M., C. Padilla, R. M. Loreto y A. Loreto. 1998. Propuesta de ordenamiento ecológico, pesquero y turístico para los arrecifes del Centro de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Reporte técnico. México.

Loreto, R. M. 1998. El efecto de los Huracanes en los Arrecifes Coralinos. Amigos de Sian Ka'an. Boletín 17, 1998.Amigos de Sian Ka'an 1992-2000. Monitoreo de Arrecifes de Sian Ka'an. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

Loreto, R., M. Lara, G. García y A. Vega. 2001. Caracterización de Arrecifes Coralinos de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

Maldonado-Gasca, A. 1998. Estructura del paisaje arrecifal bentónico de Majahual, Quintana Roo. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del lPN Unidad Mérida, Sección de Recursos del Mar. México: 96 p.

Membrillo-Venegas, N. 1999. Descripción de los paisajes arrecífales en la laguna del Arrecife Alacranes, Yucatán, México Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del lPN, Unidad Mérida, Sección de Recursos del Mar. México: 100 p.

Municipio de Solidaridad, 2001. Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Quintana

Roo. Talleres Gráficos de la Nación. México.
Salazar-Vallejo, S. I. 1998. Calentamiento global y efectos costeros. Ava. Cient. 25:10-20.
Universidad Autónoma Metropolitana–Unidad Iztapalapa (UAMI). 2003. Diagnóstico Ambiental de las playas del Municipio Solidaridad, Estado de Quintana Roo, México.
Vega, A. y R. M. Loreto. 2001. Monitoreo de Arrecifes Coralinos de Xcalak, Quintana Roo, México. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A. C. México.

EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA OCEÁNICA EN DOS LOCALIDADES DEL CARIBE MEXICANO

OCEAN DYNAMIC EVALUATION OF TWO BEACHES ON THE MEXICAN CARIBBEAN

Santiago Gajá Ferrer
Departamento de Oceanografía Física, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
sanx21@yahoo.com.mx

Steven Czitrom Baus
Departamento de Oceanografía Física, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
czitrom@mar.icmyl.unam.mx

Resumen: En el presente trabajo se describe la dinámica costera en dos localidades del Caribe Mexicano identificadas como Playa del Carmen (PC) y Akumal (Ak) durante la época de primavera, verano y parte del otoño del 2005. Los patrones físicos que se tomaron en cuenta para describir la dinámica fueron las corrientes y el oleaje, recaudados con la ayuda de perfiladores acústicos colocados entre 10 y 15 m de profundidad. Se describe la climatología de oleaje durante el rango de tiempo mencionado así como la variación de las corrientes en perfiles verticales. A partir de la estadística de oleaje realizada y la batimetría de las dos localidades se aplicó el modelo de propagación de oleaje SWAN (Simulating WAves Nearshore, tercera generación) para obtener diagramas de refracción y poder determinar zonas de alta y baja energía, con lo cual, en conjunto con la información proporcionada por el equipo de geología, se pudieron determinar posibles zonas de riesgo, altamente erosionables ya sea tanto en condiciones predominantes como en extremas.

Palabras Claves: climatología de oleaje, perfiladores acústicos, modelación numérica de oleaje.

Abstract: The present work describes an evaluation of the ocean dynamics at two beaches along the Mexican Caribbean (Playa del Carmen (PC) and Akumal (Ak)), during the spring, summer and autumn of 2005. The main physical processes described are the ocean waves and currents. They were sampled using bottom mounted acoustic Doppler current profilers (NORTEK Aquadopp) moored in waters between 10 and 15 metres deep (PC and Ak respectively). The wave climatology derived, in conjunction with the local bathymetries, were used as inputs to the SWAN (Simulating WAves Nearshore, third generation) wave propagation model to obtain wave refraction diagrams. High and low wave energy zones in extreme and average conditions were identified in conjunction with information from the geology group.

Key words: ocean wave climatology, acoustic profilers and numeric ocean wave models.

INTRODUCCIÓN

Existen diversas razones por las cuales es de gran importancia el estudio del oleaje, como por ejemplo las interacciones dinámicas del océano y la costa, el diseño y operación de embarcaciones, la planeación de rutas marítimas, el diseño de puertos y muelles así como el diseño de protección costera, la pesca comercial y recreacional. Los fenómenos ambientales esporádicos de gran magnitud como los eventos de tormentas y huracanes provocan un aumento en la energía del oleaje, pudiendo ocasionar daños en la costa e importantes pérdidas económicas.

Actualmente muchas de las playas de México y del mundo experimentan procesos de contaminación y erosión, causados por diferentes factores como el turismo, actividades náuticas recreativas, construcción de obras civiles (diques, espigones, rompeolas y ductos submarinos), huracanes, época de lluvias muy variable y elevación del nivel del mar, entre otros (Salazar-Vallejo, 1998). Estos

procesos de contaminación y erosión continua también ocurren en la zona costera de la Riviera Maya, la cual forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) que se extiende desde la Isla Contoy al norte de la Península de Yucatán hasta las Islas Bahía en Honduras. Como ecosistema, el SAM contribuye a la estabilización y protección de los paisajes costeros y sirve como hábitat para la alimentación y crianza de mamíferos marinos, reptiles, peces e invertebrados, muchos de los cuales son de gran importancia comercial y socioeconómica ya que proporcionan empleo y son fuente de ingresos para personas que viven en las áreas costeras cercanas (INE-SAM, 1997). Este litoral se caracteriza por tener una dinámica intensa influenciada por procesos costeros que vinculan al oleaje, las corrientes marinas y a la biota marina, así como a las fluctuaciones climáticas, cambios en el nivel medio del mar y a la influencia antropogénica.

Es por esto que es necesario evaluar el estado actual de las playas para definir áreas de riesgo, conservación, rehabilitación y llevar a cabo un aprovechamiento y desarrollo sustentable de los mismos. Una forma de evaluar el estado de la zona costera afectada por procesos físicos tales como las corrientes y el oleaje marino, es establecer un patrón de comportamiento de las variables físicas presentes, tales como la climatología del oleaje y las corrientes, y su constante relación con los cambios en el ambiente costero.

METODOLOGÍA

Se midieron durante medio año el oleaje y las corrientes litorales en tres puntos a lo largo de la costa del municipio "Solidaridad" así como en un punto alejado de la costa, para describir la dinámica de las aguas costeras. Esto se logró instalando sensores de oleaje con capacidad de medición de corrientes por efecto Doppler (Nortek A.S., 2002).

Utilizando los datos de batimetría colectados por otros integrantes del grupo, acerca de la geomorfología de las playas, descritos mas adelante en esta misma revista, se realizaron diagramas de refracción que pueden ser usados en la interpretación del oleaje que incide sobre la costa.

Aparatos de Medición. Se realizaron mediciones de oleaje y corrientes en aguas someras en tres localidades de la Riviera Maya, Playa del Carmen, Akumal y Tulum; la localización geográfica de los instrumentos se muestra en la figura 1.

El aparato de medición en Playa del Carmen operó a una profundidad media de 10 m, el de Akumal a una profundidad media de 15 m y en Tulum a una profundidad de 16 m.

Los instrumentos fueron instalados en las tres localidades a mediados de abril del 2005 y dejaron de adquirir datos alrededor del 25 de junio debido al término de la vida útil de la batería. A principios de agosto se llevó acabo un viaje de trabajo de campo para recuperar los instrumentos, darles servicio y relocalizarlos dentro del programa de muestreo de corrientes y oleaje. Este viaje, originalmente planeado para finales de julio, tuvo que ser pospuesto por la llegada del huracán Emily. Afortunadamente tres de los instrumentos pudieron ser rescatados sin daño, recuperando la información registrada y volviéndolos a instalar a principios de agosto. Esta visita se aprovechó para reforzar los anclajes con peso muerto, cadenas y boyas sub-superficiales para el caso de eventos como el huracán Emily. Desafortunadamente, el anclaje del instrumento localizado en Tulum no resistió el embate del huracán, cuyo ojo pasó prácticamente por encima, siendo arrastrado por las corrientes y el oleaje un kilómetro y medio de su posición original. El agua de mar penetró el compartimiento que contiene los componentes electrónicos del instrumento. Los restos del aparato se pudieron localizar gracias a información que brindaron los buzos locales que lo vieron fortuitamente. Se envió la tarjeta de memoria 'Flash' a la compañía Nortek, que construye los instrumentos

y afortunadamente se pudo recuperar la información registrada antes del huracán.

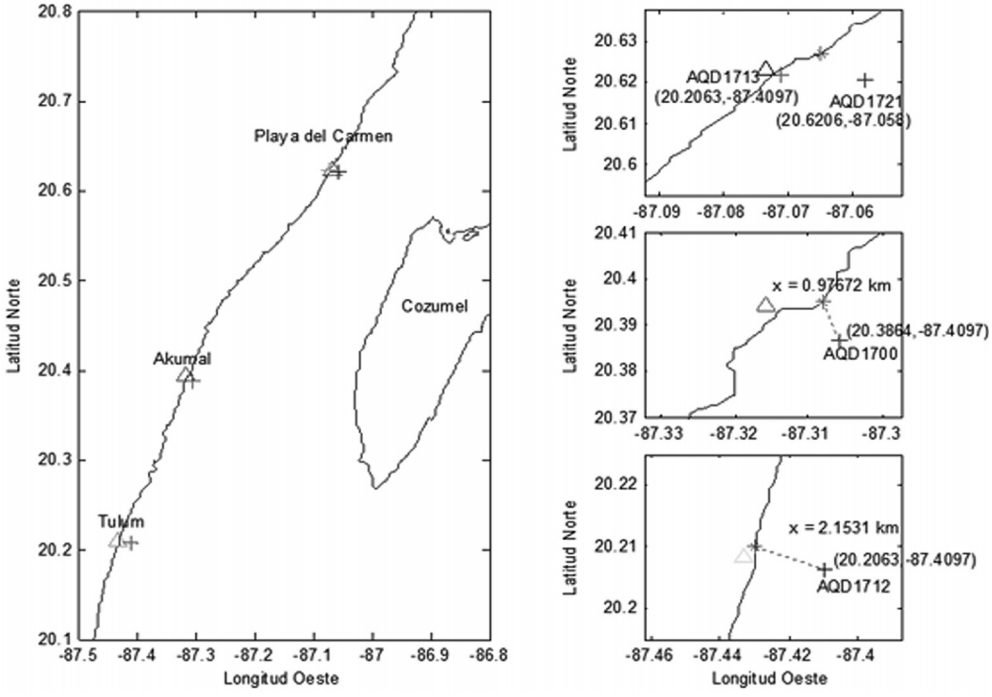


Fig. 1. Localización general del área de estudio, los triangulos indican las ciudades y las cruces instrumentos (Izq.); pocición de los instrumentos (ADCP) y distancia más cercana a la costa (Der.); Playa del Carmen, Akumal y Tulum, de arriba hacia abajo.

Base de Datos: En general la información analizada en el presente trabajo constó de un total de 5190 datos de oleaje y corrientes, de los cuales 2600 corresponden a la localidad de Playa del Carmen y 2590 a Akumal. Los aparatos fueron programados para medir cada hora.

Corrientes: Se obtuvieron mediciones del perfil de la velocidad y dirección de la corriente para todo el periodo de muestreo en las localidades de Playa del Carmen y Akumal, con los cuales se realizaron diagramas de contornos de dichas variables en función del tiempo y profundidad. Para cada localidad se realizó un promedio diario de la serie de datos obtenidos de forma que se pudieran visualizar las diferencias de velocidad y dirección con un rango de 24 horas. Posteriormente para su representación de forma continua se interpolaron las series de datos de cada variable y en cada localidad; es por esto que en las gráficas de las figuras correspondientes aparecen huecos de interpolación, lo cual no implicó una ausencia de datos.

Estadística del Oleaje: Se realizaron gráficas en el dominio del tiempo de la altura significante (Hs), el periodo asociado al pico espectral (Tp), así como el espectro de potencia; con la finalidad de visualizar los eventos de mayor energía y sus periodos asociados, los cuales son de gran importancia para el estudio del impacto costero. El espectro se construyó utilizando la transformada rápida de Fourier (FFT) de 1024 datos de oleaje que se midieron durante ocho y medio minutos cada hora.

Posteriormente se realizaron histogramas de frecuencia para conocer las alturas significantes y

periodos típicos de cada región, así como una rosa de oleaje a partir de la dirección del pico espectral para mostrar la propagación predominante del oleaje. Debido a que las alturas significantes no son muy grandes para ambas localidades, se utilizó un intervalo de clase de 0.1 m y un segundo para el periodo del pico espectral.

Modelación de Oleaje: Para obtener una idea aproximada de la dinámica costera de las zonas de estudio se realizaron modelos de refracción de oleaje utilizando el modelo SWAN (Simulating Waves Nearshore) de tercera generación de dominio público, creado por el Departamento de Hidráulica de la Universidad de Delft, Holanda (Booji et al, 1999). La aplicación del modelo dentro de esta investigación tiene como función el determinar posibles zonas de riesgo (de mayor erosión) identificadas como las zonas donde existe mayor convergencia del oleaje con mayor energía cercano a la costa.

Para poder visualizar distintos casos de propagación del oleaje en las dos zonas de estudio, se realizaron corridas del modelo en diferentes ventanas direccionales de aproximación del oleaje. Los rangos de variación de las ventanas direccionales se obtuvieron a partir de las rosas de oleaje asociadas al pico espectral.

Los datos que alimentaron el modelo fueron la batimetría y el espectro de oleaje. La batimetría fue proporcionada por el grupo de geología de la presente investigación y el espectro de oleaje se integró a partir de los datos registrados por los perfiladores acústicos. Se integraron los espectros con los valores de mayor porcentaje de ocurrencia presentados en los histogramas, para cada zona de estudio. También se integraron los espectros de las condiciones de mayor energía (eventos extremos), los cuales corresponden a los señalados en las series de tiempo y se explicarán más adelante.

En este análisis solamente se considera el cambio del oleaje propagado por cambios en la batimetría y la fricción con el fondo; no se toman en cuenta las corrientes ni el cambio del oleaje inducido por el campo de viento local. La fricción con el fondo que se aplicó en el modelo es aquella que resulta de los modelos empíricos del JONSWAP (Hasselmann y Collins, 1968). El modelo de disipación de energía inducida por cambios en el fondo es el obtenido por Battjes y Janssen (1978).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Corrientes en Playa del Carmen: En la figura 2, se puede observar que las velocidades de la corriente a lo largo de la columna de agua no variaron de forma significativa, manteniendo valores cercanos a los que se encuentran en superficie, disminuyendo de forma tenue hacia el fondo. Esta atenuación con la profundidad pudiera interpretarse como una influencia del viento local. En contraste, la variación de las velocidades a lo largo del tiempo fue significativa, mostrando un rango desde los 0.05 m/s hasta 0.4 m/s. Los meses de mayo, junio y parte de septiembre presentaron mayor variación de velocidades que en el mes de agosto.

Con respecto a la dirección, se puede observar que la mayor parte del tiempo las corrientes viajan hacia el norte, con algunas variaciones hacia el suroeste que no duran más de cuatro días. Comparando las gráficas se puede observar cierta correlación entre las corrientes con velocidades altas con las que viajan hacia el norte y corrientes de velocidades bajas con las que van hacia el suroeste.

Estadística de Oleaje en Playa del Carmen: Como se observa en la figura 3, no se registraron Hs mayores a los 1.5 m y la mayoría se concentraron entre 0.2 y 0.6 m con aproximadamente el 60 % del total de los datos, donde la altura significante de mayor porcentaje de ocurrencia para todo el periodo de medición oscilo entre 0.4 a 0.5 m.

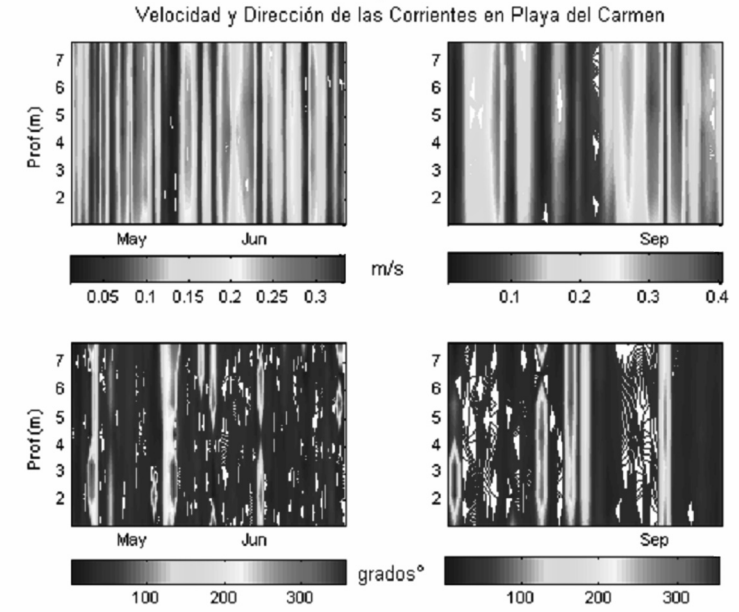


Fig. 2. Contornos de velocidad (arriba) y direccion (abajo) para las dos temporadas muestreadas: mayo y junio (izq.) y segunda temporada agosto y parte de septiembre (der.).

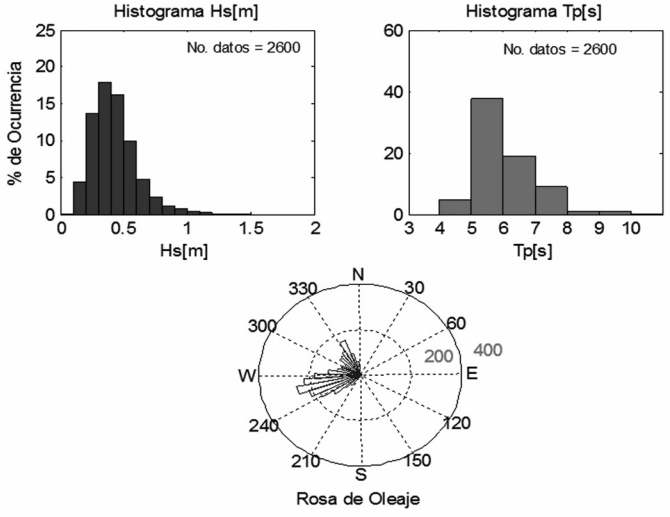


Fig. 3. Histograma de frecuencia Hs, Tp y Rosa de Oleaje para Playa del Carmen en todo el periodo de medición. Los niveles de frecuencia en la Rosa de Oleaje son con respecto al total de datos de la serie analizada.

Con respecto al periodo del pico espectral Tp, estuvo comprendido entre los 5 y 6 segundos; con muy bajo porcentaje (menor al 5%) para periodos cercanos a los 10 s, indicando la presencia de un oleaje local generado por el viento, más que un oleaje de tormenta o “swell” que generalmente se encuentran entre los 10 y 20 segundos de periodo.

El mayor porcentaje del oleaje proviene del NE y tuvo una propagación entre los 240° y los 270° hacia la costa de Playa del Carmen (parte sur de la playa) debido probablemente al efecto de sombra que ocasiona la Isla de Cozumel, dejando pasar oleaje solamente por la parte Norte de la misma.

Claramente se puede observar en la figura 4 que los eventos de mayor energía en el oleaje correspondieron a la época de abril y mayo en donde las mayores potencias alcanzadas fueron de 1.2 m^2/Hz las cuales corresponden a olas de poco más de un metro de altura significante, con frecuencias entre 0.15 y 0.2 Hz lo cual a su vez corresponde a un periodo entre 5 y 7 segundos. Posteriormente la energía disminuyó, marcando épocas de calma en el mes de junio, agosto y septiembre.

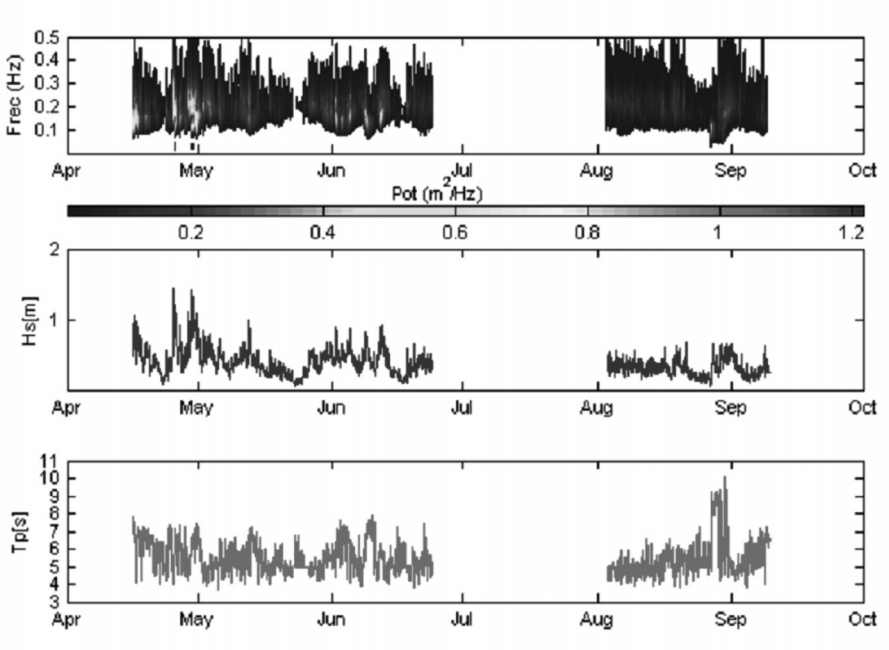


Fig. 4. Espectro de potencia de oleaje, altura significante (Hs) y periodo del pico espectral (Tp) para Playa del Carmen; el espacio en blanco representa falla de baterias del instrumento.

Modelación de Oleaje en Playa del Carmen, Malla Batimétrica y Malla Computacional: Para el caso de la modelación en Playa del Carmen se generó una malla batimétrica con origen en los 20.617887° de latitud norte y los -87.075976° de longitud oeste, con una distancia máxima de 1100 m en dirección norte y 1320 m en dirección este. La malla batimétrica se generó por medio de una interpolación lineal cada 20 m a partir de los puntos proporcionados por el equipo de geología del presente estudio. Posteriormente se generó una malla computacional con una inclinación de 46 gra-

dos, de forma que la frontera espectral (frontera este de la malla computacional) quedara sobre la isóbata de los 10 m, ya que a esta profundidad se localizó el perfilador acústico el cual proporcionó los datos del espectro.

Espectro de Oleaje: Los datos considerados como entrada espectral al modelo fueron los de mayor porcentaje de ocurrencia (Figs. 5-5.4) y los de valor extremo (Fig. 5.5), en este caso los valores de mayor porcentaje de ocurrencia proporcionados por los histogramas y la rosa de oleaje fueron de 0.4 m de altura significante, seis segundos de periodo (asociado al pico espectral) y 255° de propagación de oleaje (con respecto al norte geográfico). Para el caso de valores extremos se consideraron 1.5 m de Hs, 9 s de Tp y 270° de aproximación (correspondiente al mes de mayo).

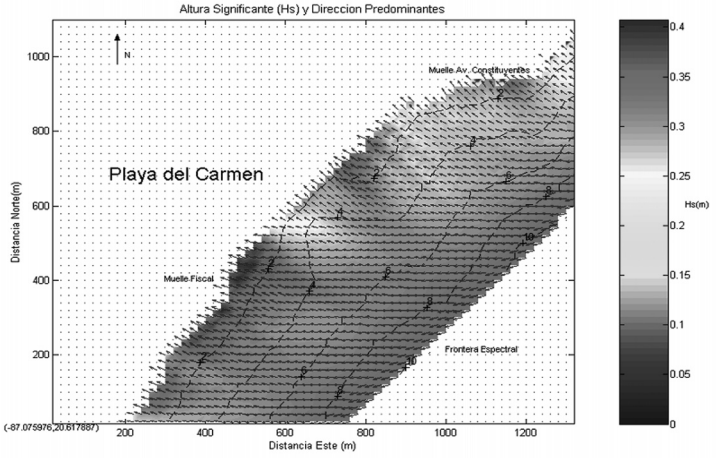


Fig. 5. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 255^0.

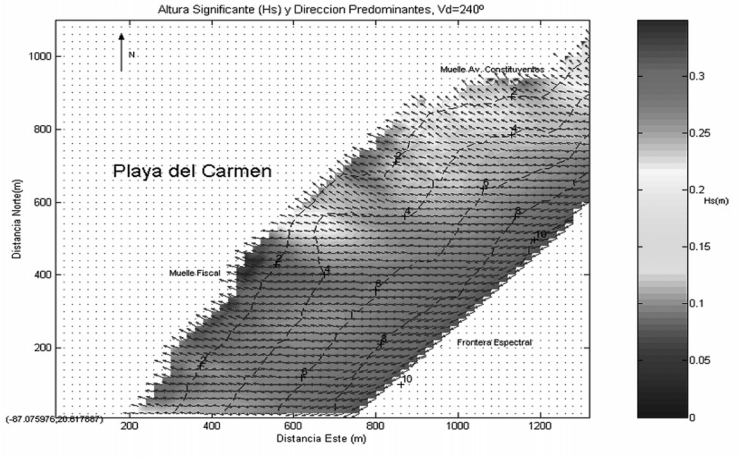


Fig. 5.1. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 240^0.

Con respecto al análisis de las gráficas con ventanas direccionales se pueden observar tres puntos característicos a lo largo de la costa en donde se presenta oleaje de mayor altura y por lo tanto de mayor energía, resultando los lugares de mayor dinámica costera; estos puntos corresponden al Muelle Fiscal, el Muelle de Av. Constituyentes y una pequeña zona entre estas dos últimas ubicada en los 770 m de dirección norte y los 800 m de dirección este, la cual corresponde a una playa adyacente al hotel "Real Playa del Carmen". Los valores de altura significante fueron muy similares a los del espectro de entrada, es decir entre los 0.3 y 0.4 m de altura. A su vez, estas zonas se encuentran separadas por campos menos energéticos presentando alturas no mayores a los 0.25 m. Sin embargo hay que diferenciar los cambios de escala de Hs en las diferentes ventanas direccionales, ya que dependiendo de la dirección de aproximación del oleaje será mayor o menor la disipación de energía con el fondo y por lo tanto diferentes alturas.

A partir de los parámetros texturales de la zona costera de Playa del Carmen obtenidos por el grupo de geología del presente proyecto, se realizó una correlación entre las zonas de mayor dinámica costera y el tamaño de grano a lo largo de la costa. Se encontró que las zonas de mayor dinámica costera (Fig. 5.3) se encuentran asociadas a zonas con proporciones mayores de arenas medias y gruesas, mientras que las zonas de menor dinámica presentan proporciones mayores de arenas finas.

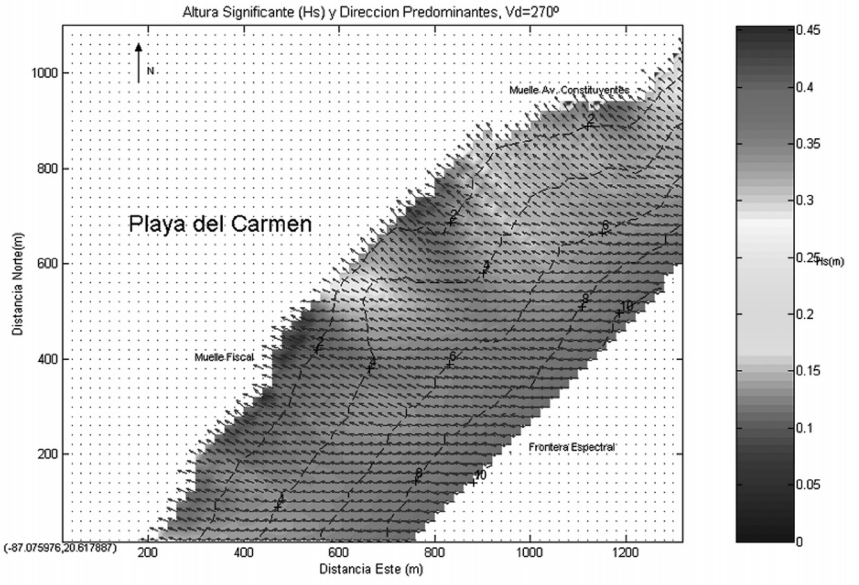


Fig. 5.2. Valores de altura significante (Hs en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 270^0.

Las direcciones de aproximación del oleaje que disipa menos energía debido a los cambios en el fondo fueron 300° y 330° (Figs. 5.3 y 5.4), debido a que el cambio en la dirección del oleaje inducido por el fondo fue menor, ya que la dirección de aproximación del oleaje es cuasi-normal a las isóbatas.

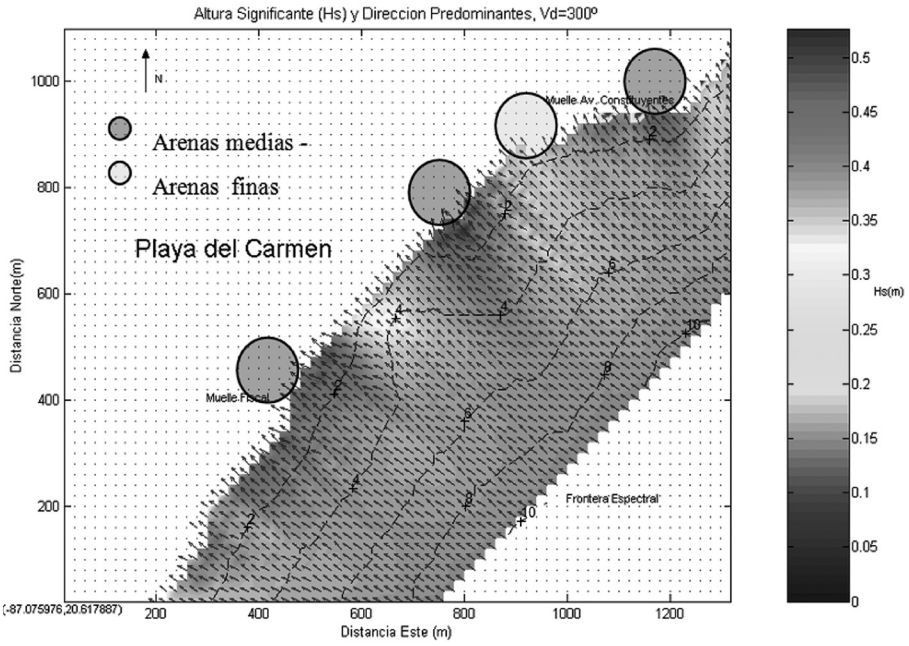


Fig. 5.3 Valores de altura significante (Hs en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 300^0. Tambien se presenta la distribución del tamaño de grano (círculo).

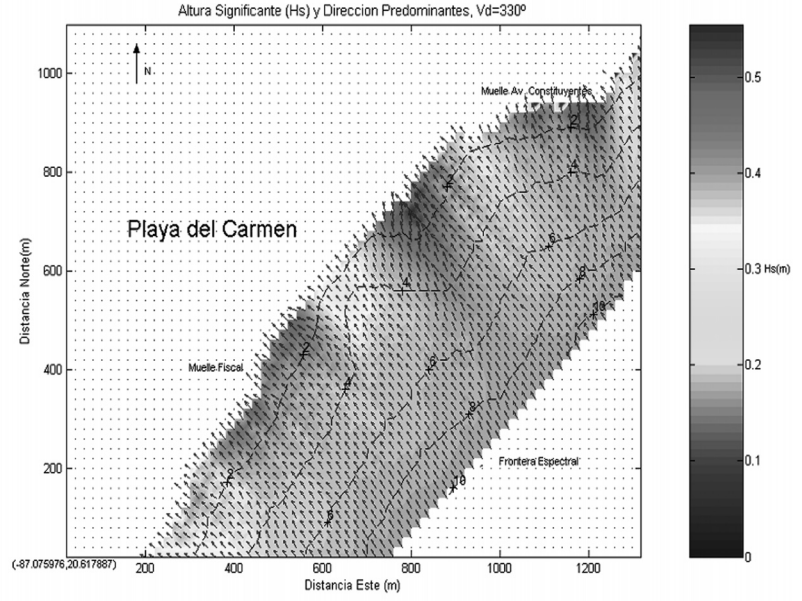


Fig. 5.4. Valores de altura significante (Hs en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 330^0.

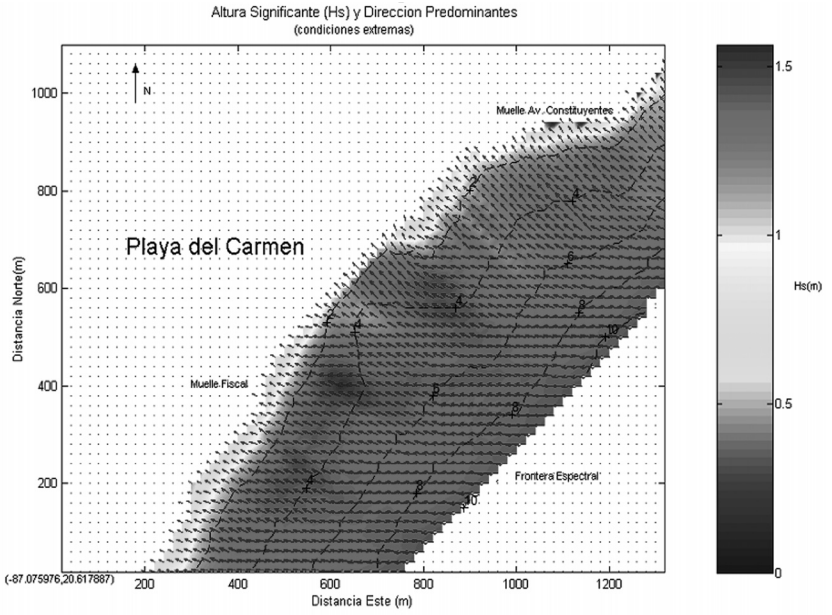


Fig. 5.5. Valores de altura significante (Hs en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los valores extremos (Hs = 1.5, Tp = 6).

Corrientes in Akumal: A diferencia del comportamiento cuasi-uniforme de la velocidad de las corrientes a lo largo de la columna de agua en Playa del Carmen, en Akumal (Fig. 6) se observó una variación significativa, en donde las velocidades superficiales se atenuaron de forma considerable respecto a la profundidad. En este caso, el instrumento se encontraba más lejano de la costa y a mayor profundidad. Se registraron corrientes fuertes a lo largo del mes de mayo y septiembre con velocidades de 0.2 m/s hasta 0.4 m/s y de corrientes débiles en los meses de junio y agosto. La dirección predominante de las corrientes, a diferencia de Playa del Carmen, fue hacia el suroeste, aunque se observaron algunas inversiones hacia el norte.

Estadística de Oleaje en Akumal: En el histograma de frecuencia de la Hs para Akumal (Fig. 7) se puede observar que el mayor porcentaje de ocurrencia correspondió a valores entre 0.1 y 1 metro, aunque se muestran alturas mayores a los 1.5 m hasta un máximo de 2.7 m a diferencia de PC, ya que la zona AK se encuentra más expuesta al oleaje proveniente de aguas profundas en vista de que está menos protegida por la Isla de Cozumel.

El intervalo de altura significante que tuvo mayor porcentaje de ocurrencia en la zona fue de 0.4 a 0.5 m, con periodos asociados de seis a siete segundos en su mayoría. La dirección de propagación del oleaje se registró entre los 270° y 330° (parte norte de la playa), por lo que es oleaje proveniente del sureste el cual es de los pocos que deja pasar de la Isla de Cozumel.

Se puede observar en la figura 8, que Akumal es una zona más expuesta al oleaje, en comparación con Playa del Carmen, ya que se encontraron mayor número de eventos de alta energía sucedidos entre el mes de mayo y el mes junio; además de que la potencia registrada en el oleaje fue hasta cinco veces mayor, alcanzando valores de hasta 6.3 m^2/Hz asociado a olas entre 2 y 3 m de Hs, con periodos entre seis y siete segundos.

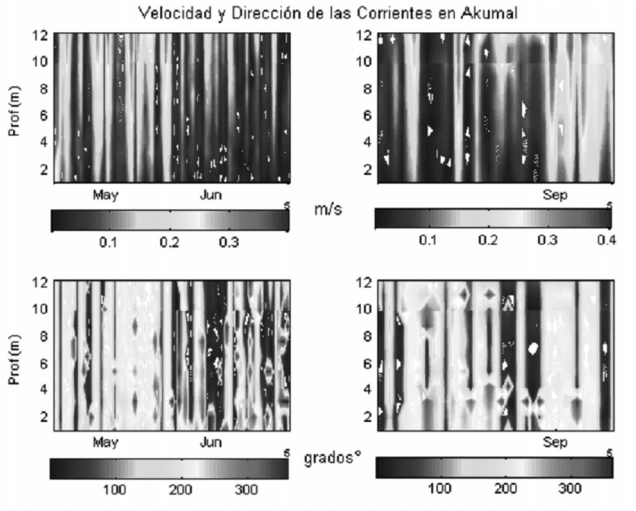


Fig. 6. Contornos de dirección (arriba) y velocidad (abajo) para dos temporadas muestreadas: mayo y junio (izq) y segunda temporada.

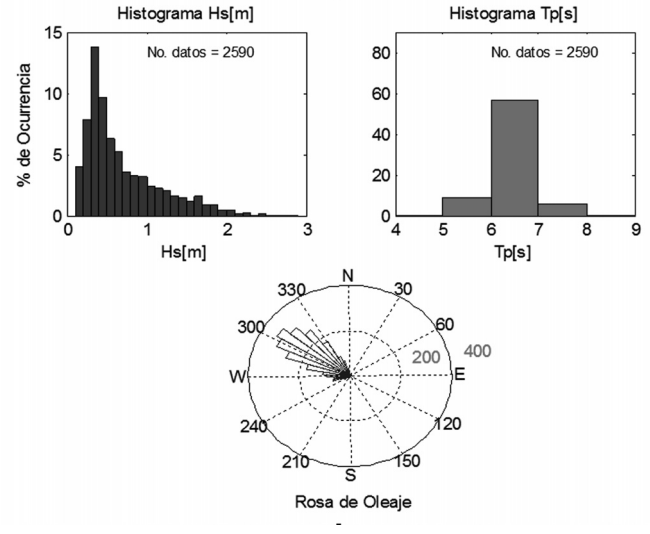


Fig. 7. Histograma de frecuencia Hs, Tp y Rosa de Oleaje para Akumal durante todo el periodo de medición. Los niveles de frecuencia en la Rosa de Oleaje son con respecto al total de datos de la serie analizada.

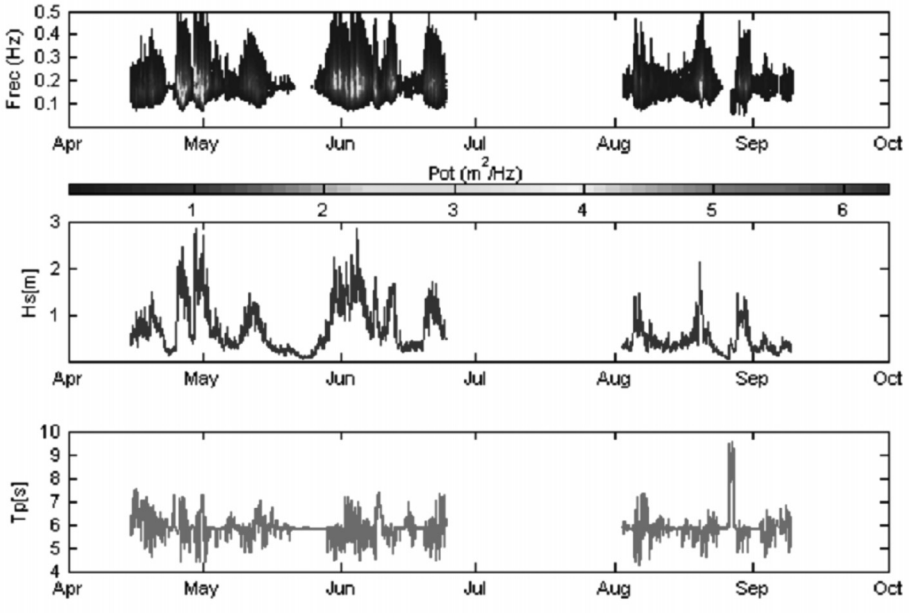


Fig. 8. Espectro de potencia de oleaje, altura significante y (Hs) y periodo del pico espectral (Tp) para Akumal, el espacio en blanco representa el espacio donde hubo falla de bateria por parte del instrumento.

Modelación de Oleaje en Akumal, Malla Batimétrica y Malla Computacional: En el caso de la modelación numérica del oleaje en Akumal, (Figs. 9-9.5) se generó una malla batimétrica con origen en 20.375045° de latitud norte y 87.324915 de longitud oeste, con una longitud de 4150 m en dirección norte y 2650 m en dirección este. La malla batimétrica se generó interpolando de manera lineal cada 50 m a partir de los datos proporcionados. La malla computacional se inclinó 64° para que la frontera espectral (frontera este de la malla computacional) coincidiera aproximadamente con la isóbata de los 14 m en donde se instaló el perfilador acústico.

Espectro de Oleaje: Los valores de los parámetros físicos del espectro integrado correspondientes a los eventos de mayor porcentaje de ocurrencia fueron de 0.5 m de altura significante (Hs), siete segundos de periodo asociado al pico espectral (Tp) y 300° de dirección. Los correspondientes al evento extremo fueron 2.7 m de Hs, nueve segundos de Tp y 345° de dirección.

A diferencia de Playa del Carmen (PC), Akumal (AK) tiene una morfología que ofrece mayor protección costera al embate del oleaje ya que presenta dos bahías, una pequeña en la parte norte (La Media Luna) y una más extensa en la parte sur, dejando una punta rocosa expuesta. Esta zona se encuentra aproximadamente a los 1000 m de dirección norte y a los 770 m de dirección este a partir del origen y es adyacente a la zona donde se encuentra el Centro Ecológico de Akumal (CEA). En esta zona se observó la mayor concentración de olas más altas con valores poco mayores a los 0.6 metros extendiéndose a lo largo de la costa aproximadamente 200 m hacia el sur y hacia el norte. Esta es la zona donde se esperaría la mayor dinámica costera, sin embargo, al ser una zona de com-

posición rocosa, no se considera como de alto riesgo.

En el caso de las ventanas direccionales, no existió mucha diferencia con respecto a la Hs, entre una y otra, de manera que dentro del rango de dirección se obtuvieron valores similares a lo largo de la costa, por lo que las zonas de mayor energía se mantuvieron constantes durante el periodo de medición.

De igual forma que en Playa del Carmen, se realizaron correlaciones entre las zonas de mayor dinámica costera y tamaños de grano (Fig. 9) los cuales fueron proporcionados por el equipo de geología. La zona sur (de mayor dinámica costera) presentó arenas más gruesas que la zona central en donde la dinámica costera disminuye, con arenas de tamaño más fino.

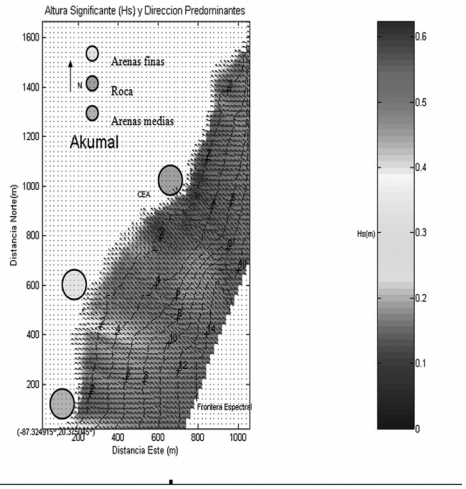


Fig. 9. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia. Se presenta la distribucion del tamaño de grano en relacion con las zonas dinámicas (círculos).

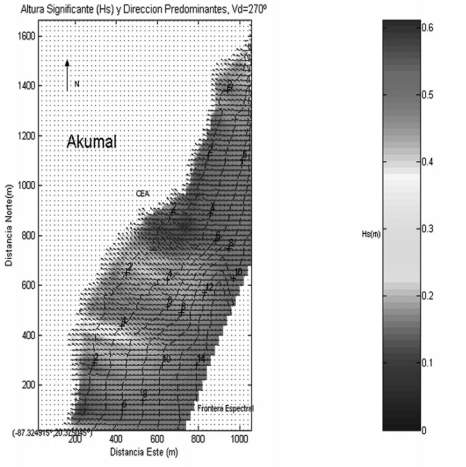


Fig. 9.1. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una direccion de aproximacion promedio de 270^0.

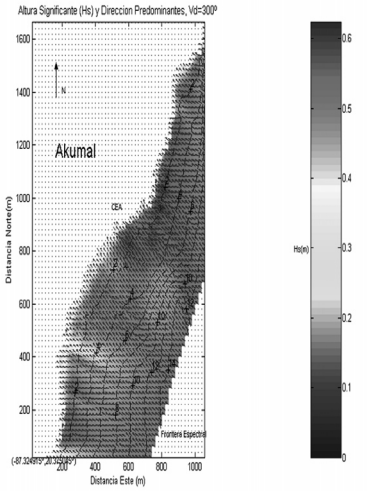


Fig. 9.2. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia, con una dirección de aproximación promedio de 300^0.

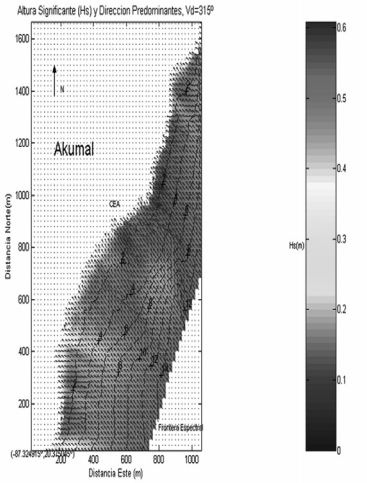


Fig. 9.3. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia, con una dirección de aproximación promedio de 315^0.

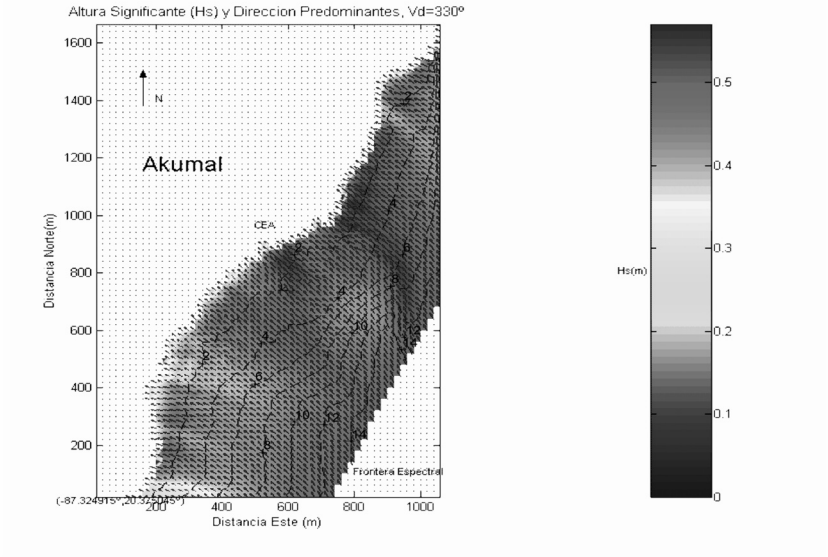


Fig. 9.4. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia, con una dirección de aproximación promedio de 330^0.

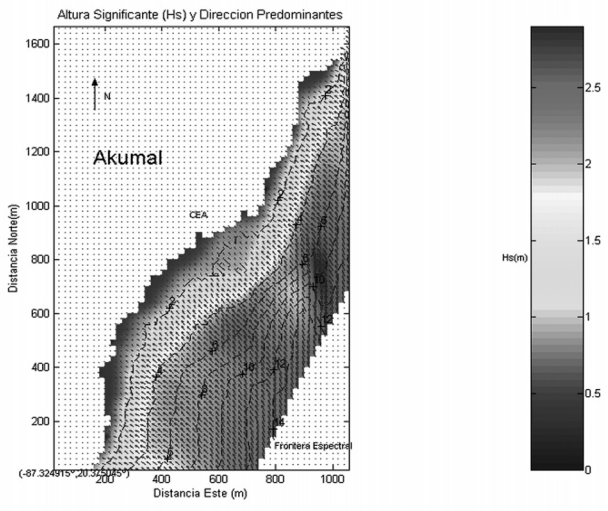


Fig. 9.5. Valores de altura significante (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los eventos extremos.

Los resultados presentados en este trabajo con respecto a la modelación corresponden a la dinámica costera relacionada con la energía del oleaje, lo que permite diferenciar zonas de alta y baja energía; sin embargo para poder realizar una zonación por áreas erosivas y de depósito, así como la evolución de la línea costera en el tiempo, es necesario aplicar una modelación no estacionaria del oleaje en conjunto con los sistemas de corrientes inducidas por el viento y los parámetros texturales de las playas en cuestión. De igual forma sería necesario realizar una batimetría más fina para poder precisar los resultados obtenidos por el modelo SWAN. Estos resultados funcionan como datos de entrada para la modelación del cambio de línea de costa y su evolución, que pudiera tener una proyección de hasta 20 años si se aplica el modelo numérico GENESIS (Generalized Numerical Modeling System for Simulating Shoreline Change) desarrollado por Hanson y Kraus (1986).

CONCLUSIONES

Comparación de la dinámica costera entre las zonas de estudio

Corrientes: Los perfiles de velocidad en Playa del Carmen permanecieron constantes con respecto a la profundidad, mientras que el perfil de velocidad en Akumal presentó una disminución considerable, donde las velocidades máximas (0.4 m/s) se encontraron cercanas a la superficie.

Los intervalos de velocidad registrados durante el periodo de medición en ambas localidades fueron similares, con valores de 0.05 a 0.4 m/s; sin embargo, la dirección fue diferente, siendo dominante la dirección norte en Playa del Carmen y suroeste en Akumal. En Playa del Carmen se asociaron las mayores velocidades a corrientes con dirección norte y menores velocidades a corrientes con dirección suroeste. Esta correlación indicó una presencia dominante de corrientes (durante el periodo de medición) entre 0.3 y 0.4 m/s con dirección hacia el norte. No se determinó correlación significativa de las mismas variables en Akumal.

Los meses muestreados que presentaron mayor dinámica de corrientes fueron mayo, junio y septiembre en Playa del Carmen. En el caso de Akumal fueron mayo y septiembre, estableciendo,

para ambas localidades, el mes de agosto como época de calma.

Oleaje: El oleaje en Akumal, presentó intervalos de potencia hasta cinco veces mayores que Playa del Carmen. Una de las posibles razones por la cual suceda esto, es que Playa del Carmen es una zona que se encuentra bajo el efecto de sombreado que produce la Isla de Cozumel al oleaje del Mar Caribe. Este efecto de sombreado se refiere a la disipación de energía (disminución de alturas) que se produce en el oleaje entrante debido al fenómeno de difracción.

A pesar de esto, hay que notar que la morfología de Akumal (representada por dos bahías principalmente) ofrece mayor protección a las playas intermedias, dejando puntas rocosas en los extremos expuestas al oleaje entrante. De forma que la morfología de Akumal es más estable que la morfología de Playa del Carmen, donde esta última funciona como una playa expuesta más susceptible a la erosión.

Modelación de Oleaje: Se determinaron tres zonas potenciales de riesgo en Playa del Carmen, identificadas como Muelle Fiscal, Muelle de Av. Constituyentes y parte de la zona Hotelera ubicada al norte de la playa; estas zonas de alta energía, presentaron valores de altura significante entre los 0.3 y 0.5 m interrumpidas por zonas de menor energía con valores menores a los 0.2 m. De igual forma, se registró la alternancia entre zonas de arenas finas y arenas gruesas, correspondiendo estas ultimas a zonas de mayor altura.

En Akumal, las zonas de mayor dinámica de oleaje se determinaron en ambas puntas de la bahía principal, las cuales al estar compuestas de material rocoso no se consideran como zonas potenciales de erosión, pero si como zonas de protección, en donde se disipa la mayor cantidad de la energía del oleaje entrante a la bahía. Las zonas posiblemente afectadas sean las adyacentes a estas puntas rocosas, como es el caso de la playa frente al CEA (Centro Ecológico de Akumal), donde se han presentado más casos de erosión según lo reportado por el equipo de Geología en la presente investigación.

Los resultados con respecto a la modelación presentados en este trabajo corresponden a la dinámica costera relacionada con la energía del oleaje, lo que permite diferenciar zonas de alta y baja energía. Sin embargo, para poder realizar una zonación de áreas erosivas y de depósito, así como de la evolución de la línea costera en el tiempo, es necesario aplicar una modelación no estacionaria del oleaje en conjunto con los sistemas de corrientes inducidas por el viento y los parámetros texturales de las playas en cuestión.

BIBLIOGRAFÍA

Battjes, J. A. y J. P. Janssen. 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Porc. 16 Int Conf. Coastal Engeenering, ASCE:569-587.

Booji, N., R. C. Ris y L. H. Holthuijsen. A third-generation model for coastal regions, 1. Model description and validation. J. Geophys. Res. Vol. 104 No. C4:7649-7666.

Hanson, H. y N. C. Kraus. 1989. "GENESIS: Generalized Numerical Modeling System for Simulating Shoreline Change; Report 1, Technical Reference Manual," Technical Report CERC-89-19, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.

Hasselmann, K. y J. I. Collins. 1968. Spectral dissipation of finite-depth gravity waves due to turbulent bottom friction, J. Mar Res., 26:1-12.

Instituto Nacional de Ecología-Sistema Arrecifal Mesoamericano (INE-SAM). 1997. Sistema Arrecifal del Caribe Mesoamericano. Secretaría del Medio Ambiente, Recusros Naturales y de Pesca. México: 10 p.

Nortek AS. 2002. Aquadopp Current Profiler, User Manual. Norway, USA. 52 p.

Salazar-Vallejo, S. I. 1998. Calentamiento global y efectos costeros. Ava. Cient. 25:10-20.

CALIDAD DEL AGUA DE LAS PLAYAS DEL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD

WATER QUALITY OF THE SOLIDARIDAD MUNICIPALITY BEACHES

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino
Instituto de Biología, Departamento de Zoología, Laboratorio de Hidrobiología, UNAM
gdlle@servidor.unam.mx

Salvador Hernández Pulido
Instituto de Biología, Departamento de Zoología, Laboratorio de Hidrobiología, UNAM
gdlle@servidor.unam.mx

Iván Penie Rodríguez
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Laboratorio de Física, UNAM
ivan.penie@gmail.com

Juan Carlos Gómez Rojas
Instituto de Biología, Departamento de Zoología, Laboratorio de Hidrobiología, UNAM
gomrojca@hotmail.com

Resumen: Con el objetivo de realizar la evaluación para los términos de Bandera Azul en las playas del Municipio Solidaridad, se analizaron los parámetros de la físico-química ó calidad del agua. Destacándose en la sección de calidad del agua altos contenidos espaciales y temporales de nitrógeno total, ortofosfatos y fósforo total fuera de lo normalmente registrado en aguas costeras, en especial en sitios frente a Tres Ríos, Av. Constituyentes, Xcaret y Tulum; en esos mismos sitios se alcanzaron altos niveles de coliformes totales y fecales. Algunos cenotes cercanos a la línea de costa también registraron altos contenidos de los parámetros ya señalados. El cenote Xcaret mostró influencia marina y viceversa, según la marea. Bajo esas circunstancias, los sitios marinos y los cenotes estudiados no cumplen satisfactoriamente ni química, ni bacteriológicamente con los estándares registrados en otros cuerpos de agua u otros sitios de la zona costera.

Palabras Claves: Calidad del agua marina, playas Municipio Solidaridad, cenotes.

Abstract: The Bandera Azul requirements at Solidaridad Municipality beaches were analyzed through the physicochemica analysis of coastal water (water quality. The results of water quality showed a high concentration of total nitrogen, total phosphorus, orthophosphates, and total and fecal coliforms, recorded into space and time variation, in: Tres Rios, Constituyentes Avenue, Xcaret and Tulum sites. The same parameters with high levels were recorded at the cenotes. In both environments the results for the the water quality analysis (chemical and bacteriological) were not satisfactory. In the cases of the cenotes located near the coast, only Xcaret had influence on the marine environment.

Key words: Marine water quality, Municipio Solidaridad, beaches, cenotes.

INTRODUCCIÓN

El manejo de la zona costera en las vertientes de México debe de tener un enfoque interdisciplinario que permita incluir la mayoría de los factores ambientales y su interrelación. Dentro de las disciplinas que comúnmente se incluyen está la físico-química ó calidad del agua como elemento importante de un sustrato para organismos planctónicos y bentónicos; sustrato que es influido a su vez por elementos naturales (ciclones, huracanes, escurrimientos del área terrestre circundante, entre otros) como por actividades antropogénicas (urbanismo e industrias diversas).

Las playas de la Riviera Maya son un ejemplo de un estudio interdisciplinario en el que se debe

incluir el análisis de la calidad de las aguas costeras con fines recreativos y ecológicos, teniendo en consideración elementos normativos (NOM's) así como fundamentos marinos u oceanográficos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones ambientales en noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005 de la zona costera del Municipio de Solidaridad (Fig. 1) desde el punto de vista ambiental considerando a las playas en la certificación "Bandena Azul" y la influencia de la calidad del agua en los sistemas arrecífales, generando información para desarrollar un programa de manejo sustentable integral en etapas posteriores, las contribuciones individuales se centran en los siguientes objetivos particulares:

Objetivos Específicos:

1. Determinar la físico-química ó calidad del agua de la zona costera (playas) para la protección de la vida acuática y uso recreativo, según criterios oceanográficos y ecológicos de 1989 (SEMARNAP, 1989).
2. Identificar las principales fuentes de contaminación marina.

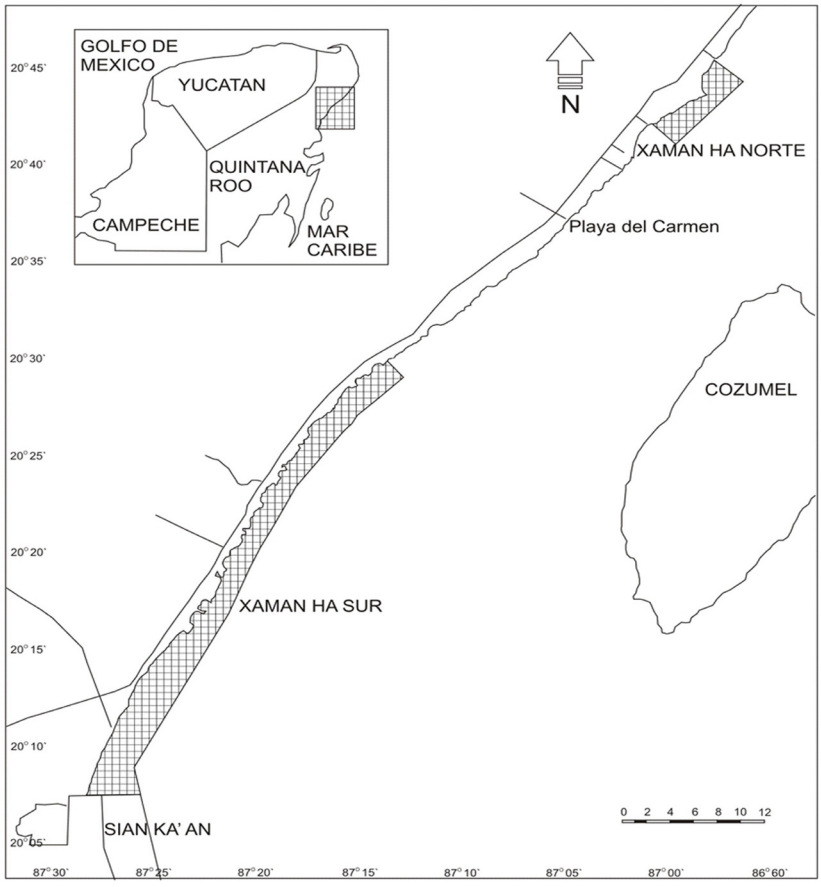


Fig. 1. Localización de las áreas de estudio.

Se eligieron 33 estaciones de muestreo dentro de las cuales se ubicaron a 5 m, 50 m y los 100 m de la línea de playa mar adentro (Fig. 2, Tabla 1), escogidas con base en las principales descargas urbanas, actividades turísticas y escurrimientos, a saber:

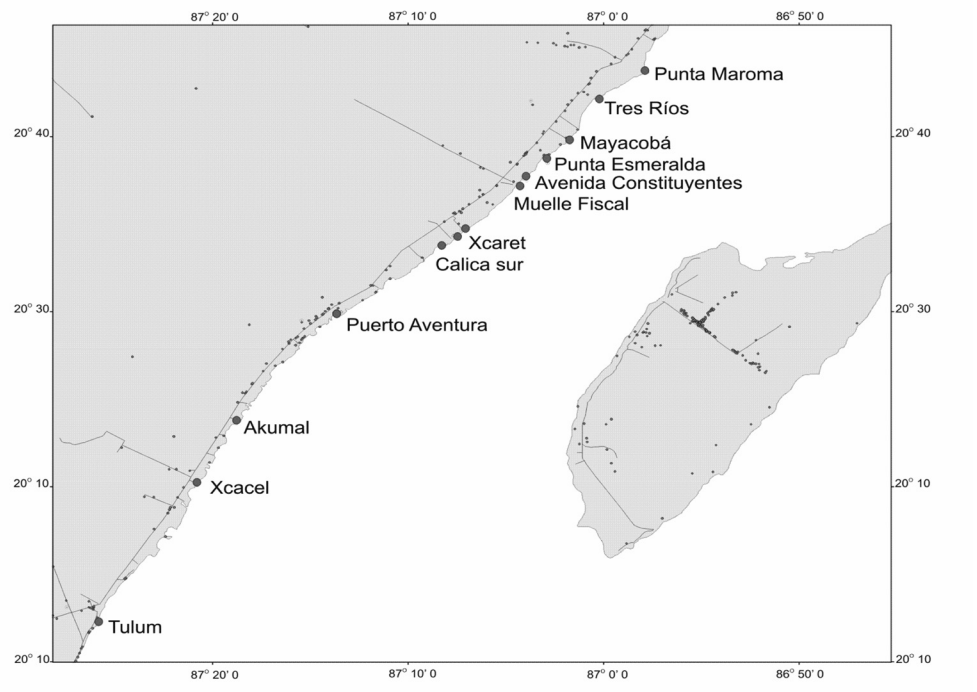


Fig 2. Estaciones de muestreo para físico-química.

Fig. 2. Estaciones de muestreo para físico-química.

Tabla1. Latitud y longitud de las estaciones de muestreo

Localidad	**Latitud**	**Longitud**
Punta Maroma	20º43.720	86º57.756
Tres Ríos	20º42.276	87º00.409
Mayacobá	20º39.656	87º01.720
Punta Esmeralda	20º38.508	87º02.863
Avenida Constituyentes	20º37.492	87º03.938
Muelle Fiscal	20º37.210	87º04.220
Xcaret	20°34.603	87º03.936
Calica	20º33.724	87º07.209
Puerto Aventuras	20º29.840	87º13.633
Akumal	20º23.647	87º18.791
Xcacel	20º20.234	87º20.732
Tulum	20º12.058	87º25.239

Por parte del área terrestre se eligieron los cenotes: Sacbe, Xcaret, Calavera y El Eden. En cada estación de muestreo se realizaron análisis de la físico-química ó calidad del agua tanto en las playas como en los cenotes. Los parámetros contemplados fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH, turbiedad (todos determinados *in situ* empleando el equipo Hydrolab). Los nutrientes nitrogenados, fosforados, demanda química y bioquímica de oxígeno según la tecnología HACH, basada en los principios espectrofotométricos y desarrollo de color según APHA-AWWA-WPCF (1998) y Strickland y Parsons (1972). Además se tomaron en cuenta las técnicas de campo que cumplen con los estándares internacionales para bacterias coliformes totales, fecales y enterococos (todos determinados cuatro horas de colectada la muestra) con el equipo de campo Colilert y Enterolert; basados en un cultivo que tiene 18 MUG (4- metil – umbeliferil –ß-D glucuronida) y ONPG (ortonitrofenil – ß – D galactopiranosidasa) que reaccionan con las enzimas específicas de las bacterias, la ß- glucoronidasa y la ß- galactosidasa para las coliformes totales y en el caso de los coliformes fecales el indicador es el ortonitrofenil-ß-D-galactopiranosida (ONPG) que es incoloro, al ser hidrolizado el compuesto pasa a ortonitrofenol el cual confiere el color amarillo. Para los enterococos se empleó la tecnología de sustrato definido, (DST®) que tiene un nutriente indicador que los detecta, cuyo nutriente es fluorescente cuando es metobolizado por los enterococos. Los metales pesados se analizaron a través de absorción atómica con un equipo marca Schidmadzu. El isótopo O^{18} fue determinado a través de la técnica de espectrometría de masas en el laboratorio de química del Instituto de Geología. En cada estación se tomaron muestras a media agua tanto para análisis físico-químicos, como bacteriológicos realizados en tres épocas distintas: huracanes, sequía y lluvias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura: La distribución de la temperatura en el medio marino señaló una variante principalmente temporal no solamente por la época sino también por la hora del día: menor en marzo dentro de un intervalo 24.95 a 27.8 °C, en noviembre de 26.3 a 29.6 °C y en agosto 28.98 a 30.84 °C. En segundo lugar los intervalos fueron discretos (de décimas) de más a menos o viceversa de la línea de costa mar afuera (Tabla 2). La temperatura del agua en los cenotes estudiados osciló en un intervalo semejante (24.5 a 26.9 °C) a excepción de Sacbé en noviembre con la más baja de 20.4°C que es consecuencia del grado de cobertura (techo y vegetación) (Fig. 3).

Conductividad: Este parámetro en la costa señaló el intervalo más bajo en agosto del 2005 (25.37 a 52.48 mS/cm) después del huracán Emily que aportó más agua dulce; en noviembre entre 50.20 y 57.0 mS/cm y en marzo de 43.24 a 53.0 mS/cm. La conductividad del agua fue baja en los cenotes, oscilando entre 2.35 y 6.03 ms/cm a excepción del de Xcaret con 19.92 a 30.98 ms/cm resultado de la comunicación con el mar (Fig. 4).

Sólidos totales disueltos, salinidad: Aunque existen ciertas diferencias entre estos parámetros el fundamento es el mismo, es decir la conducción de la corriente eléctrica por una sal como el cloruro de sodio del agua de mar y las diferencias por parámetro pueden ser la resolución del equipo empleado. Razón por la cual se referirá al término salinidad que es el más utilizado en oceanografía.

Noviembre fue el mes que presentó más regularidad en la salinidad marina, entre 36.3 a 30.4, siendo esta última correspondiente al estanque de delfines en Xcaret justificable a la influencia de las aguas que descargan del canal construido que proviene del cenote; esta influencia también se registró en los otros dos meses muestreados. En marzo del 2005 el intervalo de salinidad fue entre 37.57 y 15.08, este último registrado a 5 m de la línea de costa de la estación "Tres Ríos", denotando

influencia de aguas dulces. En agosto el intervalo fue de 34.59 y 19.0, también frente a "Tres Ríos" (Tabla 2).

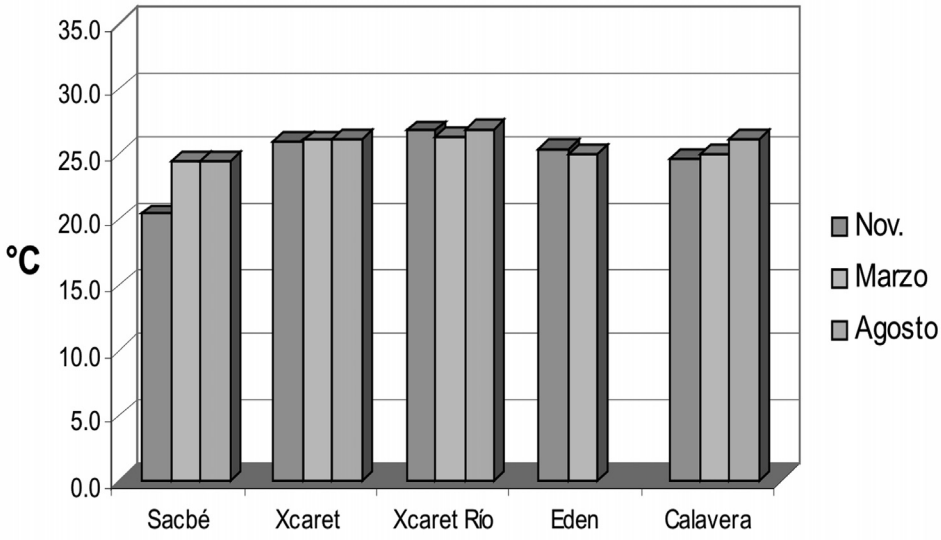


Fig. 3. Temperatura para cenotes, durante los tres meses de muestreo.

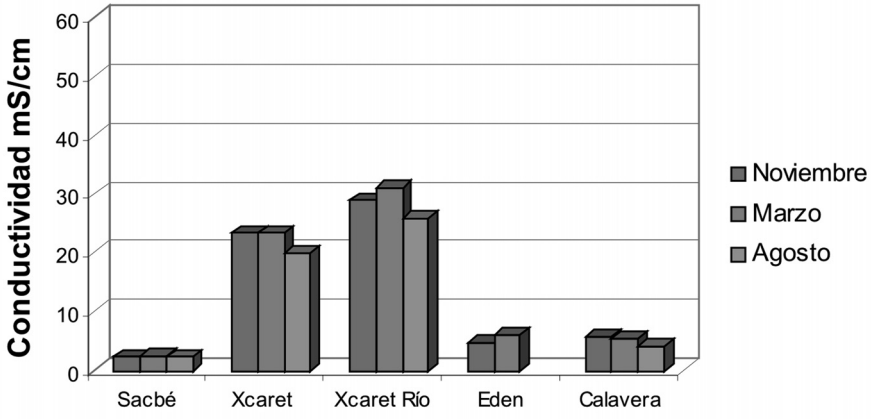


Fig. 4. Conductividad de los cenotes, durante los tres meses de muestreo.

Tabla 2. Físico-química o calidad del agua en los muestreos de noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005 en la Riviera Maya.

Estación	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
	Temp. ºC	Temp. ºC	Temp. ºC	pH	pH	pH	Salin. UPS	Salin. UPS	Salin. UPS
Punta Maroma 50 m	26.30	25.97	29.88	8.1	7.29	8.04	35.4	37.6	34.3
Punta Maroma 5m	27.70	25.32	30.55	8.2	7.29	7.93	35.3	37.3	31.9
Tres Ríos 100 m	27.60	24.95	30.64	7.9	7.29	7.96	32.2	29.9	33.5
Tres Ríos 50 m	26.50	25.60	29.50	8.2	7.29	7.47	34.7	33.9	24.2
Tres Ríos 5 m	28.20	26.00	29.38	8.2	7.29	6.89	35.3	15.1	19.0
Mayacobá 100 m superficie	28.30	25.76	29.77	8.2	7.29	8.05	35.4	36.8	34.4
Mayacobá 100 fondo	28.20	25.81	29.51	8.2	7.29	8.05	35.4	37.5	34.5
Mayocobá 50 m	28.00	25.76	30.56	8.2	7.29	8.06	35.3	36.0	33.5
Mayacobá 5 m	28.00	25.63	31.94	8.2	7.29	8.20	36.3	34.2	33.9
Punta Esmeralda 100 m superficie	28.00	25.66	29.61	8.2	7.29	8.05	35.5	36.0	34.4
Punta Esmeralda 100 m fondo	28.00	25.66	29.68	8.4	7.29	8.05	35.5	36.0	34.4
Punta Esmeralda 50 m	29.00	25.88	30.49	8.3	7.29	8.00	35.0	34.9	33.7
Punta Esmeralda 5 m	28.00	26.77	30.45	8.2	7.29	7.79	33.2	28.4	30.5
Av. Constituyentes 100 m	28.00	25.93	30.03	8.1	7.29	8.04	35.4	35.8	34.3
Av. Constituyentes 50 m	28.00	26.32	30.71	8.0	7.29	8.06	35.1	35.1	33.7
Av. Constituyentes 5 m	28.00	26.32	31.83	8.3	7.29	7.90	33.3	35.1	31.7
Muelle Fiscal 100 m	28.20	26.08	30.42	8.2	7.29	8.09	35.4	36.0	34.0
Muelle Fiscal 50 m	28.50	26.9	30.77	8.0	7.29	8.09	34.5	34.7	33.9
Muelle Fiscal 5 m	27.70	26.10	30.84	8.0	7.29	8.00	34.5	35.3	33.1
Xcaret 100 m sup	29.00	26.55	29.82	8.2	7.29	8.03	34.6	34.5	33.7
Xcaret 100 m fondo	30.00	26.55	29.54	8.2	7.29	8.06	35.4	34.5	34.5
Xcaret 50 m	29.00	26.55	29.64	8.3	7.29	8.16	33.2	34.5	34.6
Xcaret radial centro y boca	29.50	26.66	28.98	7.9	7.29	7.53	32.4	34.4	25.4
Xcaret estanque de delfines y playa	28.70	27.00	29.42	8.0	7.29	7.39	30.4	28.0	24.8
Calica 100 m	27.40	27.36	29.92	8.0	7.29	8.60	35.0	36.4	34.4
Calica 50 m	29.60	27.80	30.45	8.2	7.29	8.12	32.7	36.2	34.4
Calica 5 m	27.70	27.80	31.01	8.2	7.29	8.07	34.6	36.2	33.5
Puerto Aventuras 100 m		26.66	30.02		7.29	8.06		33.4	34.0
Puerto Aventuras 50 m		27.36	30.03		7.29	8.02		32.6	33.5
Puerto Aventuras 5 m	27.00	27.61	30.73	8.1	7.29	8.04	33.0	32.3	33.1
Akumal 100 m		26.03	29.60		7.29	7.98		35.3	34.0
Akumal 50 m		25.90	29.83		7.29	8.04		34.0	34.0
Akumal 5 m		27.16	29.82		7.29	7.99		33.3	33.6
Xcacel 100 m		25.90	29.66		7.29	8.01		35.9	34.0
Xcacel 50 m		25.93	29.62		7.29	8.00		35.1	33.9
Xcacel 5 m		26.11	29.57		7.29	7.97		34.7	33.8
Tulum 50 m		27.00	29.27		8.20	7.94		37.1	32.7
Tulum 5 m	26.00	27.30	29.28	7.9	8.30	7.99	34.5	37.1	32.7

Tabla 2. Físico-química o calidad del agua en los muestreos de noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005 en la Riviera Maya. (continuación)

Estación	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
	Oxíg. Dis. mg/l	Oxíg. Dis. mg/l	Oxíg. Dis. mg/l	Sat. de Oxíg %	Sat. de Oxíg %	Sat. de Oxíg %	DQO mg/l	DQO mg/l	DQO mg/l
Punta Maroma 50 m	8.50	7.75	5.48	130	117	88	6.7	4.0	3.87
Punta Maroma 5 m	8.00	7.56	5.77	126	111	92	6.9	5.0	4.33
Tres Ríos 100 m	8.00	7.61	6.02	123	108	97	5.0	9.0	3.01
Tres Ríos 50 m	7.60	9.14	6.04	118	140	94	4.8	2.0	6.16
Tres Ríos 5 m	7.00	6.11	5.71	111	82	77	8.7	4.0	6.69
Mayacobá 100 m superficie	7.70	7.48	7.60	121	113	120	6.1	4.0	2.84
Mayacobá 100 fondo	6.90	7.42	6.51	109	112	103	7.8	4.0	6.9
Mayocobá 50 m	7.00	8.84	7.75	111	133	125	8.0	6.0	6.33
Mayacobá 5 m	7.10	9.48	8.00	114	140	131	7.2	7.0	4.77
Punta Esmeralda 100 m superficie	7.50	7.87	7.22	119	118	114	6.9	7.0	3.70
Punta Esmeralda 100 m fondo	6.50	7.87	6.40	103	118	102	4.6	7.0	6.49
Punta Esmeralda 50 m	7.00	7.42	6.52	113	111	104	5.0	3.0	4.99
Punta Esmeralda 5 m	7.10	7.30	7.07	111	107	110	8.5	4.0	5.54
Av. Constituyentes 100 m	7.10	7.75	7.28	113	117	115	7.2	4.0	4.86
Av. Constituyentes 50 m	7.20	8.44	7.45	113	127	119	5.8	5.0	4.9
Av. Constituyentes 5 m	7.20	8.44	7.47	112	127	118	4.2	6.0	9.04
Muelle Fiscal 100 m	7.70	7.86	7.79	122	119	125	4.0	5.0	7.19
Muelle Fiscal 50 m	7.60	8.15	8.01	122	122	129	5.1	4.0	6.95
Muelle Fiscal 5 m	7.00	8.37	7.81	110	126	113	5.1	6.0	5.23
Xcaret 100 m superficie	7.60	7.71	7.62	122	116	120	5.1	8.0	6.49
Xcaret 100 m fondo	7.10	7.71	6.45	116	116	102	6.1	8.0	5.67
Xcaret 50 m	7.00	7.71	6.55	112	116	102	5.5	8.0	5.77
Xcaret radial centro y boca	7.50	7.80	6.93	120	117	99	4.0	9.0	5.19
Xcaret estanque de delfines y playa	8.01	7.04	6.21	127	103	93	6.5	9.0	6.02
Calica 100 m	7.80	9.12	6.48	121	141	103	7.0	8.0	5.63
Calica 50 m	8.60	9.40	7.75	139	147	124	5.4	9.0	5.59
Calica 5 m	7.50	9.40	7.39	120	147	113	5.0	12.0	6.09
Puerto Aventuras 100 m		8.94	7.22		135	116		9.0	5.34
Puerto Aventuras 50 m		9.38	7.21		142	115		7.0	4.58
Puerto Aventuras 5 m	7.32	9.11	7.43	113	138	119	19.0	10.0	5.08
Akumal 100 m		7.66	6.07		115	96		9.0	6.75
Akumal 50 m		7.23	6.53		108	104		8.0	6.91
Akumal 5 m		10.56	6.53		161	103		8.0	6.09
Xcacel 100 m		7.51	7.26		113	114		9.0	6.49
Xcacel 50 m		7.55	7.24		113	114		7.0	7.04
Xcacel 5 m		7.57	7.05		114	110		8.0	5.23
Tulum 50 m		7.65	6.54		118	103		6.0	7.04
Tulum 5 m	7.30	7.34	6.74	114	114	106	19.0	7.0	5.23

Tabla 2. Físico-química o calidad del agua en los muestreos de noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005 en la Riviera Maya. (continuación)

Estación	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
	DBO_5 mg/l	DBO_5 mg/l	DBO_5 mg/l	PO_4 µM	PO_4 µM	PO_4 µM	PT µM	PT µM	PT µM
Punta Maroma 50 m	2.6	2.1	2.1	0.3	7.41	0.00	1.29	11.61	30.64
Punta Maroma 5 m	0.1	2.6	2.4	0.6	1.29	0.00	153.22	8.39	76.12
Tres Ríos 100 m	3.0	5.2	1.6	3.6	4.83	0.00	21.29	13.23	53.87
Tres Ríos 50 m	2.6	1.2	3.4	3.6	3.87	8.71	122.26	10.97	12.90
Tres Ríos 5 m	0.6	2.3	3.6	1.6	3.22	19.68	162.58	5.81	32.58
Mayacobá 100 m superficie	1.3	2.4	3.7	2.3	1.93	0.00	30.97	4.84	32.90
Mayacobá 100 fondo	0.5	2.4	1.6	1.0	1.93	0.00	30.97	4.84	110.30
Mayocobá 50 m	0.2	3.4	3.8	1.3	1.93	1.61	111.29	5.16	10.32
Mayacobá 5m	0.9	3.8	3.5	1.3	1.93	0.00	125.48	5.81	79.35
Punta Esmeralda 100 m superficie	1.2	3.6	2.6	2.3	2.25	0.00	7.10	4.84	21.94
Punta Esmeralda 100 m fondo	2.4	3.6	2.0	2.3	2.25	2.58	7.10	4.84	30.32
Punta Esmeralda 50 m	1.1	1.9	3.5	1.9	1.93	0.00	65.80	5.16	72.26
Punta Esmeralda 5 m	2.3	2.2	2.7	1.3	3.54	0.00	177.42	5.81	79.68
Av. Constituyentes 100 m	1.7	2.3	3.0	1.6	2.25	0.00	1.61	5.48	27.74
Av. Constituyentes 50 m	1.4	2.8	2.7	2.6	2.25	1.29	114.52	5.81	18.71
Av. Constituyentes 5 m	1.3	3.4	2.7	1.3	1.61	0.00	168.71	8.06	122.3
Muelle Fiscal 100 m	1.9	2.9	3.2	2.3	1.93	0.64	7.10	4.52	41.94
Muelle Fiscal 50 m	2.1	2.2	4.9	1.3	2.25	0.00	28.38	6.13	41.94
Muelle Fiscal 5 m	1.9	3	3.9	2.9	1.93	0.00	28.38	5.48	41.94
Xcaret 100 m superficie	1.7	4.3	3.8	1.9	4.51	0.00	8.71	6.13	50.97
Xcaret 100 m fondo	2.3	4.2	2.9	1.6	4.51	4.52	8.71	6.13	53.23
Xcaret 50m	1.2	4.1	3.5	2.6	4.51	4.62	19.35	6.13	53.24
Xcaret radial centro y boca	1.9	5.0	3.6	1.6	3.54	4.52	24.84	6.13	159.70
Xcaret estanque de delfines y playa	2.8	4.2	3.1	8.1	3.22	0.97	28.39	7.42	56.45
Calica 100 m	1.9	4.1	2.8	2.6	2.58	1.61	24.84	5.81	144.8
Calica 50 m	1.7	4.6	3.3	2.3	1.29	0.00	85.81	4.19	21.29
Calica 5 m	0.7	6.6	3.1	2.3	1.61	0.00	177.42	4.52	26.45
Puerto Aventuras 100 m		4.9	3.1		0.96	0.00		4.19	5.48
Puerto Aventuras 50 m		4.6	3.3		0.64	0.00		4.84	9.68
Puerto Aventuras 5 m	2.2	4.1	2.9	3.9	1.93	0.00	6.45	3.23	5.16
Akumal 100 m		4.8	2.5		2.25	0.00		6.77	38.06
Akumal 50 m		3.9	2.8		1.61	1.61		7.74	9.03
Akumal 5 m		5.6	3.7		0.96	3.23		8.06	22.58
Xcacel 100 m		4.9	3.8		2.25	1.61		8.39	22.58
Xcacel 50 m		3.9	3.3		1.93	0.64		7.74	82.26
Xcacel 5 m		4.3	3.5		3.22	0.64		7.42	25.16
Tulum 50 m		3.8	3.8		1.61	2.58		7.42	42.90
Tulum 5 m	2.1	3.5	2.9	3.6	1.93	0.32	7.10	6.13	90.32

Tabla 2. Físico-química o calidad del agua en los muestreos de noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005 en la Riviera Maya. (continuación)

Estación	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
	NH_4 µM	NH_4 µM	NH_4 µM	NO_3 µM	NO_3 µM	NO_3 µM	NT µM	NT µM	NT µM
Punta Maroma 50 m	6.43	19.29	0.00	0.71	2.86	0.71	9.29	30.00	28.00
Punta Maroma 5 m	7.86	4.29	0.00	1.43	0.71	0.71	11.43	21.43	19.44
Tres Ríos 100 m	6.43	0.71	0.00	1.43	5.00	0.71	10.00	28.57	26.66
Tres Ríos 50 m	5.00	4.29	0.00	2.86	2.86	2.14	10.00	7.14	5.15
Tres Ríos 5 m	7.14	0.00	0.00	1.43	0.71	7.86	10.71	14.29	13.30
Mayacobá 100 m superficie	5.71	0.00	0.00	1.43	0.71	0.00	9.29	7.14	5.15
Mayacobá 100 fondo	7.86	0.00	0.00	0.71	0.71	0.00	10.71	7.14	5.15
Mayocobá 50 m	6.43	2.14	0.00	1.43	0.71	0.71	10.00	7.14	5.15
Mayacobá 5 m	7.86	11.43	0.00	0.71	0.71	0.71	10.71	7.14	5.15
Punta Esmeralda 100 m superficie	7.86	0.00	0.00	1.43	0.00	1.43	12.14	7.14	5.15
Punta Esmeralda 100 m fondo	7.86	0.00	0.00	0.71	0.00	0.71	10.71	7.14	5.15
Punta Esmeralda 50 m	7.86	0.71	0.00	1.43	2.86	2.14	10.00	14.29	12.30
Punta Esmeralda 5 m	7.29	3.57	0.00	1.50	4.29	2.86	10.71	14.29	12.30
Av. Constituyentes 100 m	8.57	8.57	0.00	0.71	0.71	0.71	10.71	7.14	5.15
Av. Constituyentes 50 m	7.14	20.00	0.00	0.71	0.71	0.71	12.86	25.00	23.00
Av. Constituyentes 5 m	9.29	70.43	0.00	0.71	1.43	0.71	7.14	100.00	97.46
Muelle Fiscal 100 m	5.00	0.00	0.00	0.71	0.71	0.00	7.86	21.43	19.44
Muelle Fiscal 50 m	5.70	7.14	0.00	1.43	0.71	0.71	11.43	19.29	17.42
Muelle Fiscal 5 m	7.86	15.00	0.00	1.43	0.71	0.71	8.57	33.57	31.43
Xcaret 100 m superficie	5.00	0.00	0.00	0.71	0.71	2.14	6.43	7.14	5.15
Xcaret 100 m fondo	4.29	0.00	0.00	2.14	0.71	1.43	11.43	7.14	5.15
Xcaret 50 m	7.14	0.00	0.00	5.00	1.43	1.53	13.57	7.14	5.15
Xcaret radial centro y boca	5.71	2.14	0.00	5.00	0.71	2.86	15.00	7.14	5.15
Xcaret estanque de delfines y playa	7.14	11.43	0.00	0.71	2.86	10.00	7.14	18.57	16.63
Calica 100 m	5.00	0.00	0.00	1.43	0.00	0.71	10.00	21.43	18.54
Calica 50 m	6.43	3.57	0.00	0.71	0.00	0.71	10.00	7.14	5.15
Calica 5 m	7.14	5.00	0.00	27.86	0.00	0.71	42.14	7.14	5.15
Puerto Aventuras 100 m		15.00	0.71		5.71	0.71		14.29	11.75
Puerto Aventuras 50 m		3.57	0.00		3.29	0.71		8.57	6.47
Puerto Aventuras 5 m	5.71	0.00	0.00	1.43	0.71	2.14	9.29	3.71	2.70
Akumal 100 m		15.00	0.00		0.71	1.43		14.29	11.79
Akumal 50 m		3.57	0.00		0.71	0.71		20.00	17.75
Akumal 5 m		5.00	0.00		0.00	0.00		7.14	5.15
Xcacel 100 m		1.43	0.00		0.00	0.00		7.14	5.15
Xcacel 50 m		0.00	0.00		0.00	0.71		7.14	5.15
Xcacel 5 m		0.00	0.00		0.00	0.71		7.14	5.15
Tulum 50 m		0.00	0.00		0.00	0.71		7.14	5.15
Tulum 5 m	6.43	0.00	0.00	12.14	0.00	1.43	21.28	7.14	5.15

En cuanto a los cenotes la salinidad osciló en los tres meses entre 1.2 y 3.2 ups (o g/l), con excepción de Xcaret con 14.09 a 18.75, resultado de su comunicación con el mar a través del canal que se construyó y se denomina Xcaret Río (Fig. 5).

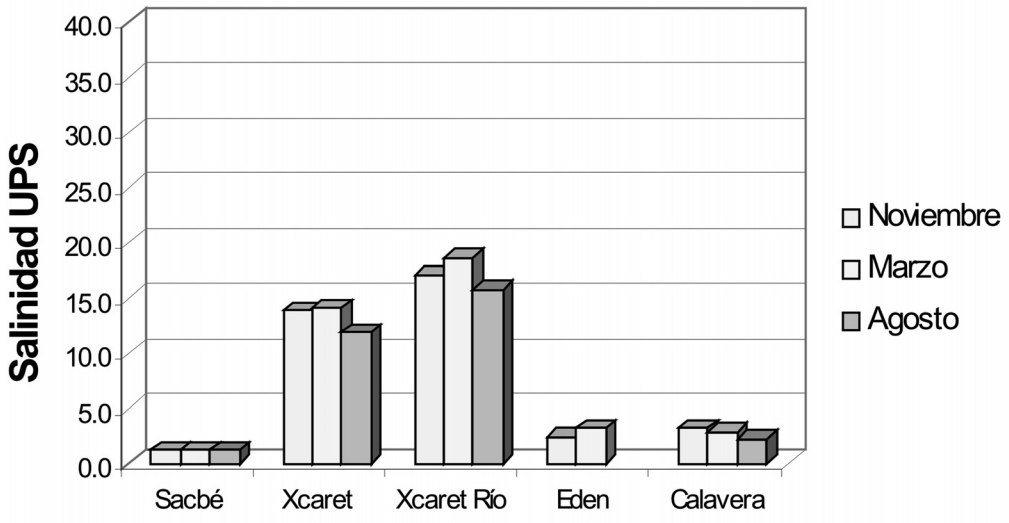


Fig. 5. Salinidad por cenote, durante los tres meses de muestreo.

Potencial de Hidrógeno (pH): En los tres meses de estudio, el pH del agua de mar osciló entre cerca de la neutralidad (7.29) y la alcalinidad (8.6), normal para el medio marino.

Los cenotes presentaron en noviembre del 2004 y marzo del 2005 un pH de ligeramente alcalino (7.7) a alcalino (8.4); en agosto fue cercano a la neutralidad (6.86-6.96), posible influencia de aguas de lluvia procedentes del huracán Emily (Fig. 6).

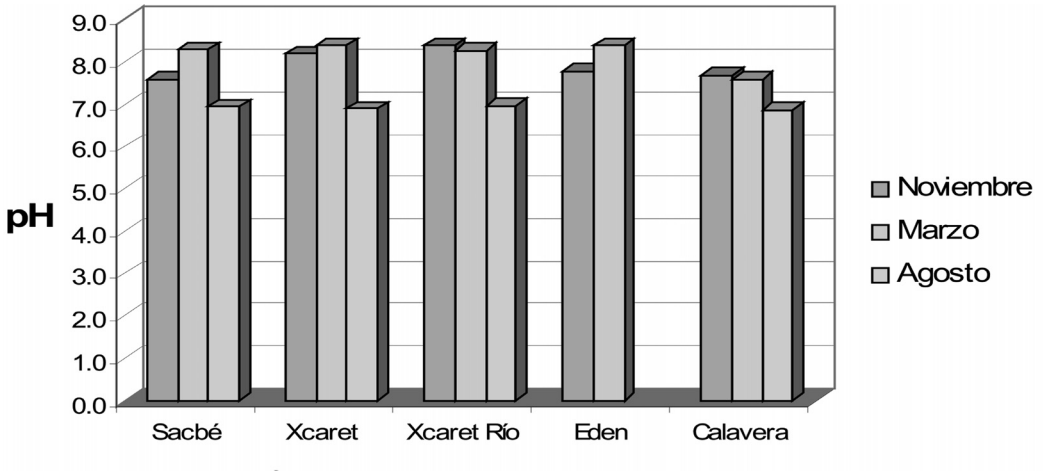


Figura 6. Potencial de Hidrógeno por cenote, durante los tres meses de muestreo.

Fósforo: Los ortofosfatos en el medio marino señalaron marcadas diferencias espaciales y por época. En noviembre del 2004 el contenido fue en general homogéneo oscilando entre 0.32 y 3.6 µM con una concentración puntual de la estación Xcaret tanque de delfines de 8.1 µM, anormal para el medio marino (de la Lanza-Espino, 1991), que puede ser resultado de las actividades de recreación que ahí se desarrollan (Fig. 7).

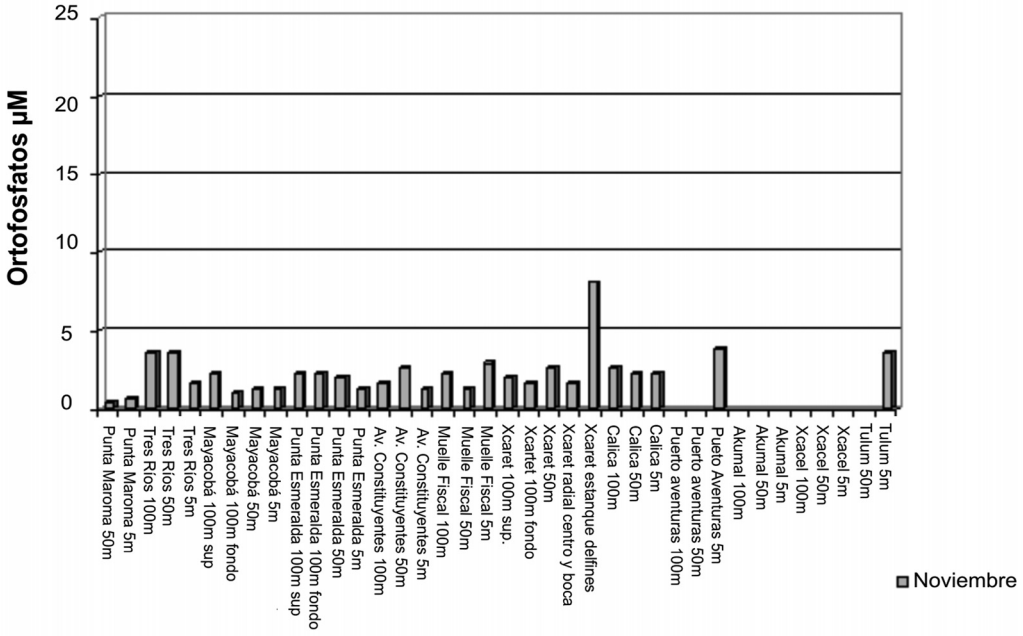


Fig. 7. Ortofosfatos por localidad, noviembre del 2004.

Las concentraciones normalmente registradas de ortofosfatos en la costa del Caribe Mexicano pueden ser desde lo indetectable (0.0 µM) hasta 2.0-3.0, por efecto de escurrimientos terrestres. El fósforo total osciló entre 1.29 y 177.42 µM; en la mayoría de las estaciones fue alto especialmente cerca de la línea de costa con disminución mar afuera por efecto de dilución. Niveles >10 µM pueden considerarse como anormales en el medio marino y fueron registrados contenidos hasta de 177.42 µM como en Punta Esmeralda a 5 m de la línea de costa, 168.71 µM frente Avenida Constituyentes a la misma distancia, o 162.58 µM en Tres Ríos, entre otras. Todos los cenotes mostraron niveles altos de ortofosfatos (7.10 a 16.0 µM este último del Calavera) y fósforo total (80.97 a 143.22 µM este último de Xcaret) (Fig. 8).

En marzo del 2005 el intervalo de concentración fue entre 0.64 y 4.83 µM con una excepción de 7.41 µM de Punta Maroma. El muestreo de marzo se caracterizó por los bajos niveles de fósforo total oscilando entre 3.23 a 13.23 µM de Tres Ríos considerada esta última ligeramente alta.

En marzo los cenotes estudiados mantuvieron contenidos altos de ortofosfatos (6.77 a 13.90 µM) y disminuyeron los niveles de fósforo total hasta en diez tantos (11.29 a 19.35 µM), este último del Calavera; comparados con el de noviembre.

En agosto se registraron los contenidos más bajos de ortofosfatos en el medio marino desde 0.0 (o indetectable) que puede ser justificado por efectos de dilución por aporte fluvial del huracán Emily hasta 4.62 µM, este último de Xcaret, con excepción de 19.68 µM de Tres Ríos. El intervalo de

fósforo total fue de 5.16 a 144.8 µM, semejante al registrado en noviembre; niveles considerados como altos en general.

En el caso de los cenotes la concentración de ortofosfatos en agosto, presento los valores más altos de los tres muestreos, oscilando entre 88.39 µM hasta 122.60 µM, este último del canal de Xcaret Río (Fig. 8).

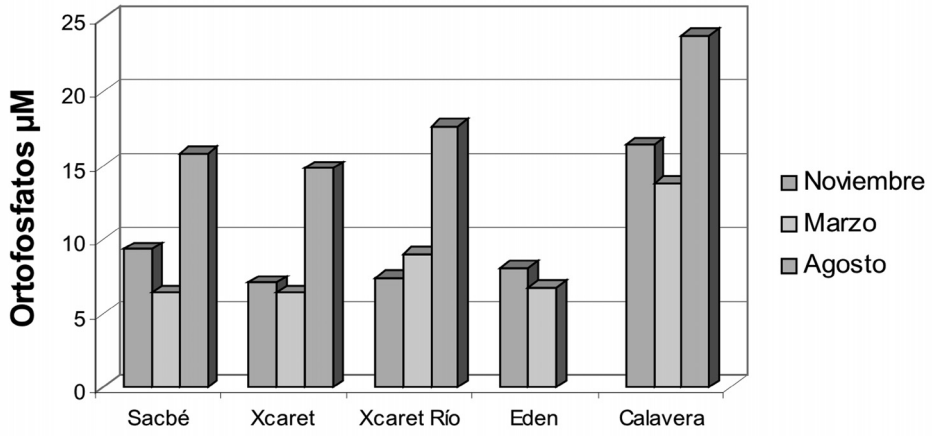


Fig. 8. Ortofosfatos por cenote, durante los tres meses de muestreo.

Nitrógeno (amonio): Generalmente los niveles de amonio en el medio marino son bajos e incluso indetectables (0.0 µM), sin embargo en noviembre todas las estaciones mostraron contenidos que definen influencia costera oscilando entre 4.29 a 9.29 µM (frente Avenida Constituyentes). En marzo del 2005, aunque hubo registros de 0.0 µM (o indetectables) también se cuantificaron concentraciones entre 0.71 a 19.29 µM en Punta Maroma, 11.43 µM en Mayacoba, 70.43 µM en Avenida Constituyentes, 15.0 µM en Muelle Fiscal, 11.43 µM en Xcaret estanque de delfines, 15.00 Puerto Aventuras y 15.0 µM Akumal. En agosto del 2005 no se registró el amonio en ninguna estación y probablemente haya sido resultado de la gran influencia (dilución) del huracán Emily (Tabla 2).

El contenido de amonio en los cenotes fue particularmente mayor en noviembre (de 3.57 a 7.86 µM este último en Xcaret), ya que en marzo y agosto del 2005 fueron de indetectable a 4.29 µM (este último del Eden).

Nitritos: Este nutriente en los tres meses de muestreo tanto en el medio marino como en los cenotes fue 0.0 µM (o indetectable) y en escasas estaciones >1.0 µM, condición normal en el medio marino y continental (Tabla 2).

Nitratos: En noviembre del 2004 la concentración de nitratos en el agua marina fue dentro de lo normalmente registrado (0.71 a 5.0 µM) a excepción de Calica (27.86 µM) y Tulum (12.14 µM) donde fueron ligeramente altos (Tabla 2). En marzo y agosto de 2005 también los contenidos fueron dentro de lo normalmente detectado en el mar. En el caso de los cenotes los niveles fueron altos en noviembre del 2004 y agosto del 2005, con máximos hasta de 39.29 como Xcaret Río, Calavera y el Eden (Fig. 9). Estos niveles caen dentro de lo registrado en otros cenotes por Alcocer et al. (1998).

Nitrógeno total: Las concentraciones en general en los tres meses muestreados se mantuvieron entre 5.0 µM y 20.0 µM; sin embargo destacaron altos niveles en las localidades frente Avenida Constituyentes (100.0 µM en marzo y 97.46 µM en agosto del 2005), Punta Maroma (30.0 µM en marzo y 28.0 en agosto) y Muelle Fiscal (33.57 µM en marzo y 31.43 µM en agosto) que pueden

proceder de descargas del área terrestre o actividades antropogénicas locales, redistribuidas y diluidas en la zona costera por corrientes.

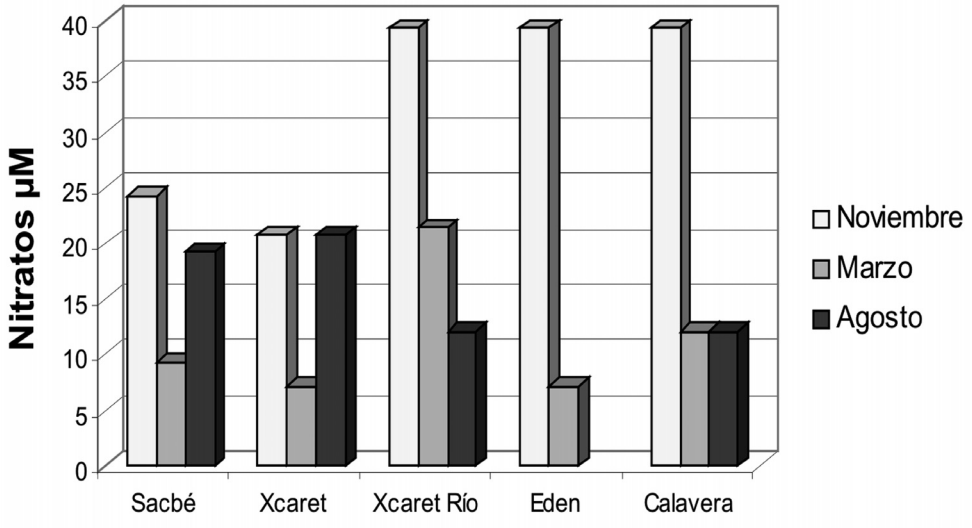


Fig. 9. Nitratos por cenote, durante los tres meses de muestreo.

En los cenotes los contenidos más altos, se observaron en noviembre del 2004 destacando, El Eden (55.71 µM) y Xcaret Río (53.57 µM). En marzo y agosto del 2005 aunque bajaron las concentraciones los niveles más altos correspondieron también a Xcaret Río; este resultado, pudo ser debido a la disminución de turistas que bucean y nadan en los cenotes y a la influencia de las lluvias fuertes que generó el huracán Emily y por lo tanto se diluyó la concentración de nitrógeno total (Fig. 10).

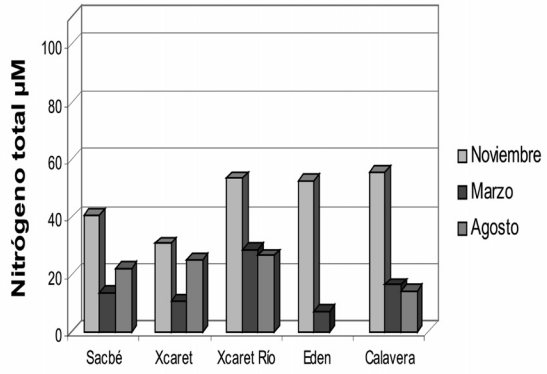


Fig. 10. Nitrógeno total, durante los tres meses de muestreo.

Bacteriología: Como era de esperarse los coliformes totales fueron mayores que las fecales. El muestreo que registró más altos números (NMP/100 ml) de totales fue agosto del 2005 posterior al huracán Emily que influyó a través de las lluvias más los escurrimientos costeros provenientes de asentamientos urbanos y turísticos; los mayores correspondieron a Tulum no sólo en totales sino también en fecales e incluso se detectaron enterococos (Figs. 11 y 12). Sin embargo en este muestreo y con base en los Criterios Ecológicos de 1989 (SEMARNAP, 1989), en Xcaret área marina y estanque de delfines (404 y 203 NMP/100 ml respectivamente) excedieron los niveles máximos establecidos de 200 NMP/100 ml de coliformes fecales (Fig. 13). Situación semejante en el cenote Sacbe con 386 NMP/100 ml y Xcaret Río con >8000 NMP/100 ml. Cabe hacer la aclaración

que es un muestreo puntual en ese mes.

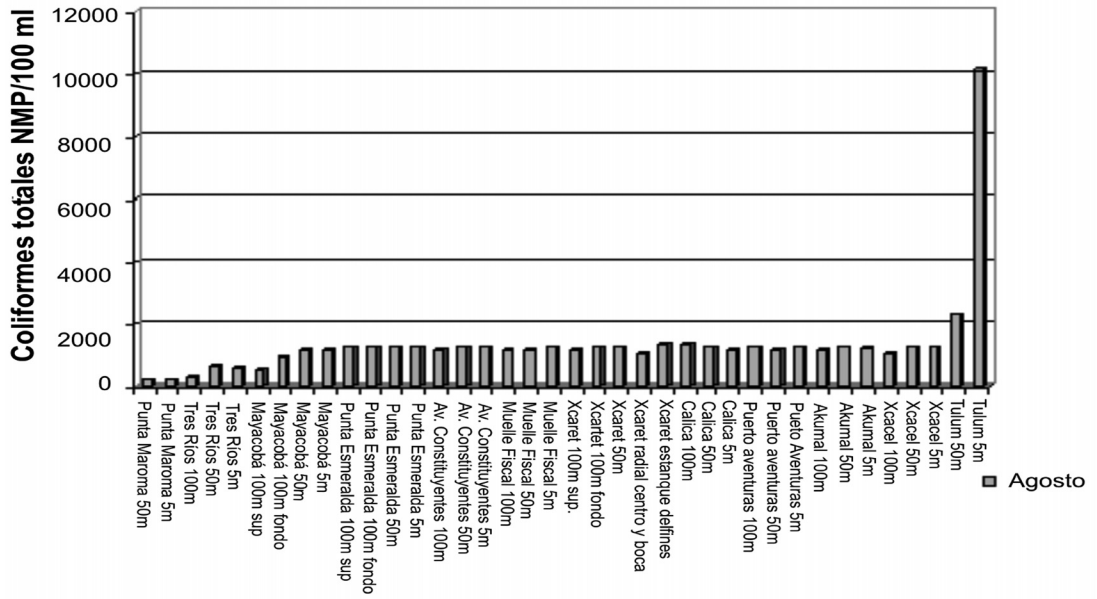


Fig. 11. Coliformes totales por localidad, agosto del 2005.

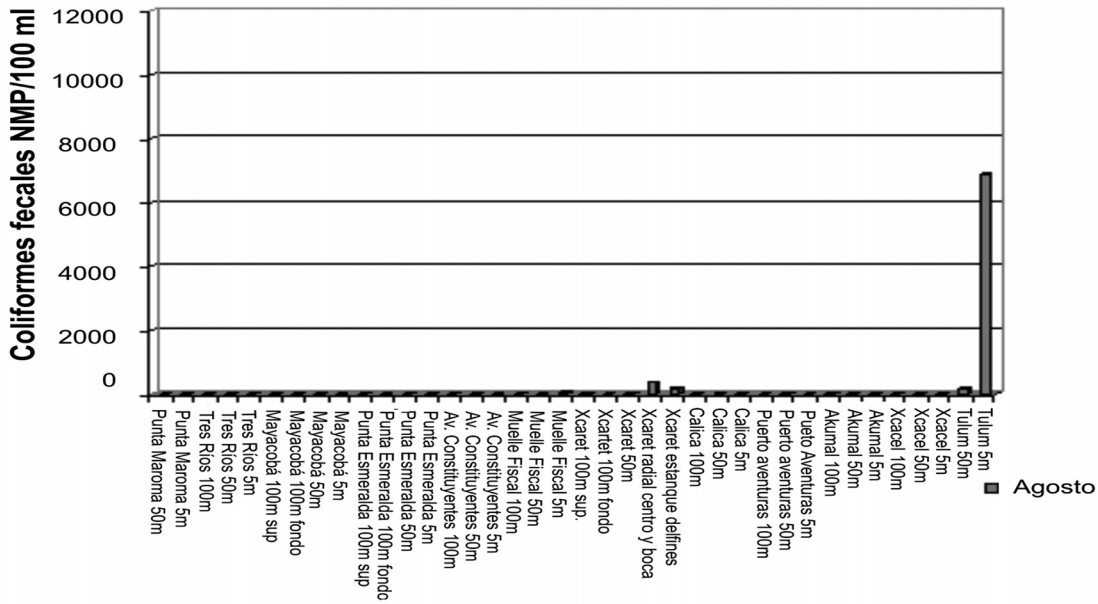


Fig. 12. Coliformes fecaless por localidad, agosto del 2005.

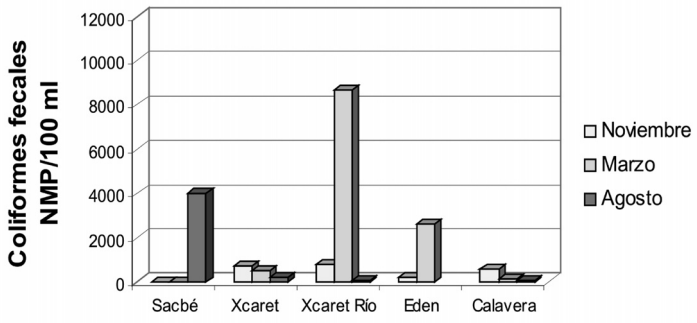


Fig. 13. Coliformes fecales por cenotes, durante los tres meses de estudio.

En el muestreo de noviembre un buen número de estaciones rebasaron los niveles de los criterios ecológicos de coliformes fecales; entre ellos Mayacoba, Punta Esmeralda, Avenida Constituyentes, Muelle Fiscal, Xcaret, Calica y Tulum; en diferentes distancias de la línea de costa mar afuera.

En Tulum incluso se registró la presencia de enterococos. Todos los cenotes estudiados, excepto Sacbe, rebasaron lo establecido en los criterios y particularmente el de Xcaret e Xcaret Río presentaron los máximos en enterococos (Fig. 14).

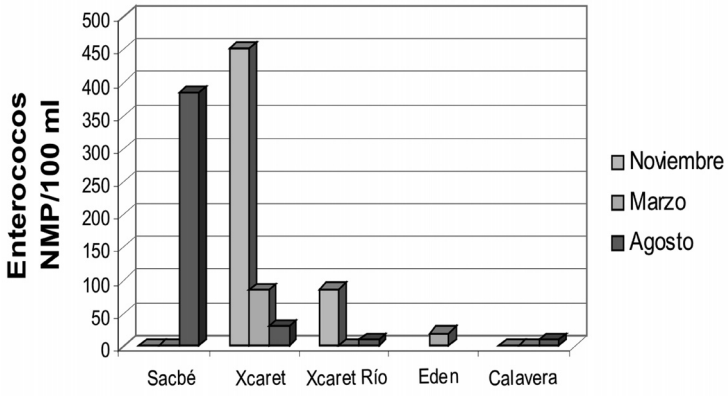


Fig. 14. Enterococos por cenotes, durante los tres meses de estudio.

Nuevamente cabe aclarar que son muestreos puntuales en el tiempo y los criterios ecológicos establecen una mayor frecuencia para determinar los máximos permisibles.

En el muestreo de marzo, se destacaron las estaciones Calica y Puerto Aventuras por rebasar los criterios ecológicos de coliformes fecales (Tabla 2). Dentro de los cenotes los más altos fueron de Xcaret y Xcaret Río así como el de Calavera, con enterococos incluso. Es importante destacar que estos cenotes presentaron elevados niveles de coliformes totales >24196 NMP/100 ml. Bacteriológicamente hablando estos micro-organismos son ajenos al medio marino y su sola presencia y su heterogeneidad debido a las corrientes, significa contaminación antropogénica. En el caso de los cenotes las actividades turísticas (buceo y natación) pueden ser las responsables de su presencia.

Demanda química y biológica de oxígeno (DQO y DBO): La DQO en la mayoría de las estaciones en los tres muestreos marinos no rebasó los 10 mg/l, a excepción de Playa Tulum y Puerto Aventuras donde alcanzó 19.0 mg/l en noviembre del 2004, incluso esta última localidad presentó 12.0 mg/l en marzo del 2005. Normalmente en el medio marino las concentraciones deben ser entre 2.0 y 4.0 mg/l, aproximadamente, resultado del consumo de oxígeno en la descomposición de productos extracelulares de organismos muertos. Sin embargo en la zona costera se pueden incrementar los niveles por los escurrimientos terrestres que llevan incluso substancias refractarias que no son degradadas a través de la DBO5. La DBO5 fue en general 50% menor que la DQO aproximadamente, lo que denotó que el otro 50% fueron sustancias más resistentes a la degradación microbiana en todas las estaciones y en los tres meses de muestreo (Tabla 2).

En el caso de los cenotes, noviembre fue el mes de mayores niveles de DQO destacando el de

Xcaret y el de Calavera con 36.0 y 46.0 mg/l; en marzo del 2005 Xcaret Río también fueron altos (31.0 y 33.0 mg/l respectivamente) (Fig. 15). La DBO en todos los cenotes estudiados y en los tres meses de muestreo fueron bajos incluso menores que los del ambiente marino (Fig. 16).

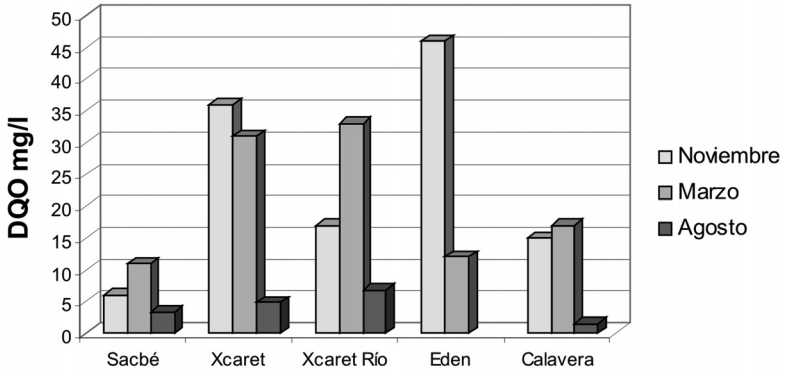


Fig. 15. Demanda química de oxígeno, durante los tres meses de muestreo.

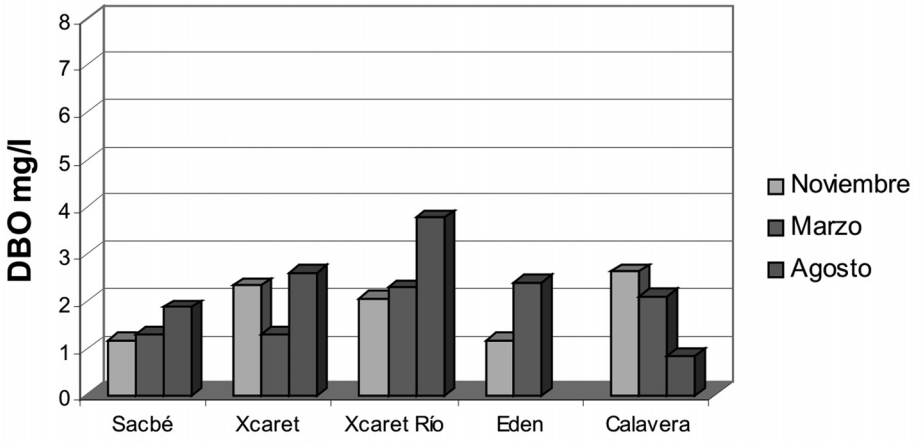


Fig. 16. Demanda biológica de oxígeno, durante los tres meses de muestreo.

Debido a que no existen registros de estos dos parámetros en este tipo de cuerpos de agua ni tampoco niveles establecidos en los criterios ecológicos, es arriesgado señalar estas concentraciones como de contaminación; lo que si es importante mencionar que existen más altos niveles de substancias refractarias que las degradadas por microorganismos lo que significa que estas substancias pueden ser introducidas por actividades antropogénicas y lo más cercano es el buceo y natación.

Metales Pesados: En ninguno de los tres muestreos tanto en el medio marino como en los cenotes, se rebasó lo registrado en agua de mar o aguas dulces según lo determinado por SEDUE, (1990). Sin embargo desde el punto de vista de los criterios ecológicos algunos metales rebasaron los niveles como el: zinc después del huracán Emily y puede proceder de los grandes escurrimientos terrestres a través de la lluvia; cobre especialmente después del huracán; el hierro en todos los muestreos y plomo que fue heterogéneo posiblemente atribuido a la gasolina de las lanchas y cruceros turísticos. Cabe recordar que los criterios ecológicos señalan en un apartado (XII) que la

concentración promedio de cuatro días no debe exceder lo establecido como límite, una vez cada tres años; sin embargo los análisis aquí efectuados fueron puntuales, bajo una dinámica de circulación fuerte y con un huracán que influyó no solamente en una heterogénea distribución sino el incremento de escurrimientos terrestres que pudieron incrementar la concentración en las aguas costeras e incluso en los cenotes.

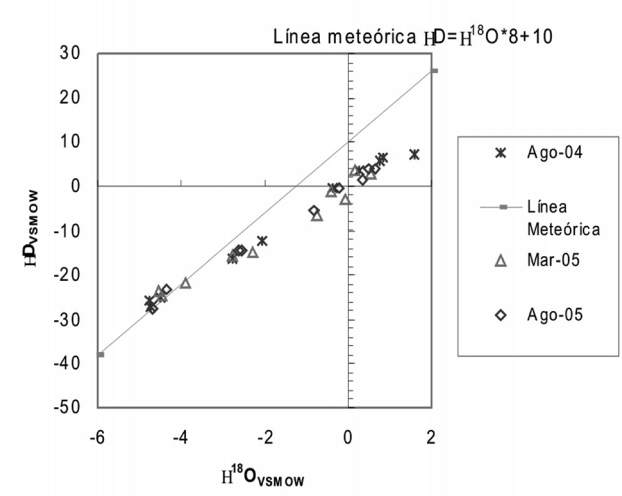


Fig. 17. Trazados de isotopos O^{18}, durante los tres meses de muestreo.

Isótopos estables (O^{18})*:* Con base en los resultados del trazador isotópico O^{18} se observan claramente tres áreas en los tres muestreos: la marina (área superior derecha de las figuras 17 y 18), una intermedia correspondiente a Xcaret Río y Tanque de Delfines y una continental correspondiente a los cenotes (Tabla 2). Dichos resultados señalan que solamente Xcaret Río y Tanque de Delfines tienen influencia marina y continental. En el resto de los cenotes estudiados el análisis isotópico muestra que no existe influencia marina y viceversa.

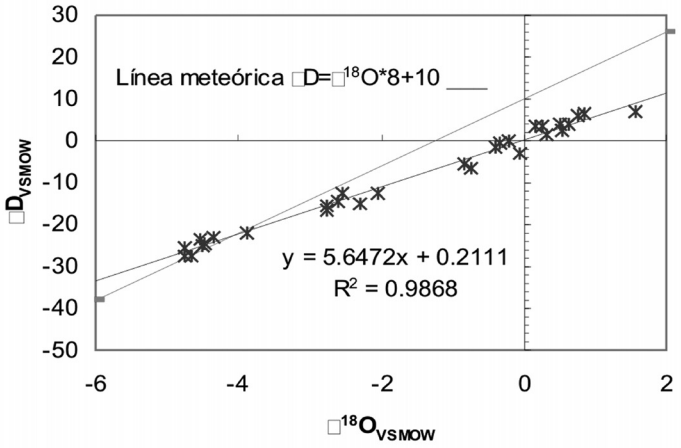


Fig. 18. Trazador isotópico O^{18}, para los tres meses de muestreo.

CONCLUSIONES

Como conclusiones presentamos a continuación las anomalias encontradas en los estudios de calidad de agua del medio marino y de los cenotes estudiados.

En noviembre del 2004 el contenido de ortofosfatos fue en general homogéneo oscilando entre 0.32 y 3.55 µM con una concentración puntual de la estación Xcaret tanque de delfines de 8.1 µM, anormal para el medio marino que puede ser resultado de las actividades de recreación que ahí se desarrollan. Las concentraciones normalmente registradas de ortofosfatos en la costa del Caribe Mexicano pueden ser desde lo indetectable (0.0 µM) hasta 2.0-3.0, por efecto de escurrimientos terrestres. El fósforo total en la mayoría de las estaciones fue alto, especialmente cerca de la línea de costa con disminución mar afuera por efecto de dilución. Niveles >10 µM pueden considerarse como anormales en el medio marino y fueron registrados contenidos hasta de 177.42 µM como en Punta Esmeralda a 5 m de la línea de costa, 168.71 µM frente Avenida Constituyentes a la misma distancia y 162.58 µM en Tres Ríos.

Todos los cenotes mostraron niveles altos de ortofosfatos (7.10 a 16.45 µM este último del Eden) y fósforo total (80.97 a 143.22 µM este último de Xcaret). En el caso de los cenotes la concentración de ortofosfatos fueron de los más altos de los tres muestreos, oscilando entre 88.39 µM hasta 122.58 µM este último del canal de Xcaret Río. El fósforo total más elevado fue en Xcaret (80.97 a 143.22 µM) que puede asociarse a las actividades turísticas.

Las mayores concentracions de amonio se registraron en marzo del 2005, con valores de 19.29 µM en Punta Maroma, 11.43 µM en Mayacoba, 70.43 µM en Avenida Constituyentes, 15.0 µM en Muelle Fiscal, 11.43 µM en Xcaret estanque de delfines, 15.00 Puerto Aventuras y 15.0 µM Akumal; como resultado de la influencia de descargas urbanas terrestres o actividades turísticas. En agosto del 2005 no se registró el amonio en ninguna estación y probablemente haya sido resultado de la gran influencia (dilución) del huracán Emily.

En las concentraciones de nitrógeno total en los tres meses muestreados destacaron altos niveles en las localidades frente Avenida Constituyentes (100.0 µM en marzo y 97.46 µM en agosto del 2005), Punta Maroma (30.0 µM en marzo y 28.0 en agosto) y Muelle Fiscal (33.57 µM en marzo y 31.43 µM en agosto) que pueden proceder de descargas del área terrestre o actividades antropogénicas locales, redistribuidas y diluidas en la zona costera por corrientes.

En los cenotes los contenidos más altos de nitrógeno total fueron en noviembre de 2004 destacando El Eden (55.71 µM) Xcaret Río (53.57 µM). En marzo y agosto del 2005 aunque bajaron las concentraciones los niveles más altos correspondieron también a Xcaret Río; esto pudo ser debido a la disminución de turistas que bucean y nadan en los cenotes y a la influencia de las lluvias fuertes que generó el huracán Emily y por lo tanto se diluyó la concentración de nitrógeno total.

Los coliformes totales fueron mayores que las fecales; el muestreo que registró más altos números (NMP/100 ml) fue agosto del 2005, posterior al huracán Emily que influyó a través de las lluvias más los escurrimientos costeros provenientes de asentamientos urbanos y turísticos; los mayores correspondieron a Tulum no sólo en totales sino también en fecales e incluso se detectaron enterococos. Sin embargo en este muestreo y con base en los criterios ecológicos de 1990, en Xcaret área marina y estanque de delfines (404 y 203 NMP/100 ml respectivamente) excedieron los niveles máximos establecidos de 200 NMP/100 ml de coliformes fecales. Situación semejante en el cenote Sacbe con 386 NMP/100 ml. Cabe hacer la aclaración que es un muestreo puntual en ese mes.

En el muestreo de noviembre un buen número de estaciones rebasaron los niveles de los criterios ecológicos de coliformes fecales; entre ellos Mayacoba, Punta Esmeralda, Avenida Constituyentes,

Muelle Fiscal, Xcaret, Calica y Tulum; en diferentes distancias de la línea de costa mar afuera. En Tulum incluso se registró la presencia de enterococos. Todos los cenotes estudiados, excepto Sacbe, rebasaron lo establecido en los criterios y particularmente el de Xcaret e Xcaret Río presentaron los máximos en enterococos. Nuevamente cabe aclarar que son muestreos puntuales en el tiempo y los criterios establecen una mayor frecuencia para determinar los máximos permisibles. Bacteriológicamente hablando estos micro organismos son ajenos al medio marino y su sola presencia y su heterogeneidad debida a los corrientes, significa contaminación antropogénica.

En el muestreo de marzo destacaron las estaciones Calica y Puerto Aventuras por rebasar los criterios ecológicos de coliformes fecales. Dentro de los cenotes los más altos fueron de Xcaret y Xcaret Río así como el de Scabe y el Eden, con enterococos incluso. Es importante destacar que estos cenotes presentaron elevados niveles de coliformes totales >24196 NMP/100 ml. En el caso de los cenotes las actividades turísticas (buceo y natación) pueden ser las responsables de su presencia.

La DQO en la de Playa Tulum y Puerto Aventuras alcanzó 19.0 mg/l en noviembre del 2004, incluso esta última localidad presentó 12.0 mg/l en marzo del 2005; niveles anormales para el medio marino.

En el caso de los cenotes, noviembre fue el mes de mayores niveles de DQO destacando el de Xcaret y el de Eden con 36.0 y 46.0 mg/l respectivamente; en marzo del 2005 Xcaret Río también fueron altos (31.0 mg/l).

Con base en los resultados del trazador isotópico O^{18} se observan claramente tres áreas en los tres muestreos: la marina, una intermedia correspondiente a Xcaret Río y Tanque de Delfines y una continental correspondiente a los cenotes. Dichos resultados señalan que solamente Xcaret Río y Tanque de Delfines tienen influencia marina y continental. En el resto de los cenotes estudiados, el análisis isotópico muestra que no existe influencia marina y viceversa; a pesar de que fueron visibles salidas puntuales de agua dulce en el medio marino, lo que indica comunicación con cenotes; pero estas localidades no fueron muestreadas.

BIBLIOGRAFÍA

Alcocer, J., A. Lugo, L. Marín y E. Escobar. 1998. Hydrochemestry of waters from five cenotes and evaluation of their suitability for drinking-water supplies, northeastern Yucatán, México. Hydrogeology Journal 6: 293-301.

APHA-AWWA-WPCF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition. Washington. D.C. 1220 p.

De la Lanza-Espino, G., 1991. Oceanografía de Mares Mexicanos. AGT Editor, S.A. México: 569 p.

SEMARNAP, 1989. Criterios ecológicos de calidad del agua. Diario Oficial de la Federación, 2 de diciembre de 1989, SE-CCA-00/89. México.

SEDUE, 1989. Secretaría de Gobierno. Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua. CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación, Tomo CDXXXV no 9, Diciembre de 1989, 1-23 p.

Strickland J. D. H. y T. R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa, Canada. 310 p.

CAMBIOS POR EROSIÓN Y ACRECIÓN DE LAS PLAYAS DEL MUNICIPIO SOLIDARIDAD

EROSION AND ACRETION CHANGES ON SOLIDARIDAD MUNICIPALITY BEACHES

Erik Márquez-García
Instituto Nacional de la Pesca, SAGARPA. Laboratorio de Geomática
erik_marquez@yahoo.es

Zuelhen Florez Erazo
Depto. de Hidrobiología, DBCS, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
zfecm@yahoo.com

Antonio Zoilo Márquez-García
Depto. de Hidrobiología, DBCS, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
azoilo@yahoo.com

Virginia Pérez-Aguilar
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
victoria_0217@hotmail.com

Resumen: Las extensas playas arenosas que componen el litoral del Municipio Solidaridad, son de gran importancia por su desarrollo socio-económico, por la funcionalidad de infraestructura recreativa que proporcionan, que depende de la cantidad de arena que contiene y los cambios que en ella ocurren. En esta investigación se recopiló información básica de los cambios que ocurren en doce principales playas, del municipio, ubicadas entre Punta Maroma y Tulum. El estudio se realizó por medio de un levantamiento topográfico de perfiles de playa en tres épocas distintas, lluvias (agosto 2006), secas (marzo 2006) y nortes (noviembre 2005). La aplicación del método de perfiles de playa permitió obtener la variación y cuantificación longitudinal y de pendiente. La comparación de los perfiles reflejó los cambios en la estructura de las playas como resultados de los procesos de erosión y acreción en las épocas de estudio. La mayoría de las playas presentaron pocos cambios morfológicos durante el primer y segundo levantamiento correspondientes al periodo de secas y nortes; sin embargo, en el tercer levantamiento realizado después del huracán, la mayoría de las playas sufrieron un incremento en su longitud y disminución de su desnivel, esto como resultado de movimiento de sedimentos, ocasionado por los cambios de energía de oleaje producidos por el huracán Emily que azotó las costas de Quintana Roo en julio del 2005.

Palabras Claves: Perfiles de playa, morfología, erosión, acreción, Riviera Maya.

Abstract: The extensive sandy shores that compose the littorals region of town council of Solidaridad, are very important due to their social-economical development and their functional and recreational infrastructure, and depend directly on the amount of sand that they contain and the changes that may occur. In this research, basic information about changes occurred at twelve principal shores located between Tulum and Punta Maroma was compiled. This study was elaborated by a topographic survey of longitudinal sections of those shores during three seasons, windy season (November 2004), drought season (March, 2005), and rainy season (August, 2005). The application of longitudinal sections method on shores, allowed us to obtain longitudinal and quantification variations as well as slopes. The comparison among the profiles showed us all changes on shores' structures as a result of erosion and accretion during the period of time of study. The majority of the beaches revealed only few morphologic changes during the first and second surveys, which are wind and drought seasons respectively. During the third survey at the rainy season, most of the shores suffered an increase of their profile and a decrease of their slope, this, as a result of sediments' movements, produced by swell energy changes during Hurricane Emily, which battered Quintana Roo's Coastlines during July of 2005.

Key words: Outline beaches, morphology, erosion, accretion, Riviera Maya.

INTRODUCCIÓN

Las playas y extensiones submarinas de las mismas, constituyen una zona muy dinámica del litoral, pues se acrecientan y erosionan en respuesta a los efectos de oleaje, corrientes y de las propias variaciones del nivel del mar, que gobiernan la dinámica litoral y que causan diferencias en el ancho, profundidad, pendiente y forma de las playas, los cuales varían durante las diferentes épocas del año, siendo las épocas de lluvias donde los cambios son más intensos principalmente por la frecuencia e intensidad de las tormentas. A lo largo de los litorales se puede apreciar acumulación de arenas formando playas extensas de pendientes suaves acompañadas de dunas, lengüetas, barreras, o bien, existen procesos de erosión o remoción de las arenas exponiendo sustratos rocosos, formando cavernas y playas angostas de pendientes fuertes, la mayoría de las veces con materiales gruesos de arena y gravas. Los procesos costeros que afectan al litoral ocurren en escalas de tiempo que varían desde instantes (horas) hasta intervalos geológicos (miles o más de años) y que requieren de comprender la dinámica que domina y controla la zona litoral y es necesario considerar todas las escalas, así como distinguir la combinación de procesos más relevantes que se presentan. El control de perfiles interanuales de playa genera información cuantitativa concerniente a cambios en la configuración de las playas debido a la erosión y acreción.

El objetivo específico de este trabajo de perfiles de playa, fue realizar un levantamiento de control vertical; es decir, determinar diferencias de elevación entre puntos (desniveles), sobre una línea imaginaria (perfil) perpendicular a la línea de costa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres muestreos, el primero en noviembre del 2004 en los que se ubicaron 10 bancos de nivel (BN) en igual número de playas estudiadas. Para el muestreo realizado en marzo y agosto del 2005, se anexaron dos BN (Fig. 1), Por cada BN se trazaron 3 perfiles de playa, excepto en las playas de Tulum donde se tuvieron cuatro perfiles por su gran extensión; en Tres Ríos y Muelle fiscal se trazaron dos perfiles por BN, teniendo un total de 35 perfiles de playa en todo el municipio.

Los perfiles de playa se trazaron perpendiculares a la línea de costa y se ubicaron a partir de Bancos de Nivel, los cuales se georeferenciaron con coordenadas geográficas, por medio del Sistema Global de Posicionamiento, (Global Position System; GPS, por su nombre y siglas en inglés).

Para cuestiones prácticas de cálculo, de diferencia de alturas entre los puntos del perfil y los BN, se les determinó una altura base de cero metros; Los puntos a lo largo de los perfiles fueron obtenidos por medio de una nivelación diferencial, consistente en determinar una línea horizontal, a partir de la cual se obtienen las diferencia de alturas de los puntos intermedios y se calculan los desniveles con respecto al BN; este trabajo se realizó utilizando una estación total y un GPS topográficos.

Los perfiles descritos tienen una ubicación norte-sur en la zona de estudio; es decir, el perfil uno se encuentra en el extremo norte del área de estudio (Punta Maroma) y el perfil 35 se encuentra en el extremo sur (Tulum). Cada perfil se dividió para su descripción en tres zonas de playa (Fig. 2):

Supralitoral. Se localiza en el limite superior de la playa y en condiciones normales se encuentra

en la parte alta por arriba del nivel de marea alta, en condiciones normales se encuentra seca con

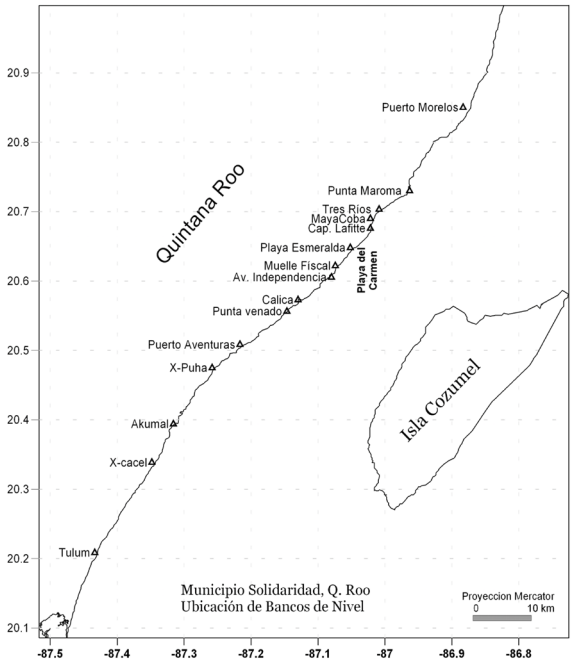


Fig. 1. Ubicación de bancos de nivel y playas del Municipio Solidaridad, Quintana Roo.

predominio de agentes eólicos sobre los hídricos, ya que ocasionalmente el agua invade esta zona, durante eventos de tormenta combinados con mareas altas se le conoce también como berma o supraplaya.

Mesolitoral. Esta zona está continuamente cubierta por agua y expuesta al aire de forma rítmica y alternada entre el límite de la zona de vaivén marcado por el máximo retroceso del relavado en marea baja hasta el máximo avance del lavado en marea alta.

Infralitoral. Se encuentra entre el límite inferior de la playa y esta siempre está cubierta por agua.

RESULTADOS

En este estudio se analizó información básica concerniente a la transformación de las playas, en el área del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, entre Punta Maroma y Tulum. El estudio incluyó la medición de perfiles de playa en tres muestreos (noviembre del 2004, marzo del 2005 y agosto del 2005).

Los cambios más significativos en los perfiles de playa ocurrieron en agosto del 2005, periodo normalmente caracterizado por condiciones severas de oleaje debido a las tormentas que se presentan. La arena en épocas de intensa acción del oleaje es erosionada en la zona supralitoral de la playa y transportada a la zona de infralitoral y mar adentro para formar barras arenosas. La evolución de cada perfil se presentan en las figuras 2 a la 14.

Punta Maroma: En los perfiles 1 al 3, correspondientes a la playa Punta Maroma-Faro, se

observó la misma estructura geomorfológica en todos los levantamientos; sin embargo, para el perfil 3 localizado al lado sur del faro, se observó una variación en el tercer muestreo de 2.5 m menor a los levantamientos anteriores, lo que indica un proceso de erosión después del huracán Emily. En esta playa se puede ver que del lado norte existen longitudes de más de 35 m de playa y del lado sur de tan solo 15 m con una duna poco desarrollada menor a un metro, lo que indica una zona de erosión (Fig. 2).

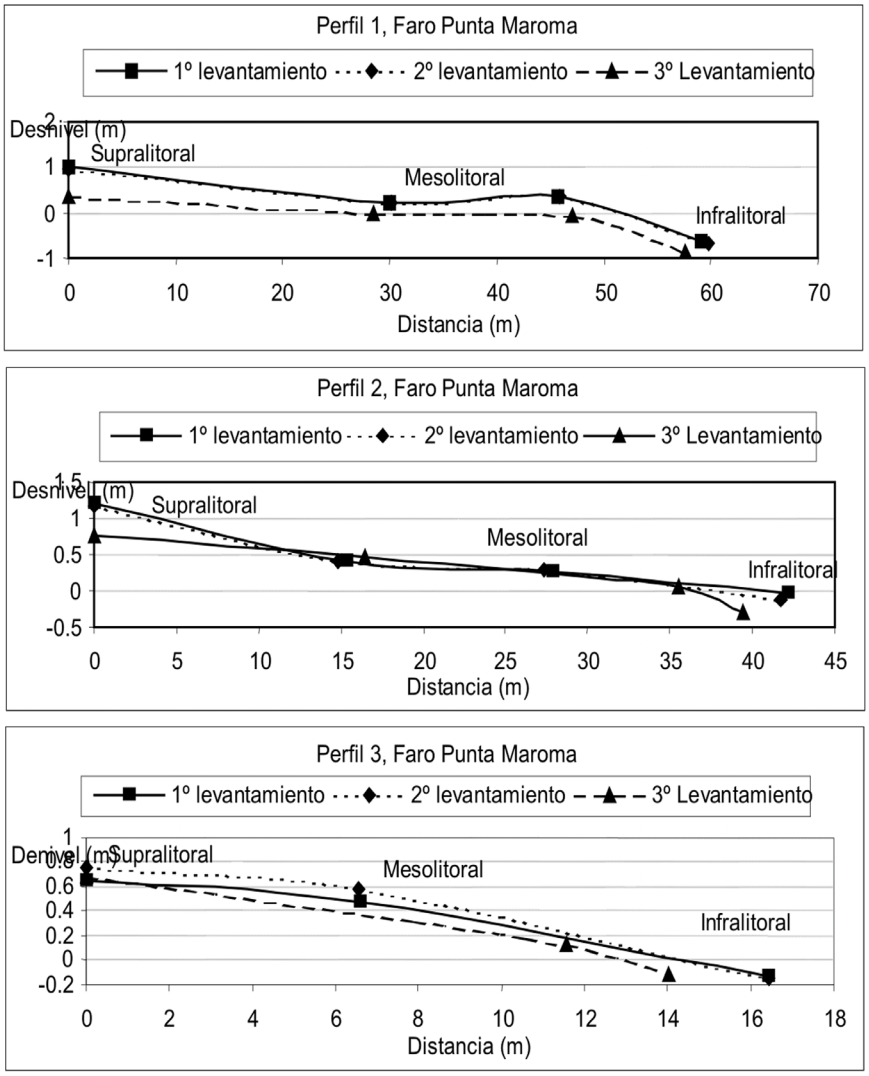


Fig. 2. Configuración de los perfiles 1 al 3, correspondientes a la playa Punta Marona-Faro.

Tres Ríos: En los perfiles 4 y 5 correspondientes a la zona del complejo turístico Tres Ríos, se observó un incremento en la longitud del perfil en el tercer muestreo en ambos transectos, siendo para el perfil 4 de 2.5 m y de 4 m en el perfil 5 por lo que esta playa sufrió un proceso de acreción ó acumulación de material después del huracán (Fig. 3).

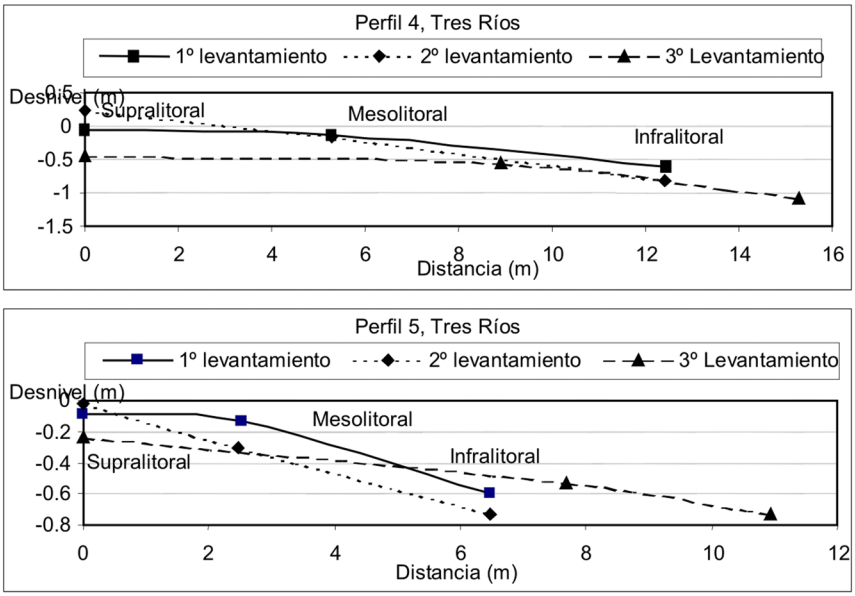


Fig. 3. Perfiles 4 y 5, correspondientes a la playa del complejo turístico Tres Rios.

Capitán Lafitte: En los perfiles 6 a 8 se observó un incremento en la longitud de la playa perpendicular a la línea de costa y un decremento en la pendiente siendo de aproximadamente un metro en el perfil 6 y de medio metro en el perfil 7 y 8; en el primer muestreo (noviembre del 2004) el perfil 7 tenia una longitud de 30.35 m y en el tercer muestreo (después del huracán) se incrementó a 38.28 m. En el perfil 6 se observó en el primer muestreo la presencia de un escalón en la zona de mesolitoral (ML) lo que indicó una zona de erosión; para el tercer muestreo este escalón desapareció y la playa aumentó en longitud. El perfil 8 mostró pérdida de material en la playa en la zona de ML y un aumento de un metro en la distancia horizontal de la playa (Fig. 4).

Playa Esmeralda: Comprendió los perfiles 9 a 11. En el primero se observó una porción erosionada en la zona de supralitoral (SL) e Infralitoral (IL), con 0.5 m de diferencia respecto al primer levantamiento (noviembre del 2004). En el perfil 10 se observó un incremento de material en la playa en su parte infralitoral de 0.5 m. El gráfico correspondiente al perfil 11, tuvo una geomorfología similar en los tres levantamientos. Sin embargo se registró un decremento en la formación de la duna de 0.4 m (Fig. 5).

Muelle Ultramarino: En esta localidad se realizaron los perfiles 12 a 14, dos al norte del muelle (perfil 12 y 13) y uno más al sur (perfil 14). En los perfiles al costado norte del muelle (perfil 12) se observó un aumento en su longitud y una disminución de material en su zona de mesolitoral; el perfil 13 ubicado a un costado del muelle tuvo longitudes similares en los tres muestreos, pero para el último hubo una disminución de un metro en la duna de playa. En el perfil 14 se determinó una disminución en su longitud perpendicular a la línea de costa, así como perdida de material de 0.5 m en la zona comprendida entre SL y ML (Fig. 6).

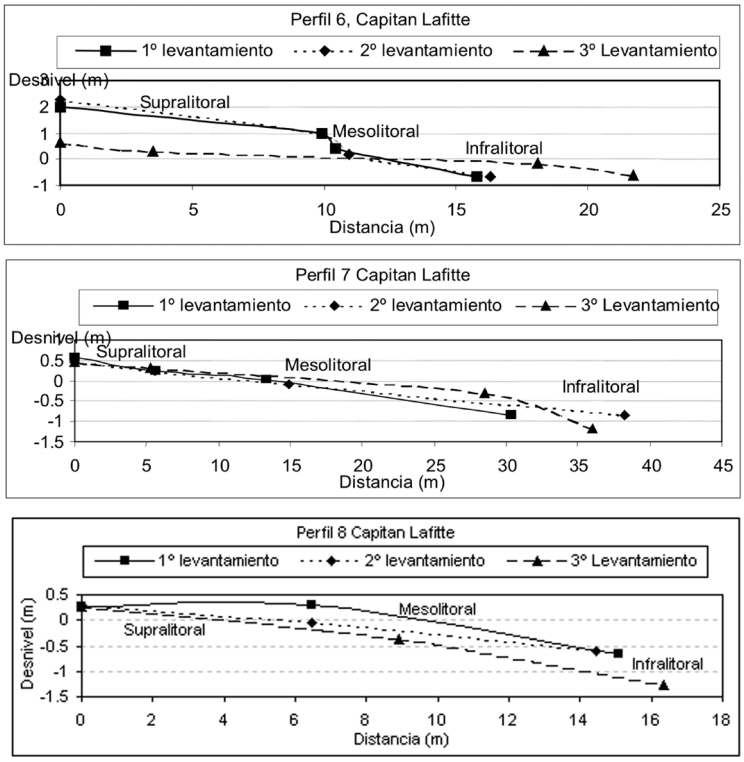


Fig. 4. Configuración de los perfiles 6 al 8, correspondientes a Capitán Laffite.

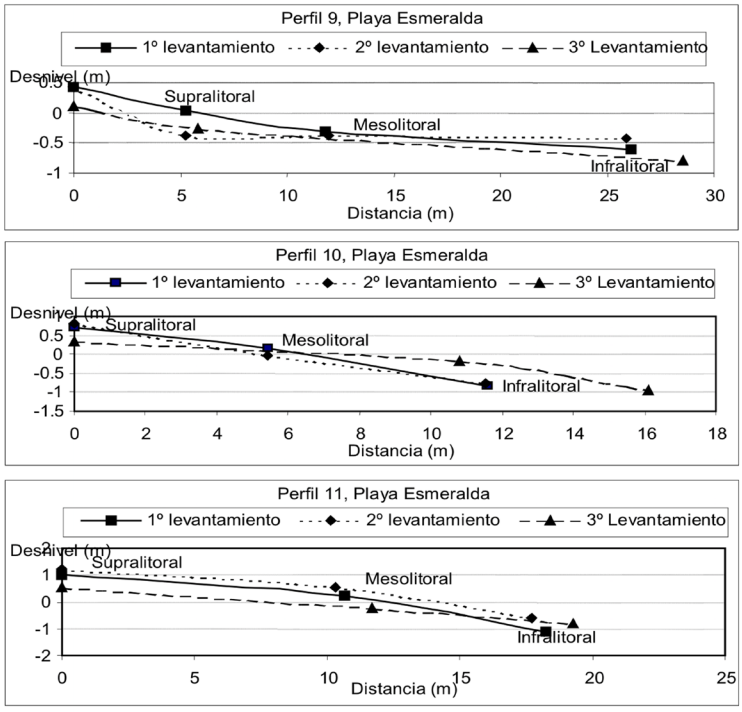


Fig. 5. Configuración de los perfiles 9 al 11, correspondientes a la Playa Esmeralda.

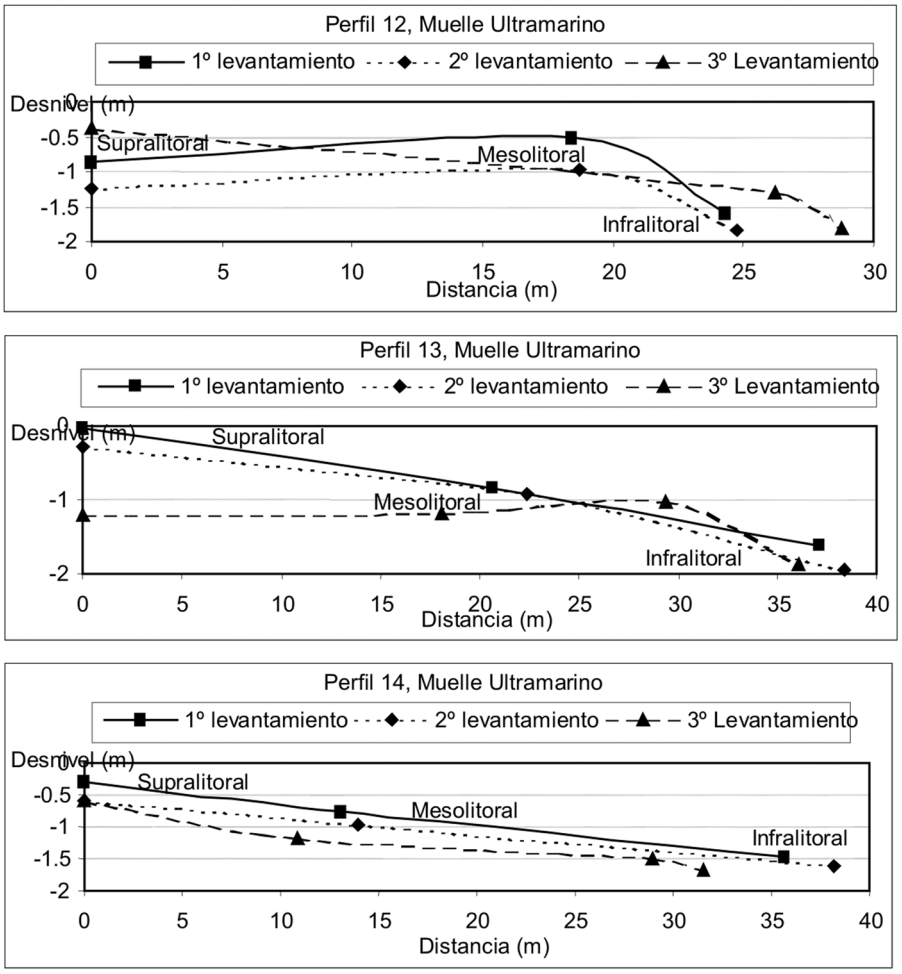


Fig. 6. Configuración de los perfiles 12 al 14, correspondientes al Muelle Ultramarino

Calle 14: Los perfiles 15 a 17, se ubicaron entre los muelles Ultramarino y Fiscal a la altura de la calle 14 norte de Playa del Carmen. En los perfiles 15 y 16 se observó una disminución en su longitud de tres metros, así como una pérdida de material en su zona de supralitoral. El perfil 17 mostró una longitud mayor en el tercer muestreo y un aumento en el volumen de material en la zona de ML e IL (Fig. 7).

Muelle Fiscal: Los perfiles 18 y 19 se ubican en la parte norte del muelle, ya que al sur se observó que no existe playa, dado que las construcciones turísticas se encuentran en el límite de las olas. En el perfil 18 se registró un escalón entre la zona SL y ML, lo que indicó una pérdida de material por erosión. En el perfil 19 se observó una acumulación de material en la zona de IL de medio metro en una longitud de 10 m, lo que indicó una zona de acreción al lado norte del Muelle Fiscal (Fig. 8).

Punta Venado: En esta localidad se tuvieron los perfiles 20 a 22, al sur de Calica. En el perfil 20 se observó una longitud de playa perpendicular a la línea de costa de 10 m, aproximadamente similar para el segundo y tercer muestreo; sin embargo, en el primer muestreo fue de casi 60 m por

lo que se registró una perdida de material en 50 m de longitud en la zona de infraplaya (Fig. 9).

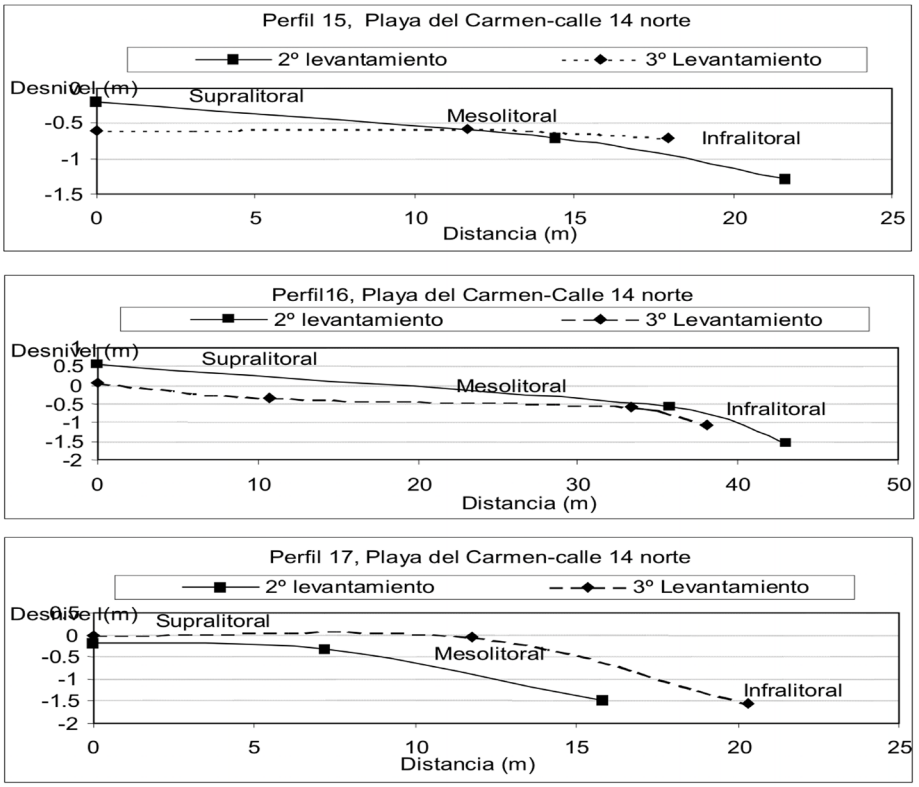


Fig. 7. Configuración de los perfiles 15 al 17, correspondientes a Calle 14 norte.

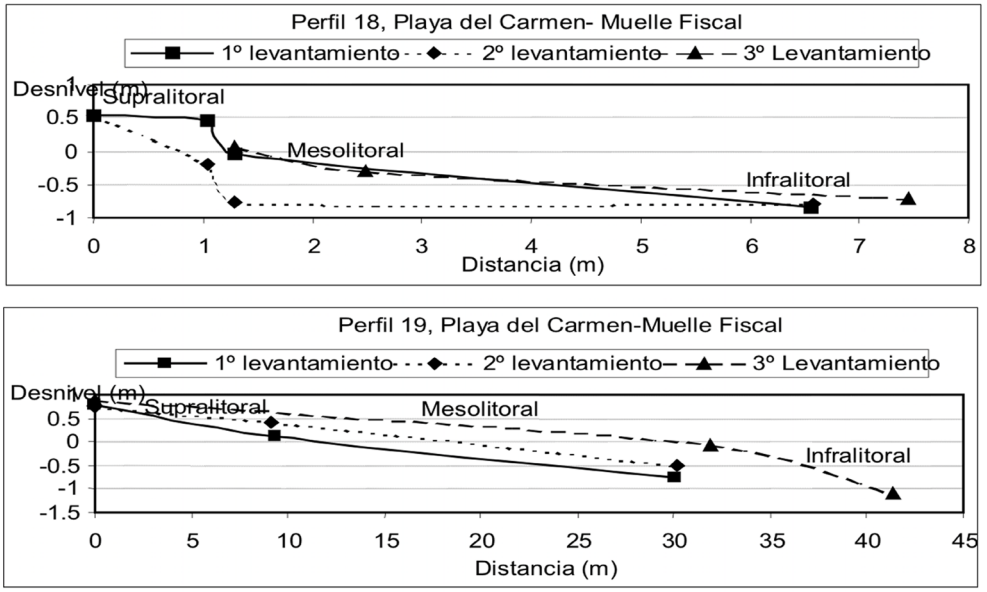


Fig. 8. Configuración de los perfiles 18 y 19, correspondientes a la Muelle Fiscal.

El perfil 22, también presentó una pérdida de material en la zona infralitoral, ya que en el primer muestreo tenía una playa de 10 m de longitud y para el segundo y tercer muestreo fue de seis metros su longitud de playa, teniendo una pérdida de cuatro metros (Fig. 9). En el perfil 21 se registraron diferentes pendientes y escalones lo que indicó un proceso de erosión; en el primer y tercer muestreo la longitud de la playa era de aproximadamente 30 m y para el segundo la longitud fue de 50 m (Fig. 9).

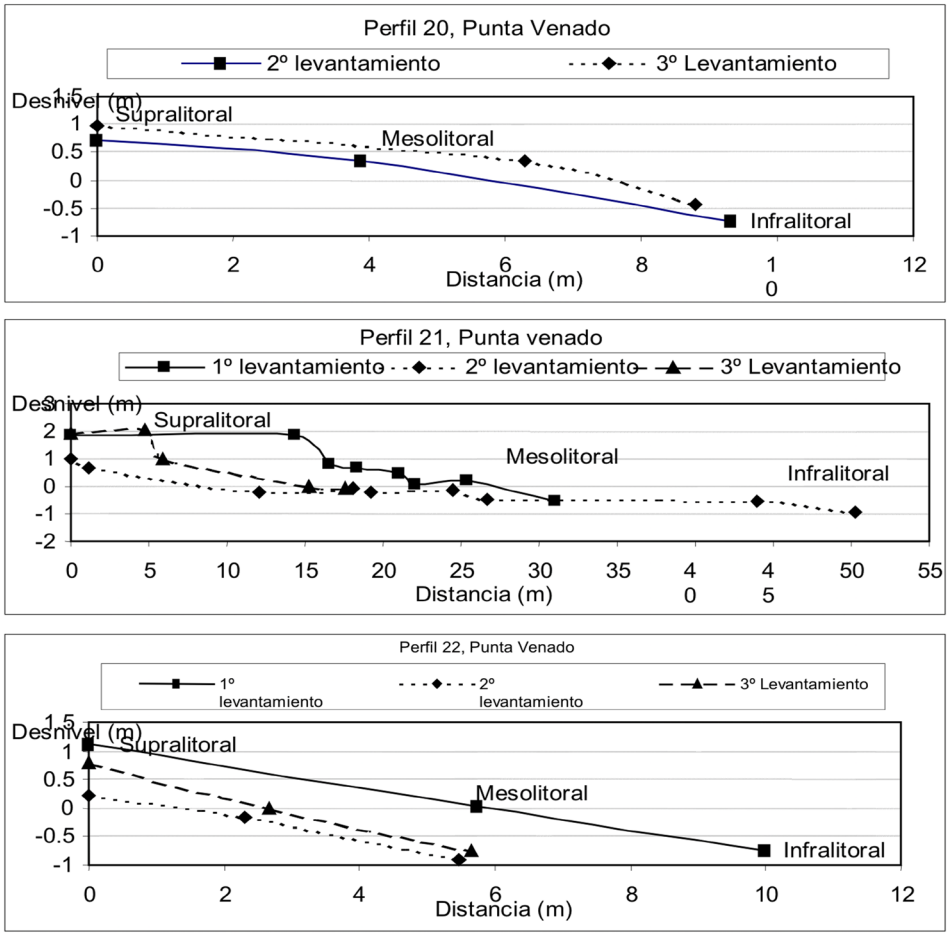


Fig. 9. Configuración de los perfiles de playa del 20 al 22, correspondientes a Punta Venado.

Paamul: En esta localidad se incluyeron los perfiles 23 a 25. El perfil 23 con una longitud de 30 m, pendiente suave y un desnivel de 1.5 m presentó una acumulación de sedimentos en el tercer muestreo. El perfil 24 en el segundo muestreo su longitud fue de 40 m, aproximadamente con un escalón en la zona SL de 1.5 m; en el tercer muestreo se observó una acumulación de material, manteniendo su longitud de playa (Fig. 10). El perfil 25, con una longitud de 15 m aproximadamente, no cambió significativamente tanto en el segundo como en el tercer muestreo, manteniendo su desnivel de dos metros y longitud de 15 m (Fig. 10).

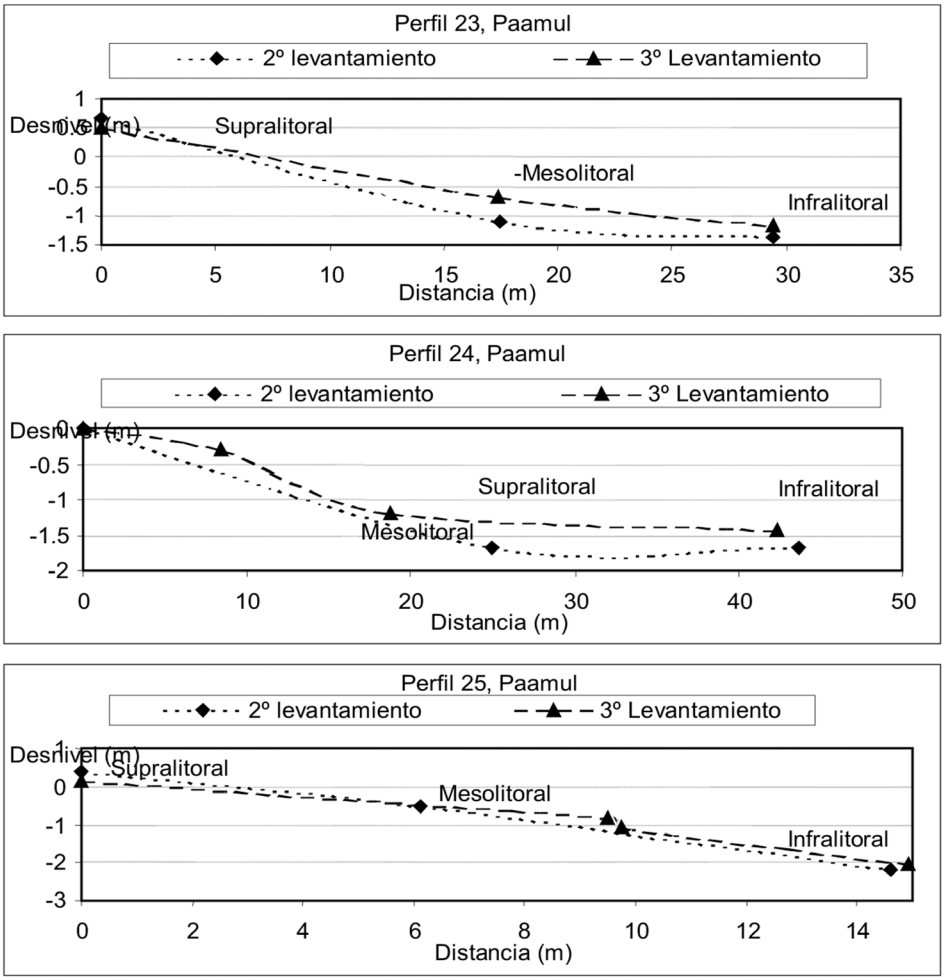


Fig. 10. Configuración de los perfiles de playa del 23 al 25, correspondientes a Paamul.

Akumal: Constituida por los perfiles 26 a 28, que tuvieron la misma morfoestructura en los tres levantamientos o muestreos. Se observó un aumento en la longitud perpendicular a la línea de costa en el tercer levantamiento de seis metros en promedio para todos los perfiles, con una pendiente suave y homogénea lo que indicó una zona de acreción (Fig. 11).

X-Cacel: Constituida por los perfiles 29 a 31, distribuidos en la bahía en los extremos y en el centro (perfil 30). Los tres perfiles en el primer y segundo levantamiento no cambió su morfología, pero en el tercer levantamiento existieron cambios considerables: el perfil 29 aumentó su longitud de 14 a 22 m aproximadamente, el perfil 30 cambió de 25 a 40 m y el perfil 31 perdió material disminuyendo su longitud de 10 a ocho metros (Fig. 12).

Tulum: Estos perfiles 32 a 35 se realizaron al sur de la zona arqueológica. En los perfiles 32 y 33 se observó un aumento en el tercer muestreo y para el 32 se acumuló sedimentos en la zona de infraplaya aumentando la longitud de la playa en 16 m. En el perfil 33 el material se acumuló en la

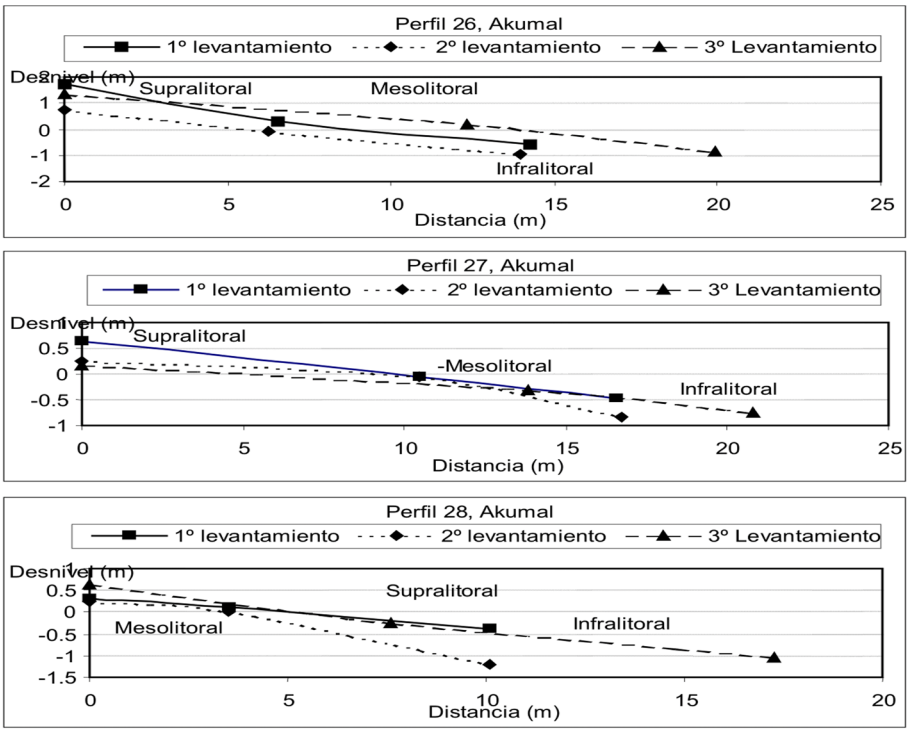


Fig. 11. Configuración de los perfiles de playa del 26 al 28, correspondientes a Paamul.

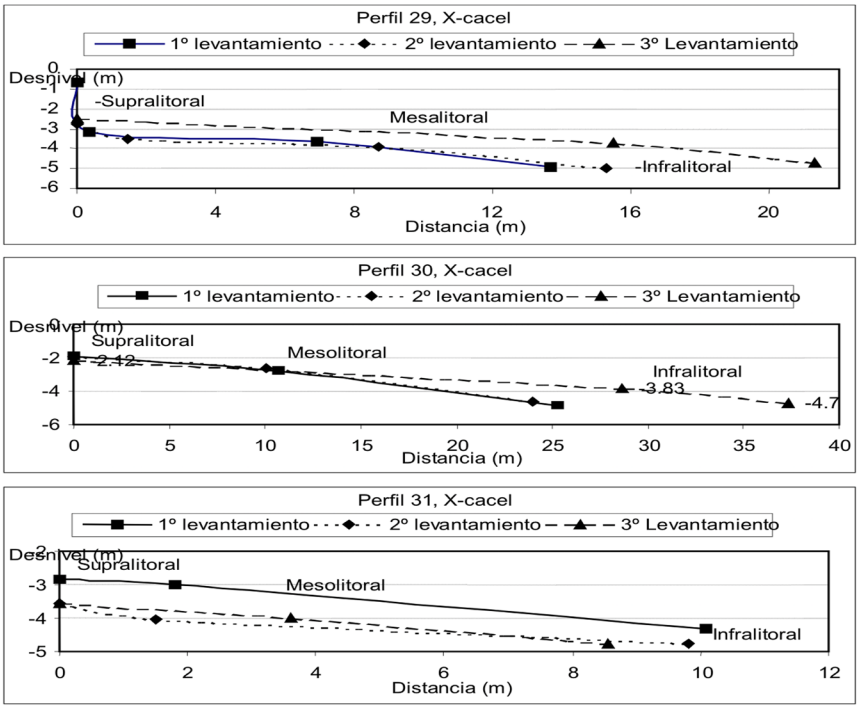


Fig. 12. Configuración de los perfiles de playa del 29 al 31, correspondientes a Paamul.

zona mesolitoral, con un aumento de metro y medio en su vertical y su longitud solo incrementó tres metros. Los perfiles 34 y 35 conservaron su misma morfoestructura en todos los levantamientos (Fig. 13).

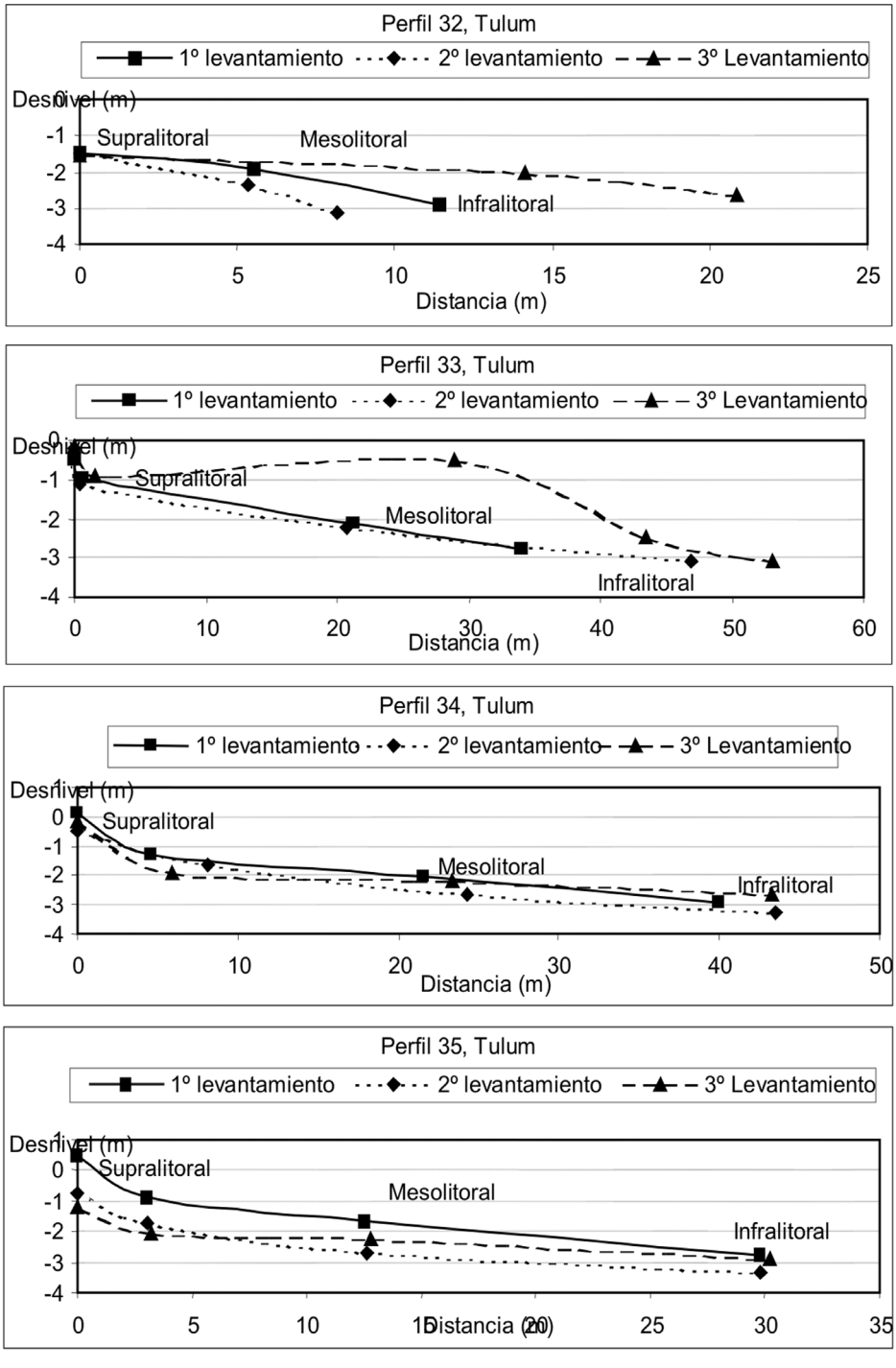


Fig. 13. Configuración de los perfiles de playa del 32 al 35, correspondientes aTulum

CONCLUSIONES

Los registros de los perfiles obtenidos y su respectiva comparación, generó información cuantitativa de los cambios en los niveles de arena, el análisis realizado en estos muestreos, no permiten concluir si los cambios en las playas corresponden a un ciclo estacional o interanual, o realmente están en un proceso continuo de erosión o acreción.

De acuerdo al estado erosivo de las playas y el nivel de ocupación urbana, las playas del Municipio Solidaridad pueden dividirse en cinco secciones:

Punta Maroma. Donde en general resultó apreciable una franja de playa de 45 m de ancho en promedio en su parte norte y de 10 m en su parte sur, siendo esta última la que presentó una duna poco desarrollada cuya altura no excedió un metro y la que reflejó mayores cambios en su franja de playa en la temporada de huracanes como fue en el muestreo de agosto.

Tres Ríos – Playa Esmeralda. Con una franja de playa emergida de 10 a 15 m, con una duna poco desarrollada de altura promedio de un metro. Aparecieron con frecuencia escarpes de erosión cortando la duna litoral, los que marcaron el retroceso de la línea de costa que progresivamente está ocurriendo en este tramo costero. En la temporada de huracanes (muestreo de agosto) esta zona aumentó su tamaño en la franja de costa pero disminuyó su altura de duna, lo que indicó un arrastre de arena de la zona supralitoral a la zona infralitoral de la playa.

Muelle Ultramarino - Muelle Fiscal (Playa del Carmen). Aquí se encuentra la zona hotelera de Playa del Carmen, con una alta densidad de ocupación de la costa, donde la franja de playa emergida rebasó los 30 m de ancho; sin embargo, existió una zona entre Calle 14 y el primer perfil del Muelle Fiscal, donde la franja de playa fue de tan solo 10 m de ancho en promedio y donde se han construido espigones y rompeolas con geotextiles, que han resultado insuficientes para controlar los procesos de erosión que allí ocurren.

Punta Venado - Xcacel. Con una franja de costa que va en promedio de 15 a 20 m de ancho y donde se observaron escarpes de erosión acompañados por amplias superficies rocosas que afloran en la zona intermareal. Se apreciaron escarpes de erosión de 0.30-0.50 m de altura en la zona de mesolitoral y supralitoral, lo que indicó una fuerte dinámica costera.

Tulum. En esta zona se observó un ancho de playa de 30 a 40 m con dunas de dos metros, observandose una zona de depósito en agosto después del huracán Emily, con un aumento en el tamaño de la duna sobre todo en la zona mesolitoral.

BIBLIOGRAFÍA

Sylvatica S. C. 2003. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular Tomo I, Proyecto Integral de Recuperación y Protección de Playas con EPC-KANAAB Litoral Norte, Punta Cancún, Quintana Roo, México: 252 p.

CAMBIOS EN EL TAMAÑO DE LOS SEDIMENTOS DE LAS PLAYAS DEL LITORAL DEL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD POR EFECTOS CLIMÁTICOS ESTACIONALES

CHANGES IN SEDIMENTS SIZE OF THE LITORAL BEACHES OF SOLIDARIDAD MUNICIPALITY DUE TO CLIMATIC SEASONS EFFECTS

Antonio Zoilo Márquez-García
Depto. de Hidrobiología, DBCS, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
azoilo@yahoo.com

Virginia Pérez-Aguilar
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
victoria_0217@hotmail.com

Erik Márquez-García
Instituto Nacional de la Pesca, SAGARPA. Laboratorio de Geomática
erik_marquez@yahoo.es

Zuelhen Florez Erazo,
Depto. de Hidrobiología, DBCS, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
zfecm@yahoo.com

Resumen: En la época de nortes del año 2004 y las épocas de secas y huracanes del 2005, se llevó a cabo un monitoreo de 12 playas del Municipio de Solidaridad en la Riviera Maya, colectándose por época cerca de 100 muestras de sedimentos en 35 perfiles de playa entre la zonas infralitoral, mesolitoral y supralitoral. Se determinó el tamaño de los sedimentos por el método de tamizado, Folk (1974). Los resultados muestran que las playas del municipio están formadas por arenas medias principalmente; en época de nortes existe un predominio de arenas medias resultado de la mezcla de sedimentos por la alta energía del oleaje y corrientes, comunes de esta época. En secas, se definen los tamaños de los sedimentos teniendo playas de baja energía al norte y sur del municipio con presencia de arenas finas; las arenas medias se presentan en playa del Carmen y arenas gruesas en Punta Venado y Paamul en la porción central del litoral del municipio. Las zonas infralitoral y mesolitoral son las áreas más afectadas; en las diferentes estaciones climáticas cambian los sedimentos, arenas muy finas en época de secas y arenas muy gruesas en nortes y época de huracanes. También, en época de huracanes las playas ubicadas al norte y sur del municipio presentan arenas finas como una evidencia de depósitos de sedimentos finos provenientes de la zona lagunar comprendida entre la zona arrecifal y la playa.

Palabras Claves: sedimentología, playas, cambios estacionales.

Abstract: Twelve beaches were monitored during the north fronts season of 2004, the Dry and Hurricane season of 2005 at the Solidaridad municipality in the Riviera Maya. Hundred samples of sediments for season were collected in 35 beach profiles between infralittoral, mesolittoral and supralittoral zones. The sediments size was calculated by the sieve method proposed by Folk, 1974. The results showed that beaches were formed mainly by medium size sand in the north fronts season, where a mixing of sediments occurs due to the high energy of the swell and littoral currents prevailing the medium size sand. During the dry season, the sizes of sediments were different, there were beaches with slow energy to the north and south of the municipality with fine sand. Playa del Carmen with medium size and coarse size sand as Punta Venado and Paamul in the central littoral part of the municipality. The infralittoral and mesolittoral zones are the most affected ones, showing changes during the climatic seasons; fine sand can be found on dry season and coarse sand during the north fronts and Hurricane season. However, on hurricane season, beaches on the north and south presented fine sands as evidence of fine sediment deposits from the lagoon between the beach and the reef zone.

Key words: sedimentology, beaches, seasonal changes.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la mayor parte de las playas de México y del mundo experimentan procesos de contaminación y erosión, causados por diferentes procesos como: el turismo, actividades náuticas recreativas, construcción de obras civiles (diques, espigones, rompeolas y ductos submarinos, etc.), huracanes, época de lluvias muy variantes y elevación del nivel del mar, entre otros (Salazar-Vallejo, 1998).

Krumbein y Sloss (1963) mencionan que los procesos que gobiernan la dinámica litoral son los cambios en el nivel del mar, la variación de aporte de sedimentos y los cambios de energía causados por el oleaje y corrientes que causan diferencias en el ancho, profundidad, pendiente y forma de las playas; así como, la textura de los sedimentos, los cuales varían durante las diferentes épocas del año, siendo las épocas de lluvias donde los cambios son más intensos principalmente por la frecuencia e intensidad de las tormentas.

En México, una gran parte de sus litorales han tenido modificaciones considerables, ya sea por problemas de erosión o depósito en otras, aunque la tendencia ha sido principalmente problemas erosivos causados por el incremento en intensidad y número de huracanes y tormentas tropicales que afectan a nuestro país.

La premura para revertir la perdida de playas, aunada a la falta de información sobre el medio marino, ha resultado en que al momento de implementar técnicas para la recuperación de playas, no tengan el éxito que se requiere; por lo que es necesario un estudio sistemático del aporte de sedimentos, de variación del nivel mar, de las condiciones oceanográficas y actividades antropogénicas

Las playas constituyen un límite natural entre el continente y el mar. De acuerdo con King (1972), la playa es la acumulación de material suelto alrededor del límite de la acción del oleaje. En sí, la playa es una de las zonas más dinámicas y es en la textura de los sedimentos donde queda registrado los cambios por efectos del oleaje y corrientes, que a su vez varían al modificarse el clima.

En este trabajo, se pretende determinar las variaciones del tamaño de los sedimentos de las playas del Municipio de Solidaridad en las épocas de nortes, secas y huracanes; asi como el tipo de sedimentos en las zonas supralitoral, mesolitoral y supralitoral para éstas mismas épocas.

METODOLOGÍA

Se hizo un muestreo de 12 playas del Municipio de Solidaridad: Punta Maroma, Tres Ríos, Capitán Lafitte, Playa Esmeralda, en el muelle fiscal, calle 14 y muelle ultramarino de Playa del Carmen, Punta Venado, Paamul, Akumal, X-cacel y Tulum. (Fig. 1, Tabla 1).

Los muestreos se realizaron en las épocas de nortes, secas y huracanes (noviembre del 2004, marzo del 2005 y agosto del 2005, respectivamente), colectándose alrededor de 100 muestras por época, aproximadamente.

Se colectaron sedimentos a lo largo de 35 perfiles topográficos de playa, tres en promedio por playa, en las zonas de: 1) infralitoral o infraplaya localizada por debajo de la zona de baja marea, 2) mesolitoral o mesoplaya localizada en la zona intermareal, 3) supralitoral o supraplaya que se encuentra por arriba del nivel de marea alta hasta un ambiente propiamente continental.

Se determinó el tamaño y la nomenclatura del sedimento por el método de tamizado de acuerdo a Folk (1974), (Tabla 2).

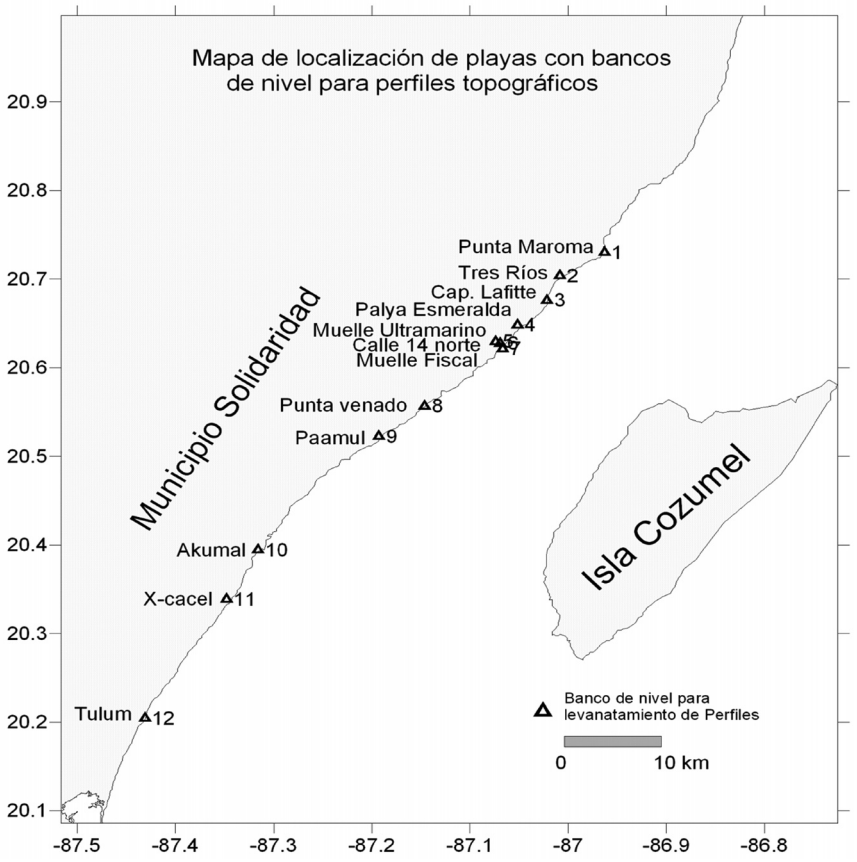


Fig. 1. Localización de las playas estudiadas en el Municipio Solidaridad.

Tabla 1. Localización geográfica de las playas estudiadas.

Playa	Estaciones de muestreo	Longitud W	Latitud N
Punta Maroma	1-9	86° 57' 47.3''	20° 43' 47.7''
Tres Ríos	10-15	87° 00' 31.0''	20° 42' 12.4''
Cap. Lafitte	16-24	87° 01' 18.1''	20° 40' 33.1''
Playa Esmeralda	25-33	87° 03' 06.2''	20° 38' 52.8''
Muelle ultramarino	34-42	87° 04' 26.9''	20° 37' 18.9''
Calle 14 norte	43-51	87º 04' 9.84''	20º 37' 38.6''
Muelle Fiscal	52-58	87° 04' 00.4''	20° 37' 40.3''
Punta Venado	59-67	87° 08' 46.9''	20° 33' 22.5''
Paamul	68-76	87º 11' 33.9''	20º 31' 19.7''
Akumal	77-85	87° 18' 57.0''	20° 23' 38.5''
X-cacel	86-94	87° 20' 53.0''	20° 20' 18.3''
Tulum	95-106	87° 25' 52.0''	20° 12' 14.9''

Tabla 2. Límites de parámetros granulométricos (modificado de Folk, 1974). Tamaño gráfico promedio.

Clasificación	Límites
Arena muy gruesa	-1 phi 0 phi (2 a 1 mm)
Arena gruesa	0 phi a 1 phi (1 a 0.5 mm)
Arena media	1 phi a 2 phi (0.5 a 0.25 mm)
Arena fina	2 phi a 3 phi (0.25 a 0.125 mm)
Arena muy fina	3 phi a 4 phi (0.125 a 0.625 mm)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación estacional de los sedimentos. El tamaño de los sedimentos de todas las playas del municipio de Solidaridad en las diferentes épocas de muestreo está representado en las gráficas de la figura 2. En estas gráficas se puede observar para el mes de noviembre del año 2004, correspondiente a la época de nortes (Fig. 2a), una predominancia de arenas medias (1 a 2 phi), como lo denota el polinomio de 5 grados representado en la gráfica, aunque se pueden notar otros tipos de arenas, como lo fueron: arenas finas (2 a 3 phi) en algunas estaciones entre las primeras 30 pertenecientes a las playas de Punta Maroma, Tres Ríos, Capitán Lafitte y Playa Esmeralda; Playa del Carmen representado por Muelle Ultramarino, calle 14 y Muelle Fiscal con arenas medias promedio; playas de Punta Venado y Paamul con arena gruesas (0 a 1 phi) y finalmente las playas de Akumal, X-Cacel y Tulum con arenas finas (2 a 3 phi).

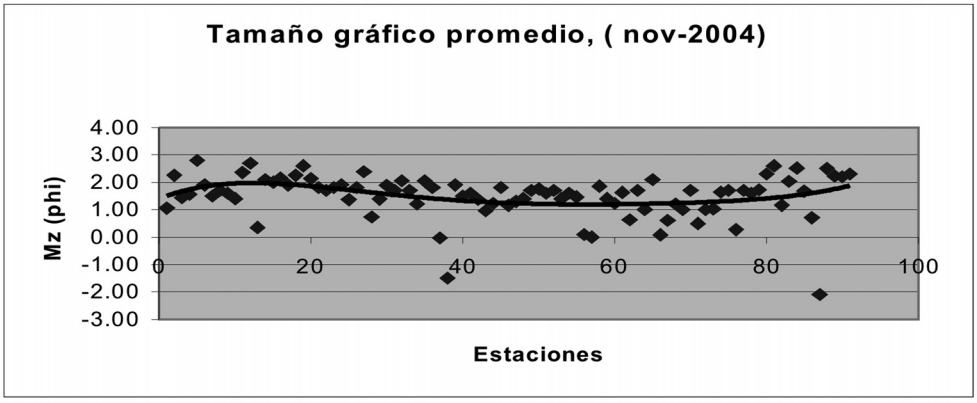
Para la época de secas, en marzo del 2005 (Fig. 2b), las playas de Punta Maroma, Tres Ríos, Capitán Lafitte, Playa Esmeralda (estaciones 1 a la 30) estuvieron compuestas por arenas medias y finas (de 1.5 a 2.5 phi), en Playa del Carmen se tuvo una transición de los tamaños de arenas medias en la playa del Muelle Ultramarino a arenas gruesas en el Muelle Fiscal (estaciones 43 a 58); Punta Venado y Paamul (estaciones 59 a 76), presentaron arenas gruesas (0 a 1 phi); Playa de Akumal (estaciones 77 a 85) con una variación de tamaños de arena desde muy finas hasta arenas gruesas (0.5 a 3.5 phi), finalmente las playas de X-Cacel y Tulum (estaciones 86 a 105) con arenas medias a finas (.5 a 2.5 phi).

En la época de huracanes, agosto del 2005 (Fig. 2c), las estaciones de la 1 a la 30 pertenecientes a las playas de Punta Maroma, Tres Ríos, Capitán Lafitte y playa Esmeralda fueron arenas finas y medias (1.5 a 2.5 phi), en playa del Carmen (estaciones 43 a 58) principalmente arenas medias (1 a 2 phi); Punta Venado y Paamul (estaciones 59 a 76) con arenas gruesas (0 a 1 phi); Akumal con una variación de arenas finas a gruesas y X-Cacel arenas medias y en Tulum arenas finas.

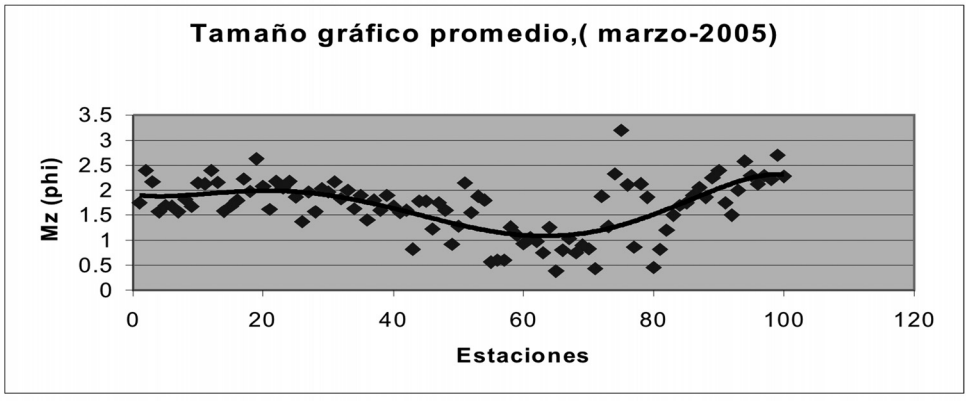
Distribución de los sedimentos en la zona infralitoral, mesolitoral y supralitoral.

Zona infralitoral: Se considera a esta zona donde el oleaje rompe directamente en la playa y la corriente litoral está presente por lo tanto se puede observar de acuerdo a la figura 3a, en la época de nortes una predominancia de arenas medias (68%) , seguidas de las arenas finas y gruesas en un 16 y 6%, respectivamente.

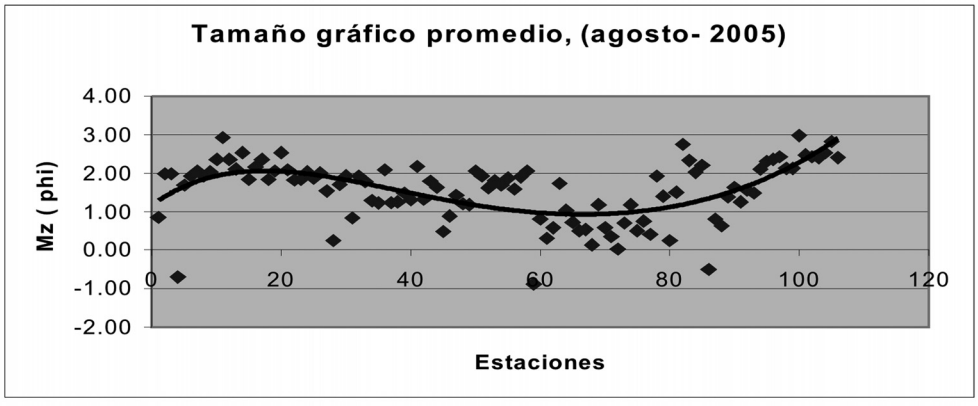
En época de secas, marzo del 2005 (Fig. 3b), la arena media disminuyó su porcentaje a un 61%



2a)



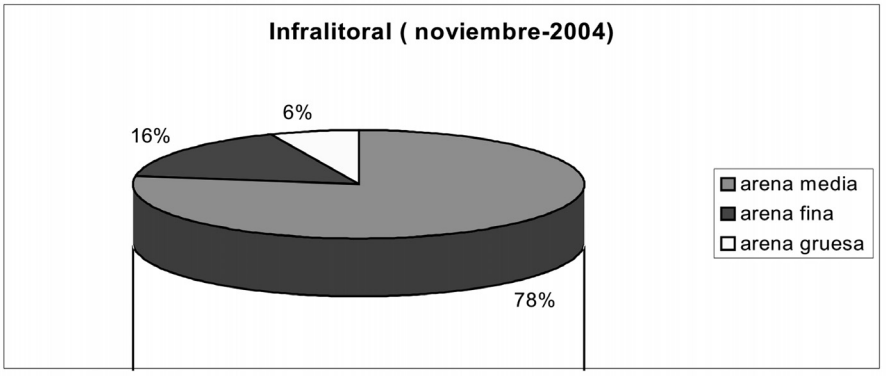
2b)



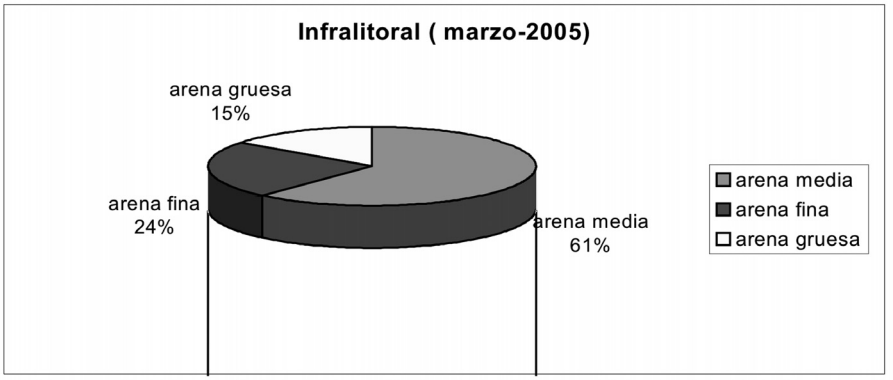
2c)

Fig. 2. Tamaño gráfico promedio de los sedimentos del Municipio Solidaridad a) nortes, b) seca y c) huracanes.

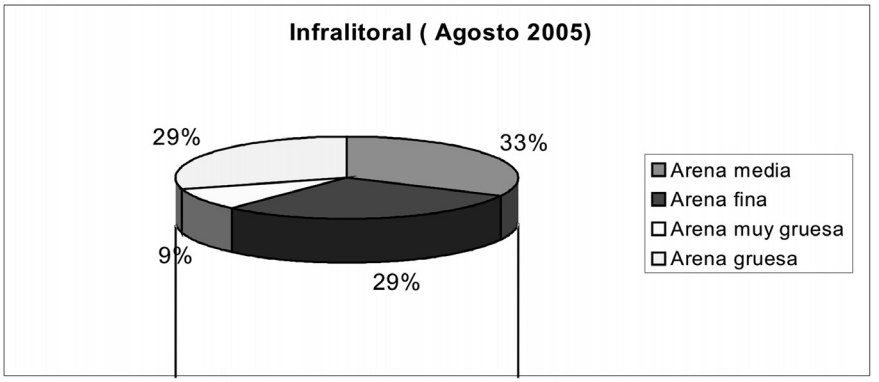
y la arena fina y gruesa aumentaron en un 24% y 15%. Finalmente en época de huracanes (Fig. 3c), la arena media disminuyó considerablemente hasta un 33% , la arena media llegó hasta un 29 % , la arena gruesa se incrementó igualmente hasta un 29 %, pero aparecieron arenas muy gruesas hasta de un 9 %.



3a)



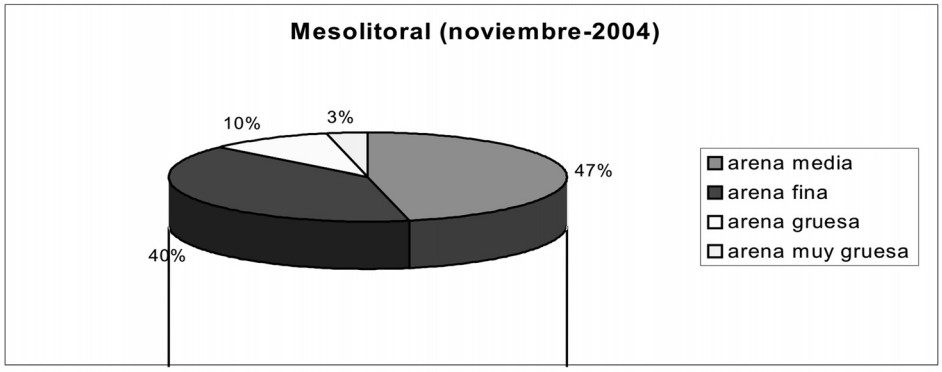
3b)



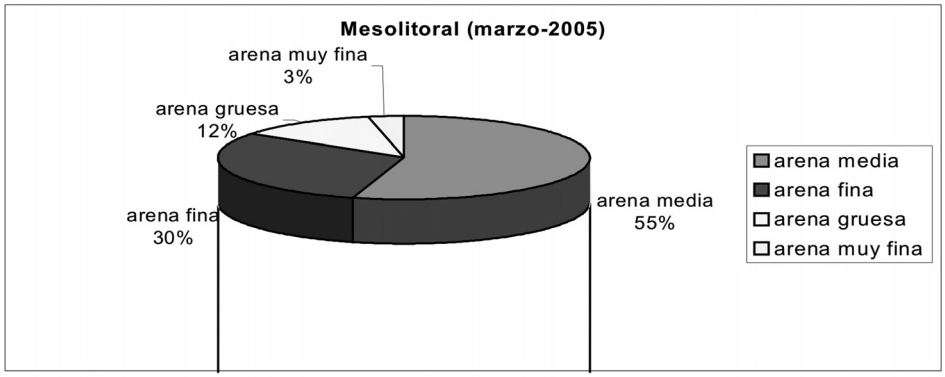
3c)

Fig. 3. Porcentaje del tamaño del sedimento en la zona infralitoral a) nortes, b) seca y c) huracanes.

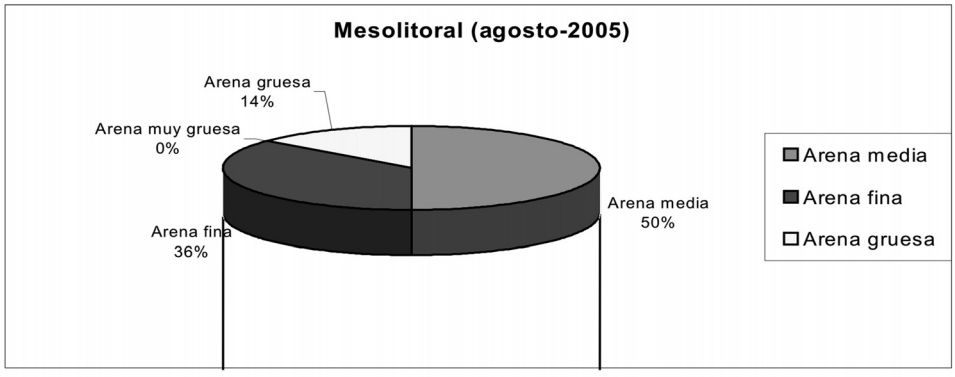
Zona mesolitoral: Está comprendida entre el límite de la supramarea e inframarea, propiamente lo que se conoce como playa, donde el oleaje y marea actúan, se nota para la época de nortes (Fig. 4a) un porcentaje como similar entre las arenas medias y finas, 47 % y 40%, respectivamente, arena gruesa en un 10% y de arena muy gruesa 35%.



4a)



4b)



4c)

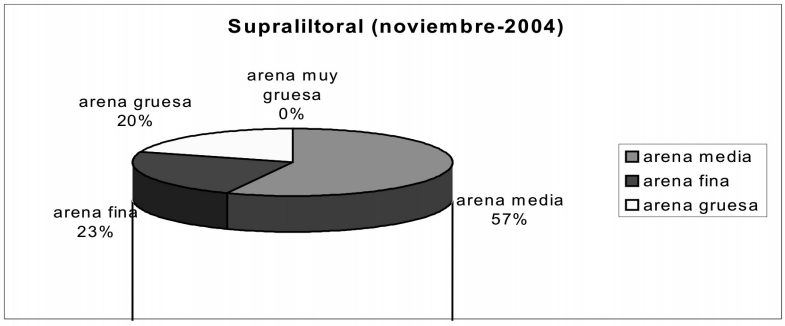
Fig. 4. Porcentaje del tamaño del sedimento en la zona mesolitoral a) nortes, b) seca y c) huracanes.

Para la época de secas (Fig. 4b) , se tuvo un incremento de la arena media hasta un 55 %, disminuyó la arena fina a un 30% y la arena gruesa se mantuvieron iguales que la época de nortes con un 12 %, pero lo más notorio es la desaparición de la arena muy gruesa y la aparición de la arena muy fina (3%).

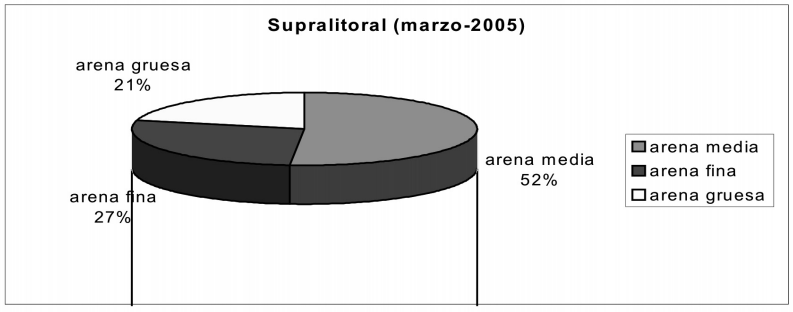
En huracanes (Fig. 4c), la arena media disminuyó llegando a un 50%, la arena fina aumentó a un 36% y la arena gruesa se mantuvo en un 14%.

Zona supralitoral: Se considera a la zona donde solo en tormentas llega el oleaje y mareas generalmente es la zona donde el viento actúa. Se puede observar para la época de nortes (Fig. 5 a) la predominancia de la arena media (57%), con un porcentaje de 23 y 20 % de arena fina y gruesa.

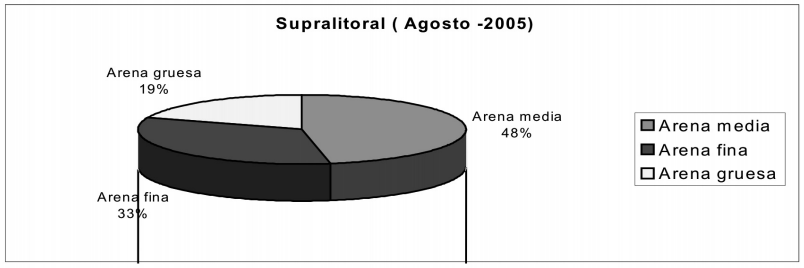
En época de secas, se mantuvieron igual los porcentajes de arena media, fina y gruesa (52, 27 y 21%, respectivamente) (Fig. 5b) y en época de huracanes (Fig. 5c) arena media y gruesa disminuyeron un poco y la arena fina aumentó hasta llegar a un 33%.



5a)



5b)



5c)

Fig. 5. Porcentaje del tamaño del sedimento en la zona supralitoral a) nortes, b) secas y c) huracanes.

Se observa una distribución de los tamaños de sedimentos gradual de finos a gruesos de norte a sur del litoral del municipio, teniendo arenas finas desde las playas de Punta Maroma, Tres Ríos, Capitán Lafitte y Playa Esmeralda; arenas medias en las playas de Playa del Carmen y arenas gruesas en Punta Venado y Paamul; partir de Akumal hacia Tulum los sedimentos cambian nuevamente hacia tamaños finos.

Esto puede indicar una baja energía del oleaje y corrientes en la zona norte del municipio quizás por la protección de la Isla de Cozumel; hacia el sur la energía del oleaje y corrientes es mayor incrementando la textura del sedimento donde la isla no está protegiendo; sin embargo, más al sur la energía del oleaje y corrientes vuelve a ser baja donde probablemente los arrecifes jueguen un papel importante en la disminución de la energía en esta zona.

Para la época de nortes se puede observar que las arenas medias dominantes fueron el resultado de una mejor mezcla de los sedimentos por la actividad de nortes; en el período de secas, se observó una diferencia de tamaños más finos al norte, gruesos al centro del municipio y nuevamente más finos hacia Tulúm, haciendo notorio las diferencias de energía del oleaje y corrientes litorales presentes. En la época de huracanes, la distribución fue muy parecida a la de secas, solamente que en la parte norte del municipio hubo una mayor dominancia de los tamaños finos al igual que en el sur del municipio, pero la parte central desde Playa del Carmen a X-Cacel los tamaños fueron más variables con la presencia de tamaños de sedimentos más gruesos propios de una época de mayor energía del oleaje y de las corrientes litorales, sobre todo por el efecto del Huracán Emily que había afectado el municipio dos semanas antes del muestreo de agosto del 2005.

Se puede notar más claramente que las arenas medias son las que predominan en todas las playas en las diferentes épocas y en las diferentes zonas. En la zona infralitoral se aprecia más claramente el efecto de las diferentes épocas climáticas, teniendo materiales más gruesos en la época de huracanes y nortes, a pesar de que se tiene también una arena fina provenientes de la zona mesolitoral.

La zona mesolitoral en época de secas refleja mejor las bajas energías del oleaje comunes en esta época con la presencia de arenas muy finas. La zona supralitoral, no presentó variaciones considerables en las tres épocas, lo que se observó fue` un aumento de las arenas finas en época de huracanes en las tres zonas. Esto puede deberse a que en esta época, los huracanes depositaron arena fina proveniente de la zona infralitoral, inclusive de la zona lagunar comprendida entre la playa y los arrecifes.

CONCLUSIONES

En general el Municipio Solidaridad, Quintana Roo, sus playas, principal recurso natural al que se asocia este desarrollo, experimentan cambios en la textura de sus sedimentos con respecto a los cambios climáticos estacionales. Los efectos de los nortes tienden a homogeneizar los tamaños de los sedimentos hacia las arenas medias, al mezclarse los materiales por las altas energías del oleaje y las corrientes litorales.

En secas, se observan las diferencias de energías del oleaje y corrientes, siendo baja en la parte norte y sur del municipio con presencia de arenas finas, incrementándose en Playa del Carmen con arenas medias y presentarse las zonas de mayor energía en Punta Venado y Paamul como lo indican las arenas gruesas.

La zona infralitoral y mesolitoral, son las más afectadas por las condiciones climáticas; la zona supralitoral en cuanto a la textura de los sedimentos su variación es mínima en las diferentes

épocas.

Los sedimentos proceden de la zona lagunar ubicada entre el arrecife y la zona litoral, y los huracanes o nortes se encargan de transportarlo a la playa, o bien a la zona arrecifal.

Es importante mencionar que los estudios de la dinámica litoral son necesarios para conocer los cambios que se presentan en la zona litoral, con el fin de determinar los efectos que se puedan tener en la ecología del área y en la actividad antropogénica, en este caso en la actividad turística vital en el desarrollo económico de esta región.

BIBLIOGRAFÍA

Folk, R. L. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks, 2nd ed. Hemphill . USA: 182 p.

King, Cuchlaine. A. M. 1972. Beaches and Coasts, 2nd ed., St. Martin press, New York, USA: 570 p.

Krumbein, W. C. y L. C. Sloss. 1963. Stratigraphy and Sedimentation. 2d ed. A Geology Series. W. H. Freeman company, San Francisco, USA: 660 p.

Salazar-Vallejo, S. I. 1998. Calentamiento global y efectos costeros. Ava. Cient. 25:10-20.

METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL ESTUDIO DE LA COMUNIDAD ARRECIFAL DE LAS PLAYAS DEL MUNICIPIO SOLIDARIDAD: GENERALIDADES

METODOLOGY USED TO STUDY THE CORAL REEF COMMUNITY OF THE SOLIDARIDAD MUNICIPALITY BEACHES: A GENERAL APPROACH

Claudia Padilla Souza
Centro Regional de Investigación Pesquera Puerto Morelos, Instituto Nacional de la Pesca
claudiapadilla@prodigy.net.mx

Resumen: Se describe la metodología utilizada para la evaluación de los cinco taxas principales estudiadoss en la comunidad arrecifal de las playas del H. Municipio de Solidaridad.

Palabras Claves: metodología, comunidades arrecifales.

Abstract: Description of methods for the evaluation of main five taxas studied at Solidaridad municipality reef community.

Key words: methodology, reef communities.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos que existen en el Caribe Mexicano han tenido una gran importancia para la economía del Estado de Quintana Roo. Las actividades que se realizan en el entorno a estos ambientes forman uno de los principales atractivos turísticos que se ofrecen a los visitantes de esta región. Dentro de estas actividades se encuentran el buceo, el snorkel, la pesca y más recientemente paseos en veleros, kayak, motos acuáticas, así como otros artefactos diseñados para tales fines.

Hasta hace algunos años, esta actividad turística se concentraba en la parte norte del estado, principalmente en Cancún y en la Isla de Cozumel. Sin embargo, en los últimos años, la zona denominada "Corredor Turístico Cancún-Tulúm" ha tenido un creciente desarrollo por la construcción de nuevos centros turísticos de muy diversos tipos, donde se incluyen algunos de grandes dimensiones. Este rápido crecimiento amenaza con destruir estos ecosistemas costeros, debido a que son ambientes de alta complejidad estructural y de frágil equilibrio ecológico.

Por este motivo es importante reglamentar y condicionar las actividades que se llevan a cabo en relación al desarrollo turístico, durante todas sus fases de implementación. Esto debe hacerse para garantizar el menor impacto posible antes, durante y después de la utilización de la zona costera como un recurso. Solamente si esta condición se cumple, entonces se podrán hacer compatibles las actividades de desarrollo y las de turismo, con las de conservación de los ambientes que están siendo utilizados.

Para esta finalidad se requiere emplear un instrumento que permita detectar cambios en el sistema arrecifal. Por lo tanto es necesario implementar un programa de monitoreo cuando se inicia alguna actividad antropológica que permita detectar posibles cambios de manera oportuna y evaluar la intensidad del daño ocasionado. Esto permitirá tomar acciones tendientes a amortiguar el impacto que pueda causar el desarrollo turístico en cualquiera de sus etapas.

El presente documento incluye la información obtenida en tres muestreos realizados dentro

del proyecto: "Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, México", considerando en ello el análisis de los cambios en los parámetros de la comunidad arrecifal, para gorgonáceos, peces, algas, corales escleractíneos y equinodermos. En este capítulo se presenta la metodología detallada que incluye a los cinco taxa.

Las formaciones arrecifales presentes en el Estado de Quintana Roo, han sido ampliamente estudiadas en diferentes aspectos, debido a su importancia ecológica, social y económica (Chávez e Hidalgo, 1988; Carricart-Ginvet y Horta-Puga, 1993; Tunnell et al., 1993).

En general, de toda la zona arrecifal del Caribe Mexicano se puede destacar la descripción de los corales pertenecientes a Milleporina, Stylasterina y Scleractinea (Horta-Puga, y Carricart-Gavinet, 1993); un análisis del potencial de uso (Jordán, 1988a) y el Atlas de los arrecifes y su caracterización (Jordán-Dahlgren, 1993a y b).

En aspectos sociales, también se ha evaluado el nivel de educación (en escuelas primarias y secundarias) a cerca de los arrecifes como una de las herramientas importantes en el manejo y conservación de los recursos naturales (Rodríguez-Martínez y Ortíz, 1999).

La flora marina del Caribe ha sido ampliamente estudiada, las investigaciones prácticamente se inician con la publicación de Sloane (1707) quien da una lista de las algas colectadas en Jamaica durante su viaje a las Indias Occidentales en 1667. A éste le siguen una serie de estudios ficológicos a lo largo y ancho del Caribe los cuales han sido resumidos por Taylor (1960). Díaz Piferrer (1969) resume la información disponible hasta 1968 sobre los géneros y especies de las algas bentónicas en el Atlántico americano con énfasis en los aspectos biogeográficos de la flora del Caribe.

En la costa de Quintana Roo los trabajos ficológicos son relativamente recientes y cubren aspectos de distribución de especies, entre ellos, se destaca el de Huerta (1958) quien presenta un listado de las algas recolectadas durante una expedición efectuada en mayo de 1955 a Isla Mujeres, Cozumel y los bajos de la Sonda de Campeche. También se han realizado estudios en la reserva de la biosfera de Sian Ka´an cuando fue visitada por la expedición Smithsonian-Bredin en 1960.

Los peces arrecifales del Caribe Mexicano han sido estudiados en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, particularmente en: Boca Paila, Punta Yuyum, Punta Allen, además de Mahahual, Xahuayxol y Xcalak. En las diferentes zonas, la riqueza de especies va de 28 hasta 66 especies. En general para la zona, se registran 134 especies correspondientes a 41 familias, principalmente de Labridae, Pomacentridae, Scaridae, Acanthuridae y Haemulidae. Dentro de las especies registradas como dominantes en los diferentes trabajos, se destacan: *Thalassoma bifasciatum, Acanthurus bahianus, A. coeruleus, Chromis cyanea, Halichoeres bivittatus, Haemulon plumieri, Scarus aurofrenatum, Lutjanus mahogoni y Caranx ruber.* Para los grupos tróficos de las especies se han encontrado a los carnívoros generalizados, herbívoros y piscívoros, como grupos principales (Salazar-Murguía et al., 1998; Arias-González et al. 2000; Almada-Villela et al., 2000; González-Salas et al., 2003; Núñez-Lara et al., 2003; Mumby et al., 2004).

METODOLOGÍA

La metodología general para la caracterización de la comunidad arrecifal de los cuatro taxa se realizó mediante el método de muestreo que han aplicado Amigos de Sian Ka'an y las Áreas Naturales Protegidas de Quintana Roo, para la caracterización, monitoreo y diagnóstico que se ha llevado a cabo en toda la costa del estado de Quintana Roo (García y Loreto 1996a, b; García, et al.,

1997; Gutiérrez, et al., 1991, 1993, 1994, 1995, 1996; Lara, et al., 1994, 1998; Loreto, 1998; Loreto, et. al, 2001; Padilla, et al., 1994, 2000; Vega y Loreto 2001).

Los métodos de caracterización se complementaron con la realización de videotransectos y foto cuadrantes para estimar la abundancia de morfotipos y su variación temporal, y para establecer las bases del monitoreo.

El primer muestreo se llevó a cabo del 7 al 12 de noviembre del 2004. Se trabajó en los principales arrecifes del área de estudio entre Punta Maroma y Tulúm. En cada sitio el muestreo se realizó a diferentes profundidades para abarcar las distintas subzonas estructurales del arrecife. Se muestreo en ocho sitios diferentes, realizándose un total de 17 inmersiones, lográndose obtener información en 34 transectos y en 34 videotransectos. El segundo muestreo se llevó a cabo del 7 al 10 de marzo del 2005. En esta ocasión se establecieron las estaciones de monitoreo en los sitios más representativos del área de estudio, con base en la prospección realizada en el muestreo anterior. De este modo, se establecieron un total de 12 estaciones de monitoreo, repartidas en 6 diferentes localidades, para tener representadas las diferentes subzonas que se encuentran en los arrecifes de cada localidad (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación de estaciones para estudio de la comunidad arrecifal

Localidad	Subzona	Profundidad (m)	Localización Geográfica
Punta Maroma	Arrecife Frontal Interior (AFI)	15	$20^0$43.385' N $86^0$57.520 W
	Transición Barlovento (TB)	12	$20^0$43.481' N $86^0$57.605' W
	Cresta Arrecifal Cr)	1.5	$20^0$43.570' N $86^0$57.822' W
Moc-che	Transición Barlovento (TB)	9	$20^0$38.417' N $87^0$02.904' W
	Cresta Arrecifal (Cr)	3	$20^0$38.451' N $87^0$03.119 W
Chun-zumbul	Transición Barlovento (TB)	9	$20^0$38.116' N $87^0$03.197' W
Jardines	Transición Barlovento (TB)	9	$20^0$37.495' N $87^0$03.780' W
Xaac	Arrecife Frontal Interior (AFI)	21	$20^0$26.117' N $87^0$16.622' W
	Transición Barlovento (TB)	12	$20^0$26.203' N $87^0$16.714' W
	Cresta Arrecifal (Cr)	1	$20^0$26.481' N $87^0$16.480' W
Tulum	Arrecife Frontal Interior (AFI)	21	$20^0$12.315' N $87^0$24.996' W
	Transición Barlovento (TB)	10	$20^0$12.400' N $87^0$25.180' W

Durante los días 17 al 20 de agosto del 2005 se llevó a cabo el tercer muestreo. En esta ocasión

se revisaron las estaciones de monitoreo que se establecieron en la salida de campo anterior.

Técnicas de muestreo: El muestreo se realizó mediante de transectos para estimar parámetros comunitarios al nivel de especie.

Los registros en campo se llevaron a cabo sobre transectos de 20 m, que sirvieron como referencia para anotar la presencia de organismos a un metro de distancia, teniendo así un área de muestreo de 20 m^2. Cada transecto consistió en una cadena de plástico de flotabilidad negativa con eslabones de 3.3 cm., marcada cada metro para facilitar el conteo de los organismos, según los métodos descritos por García y Loreto (1996; 1997), García-Beltrán *et al*. (1997), Gutiérrez *et al*. (1993; 1995), Lara y Padilla (1996); Lara *et al*. (1993), Loreto-Viruel y García-Beltrán (1997), y Padilla *et al*. (1994;19996).

Se estimaron los parámetros comunitarios necesarios para generar listados de especies, así como estimaciones de riqueza específica y abundancia (cobertura y/o densidad según el taxón).

El muestreo fue realizado con identificaciones "*in situ*", utilizando claves específicas: Para los escleractinios se usaron las claves y guías de campo Greenberg y Greenberg (1977), Castañares y Soto (1982), Zlatarsky y Martinez (1982), Colin (1988), Humann (1993a) y Veron (2000) Para gorgonáceos las claves de Bayer (1961), Bayer, *et al*. (1983) y Humann (1993a, b). Para equinodermos la guía de Humann (1993b). Para algas la clave visual de Llittler y Littler (1990). Para peces las claves de Chaplin (1972), Greenberg y Greenberg (1977), Stokes (1984) y Humann (1989), además de guías sumergibles para uso turístico. Cabe señalar que debido a que la identificación se llevó a cabo en campo, no se colectaron ejemplares vivos.

En cada transecto se registró la información por taxón, según se describe a continuación:

a) *Corales escleractineos*: El transecto de 20 m sirvió de referencia para tomar registro de los organismos que interceptaron la cadena. La información que se registró fue:

- Número de colonias por especie en el transecto.
- Número de eslabones que hacen contacto con cada colonia por especie, a partir de los cuales se designó la estructura de tallas.
- Forma de crecimiento de cada colonia: digitiforme, incrustante, masivo, ramificado.
- Condición del organismo de cada colonia: % de mortalidad antigua y reciente. Presencia de enfermedades (tipo de enfermedad, grado de blanqueamiento) o epibiontes.
- Número de corales pequeños (≤ 2 cm. de diámetro máximo) en el transecto.

b) *Gorgonáceos*: El transecto de 20 m sirvió de referencia para tomar registro de los organismos que se encuentran a medio metro a cada lado del transecto, para tener un área de muestreo de 20 m^2. La información que se registro fue:

-Número de colonias por especie en el transecto.

-Tamaño de cada colonia: altura máxima de las colonias erectas, y ancho de las incrustantes, a partir de las cuales se designó la estructura de tallas.

-Condición del organismo: Mortalidad parcial (%), enfermedad (tipo y %).

c) *Algas*: El transecpto de 20 m sirvió de referencia para colocar un cuadrante de 25 x 25 cm a cada 5 metros del transecto, teniendo 5 cuadrantes por transecto (0, 5, 10, 15, y 20). Cada cuadrante fue dividido en cuadros de 5 x 5cm, que es la unidad mínima de muestreo. La información que se registró fue:

-Número de cuadros de 5 x 5 por especie en cada cuadrante.

-Determinar el tipo de alga: carnosa, calcárea, coralina incrustante, filamentosa (tapete).

-Determinar el tipo de sustrato (plataforma o coral muerto).

-Determinar la altura promedio del dosel de las macroalgas presentes dentro de la cuadrícula.

d) *Equinodermos:* El transecpto de 20 m sirvió de referencia para tomar registro de los

organismos que se encontraron a medio metro a cada lado del transecto, para tener un área de muestreo de 20 m^2. La información que se registró fue:

Número de organismos por especie en el transecto.

Tamaño de cada organismo de la especie *Diadema antillarum.*

e) *Peces:* El transecto de 20 m sirvió de referencia para tomar registro de los organismos que se encuentran a medio metro a cada lado del transecto, para tener un área de muestreo de 20 m^2.

La información que se registró fue:

-Número de individuos por especie en transecto.

-Tamaño de los organismos (por categorías de tamaño: I: < 5 cm., II: 5-10, III: 10-20, IV: 20-30, V: 30-40, VI: >40 cm.).

-Grupo trófico al que pertenece cada especie.

-Muestreo estacionario: Se contó el número de individuos por especie que se visualizaron en 5 minutos (opcional).

-Abundancia.

En el caso de los gorgonáceos y los peces arrecifales se obtuvo una estimación de densidad con base en el número de colonias/individuos que se encontraron por metro cuadrado de área de muestreo. También se incluyó un listado de especies por taxa con un estimador de abundancia relativa por especie para cada una de las zonas de muestreo. Este estimador de abundancia relativa se presenta en categorías D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%)), de acuerdo con la frecuencia relativa (expresada en porcentaje) que cada especie obtuvo dentro de la muestra.

Diversidad: A partir de los datos de abundancia específica se obtuvieron dos estimadores de la diversidad por taxa para cada una de las zonas de muestreo: Riqueza específica e Índice de diversidad de Shanon-Wienner (H'); y una medida de la heterogeneidad a través del valor de Equidad (J').

Formas de crecimiento: Este parámetro se consideró para aquellos organismos arrecifales que crecen formando colonias, los cuales presentan un crecimiento indeterminado y cuyas formas de crecimiento pueden servir como indicadores de las condiciones ambientales a las cuales están sujetos. De esta manera se registró la forma de crecimiento de los escleractinios, con base en categorías para cada taxa, según se presenta a continuación. El análisis de este parámetro se muestra como un histograma de frecuencias por categoría de forma de crecimiento para todos los sitios de muestreo.

Escleractinios

Categoría	*Forma de crecimiento*
Dig	Digitiforme
Inc	Incrustante
Mas	Masiva
Ram	Ramificado

Estructura de tallas: El tamaño de las colonias se registró para los escleractinios, los gorgonáceos y los peces arrecifales con la intención de conocer la estructura de tallas de cada uno de estos taxa. Para ello, se utilizaron diferentes parámetros para estimar la talla; en el caso de los escleractinios se consideró el diámetro mayor de cada colonia, para los gorgonáceos se midió la altura máxima de cada colonia y para los peces se estimó la longitud total del cuerpo. El tamaño de los organismos se registró en clases de tamaño, para lo cual se definieron las categorías de talla para cada taxa que se

muestra a continuación. El análisis de estos datos se presenta como un histograma de frecuencias para cada taxa y por sitios de muestreo.

Clase de talla	Escleractinios	Gorgonaceos	Peces
I	<5 cm	<10 cm	<5cm
II	5-10 cm	10-30 cm	5-15 cm
III	10-20 cm	30-50 cm	15-25 cm
IV	>20 cm	>50 cm >	25 cm

Condiciones del organismo: El estado de conservación en el que se encontraron los organismos arrecifales se evaluó de manera cualitativa. Con esta finalidad se llevó a cabo el registro del daño que presentaba el tejido vivo de las colonias de los escleractinios y gorgonaceos, por ser estos los organismos más importantes debido a su papel ecológico y abundancia en la zona. Para ello se consideraron diferentes categorías de daño, dependiendo del taxa, según se explica a continuación. El análisis se presenta como un histograma de frecuencias relativas de categorías de daño por sitio de muestreo.

Escleractinios		Gorgonaceos	
Categoría	Condición del organismo	Categoría	Condición del organismo
Sana	Sin tejido dañado	Sana	Sin tejido dañado
Sedi	Tejido cubierto con sedimento	Daño	Tejido con algún tipo de daño
Blan	Tejido blanqueado	Enfe	Enfermedad (virus, nódulos, etc)
Epib	Con organismos epibiontes		

Grupos funcionales: Para los grupos de peces arrecifales y macroalgas se realizó un análisis de grupos funcionales. Para ello se consideró el tipo de alimentación en los peces para definir su grupo trófico, y el tipo de pigmento fotosintético presente en las algas, de acuerdo a la división a la que pertenecen taxonómicamente, según las categorías que se especifican a continuación. Se realizó un análisis de la distribución de frecuencias por taxa de acuerdo a los grupos tróficos para los peces y los grupos taxonómicos para las algas.

Peces arrecifales		Macroalgas	
Categoría	Grupo trófico	Categoría	Grupo taxonómico
Bento	Bentófago	Vcar	Clorofitas (verde) carnosas
Herbi	Herbívoro	Vcal	Clorofitas (verde) calcáreas
Ictio	Ictiófago	Roja	Rodofitas
Omni	Omnívoro	Café	Feofitas
Planc	Planctívoro	Ciano	Cianofita

Las categorías tróficas que se usaron para agrupar los peces arrecifales de acuerdo a sus hábitos alimenticios se definieron de la siguiente manera:

Planctófagos: Aquellos que se alimentan de cangrejos, camarones, estomatópodos, zoantarios y huevos de peces que forman el plancton.
Herbívoros: Los que tienen una dieta a base de algas y pastos marinos.
Bentófagos: Los que comen cangrejos, camarones, anélidos, gasterópodos, estomatópodos, peces.
Omnívoros: Aquellos que consumen algas, anélidos, peces, copépodos, gasterópodos, antozoos, tunicados, cangrejos, esponjas, equinodermos.
Ictiófagos: Los que se alimentan de peces.

BIBLIOGRAFÍA

AGRRA. 2000. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA). The AGRRA Rapid Assessment Protocol. http://www.agrra.org/method/methodhome.html, septiembre, 2006.

Almada-Villela, P., M. McField, P. Kramer, P. R. Kramer y J. E. Arias-González. 2002. Status of coral reefs of Mesoamerica-Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and El Salvador. In: Wilkinson, C. (Ed). Status of Coral Reefs of the World: 2002. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia (2002).

Almada-Villela, P. C., P. F. Sale, G. Gold-Bouchot,y B. Kjerfve. 2003. Manual de Métodos para el Programa de Monitoreo Sinoptico del SAM. Métodos Seleccionados para el Monitoreo de Parámetros Físicos y Biológicos para Utilizarse en la Región Mesoamericana. Documento Técnico Número 4 del SAM. Belice. http://www.mbrs.org.bz, agosto, 2006.

Arias-González, J. E., J. R. Garza-Pérez, C. F. González-Salas, C. González-Gándara, R.C. Hernández-Landa, N. Membrillo-Venegas, E. Nuñez-Lara, E. Pérez y M. A. Ruíz-Zaráte. 2000. Coral reef ecosystem research: towards integrated coastal management on the Yucatan Peninsula, Mexico. P. 39-50 In: Done T. and Lloyd D. (Eds.). Information management and decision support for marine biodiversity protection and human welfare: coral reefs. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.

Bayer, F. M. 1961. The shallow water octocorallia of the west Indian Region. Martinus Nijhoff. The Hague: 373 p.

Bayer, F. M, M. Grasshoff y J. Versevedt. 1983. Ilustrated trilingual glossary of morfologycal and anatomical terms applied to octocorallia. E. J. Brill/Dr. W. Backhuys. Leiden: 75 p.

Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en Mexico. P. 81-92 en Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González, (Eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D. F.

Castañares, L. y L. Soto. 1982. Estudios sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la península de Yucatán, México. I. Sinopsis taxonómica de 38 especies (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia). An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 9:295-344.

Chaplin, Ch. C. G. 1972. Fishwatchers guide to west-Atlantic coral reefs. Harrowood Books, Pennsylvania: 65 p.

Chávez, E. A. y E. Hidalgo. 1988. Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 15: 167-176.

Colin, P. I. 1988. Marine invertebrates and plants of the living reef. T.F.H. Publications, Inc. Ltd: 512 p.

Díaz-Piferrer, M. 1969. Distribution of the marine benthic algae flora of the Caribbean Sea. Caribbean Journal of Science, 9(3-4):151-178.

Done, T. J., R. A. Kenchington, y L. D. Zell. 1982. Rapid, large area, reef resource surveys using a manta board. 597-600. In Proc. Fourth Int. Coral Reef Symp, Manila.Vol. 2.

English, S., C. Wilkinson y V. Baker. 1997. Survey manual for tropical marine resources. Australian Institute

of Marine Science. Townsville, Australia, 2a. Ed. 2
García, G. y R. M. Loreto. 1996a. Arrecifes Coralinos de Cozumel. Caracterización y Recomendaciones de Manejo. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A. C. México.
García, G. y R .M. Loreto. 1996b. Caracterización de los Arrecifes de la Poza de Xcalak. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.
García, G., R. Loreto, y M. Lara. 1997. Caracterización de la Flora y Fauna Terrestre y Marina de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. 1ª. Campaña de trabajo. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.
García, G. y R. M. Loreto. 1997. Caracterización de arrecifes de Isla Cozumel. Am. de Sian Ka´an, A. C. Rep. Int. México.
García-Beltrán, G. y R. M. Loreto-Viruel. 1996. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo, efectos del huracán Roxana en la comunidad arrecifal. Quinto Informe. Amigos de Sian Ka'an. México.
García-Beltrán, G., M. Lara-Pérez-Soto y R. M. Loreto-Viruel. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Reporte preliminar correspondiente a la campaña del 21 de abril al 13 de mayo de 1997. Amigos de Sian Ka'an: 71 p.
González-Salas, C., E. Nuñez-Lara, M. A. Ruiz-Zarate, R. Hernández-Landa, J. E. Arias-González. 2003. Condition of coral reef ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico (Part 3: juvenile reef fishes). P. 598-608 In: Lang, J. C. (Ed.). Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. Atoll Research Bulletin, USA: No. 496
Greenberg, J. y I. Greenberg. 1977. Guide to corals and fishes of Florida. The Bahamas and The Caribbean. Seahawk Press. Miami. Florida: 64 p.
Gutiérrez, D., M. Lara y C. Padilla. 1991. Los Arrecifes Coralinos de Sian Ka'an. Boletin Amigos de Sian Ka'an No. 9:12-13.
Gutiérrez, D., C. García-Sáez, M. Lara, C. Padilla, J. Pizaña y R. Macías 1993. Caracterización de los arrecifes coralinos de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka´an. Ser. Doc. Am. de Sian Ka´an, A.C. (Ed.). Dic. 1:1-47.
Gutiérrez-Carbonell, D. y J. E. Bezaury-Creel. 1993. Manejo del sistema arrecifal de Sian Ka'an. p. 772-786. En Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González, (Eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D. F.
Gutiérrez-Carbonell, D. y C. García-Saez. 1993. Arrecifes Coralinos de Sian Ka'an. Informe final: Caracterización y propuesta de Manejo. Biocenosis, UNAM, Amigos de Sian Ka'an, A.C. México: 120 p.
Gutiérrez-Carbonell, D., C. García-Saez y J. E. Bezaury-Creel, 1993a. Arrecifes coralinos de la reserva ecológica marina del municipio Solidaridad. Caracterización y propuesta para el manejo. Informe final. Amigos de Sian Ka'an, A.C., UNAM, Biocenosis. México: 78 p.
Gutiérrez-Carbonell, D., C. García-Saez, M. Lara-Pérez-Soto, C. Padilla-Souza, F. J. Pizaña-Alonso y R. Macías-Ordóñez, 1993a. Caracterización de los arrecifes coralinos de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Q. Roo. Sian Ka'an Serie de Documentos 1:1-47.
Gutiérrez-Carbonell, D., C. García-Saez, M. Lara-Pérez-Soto, C. Padilla-Souza, y F. J. Pizaña-Alonso. 1993b. Monitoreo de arrecifes. Primer Informe. Amigos de Sian Ka'an. UNAM. Biocenosis. México: 57 p.
Gutiérrez, D., T. Camarena, G. García-Beltrán y J. E. Bezaury-Creel. 1995. Arrecifes coralinos de Quintana Roo. Puerto Aventuras-Punta Petempich. Caracterización y propuesta para el manejo. Informe Final. Biocenosis, Amigos de Sian Ka'an, A.C. México.
Gutiérrez, D., T. Camarena, G. García-Beltrán, y J. E. Bezaury-Creel. 1995. Arrecifes coralinos de Quintana Roo. Puerto Aventuras-Punta Petempich. Caracterización y propuesta para el manejo. Informe Final. Biocenosis, Amigos de Sian Ka'an, A.C. México.
Gutiérrez, D., G. García, R.M. Loreto y T. Camarena. 1995. Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor Cancún-Tulum, Quintana Roo, México. En Sian Ka´an, Ser. Doc. Am. de Sian Ka´an, A. C. (Ed.). Dic. 4:3-39.

Gutiérrez D, G. García, M. Lara, C. Padilla y R.M. Loreto. 1996. Los Arrecifes Coralinos del Sur de Quintana Roo. Sian Ka'an. Serie de Documentos. No.6. México.

Huerta, M. L. 1958. Contribución al conocimiento de las algas de los bajos de la Sonda de Campeche, Cozumel e Isla Mujeres. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México. 9:115-123.

Horta-Puga, G. y J. P. Carricart-Ganivet. 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. P. 64-78 en Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González, (Eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D.F.

Humann, P. 1989. Reef fish identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. USA: 267 p.

Humann, P. 1993a. Reef coral identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. USA: 239 p.

Humann, P. 1993b. Reef creature identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. USA: 320 p.

Jordán, E. 1988a. Arrecifes coralinos del Caribe Mexicano: Su potencial de uso. Informe final, CONACYT-UNAM, México: 200 p.

Jordán-Dahlgren, E. 1993a. Atlas de los Arrecifes Coralinos del Caribe Mexicano. Volume 1. El sistema continental. ICMyL-UNAM/CIQRO, México, D. F.

Jordán-Dahlgren, E. 1993b. El ecosistema arrecifal coralino del Atlántico Mexicano. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural No.44:157-175 (Diversidad Biológica de México).

Lara, M., C. Padilla y R. Muñoz. 1993. Valoración ecológica de la comunidad bentónica de Isla Contoy. Programa de Manejo. Reserva Especial de la Biosfera Isla Contoy. SEDESOL, Amigos de Sian Ka'an, A.C. México.

Lara, M., C. Padilla, J. J. Espejel, y C. García. 1994. Coral Reefs of Veracruz, Mexico. I. Zonation and community structure. P. 535-544 In: Proceedings of the VII International Coral Reef Symposium. Mangilao, GUAM. Vol. 1.

Lara, M. y C. Padilla. 1996b. Efecto del tamaño de las colonias en el crecimiento de *Acropora palmata* en Puerto Morelos, Q. Roo. México. Hidrobiológica, 6:17-24.

Lara, M., C. Padilla, R. M. Loreto y A. Loreto. 1998. Propuesta de ordenamiento ecológico, pesquero y turístico para los arrecifes del Centro de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Reporte técnico.

Littler D., M. Littler, K. Bucher y J. Norris. 1990. Marine plants of the Caribbean. Smithson. Inst. Press, Washington, USA: 263 p.

Loreto-Viruel, R. M., y G. García-Beltrán. 1997. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo. Séptimo Informe. Amigos de Sian Ka'an. México.

Loreto, R. M. 1998. El efecto de los Huracanes en los Arrecifes Coralinos. Amigos de Sian Ka'an. Boletín 17, 1998.Amigos de Sian Ka'an 1992-2000. Monitoreo de Arrecifes de Sian Ka'an. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A. C. México.

Loreto, R., M. Lara, G. García y A. Vega. 2001. Caracterización de Arrecifes Coralinos de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. Mëxico.

Mumby, P., A. J. Edwards, J. E. Arias-González, K. C. Lindeman, P. G. Blackwell, A. Gall, M. I. Gorczynska, A. R. Harborne, C. L. Pescod, H. Renken, C. C. Wabnitz, G. Llewellyn. 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. Nature*,* 427:533-536.

Nuñez-Lara, E., C. González-Salas, M. A. Ruíz-Zárate, R. C. Hernández-Landa y J. E. Arias-González. 2003. Condition of coral reef ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico (Part 2: reef fishes). P. 318-337 In: Lang, J. C. (ed.). Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. Atoll Research Bulletin, USA: 496 p.

Padilla, C., D. Gutiérrez, M. Lara y García C. 1994. Coral Reefs of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. Proc. 7th. Int. Coral Reef. Symp. Guam,Vol. 2:986-992.

Padilla, C. y M. Lara, 1996. Effect of colony size on the growth of *Acropora palmata* in Puerto Morelos, Quintana Roo, Mexico. Hidrobiologica, 6(1/2):17-24.

Padilla, C., M. García, y Lara, M. 2000. El uso del buceo en el muestreo de comunidades bentónicas. En Granados Barba, A., V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (Eds.). 2000. Métodos de muestreo en la Investigación Oceanográfica. 17 Capítulos. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México: 448 p.

Reef Check. 2001. Reef Check Survey Instruction Manual. http://www.reefcheck.org/methods.htm

Rodriguez-Martinez, R. y L. M. Ortiz. 1999. Coral reef education in schools of Quintana Roo, México. Ocean Coast. Manage. 42:(12) 1061-1068.

Salazar-Murguía, R., C. González-Salas, J. E. Arias-González. 1998. The effects of protected and unprotected areas along the Caribbean coast of Mexico on the structure of coral reef fish communities. Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst. 50:354-371.

Sloane, H. 1707-1725. Submarine plants. P .49-64 In: A voyage to the Islands Madera, Barbados, Nieves, St. Christophers and Jamaica, with the natural history of the herbs and trees, four-footed beasts, fishes, birds, insects, reptiles, etc., of the last of this islands. Vol. 1: vi-264, 156 and 4 pls., 1707, Vol. 2: xviii and 409 pp., 157-274 and 11 pls. London, Inglaterra.

Stokes, F. J. 1984. Divers and snorkelers guide to the fishes and sea life of the Caribbean, Florida, Bahamas and Bermida. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia Publisher. USA: 160 p.

Taylor, W. R. 1960. The marine algae of the eastern tropical and subtropical coast of the Americas. The University of Michigan Press, Ann Arbor, USA: 870 p.

Tunnell, J. W., A. A. Rodríguez, R. L. Lehman y C. R. Beaver. 1993. An ecological characterization of the southern Quintana Roo Coral Reef System. Center for Coastal Studies Texas A y M University, Corpus Christi, Texas, USA.

Vega, A. y R. M. Loreto. 2001. Monitoreo de Arrecifes Coralinos de Xcalak, Quintana Roo, México. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

Veron, J. 2000. Corals of the World. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia. Vol. 1-3.

Zlatarski, V. N. y N. Martinez. 1982. Les Scléractiniaires de Cuba avec des donnés sur les organismes associés. Académie Bulgare des Sciences. Sofia, Bulgaria. 471 p.

FITOPLANCTON EN LOS AMBIENTES ACUÁTICOS DE LA RIVIERA MAYA, QUINTANA ROO

PHYTOPLANKTON IN THE AQUATIC ENVIRONMENTS OF THE RIVIERA MAYA, QUINTANA ROO

José Luis Moreno Ruíz
Instituto de Biología, Departamento de Zoología, Laboratorio de Hidrobiología, UNAM
gdlle@servidor.unam.mx ó gdlle@ibiologia.unam.mx

Resumen: Como resultado de la escasa información existente sobre el fitoplancton de los ambientes acuáticos de la Riviera Maya, se realizaron tres periodos de muestreo en el área marina adyacente y en los cenotes, entre noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005, para conocer su composición, distribución, abundancia y su variación espacio-temporal. En el ambiente marino las algas microscópicas, señalaron la mayor riqueza (12), abundancia (45 células /mL) y diversidad (3.175 bits/ind.) en la época de sequía. Por su amplia distribución en el período de lluvias, sobresalieron las dos especies *Gymnodinium* cf. *verruculosum* y *Thalassionema frauenfeldii*, así como *Thalassionema nitzschioides* var. *nitzschioides* en la época de sequía. *Cyclotella meneghiniana* en los cenotes en la época de sequía. En las estaciones marinas de la Riviera Maya, aunque con una menor frecuencia, sobresalieron las seis especies marinas: *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima, Prorocentrum minimum, Prorocentrum mexicanum, Karenia brevis, Pseudo-nitzschia delicatissima* y *Prorocentrum lima* (especies características de mareas rojas), quienes señalaron la existencia de áreas factibles para su desarrollo.

Palabras Claves: Fitoplancton, Riviera Maya distribución, Cenotes.

Abstract: As a result of scarcity information on phytoplankton in aquatic environments from the Riviera Maya, between November 2004, March and August 2005, three sampling periods where made in the adjacent marine area and in the cenotes, The main objectives were to know composition, abundance, distribution and spatial and temporal variation of phytoplankton. The marine area showed one environment that allows the microscopical algae development with high richness (12), abundance (45 cells/mL) and diversity (3.175 bits/ind.) in dry season. Due to its wide distribution, during the rainy season, the two species *Gymnodinium* cf. *verruculosum* and *Thalassionema frauenfeldii* were prominent, as *Thalassionema nitzschioides* var. nitzschioides was in the dry season, and *Cyclotella meneghiniana* in the cenotes in dry season. At the marine sampling stations of Riviera Maya with low frequency, six marine species: *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima, Prorocentrum minimum, Prorocentrum mexicanum, Karenia brevis, Pseudo-nitzschia delicatissima* and *Prorocentrum lima* (red tide indicator species) were present, indicating potential areas for its development.

Key words: phytoplankton, Riviera Maya distribution, Cenotes.

INTRODUCCIÓN

Existen algunos antecedentes dispersos de las algas del plancton registradas en la zona costera de la Riviera Maya por Troccoli-Chinaglia y Herrera-Silveira (1999), así como en los cenotes por Díaz-Arce y Herrera-Silveira (1998), Herrera-Silveira et al. (1998a-b) y Díaz-Arce et al. (1999); todos ellos en comunicaciones presentadas en congresos; en contraste con un trabajo de Schmitter-Soto et al. (2002) sobre la Riviera Maya. Por lo que es escaso el estudio del fitoplancton en ambos casos.

Por lo anterior, el objetivo fue determinar la composición, distribución y abundancia del fitoplancton de la Riviera Maya y cuatro cenotes, así como las asociaciones fitoplánctica con las variables abióticas en tres muestreos: en noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005.

METODOLOGÍA

Para el estudio del fitoplancton se recolectó agua con una botella van Dorn de dos litros de capacidad; se tomó una muestra en frascos de plástico de 250 ml, a los que se adicionó lugol como preservador. Posteriormente se realizaron los análisis cualitativos y cuantitativos por medio del vaciado de dos mililitros de cada muestra en una cubeta de sedimentación y para su conteo e identificación se empleó el fotomicroscopio invertido Leitz Wetzlar/Diavert y el barrido de transectos diametrales (Moreno-Ruiz 2003).

Para determinar a los taxa microalgales, obtención de datos de su forma de vida, hábitat y estructura, se consultaron las obras referidas por Ferrario et al. (2002), Moestrup (2002) y Moreno-Ruiz (2000 y 2005).

La clasificación de la salinidad en el agua de los cenotes, marina y de agua dulce, se realizó de acuerdo al Sistema de Venecia, segun Caljon (1983) y Moreno-Ruiz (2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estaciones de muestreo en el ámbiente marino: En el área marina, sobresalieron 61 especímenes fitoplánctico, con 39 bacilariofitas a una clorofita en noviembre (Tabla 1); así como 43 especimenes con: 31 bacilariofitas a una clorofita en agosto. Lo que reveló parte de la sucesión de algas microscópicas que se presentaron en el área de estudio, donde existió la mayor riqueza de especies entre las bacilariofitas seguida por las dinofitas. La riqueza fue alta al compararla con la de los cenotes (3-18), pero baja con la que se ha registrado en la zona costera yucateca aledaña de Dzilam de Bravo (174) por Troccoli-Chinaglia y Herrera-Silveira (1999). Lo que mostró al área marina como un ambiente propicio para el desarrollo de las algas plánctica.

Las variables cualitativas y cuantitativas mostraron el menor número de taxones (uno) en las estaciones: Punta Maroma 50 m y Tres Ríos 5 m (Tabla 1) en noviembre; Tres Ríos 100 m en marzo; así como en las seis estaciones: Punta Esmeralda a Playa Maya Tulúm 5 m en agosto. En contraste, el mayor número de taxa (12) que se registró en la estación Tres Ríos 100 m en noviembre (Tabla 1).

La abundancia fue heterogénea, ya que se presentó entre una célula/mL en las estaciones Punta Maroma 50 m y Tres Ríos 5 m en el muestreo de noviembre, en Tres Ríos 100 m en marzo, así como Punta Esmeralda 50 m en agosto (Tabla 1). De manera opuesta, la mayor abundancia de 45 células/mL se registró en la estación Punta Esmeralda 5 m en noviembre. Por su mayor densidad (45 células/mL) destacó *Oscillatoria* cf. *erythraea*, quien tuvo la mayor importancia o dominancia (6.1), en contraste con: *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* (11 células/mL, dominancia 3.6) a *Oxyrrhis marina* (seis células/mL, dominancia 0.5) también en noviembre, *Chaetoceros socialis* (seis células/mL, dominancia 2.1) en agosto que se diferenció de la asociación *Pyrodinium bahamense-Licmophora* sp. referida para la zona costera aledaña de Dzilam de Bravo (Troccoli-Chinaglia y Herrera-Silveira 1999), lo que fue indicativo de la sucesión de especies que se realiza en el área de estudio.

Las oscilaciones de la abundancia, revelaron un ambiente oligotrófico con base en la baja densidad registrada (3-45 células/mL) en noviembre, marzo y agosto. Esta oligotrofia se corroboró al comparar los datos del presente estudio con los de la alta abundancia (≥969 células mL-1) mencionada por Troccoli-Chinaglia y Herrera-Silveira (1999). La baja abundancia de células registrada en la zona marina, es indicativa de que aún no se presentan problemas de florecimientos

Tabla 1. Comparación de datos fitoplánctico procedentes de la literatura y zona costera de la Riviera Maya (<=valor menor, >=valor mayor).

Troccoli-Chinaglia y Herrera-Silveira (1999), zona costera	Este estudio (noviembre 2004), zona costera	Este estudio (marzo 2005), zona costera	Este estudio (agosto 2005), zona costera
NÚMERO DE TAXA TOTALES			
174	61	44	43
	39 bacilariofitas, 15 dinofitas, dos cianoprocariotas, dos crisofitas, dos criptofitas y una clorofita	33 bacilariofitas y 11 dinofitas	31 bacilariofitas, 10 dinofitas, una cianoprocariota y una clorofita
NÚMERO DE TAXA POR ESTACIONES DE MUESTREO			
	1-12	1-9	1-3
ESTACIONES DE MUESTREO CON EL MENOR NÚMERO DE TAXA			
	Punta Maroma 50 m y Tres Ríos 5 m	Tres Ríos 100 m	Punta Esmeralda 50 m, Xcaret 100 m Superficie, Xcaret Radial Centro, Calica Sur 50 m, Puerto Aventuras 100 m, y Playa Maya Tulúm 5 m
ESTACIONES DE MUESTREO CON EL MAYOR NÚMERO DE TAXA			
	Tres Ríos 100 m (12)	Muelle Fiscal 5 m (9)	Mayacobá 5 m y Puerto Aventuras 5 m (8)
CÉLULAS/mL EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO			
	Punta Maroma 50 m y Tres Ríos 5 m (1); Tres Ríos 100 m (12)	Tres Ríos 100 m (1)	Xcaret 100 m superficie, Xcaret Radial Centro, Calica Sur 50 m, Puerto Aventuras 100 m y Playa Maya Tulúm 5 m (1)
CÉLULAS/mL ENTRE LAS ESPECIES			
Dinofitas: *Pyrodinium bahamense, Prorocentrum lima;* Bacilariofitas: *Chaetoceros compressus, Nitzschia longissima* y *Licmophora* sp. (969-7,260)	*Oscillatoria* cf. *erythraea, Thalassionema nitzschioides* var. *parva, Oxyrrhis marina, Guinardia flaccida, Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima, Thalassionema bacillaris, Pyramimonas* cf. *micron* (6-45)	*Leptocylindrus minimus, Gymnodinium* cf. *verruculosum, Cyclophora tenuis, Skeletonema pseudocostatum, Thalassionema frauenfeldii, Thalassionema nitzschioides* var. *capitulata* y *Thalassionema nitzschioides* var. *claviformis* (3-4)	*Oscillatoria* cf. *erythraea, Chaetoceros socialis, Aulacoseira granulata* var. *angustissima* f. *angustissima* y *Gymnodinium* cf. *verruculosum* (3-18)

ÍNDICES DE DIVERSIDAD (H' EN BITS/IND			
	NO=1-12 H´=0.436-3.175 J=0.218-1.000	NO=1-9 H´=1.0-3.022 J=0.832-1.000	NO=1-8 H´=0.918-2.999 J=0.527-1.000
H´ ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO)			
	<Punta Esmeralda 5 m; >Tres Ríos 100 m		
J´ ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO			
	<Punta Esmeralda 5 m;>Muelle Fiscal 100 m-Muelle Fiscal 50 m, Xcaret Radial Centro	>Punta Maroma 50 m-Punta Maroma 5 m, Tres Ríos 50 m-Tres Ríos 5 m, Mayacobá 50 m, Mayacobá 5 m, Punta Esmeralda 100 m Superficie, Muelle Fiscal 50 m, Xcaret 50 m, Xcaret Radial Centro, Xcaret Estanque de Delfines, Calica Sur 50 m, Akumal 100 m, Xcacel 50 m y Playa Maya Tulúm 5 m	>Punta Maroma 50 m, Punta Maroma 5 m, Tres Ríos 100 m, Mayacobá 100 m Superficie, Mayacobá 50 m, Mayacobá 5 m, Punta Esmeralda 100 m Superficie, Av. Constituyentes 50 m, Av. Constituyentes 5 m, Muelle Fiscal 100 m, Xcaret 50 m, Xcaret Estanque de Delfines, Calica Sur 5 m, Akumal 100 m, Akumal 50 m, Xcacel 100 m, Xcacel 5 m y Playa Maya Tulúm 50 m

indeseables, si se considera que 138/células mL en ambientes costeros y marinos proporcionan indicios de eutroficación (Licea y Santoyo 1991).

Las fluctuaciones de la abundancia, trascendieron en la diversidad, ya que el índice de Shannon y Wiener tuvo valores heterogéneos, con la menor diversidad (0.436 bits/ind.) en la estación Punta Esmeralda 5m y la mayor (3.175) en la estación Tres Ríos 100 m (Tabla 1) ambos valores se registraron en noviembre. No obstante, con mayor homogeneidad, la equitatividad mostró valores desde 0.218 en la estación Punta Esmeralda 5 m en noviembre, hasta 1.0 entre las tres estaciones: Muelle Fiscal 50 m a Xcaret Radial Centro en noviembre; las 15 estaciones: Punta Maroma 50 m a Playa Maya Tulúm 5 m en marzo y las 18 estaciones: Punta Maroma 50 m a Playa Maya Tulúm 50 m en agosto (Tabla 1). En general, fue notable que los mayores valores de riqueza, abundancia y diversidad se presentaron en las estaciones marinas, lo que mostró a un ambiente estable para el desarrollo del fitoplancton (Wilhm y Dorris 1968 y Mason 1993, Moreno-Ruiz 2000), a pesar de la limitación por nitrógeno de acuerdo a Contreras- Espinosa et al. (1996) cuyos valores de la relación Nt:Pt fueron mayores en el mar (0.41-2.29) en contraste con los de los cenotes (0.22-1.13).

Con base en su hábitat, resaltaron cuatro grupos fitoplánctcos: el primero, se integró por seis taxones de agua dulce de condiciones oligohalinas y que pudieron ser transportados por descargas de aguas continentales. Entre esas especies destacaron *Cryptomonas* cf. *ovata* var. *curvata* y *Cyclotella cf. stelligera* con baja distribución (2.1%). Lo que mostró parte de la resistencia de estas especies a las fluctuaciones de la salinidad.

Resaltó el segundo grupo, integrado por las dos especies "oligohalino mesohalinas" que

resistieron condiciones marinas: *Gymnodinium* cf. *verruculosum* y *Oxyrrhis marina*, con la moderada distribución de la primera especie en: Mayacobá 100 m superficie a Xcaret Estanque de Delfines (40.6%); a diferencia del segundo espécimen que tuvo la menor distribución en Puerto Aventuras 5 m (1.0%).

El tercer grupo, se formó por la especie *Oligohalina pyramimonas* cf. *micron*, quien aunque tuvo baja distribución (9.4%), mostró resistencia al ambiente marino adyacente.

El cuarto grupo se formó con especies marinas que resistieron condiciones mesohalinas; entre estas algas microscópicas sobresalió *Thalassionema nitzschioides* var. *nitzschioides* quien tuvo la mayor distribución (34.4%). Así como en la distribución (26.0-1.0%) de 76 taxa representados por: *Thalassionema frauenfeldii-Thalassionema nitzschioides* var. *parva*, registradas entre las estaciones Punta Maroma 50 m a Playa Maya Tulúm 5 m.

Las especies, *Thalassiosira TRM-1* y *Cyclotella* cf. *caspia,* se destacaron por su baja distribución (6.3-7.3%). La primera confinada a las estaciones Tres Ríos 50 m a Playa Maya Tulúm 5 m y la segunda especie en las estaciones Av. Constituyentes 100 m a Xcacel 5 m. Las características distintivas de estos dos taxones difieren de las especies referidas en la literatura. Razón por la cual, hasta el momento no se les ubicó en ningún hábitat, aunque es probable que correspondan a especies marinas que resisten condiciones mesohalinas.

Estaciones de muestreo en los cenotes: Sobresalieron 18 algas estructuradas por: 11 bacilariofitas a una clorofita en noviembre (Tabla 2); así como tres especímenes constituidos por: una dinofita a una bacilariofita en agosto. Lo que mostró la sucesión microalgal que se desarrolló en los cenotes. En los muestreos de noviembre y marzo prevalecieron las bacilariofitas seguidas por las dinofitas, a excepción del notable descenso de especies en agosto, lo que posiblemente resultó del efecto del huracán Emily, previo a ese último muestreo.

En las variables cualitativas y cuantitativas, el menor número de taxones (uno) se registró en los cenotes: Calavera en noviembre, Sacbe en marzo, Xcaret y Xcaret Río en agosto; y el mayor (seis) sobresalió en el cenote El Edén en noviembre (Tabla 2). En los cenotes la riqueza fue menor en comparación con la registrada en el área marina aledaña (43-61).

La abundancia fluctuó entre una célula/mL en los cenotes: Calavera y El Edén en noviembre, marzo y agosto a 14 células/mL en Xcaret Río en noviembre. Por su dominancia destacaron las tres especies: *Prorocentrum compressum, Synechocystis aquatilis, y Pyramimonas* cf. *micron* en noviembre. El número de células fue bajo, por lo que se consideró característico de condiciones oligotróficas, comparables a las registradas en otro ambiente léntico como el lago "Laguna Escondida" referido por Torres-Orozco y Estrada Hernández (1997), donde se han calculado densidades fitoplánctica de una célula/mL y la dominancia de *Synedra ulna* y *Aulacoseira granulata*, que fueron especies distintivas de ese lago monomíctico cálido. Lo que mostró características propias de cada ambiente.

Las variaciones cuantitativas, repercutieron en la diversidad, ya que la heterogeneidad del índice de Shannon y Wiener (Tabla 2) tuvo el menor valor (0.811 bits/ind.) en el cenote Xcaret y el mayor (2.585) en el cenote El Edén, ambos valores se obtuvieron en noviembre, con diferencias en el índice de equitatividad que tuvo una mayor homogeneidad (0.796 en la estación Xcaret Río a 1.0 en las estaciones El Edén-Sacbé) en noviembre, marzo y agosto (Tabla 2); aunado a esto, se observó en general la baja distribución de células entre las especies (Wilhm y Dorris 1968, Washington 1984 y Moreno-Ruiz 2000), por lo que los cenotes mostraron condiciones inestables para el desarrollo del fitoplancton, hipótesis que también se sustentó en los valores bajos de la relación Nt:Pt (0.15-2.53) que revelaron la limitación por nitrógeno (Contreras- Espinosa et al. 1996).

Tabla 2. Comparación de datos fitoplánctico procedentes de la literatura y los cenotes (<=valor menor, > =valor mayor)

Torres-Orozco y Estrada-Hernández (1997), lago tropical	Díaz-Arce, V. y Herrera-Silveira, J.A. (1998), Herrera-Silveira et al. (1998a-b), Días-Arce et al. (1999), cenotes	Schmitter-Soto et al. (2002), cenotes	Este estudio (noviembre 2004), cenotes	Este estudio (marzo 2005), cenotes	Este estudio (agosto 2005), cenotes
NÚMERO DE TAXA TOTALES					
11	221		18	11	3
7 bacilariofitas, cuatro clorofitas	Fitoplancton	Clorofitas, cianoprocariotas, diatomeas y dinoflageladas	11 bacilariofitas, cinco dinofitas, una cianoprocariota y una clorofita	8 bacilariofitas y tres dinofitas	una dinofita, una criptofita y una bacilariofita
	NÚMERO DE TAXA POR ESTACIONES DE MUESTREO				
			1-18	1-5	1-3
ESTACIONES DE MUESTREO CON EL MENOR NÚMERO DE TAXA					
			Calavera (1), Xcaret Río (14)	Sacbe (1)	Xcaret, Xcaret Río y El Edén (1)
CÉLULAS/mL ENTRE LAS ESPECIES					
Bacilariofitas: *Synedra ulna, Aulacoseira granulata, Synedra acus, Nitzschia closterium, Navicula* sp., *Scenedesmus* y *Thalassiosira* (1-30,000)			Cianoprocariota *Synechocystis aquatilis,* dinofita *Prorocentrum compressum y* la clorofita *Pyramimonas* cf. *micron* (6 cada una) Cianoprocariota *Synechocystis aquatilis,* dinofita *Prorocentrum compressum* y la clorofita *Pyramimonas cf. micron* (6 cada una)	Dinofita *Gymnodinium cf. verruculosum* y la bacilariofita *Cyclotella meneghiniana* (3 respectivamente	Dinofita *Gymnodinium* cf. *verruculosum* (1)
ÍNDICES DE DIVERSIDAD (H’ EN BITS/IND.)					
			NO=1-6	NO=1-5	NO=1-3
			H´=0.811-2.585	H´=0.971-2.252	H´=1.586
			J=0.796-1.000	J=0. 921-1.000	J=1.000
H´ ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO					

			<Xcaret; >El Edén		
J´ ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO					
			< Xcaret Río; >El Edén	>Calavera	>Sacbe

Las variaciones de la salinidad en noviembre, marzo y agosto, mostraron otro factor que trascendió en la abundancia y distribución del fitoplancton (Caljon 1983). Con base en la concentración de la salinidad se ubicaron como oligohalinos a los cenotes: Sacbé (1.2-1.3 ups), Edén y Calavera (2.2-3.3 ups); así como mesohalinos a los cenotes Xcaret y Xcaret Río (11.9-18.6 ups). De esta manera, sobresalieron cuatro grupos fitoplánctcos: el primero, se constituyó por taxones comunes en agua dulce de condiciones "oligohalinas" (*Cyclotella maneghiniana*-*Cyclotella* cf. *stelligera*). Entre estas especies resaltó *Cyclotella meneghiniana* por su mayor distribución (13.3% en marzo).

El segundo grupo, se formó por la especie "oligohalina mesohalina" que resistió condiciones marinas *Gymnodinium* cf. *verruculosum*, quien tuvo una moderada distribución (46.7% entre noviembre, marzo y agosto) en cuatro estaciones de muestreo.

El tercer grupo, estuvo integrado por la especie "oligohalina": *Pyramimonas* cf. *micron*, la que mostró muy baja distribución (6.7% en noviembre) y quien resistió condiciones marinas.

El cuarto grupo se estructuró con especies marinas que toleraron condiciones mesohalinas; entre estas algas fitoplánctcas destacaron los tres especimenes: *Thalassionema nitzschioides* var. *claviformis, Thalassionema nitzschioides* var. *nitzschioides* y *Thalassionema bacillaris* que tuvieron alta distribución (26.7-13.3%, respectivamente). De manera opuesta, con menor distribución (6.7%) las especies representadas por: *Prorocentrum compressum*-*Thalassionema frauenfeldii.*

De acuerdo con los componentes fitoplánctcos registrados en los cenotes, se detectaron condiciones mesohalinas, con el descenso de la salinidad a oligohalina de los cenotes Xcaret Río y Calavera, que se pudo reconocer por la presencia en noviembre de las especies limnobionte oligohalinas *Synechocystis aquatilis* (seis células/mL) y *Cyclotella* cf. *stelligera* (una célula/mL) (Caljon 1983, Moreno-Ruiz 2005). Sin embargo, los muestreos de marzo y agosto no tuvieron especies oligohalinas.

En Yucatán existen varios tipos de cenotes, entre los cuales, resaltan los que se ubican cerca del mar, y en quienes por abajo del agua dulce se encuentra el agua salada (Schmitter-Soto et al. 2002). Así, resultó trascendental la presencia de taxones marinos representados por *Thalassionema nitzschioides* var. *claviformis* y *Thalassionema frauenfeldii*. Por lo que sobresalieron los cenotes analizados como ambientes especiales para el desarrollo de especies invasoras (Guillard y Kilham 1977), las cuales que pudieron haber arribado a estos cuerpos acuáticos cercanos al mar, por varios procesos, entre ellos: climáticos (por ejemplo, efectos producidos por el huracán Emily previo al muestreo de agosto) o transportadas por insectos, rotíferos, aves marinas, mamíferos (Ortega et al., 1995), e incluso por comunicación subterránea.

CONCLUSIONES

Se ha mencionado que los géneros de *Thalassionema*, *Thalassiosira*, *Rhizosolenia*, *Proboscia*, *Coscinodiscus* y *Chaetoceros* tienen gran importancia como indicadores potenciales de altas concentraciones de nutrimentos (Kuo-Ping et al. 1997, Tilstone et al. 2000, Romero et al. 2002),

por lo que la presencia de las 25 especies de los seis géneros arriba referidos, en el área marina de estudio pueden ser indicadores de proceso de enriquecimiento (Ruiz y Merino 1989 citados en De la Lanza-Espino 2001).

En las estaciones marinas de la Riviera Maya, aunque con una menor frecuencia, sobresalieron las seis especies marinas: *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (21.9%), *Prorocentrum minimum* (8.3%), *Prorocentrum mexicanum* (5.2%), *Karenia brevis* (2.1%), *Pseudo-nitzschia delicatissima* (2.1%) y *Prorocentrum lima* (1.0%); que pueden bajo ciertas características físicas y químicas producir mareas rojas (Moreno-Ruiz 2000, Ferrario et al. 2002, Moreno-Ruiz 2003), lo que expuso la existencia de áreas factibles para el desarrollo de estas algas.

Los cenotes se caracterizaron como ambientes típicamente oligotróficos, con fluctuaciones oligohalinas a mesohalinas y en los que dominaron las tres especies: *Prorocentrum compressum, Synechocystis aquatilis,* y *Pyramimonas* cf. *micron.*

BIBLIOGRAFÍA

Caljon, A. 1983. Brackish-water phytoplankton of the Flemish lowland. Developments in Hidrobiology, 18: 1-272.

Contreras-Espinosa, F., O. Castañeda-López, R. Torres-Alvarado y F. Gutiérrez. 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. Revista de Biología Tropical, 44(2):417-425.

De La Lanza-Espino, G. 2001. Características Físico-químicas de los Mares de México 1.9.1. Instituto de Geografía-Plaza y Valdés, México. 1-149.

Díaz-Arce, V. y J. A. Herrera-Silveira. 1998. Hidrología y composición fitoplánctica en el cenote Xlaká, Yucatán. VII Congreso Latinoamericano de Botánica. UNAM. México D.F.

Díaz-Arce, V., J. A. Herrera-Silveira y J. Trejo-Peña. 1999. Fitoplancton e hidrología de 30 cenotes de Yucatán. X Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, A.C., III Reunión Internacional de Planctología. Mazatlán, Sinaloa, México.

Ferrario, M. E., E. A. Sar y S. E. Sala. 2002. Diatomeas potencialmente toxígenas del cono sur americano. P 169-194 (Sar, E. A., M. E. Ferrario y B. Reguera (Eds.). Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano. Instituto Español de Oceanografía, Madrid, España.

Guillard, R. R. L. y P. Kilham. 1977. The ecology of marine planktonic diatoms. V.13 p. 373-469. In: Werner, D. (Ed.). The Biology of Diatoms. Botanical Monograps, USA.

Herrera-Silveira, J. A., V. Díaz Arce y F. Comin. 1998a. Características físicas, clorofila "a" y fitoplancton de los cenotes Ixin-Há e X'laka, Yucatán. II Reunión Internacional de Planctología y IX Reunión Nacionald de la SOMPAC. Mérida, Yuc., México.

Herrera-Silveira, J. A., M. Martín, V. Díaz-Arce y F. Comin. 1998b. Contribución al conocimiento del fitoplancton de las lagunas del Estado de Yucatán (SE, México). II Reunión Internacional de Planctología y IX Reunión Nacionald de la SOMPAC. Mérida, Yuc., México.

Kuo-Ping, C., S. Fuh-Kwo y G. Gwo-Ching. 1997. Distribution of summer diatom assemblages in and around a local upwelling in the East China Sea northeast of Taiwan. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 38: 121-128.

Licea, S. y H. Santoyo. 1991. Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región central de la Bahía de Campeche. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 18(2):157-167.

Mason, C. F. 1993. Biology of Freshwater Pollution. Longman Scientific y Technical, Great Britain: 351p.

Moestrup, O. 2002. Fitoflagelados potencialmente toxígenos en el cono sur americano. P. 157-166 en Sar, E. ., M. E. Ferrario y B. Reguera, (Eds.). Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano. Instituto Español de Oceanografía, Madrid.

Moreno-Ruiz, J. L. 2000. Fitoplancton. P. 43-108 en De La Lanza Espino, G., S. Hernández-Pulido y J.

L. Carbajal-Pérez, (Eds.). Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación. SEMARNAP, CNA, UNAM, Instituto de Biología, UNAM.

Moreno-Ruiz, J. L. 2003. Fitoplancton. P. 13-45 en De La Lanza-Espino, G. y S. Hernández-Pulido, (Eds.). Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua. CNA/AGT Editor, S.A. México.

Moreno-Ruíz, J. L. 2005. Fitoplancton. Cap. 3, p. 33-64 en Bueno-Soria, J. S. y F. Álvarez-Noguera (Eds.). Biodiversidad de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM/CONABIO, México.

Ortega, M. M., J. L. Godinez, G. Garduño-Solorzano y M. G. Oliva. 1995. Ficología de México: Algas Continentales. AGT Editor, S. A., México: 221 p.

Romero, O., B. Boeckel, B. Donner, G. Lavik, G. Fischer y G. Wefer. 2002. Seasonal productivity dynamics in the pelagic central Benguela System inferred from the flux of carbonate and silicate organisms. Journal of Marine Systems, 37:259-278.

Schmitter-Soto, J. J., F. A. Comín, E. Escobar-Briones, J. Herrera-Silveira, J. Alcocer, E. Suárez-Morales, M. Elías-Gutiérrez, V. Díaz-Arce, L. E. Marín, y B. Steinich. 2002. Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (S.E. Mexico). Hydrobiologia, 467(1-3):215-228.

Tilstone, G. H., B. M. Míguez, F. G. Figueiras y G. Fermín. 2000. Diatom dynamics in a coastal ecosystem affected by upwelling: coupling between species succession, circulation and biogeochemical processes. Marine Ecology Progress Series, 205:23-41.

Torres-Orozco, B. R. E. y M. Estrada-Hernández. 1997. Patrones de migración vertical en el plankton de un lago tropical. Hidrobiologica, 7:33-40.

Troccoli-Chinaglia, L. y J. A. Herrera-Silveira. 1999. Fitoplancton e hidrología en una zona costera con descargas de agua subterránea. X Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología, A.C., III Reunión Internacional de Planctología. Mazatlán, Sinaloa, México.

Washington, H. G. 1984. Diversity, biotic and similarity indices. A review with special relevance to aquatic ecosystems. Water Research, 18:653-694.

Wilhm, J. L. y T. C. Dorris. 1968. Biological parameters for water quality criteria. BioScience, 18:477-481.

DIAGNÓSTICO ECOLÓGICO DE LOS ARRECIFES CORALINOS DEL MUNICIPIO SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO, MÉXICO BASADOS EN LAS MACROALGAS ARRECIFALES

ECOLOGICAL DIAGNOSTIC OF CORAL REEF FROM MUNICIPIO SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO, MÉXICO BASED ON REEF MACROALGAES

Jhoana Díaz Larrea
Laboratorio de Ficología, Departamento de Hidrobiología, División CBS, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
jhoanadiazl@yahoo.com

Resumen: El presente trabajo tuvo como objetivo principal diagnosticar la condición de los arrecifes del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, México, a través de la estimación de parámetros poblaciones algales, importantes indicadores de la condición del arrecife como fueron: riqueza específica, abundancia (cobertura), canopia algal, así como la evaluación de los grupos morfo-funcionales de las algas. Como resultado principal de este estudio se tiene una descripción detallada de seis diferentes localidades y tres diferentes subzonas del arrecife más representativas de la región con sus listados florísticos. El análisis de la proporción de grupos morfo-funcionales en algas permitió detectar cambios en la comunidad arrecifal y hacer inferencias sobre el estado de conservación del arrecife. Todos los arrecifes estudiados presentaron porcentajes de cobertura algal de moderado a bajo. Los grupos morfofuncionales filamentosas y foliosas (indicadoras de disturbio ambiental) también se presentaron en bajos porcentajes o estuvieron ausentes. Sólo Moc-Che Cresta presentó indicios de influencias externas significativas teniendo en cuenta la predominancia de algas costrosas y filamentosas (indicadoras de ambientes con disturbio) en dos meses de estudio, de lo que se puede estimar que esta subzona pudo estar sujeta a la acción de algún disturbio ambiental (como el aumento del herbivorismo)

Palabras Claves: Macroalgas arrecifales, grupos morfofuncionales, Caribe Mexicano.

Abstract: The principal result of this work was a detailed description of the more representative localities of the region with their floristics lists on six localities and three reef subzones. The variation of the basics community parameters: richness, abundance and reef macroalgal diversity estimated, that are considerated an important indicators of the reef condition. The analyses of morfofunctional group proportions detect changes on the reef community and to be inferences about reef conservation state. The cover values obtained were moderate to low in all study region. The filamentous and folious morfofunctional groups percentages (indicators of environmental disturbance) were low or 0. Only the subzone of crest Moc-che showed significatives extern influences taking in count the predominance of filamentous and costroses morfofunctional gropus (indicators of disturbance enviromentals) in two months. Based on this we can conclude that subzone can be received the action of some environmental disturb (like the rising of the herbivorism).

Key words: Reef macroalgae, Morfofunctional groups, Mexican Caribbean.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos que existen en el Caribe Mexicano han tenido una gran importancia para la economía del Estado de Quintana Roo. Las actividades que se realizan en el entorno a estos ambientes forman uno de los principales atractivos turísticos que se ofrecen a los visitantes de esta región. Hasta hace algunos años, esta actividad turística se concentraba en la parte norte del estado, principalmente en Cancún y en la Isla de Cozumel. Sin embargo, en últimas fechas, la zona denominada "Corredor Turístico Cancún-Tulum" ha tenido un creciente desarrollo por la

construcción de nuevos centros turísticos de muy diversos tipos, donde se incluyen algunos de grandes dimensiones. Este rápido crecimiento amenaza con destruir estos ecosistemas costeros, debido a que son ambientes de alta complejidad estructural y de frágil equilibrio ecológico.

Uno de los indicadores más importantes para diagnosticar la condición de los arrecifes son las algas. La hipótesis acerca de que las adaptaciones morfológicas, fisiológicas y ecológicas de que las macroalgas forman grupos funcionales que pueden relacionarse con el nivel del disturbio encontrado en el ambiente, así como con diferentes etapas en el desarrollo del ecosistema, fue demostrada en varios experimentos de manipulación sucesional (Littler, 1980; Littler y Littler, 1984) y posee extraordinarias potencialidades de aplicación en gestiones de monitoreo. De esta manera se establece un sistema sobre la base de seis categorías de grupos funcionales correspondientes a las formas: foliácea (A), filamentosa (B), ramificada (C), coriácea (D), calcificada (E) y costrosa (F). Esta clasificación es independiente de la taxonomía y el origen evolutivo y representa diferentes respuestas alternativas al estrés físico y fisiológico como la herbivoría y la competencia (Littler y Littler, 1984). La gradación de formas funcionales (de la A a la F) evidencia un aumento decreciente de la complejidad. Las formas A y B son representantes de ambientes inestables y poseen un conjunto de características típicas de especies pioneras, oportunistas, favorecidas por la selección en ambientes fluctuantes (Littler, 1980). El grupo C, el más variado en cuanto a la morfología de las especies componentes, es el encargado de aumentar la heterogeneidad espacial de la comunidad (Littler y Littler, 1984). Las especies incluidas en el grupo D se caracterizan por brindar una mayor estabilidad a la comunidad; por su parte, los grupos E y F son representantes típicos de ambientes más estables, caracterizadores de las fases más avanzadas de la sucesión (Littler y Littler, 1980 y 1984).

El significado ecológico de los grupos funcionales se puede correlacionar con parámetros tales como productividad, susceptibilidad a la herbivoría, resistencia a la penetración, contenido calorífico y relación de componentes fotosintéticos versus componentes estructurales (Littler y Littler,1980 y 1984; Littler y Arnold, 1982). La mayor premisa para la formulación del modelo de los grupos funcionales se fundamenta en un análisis de costos vs. beneficios; así por ejemplo, el incremento de la complejidad morfológica provee ciertos beneficios contra la acción de los predadores, en la competencia o la resistencia al estrés ambiental, estos beneficios son balanceados por costos concomitantes como son la reducción del potencial fotosintético, el crecimiento y la producción (Littler y Littler, 1980).

El presente trabajo tuvo como objetivo principal diagnosticar la condición de los arrecifes del Municipio Solidaridad teniendo en cuenta los siguientes parámetros de las poblaciones algales: riqueza específica, abundancia (cobertura), canopia algal, así como los grupos morfo-funcionales presentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio es el litoral, en particular las playas y su zona costera, del Municipio de Solidaridad (Estado de Quintana Roo, México), que está localizado en la costa oriental de la Península de Yucatán.

La caracterización de la comunidad algal arrecifal se llevó a cabo en tres campañas (noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005) con muestreos intensivos y se realizó mediante el método de muestreo que han aplicado Amigos de Sian Ka'an y las Áreas Naturales Protegidas de Quintana

Roo, para la caracterización, monitoreo y diagnóstico que se ha llevado a cabo en toda la costa del Estado de Quintana Roo (Gutiérrez, et al.,1995, García y Loreto 1996a, b; García, et al., 1997; Lara, et al., 1998), para hacer comparaciones con la información previa existente, además de ser un método que puede ser comparable con los parámetros estimados a partir de técnicas de aplicación internacional como son el AGRRA (2000) y Reef Check (2001).

Se trabajó en los principales arrecifes del área de estudio entre Punta Maroma y Tulum. El muestreo se llevó a cabo en 6 localidades, realizando un total de 17 inmersiones, logrando recabar información en 34 transectos. En cada sitio el muestreo se realizó a diferentes profundidades para abarcar las diferentes subzonas estructurales del arrecife.

Los registros en campo se llevaron a cabo sobre transectos de 20 m, que sirvieron como referencia para anotar la presencia de organismos a un metro de distancia, teniendo así un área de muestreo de 20 m^2 según los métodos descritos por Gutiérrez et al. (1995); Padilla et al. (1992; 2000).

El transecto de 20 m sirvió de referencia para colocar un cuadrante de 25 x 25 cm a cada cinco metros del transecto, teniendo cinco cuadrantes por transecto (0, 5, 10, 15, y 20). Cada cuadrante fue dividido en cuadros de 5 x 5 cm, que es la unidad mínima de muestreo y se registró la siguiente información: número de cuadros de 5 x 5 que ocupa cada especie por cuadrante, grupo morfo funcional presente (carnosa, calcárea, coralina incrustante, filamentosa), tipo de sustrato que ocupa y la altura promedio del dosel de las macroalgas presentes dentro de la cuadrícula.

Se realizó además una estimación de la cobertura algal y a partir de los datos de abundancia específica se obtuvieron dos estimadores de la diversidad para cada una de las zonas de muestreo: Riqueza específica e Índice de diversidad de Shanon-Wienner (H') y una medida de la heterogeneidad a través del valor de Equidad (J'). También se evaluaron los grupos morfo funcionales de las algas y para la identificación de especies se utilizó la clave visual de Littler y Littler (2000). Se elaboró un listado florístico del área que abarca el estudio.

RESULTADOS

Los arrecifes del Municipio de Solidaridad se pueden dividir en tres áreas geográficas: norte, centro y sur, que difieren en la estructura del arrecife y en la composición de las comunidades de organismos arrecifales que en ellos se encuentran. El área norte que abarca de Punta Maroma a Punta Bete presenta arrecifes poco estructurados. El área central, que corresponde a los lugares aledaños a Playa del Carmen, incluye los sitios de muestreo Moc-Che, Chun-Zumbul y Jardines. El área sur que comprende de Puerto Aventuras a Tulum, incluye los sitios de muestreo de Xaac y Tulum.

Como resultado del estudio se generó una lista de especies que incluyó registros de los tres muestreos (Tabla 1).

Las especies de la división Rhodophyta fueron las mejores representadas, seguidas de las especies de la división Chlorophyta y las menos representadas fueron las algas pardas (Tabla 1). Cada división presentó un número similar de especies en los tres meses estudiados. La división Chlorophyta estuvo mejor representada en Moc-Che y Punta Maroma para los meses de noviembre y agosto. En el mes de marzo se observó un mayor número de algas verdes en Jardines. La división Phaeophyta estuvo mejor representada en Tulum y Xaac para los meses de noviembre y agosto. En el mes de marzo se registró un mayor número de algas pardas en Xaac. La división Rhodophyta

presentó el mayor número en Moc-che y Jardines para el mes de noviembre; en agosto en Xaac y Jardines, y para el mes de marzo el mayor número se registró en Chun-Zumbul.

Los géneros Caulerpa, Dictyota y Halimeda fueron los mejores representados en las tres salidas. En el mes de noviembre se reportaron 51 especies con el mayor número de géneros registrados para los tres muestreos (30), seguido del mes de agosto con 48 especies y 27 géneros; y por último el mes de marzo donde se observaron 40 especies de macroalgas y 26 géneros.

Tabla 1. Lista de especies de macroalgas marinas encontradas en los arrecifes del Municipio Solidaridad en los tres muestreos realizados.

Especies
Chlorophyta
Cladophora catenata (Linnaeus) Küetzing
Cladophora prolifera (Roth) Kuetzing
Cladophoropsis membranacea (C. Aghardh) Børgesen
Chaetomorpha crassa (Mertens)
Anadyomene stellata (Wulfen) C. Agardh
Ventricaria ventricosa (J. Agardh) Olsen y J. West
Penicillus capitatus J. B. de Lamarck, 1813
Penicillus dumetosus (Lamouroux) Blainville
Rhipocephalus oblongus (Decaisne) Kützing
Rhipocephalus phoenix (J. Ellis y D. Solander) Kützing
Halimeda opuntia (Linnaeus) Lamouroux
Halimeda discoidea Decaisne
Halimeda incrassata (Ellis) Lamouroux
Halimeda copiosa Goreau yd Graham
Halimeda gracilis Harvey y J. Agardh
Halimeda monile (Ellis y Solander)
Udotea conglutinata (Ellis et Solander) Lamouroux
Udotea luna D. S. Littler y M. M. Littler
Udotea spinulosa Howe
Udotea dixonii D. S. Littler et M. M. Littler
Udotea flabellum (J. Ellis y D. Solander) Howe
Halimeda opuntia (Linnaeus) Lamouroux
Halimeda discoidea Decaisne
Halimeda incrassata (Ellis) Lamouroux
Caulerpa prolifera (P. Forsskål) Lamouroux
Caulerpa mexicana (Sonder Ex Kuet) J. Ahardh
Caulerpa verticillata J. Agardh

Caulerpa paspaloides (Bory) Greville
Caulerpa serrulata (Forsskål) J. Agardh
Caulerpa racemosa (Forsskål) J. Agardh
Caulerpa cupressoides (West) C. Agardh
Caulerpa pusilla (Kutzing) J. Agardh
Cymopolia barbata (Linnaeus)
Neomeris annulata Dickie

Rhodophyta

Galaxaura obtusata (J. Ellis y Solander) Lamouroux
Galaxaura marginata (J. Ellis y Solander) Lamouroux
Neogonioliton spectabile (Foslie) Setchell y L.R.Mason
Titanoderma pustulatum (J.V. Lamouroux) Nageli
Amphiroa fragilissima (Linnaeus) Lamouroux
Amphiroa rigida Lamouroux
Amphiroa tribulus (Ellis y Solander) Lamouroux
Jania capillacea Harvey
Jania adhaerens Lamouroux
Peyssonnelia crispata Boudoresque y Denizot
Mesophyllum mesomorphum (Foslie)W.H. Adey
Hydrolithon boergesenii (Foslie) Foslie
Sporolithon episporum (M.Howe) E.Y. Dawson
Gelidium pusillum (Stackhouse) Le Jolis
Gelidium crinale (Turner) Lamouroux
Ceramium gracillimum V. byssoideum Harvey
Ceramium nitens (C. Agardh) J. Agardh
Ceramium corniculatum Montagne
Ceramium brevizonatum H. E. Petersen y Borgesen
Spyridia filamentosa (Wulfen) Harvey
Polisiphonia flaccidissima Hollenberg
Centroceras clavulatum (C. Agardh) Montagne
Lophosifonia obscura (C. Agardh) Falkenberg
Dasya harveyi Ashmead in Harvey
Dasya baillouviana (Gmelin) Montagne
Dasya crouaniana J. Agardh
Laurencia poitei (Lamouroux) Howe
Laurencia papillosa (C. Agardh) Greville
Laurencia chondrioides Borgesen

Laurencia caraibica P.C Silva
Laurencia intricata Lamouroux
Chondria littoralis Harvey
Hypnea musciformis (Wulfen) Lamouroux
Hypnea cervicornis J. Agardh
Pterocladia pinnata (Hudson) Papenfuss
Gelidiella trinitatensis Taylor

Phaeophyta

Dictyota cervicornis Kützing
Dictyota menstrualis (Hoyt) Schnetter, Hörnig et Weber-Peukert
Dictyota crispata Lamouroux
Dictyota divaricata Lamouroux
Dictyota ciliolata Kutzing
Lobophora variegata (Lamouroux) Womersley ex Oliveira
Stypopodium zonale (Lamouroux) Howe
Sargassum fluitans Borgesen
Turbinaria turbinata (Linnaeus) Kuntze
Feldmannia indica (Sond.) Womersley y A. Bailey

Los resultados para las diferentes zonas se presentan en las tablas 2-5. En la localidad de Punta Maroma, Cresta la preferencia al sustrato por las algas varió: en noviembre se observó una preferencia al sustrato rocoarenoso y un bajo porcentaje de cobertura algal sobre coral y rocoso. Sin embargo en el mes de agosto se observó la preferencia al sustrato de coral y un bajo porcentaje sobre rocoarenoso. En marzo se registró una preferencia del 100 % sobre sustrato de coral. Los valores de canopia algal fueron moderados en los meses de agosto y noviembre y en el mes de marzo fueron pequeños y los valores de cobertura algal fueron bajos en los tres meses (Tabla 2). En moviembre se observó un elevado porcentaje de algas corticadas y porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas y foliosas. En agosto se registraron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, filamentosas y foliosas y porcentajes muy bajos de costrosas. En marzo se presentó un elevado porcentaje de calcáreas articuladas y porcentajes bajos de corticadas y filamentosas. Se observaron porcentajes muy bajos de correosas y foliosas (Tabla 2). Los valores de diversidad fueron bajos en los meses de noviembre y agosto y en marzo moderados. Los valores de equitatividad fueron muy altos en los tres meses y la riqueza específica fue moderada (Tabla 6)

En la subzona de Punta Maroma, Arrecife Frontal Interno (AFI) la preferencia al sustrato por las algas varió: en noviembre se observó la preferencia al sustrato rocoarenoso con un alto porcentaje de cubrimiento algal y un bajo porcentaje sobre sustrato areno-rocoso, esponja y coral. En agosto el roco-arenoso presentó valores del 100% y en marzo el porciento de alga sobre roca fue elevado y hubo un bajo porcentaje sobre esponja. Los valores de canopia algal fueron moderados en los tres meses. Se determinaron además valores bajos de cobertura algal en los meses de noviembre y agosto. En marzo la cobertura fue moderada (Tabla 2). Se registraron bajos valores de diversidad en los tres meses y la equitatividad fue muy alta en los meses de agosto y marzo y en el mes de noviembre fue de 0.77. La riqueza específica fue moderada en los tres meses (Tabla 6).

Tabla 2. Parámetros medidos en Punta Maroma.

	Cresta			AFI		
Parámetros	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Tipos de sustrato (%)						
Areno-rocoso				21.6		
Arenoso						
Coral	30	100	79.86	2		
Esponja				13	14.28	
Roca					85.71	
Rocoarenoso	60		20.93	63		100
Rocoso	13					
Canopia (cm)	2-7	1 -3.5	2 -7	1-8.5	1-8.5	1-8.5
Cobertura (%)	3.14-5.57	3.14-5.57	3.14-5.57	3.14-5.57	16.43	3.14-5.57
Parámetros comunitarios						
Diversidad	1.66	2.18	1.96	1.5	1.87	1.79
Equitatividad	0.85-0.94	0.85-0.94	0.85-0.94	0.77	0.81-0.86	0.81-0.86
Riqueza	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10
Morfotipo algal (%)						
Calcárea articulada	6	49	6		6	
Correosa	6	3	6	9	6	60
Corticada	43	10		0.8	42	9
Costrosa				9		
Filamentosa		10	6	61	6	9
Foliosa	6	3	6	0.8	4.76	
Globosa						

	TB		
Parámetros	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Tipos de sustrato (%)			
Areno-rocoso			
Arenoso			
Coral		100	100
Esponja			
Roca			
Rocoarenoso			
Rocoso			
Canopia (cm)	1-7	1 -7	1 -7
Cobertura (%)	6.29-9	6.29-9	6.29-9
Parámetros comunitarios			
Diversidad	2.18	2.06	1.06
Equitatividad	0.83-0.99	0.83-0.99	0.83-0.99
Riqueza	8-11	8-11	8-11
Morfotipo algal (%)			
Calcárea articulada	52.9	4	4
Correosa	9	4	4
Corticada	0.8	4	
Costrosa	4		4
Filamentosa		4	4
Foliosa	0.8	4	4
Globosa			

Tabla 3. Parámetros medidos en Playa del Carmen.

	Moc-che Cresta			Chun-zumbul		
Parámetros	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Tipos de sustrato (%)						
Areno-rocoso						
Arenoso						
Coral	86.59	43.75	100			
Esponja						
Roca		56.25			100	100
Rocoarenoso	13,4			100		
Rocoso						
Canopia(cm)	1-7	1-4	1-7	1-7	1-3	1-3
Cobertura(%)	5.98	3.13	12.68	1.97-5.37	1.97-5.37	1.97-5.37
Parámetros comunitarios						
Diversidad	1.4	1.71	1.9	2.14	0.68	1.54
Equitatividad	0.61	0.91-0.95	0.91-0.95	0.93-0.98	0.93-0.98	0.93-0.98
Riqueza	6-10	6-10	6-10	7	4	3
Morfotipo algal (%)						
calcárea articulada	8	8	4	3,13		
Correosa	2	43,75	4	18		7
Corticada				6		7
Costrosa	51.54	8	4			7
Filamentosa	8	8	44	18	100	7
Foliosa	2		4	6		
Globosa						

Tabla 3. Parámetros medidos en Playa del Carmen (continuación).

	Moc-che TB			Jardines		
Parámetros	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Tipos de sustrato (%)						
Areno-rocoso						
Arenoso	100					
Coral						
Esponja						
Roca		100	100			100
Rocoarenoso				100	100	
Rocoso						
Canopia(cm)	1-6	1-3	1-3	1-5	1-5	1-5
Cobertura(%)	0.86	1.53	8.83	4.38-10.08	4.38-10.08	4.38-10.08
Parámetros comunitarios						
Diversidad	1.37	1.46	1.06	1.51	1.43	2.35
Equitatividad	0.99	0.97-1.05	0.97-1.05	0.84-0.94	0.5	0.84-0.94
Riqueza	4	3-4	3-4	6-12	6-12	6-12
Morfotipo algal (%)						
calcárea articulada	50	7			7	5
Correosa	50	59.57	23	10	55.5	6
Corticada				43.66	3	5
Costrosa				10		5
Filamentosa		6.3	76		7	5
Foliosa		7		8.12	3	
Globosa						

Tabla 4. Parámetros medidos en Xaac.

	AFI			TB		
Parámetros	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Tipos de sustrato (%)						
Areno-rocoso						
Arenoso						
Coral	34.6	100	100	100	100	100
Esponja						
Roca	29.33					
Rocoarenoso	36					
Rocoso						
Canopia (cm)	1-10	1-10	1-10	1-9	1-9	1-9
Cobertura (%)	7.49-9.25	16.24	7.49-9.25	7.72-10.42	7.72-10.42	7.72-10.42
Parámetros comunitarios						
Diversidad	2.63	1.83	2.11	2.11-2.33	1.84	2.11-2.33
Equitatividad	0.88-0.95	0.88-0.95	0.88-0.95	0.84-0.9	0.84-0.9	0.84-0.9
Riqueza	16	8-10	8-10	16	8-10	8-10
Morfotipo algal (%)						
calcárea articulada	40	5	4	7	4	5
Correosa	4	5	4	7	4	9
Corticada	4	2		4.7	4	
Costrosa	4	5	4	7	4	5
Filamentosa	4	2	4			5
Foliosa	4	5	4	7	4	5
Globosa						

Tabla 4. Parámetros medidos en Xaac (continuación).

	Cresta		
Parámetros	Nov. 2004	Agosto 2005	Marzo 2005
Tipos de sustrato (%)			
Areno-rocoso			
Arenoso			
Coral	57,1	100	100
Esponja			
Roca	42.58		
Rocoarenoso			
Rocoso			
Canopia (cm)	1-10	2-5	1-10
Cobertura (%)	16.43	7.78	8.61
Parámetros comunitarios			
Diversidad	2.79	2.11	2.28
Equitatividad	0.91-0.92	0.9	0.91-0.92
Riqueza	12-21	10	12-21
Morfotipo algal (%)			
calcárea articulada	4	4	6
Correosa	1.5	7.4	2.5
Corticada	4	4	2.5
Costrosa	4	4	6
Filamentosa	4	4	6
Foliosa	4	4	6
Globosa	1.5		

Tabla 5. Parámetros medidos en Tulum.

	AFI			TB		
Parámetros	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Tipos de sustrato (%)						
Areno-rocoso						
Arenoso						
Coral	99,15	100	100	100	100	100
Esponja						
Roca	0,85					
Rocoarenoso						
Rocoso						
Canopia (cm)	1-7	1-7	1-7	2-7	2-7	2-7
Cobertura (%)	7.21	14.79-15.65	14.79-15.65	6.04-10.37	6.04-10.37	6.04-10.37
Parámetros comunitarios						
Diversidad	2.01-2.24	1.74	2.01-2.24	2,12	1.78-1.84	1.78-1.84
Equitatividad	0.87-0.97	0.87-0.97	0.87-0.97	0.92-0.99	0.92-0.99	0.92-0.99
Riqueza	13	7-8	7-8	6-10	6-10	6-10
Morfotipo algal (%)						
Calcárea articulada	5	5	4	18	8	4
Correosa	5	5	4			
Corticada				7		4
Costrosa	5		4	7	8	4
Filamentosa		5	4			4
Foliosa	5	5	4	18	8	4
Globosa						

En Punta Maroma, Transición Barlovento (TB) la preferencia al sustrato por las algas varió: en noviembre se observó una preferencia del 100 % del sustrato rocoarenoso. En los meses de agosto y marzo se determinó una preferencia del 100 % por el sustrato de coral. Los valores de canopia algal fueron moderados y se determinaron valores bajos de cobertura algal en los tres meses. En noviembre se observó un elevado porcentaje de calcáreas articuladas y porcentajes bajos de correosas y costrosas; además porcentajes muy bajos de corticadas y foliosas y en agosto porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, filamentosas y foliosas. En el mes de marzo se registraron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, foliosas y filamentosas (Tabla 2). Se registraron además valores moderados de diversidad en los meses de noviembre y marzo y bajos en el mes de agosto. Los valores de equitatividad fueron muy altos en los tres meses y la riqueza específica fue moderada en los tres meses (Tabla 6).

En Moc-Che, Cresta la preferencia al sustrato por las algas fue elevado sobre coral en el mes de noviembre y se observó un bajo porcentaje sobre sustrato rocoarenoso. En el mes de agosto se registró una preferencia del 100 % sobre coral. En el mes de marzo el porciento de alga fue elevado sobre roca y se presentó un bajo porcentaje sobre coral (Tabla 3).

Los valores de canopia algal fueron moderados para agosto y noviembre y en el mes de marzo se registraron valores muy pequeños. Los valores de cobertura algal en los meses de noviembre y marzo fueron bajos y en agosto moderados (Tabla 3). Se registró un porcentaje elevado de costrosas en noviembre, con porcentajes bajos de filamentosas y calcárea articuladas y porcentajes muy bajos de correosas y foliosas. En agosto se determinó un elevado porcentaje de filamentosas y bajo de calcáreas articuladas, correosas, costrosas y foliosas; marzo señaló un elevado porcentaje de correosas y porcentajes bajos de costrosas, filamentosas y calcáreas articuladas (Tabla 3).

Tabla 6. Resumen del comportamiento de la riqueza de especies (S), Índice de diversidad (H') e Índice de equitatividad (J') en los tres muestreos en las diferentes localidades.

Localidad	Sub zona	J´			H´		
		Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005	Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Punta Maroma	AFI	0,77	0,86	0,81	1.50	1.81	1.79
	TB	0,83	0,9	0,99	2.19	1.86	1.84
	Cr	0,85	0,87	0,94	1.66	1.99	1.96
Moc-che	TB	1	0,97	1,05	1.38	1.46	1.07
	Cr	0,61	0,95	0,91	1.41	1.72	1.91
Chun-zumbul	TB	0,9	0,93	0,98	2.14	0.68	1.54
Jardines	TB	0,84	0,5	0,94	1.51	1.43	2.35
Xaac	AFI	0,88	0,9	0,95	2.64	1.83	1.96
	TB	0,8	0,84	0,9	2.33	1.84	1.97
	Cr	0,9	0,9	0,91	2.80	2.29	2.17
Tulum	AFI	0,95	0,97	0,87	2.25	1.74	2.02
	TB	0,95	0,92	0,99	2.12	1.85	1.78

Tabla 6. Resumen del comportamiento de la riqueza de especies (S), Índice de diversidad (H') e Índice de equitatividad (J') en los tres muestreos en las diferentes localidades. (continuación)

Localidad	Sub zona	S		
		Nov. 2004	Marzo 2005	Agosto 2005
Punta Maroma	AFI	7	11	8
	TB	11	8	9
	Cr	7	11	8
Moc-che	TB	4	5	3
	Cr	10	6	8
Chun-zumbul	TB	10	2	5
Jardines	TB	6	7	12
Xaac	AFI	16	8	9
	TB	16	8	8
	Cr	21	12	12
Tulum	AFI	13	7	8
	TB	10	7	6

Los valores de diversidad fueron bajos en los meses de agosto y marzo, así como en noviembre fueron muy bajos. La equitatividad fue muy alta en los meses de agosto y marzo, y en noviembre baja y la riqueza específica presentó valores moderados en los tres meses (Tabla 6).

En la localidad de Moc-che, TB la preferencia al sustrato rocoso por las algas fue del 100 % en los tres meses. Los valores de canopia algal fueron bajos en los dos meses de marzo y agosto, en noviembre fueron moderados. Los valores de cobertura algal en el mes de agosto fueron moderados y en los meses de marzo y noviembre fueron muy bajos (Tabla 3). En el mes de agosto se presentó un elevado porcentaje de filamentosas y porcentajes bajos de correosas, y en marzo un elevado porcentaje de correosas así como bajos de foliosas y calcáreas articuladas. Se presentaron además porcentajes muy bajos de filamentosas. En noviembre se estimó un 100 % de calcáreas articuladas y correosas (Tabla 3). Los valores de diversidad en los tres meses fueron muy bajos, la equitatividad fue muy alta en los tres meses y la riqueza específica baja (Tabla 6).

En la localidad de Chun-Zumbul, (TB) la preferencia al sustrato rocoarenoso por las algas fue del 100 % en noviembre. En los meses de agosto y marzo la preferencia sobre sustrato rocoso fue del 100 % Los valores de canopia algal fueron pequeños en marzo y agosto y moderados en el mes de noviembre. La cobertura algal fue baja en los tres meses (Tabla 3). Un elevado porcentaje de correosas y filamentosas se encontraron en el mes de noviembre y bajo en corticadas y foliosas; además se registraron porcentajes muy bajos de calcáreas articuladas. En agosto se observaron porcentajes bajos de correosas, costrosas, corticadas y filamentosas y en marzo un 100 % de algas filamentosas (Tabla 3). En el mes de noviembre la diversidad fue moderada, en el mes de agosto fue baja y muy baja en marzo. Los valores de equitatividad fueron muy altos y la riqueza específica fue baja en agosto y marzo, y moderada en noviembre (Tabla 6).

En Jardines (TB) la preferencia al sustrato rocoarenoso por las algas fue del 100 % en noviembre y marzo. La preferencia al sustrato rocoso fue del 100 % en agosto. Los valores de canopia algal fueron bajos en los tres meses al igual que los de cobertura algal (Tabla 3). En noviembre se calculó un elevado porcentaje de corticadas y bajo de costrosas y correosas. Se registraron además porcentajes muy bajos de foliosas. En agosto se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, filamentosas, corticadas y costrosas; además porcentajes muy bajos de correosas. En marzo se calculó un elevado porcentaje de correosas y bajo de filamentosas y calcáreas articuladas. Las corticadas y foliosas tuvieron porcentajes muy bajos de (Tabla 3). Los valores de diversidad fueron bajos en el mes de noviembre, moderados en agosto y muy bajos en marzo. La equitatividad fue muy alta en noviembre y agosto y alta en marzo. La riqueza específica presentó valores moderados en los tres meses (Tabla 6).

En la subzona de Xaac, AFI la preferencia al sustrato sobre coral por las algas fue bajo en el mes de noviembre, sin embargo en agosto y marzo el 100 % fue sobre sustrato de coral. Los valores de canopia algal fueron moderados en los tres meses de estudio. La cobertura algal fue baja en noviembre y agosto y en el mes de marzo fueron moderados (Tabla 4). En noviembre se determinó un elevado porcentaje de calcáreas articuladas y porcentajes bajos de costrosas, correosas, foliosas y corticadas; además porcentajes muy bajos de filamentosas. En agosto se presentaron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, foliosas, filamentosas y costrosas. En marzo se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas, correosas y foliosas; así como muy bajos de corticadas y filamentosas (Tabla 4). Los valores de diversidad fueron altos en noviembre, moderados en agosto y bajos en marzo. La equitatividad fue muy alta en los tres meses y la riqueza específica fue alta en noviembre y moderada en agosto y marzo (Tabla 6).

En la localidad de Xaac, TB la preferencia al sustrato sobre coral por las algas fue del 100 %

en los tres meses de estudio. Los valores de canopia algal y cobertura algal fueron bajos (Tabla 4). En noviembre los porcentajes fueron bajos de algas costrosas, correosas, foliosas y calcáreas articuladas; además hubo porcentajes muy bajos de corticadas. En agosto los porcentajes de calcáreas articuladas, costrosas, foliosas y filamentosas bajos fueron, y se registraron también porcentajes muy bajos de correosas. En marzo se presentaron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, foliosas y filamentosas (Tabla 4). Los valores de diversidad fueron moderados en noviembre y agosto y bajos en el mes de marzo. La equitatividad y la riqueza específica fue muy alta en noviembre y moderada en agosto y marzo (Tabla 6).

En la subzona de Xaac, Cresta la preferencia al sustrato sobre coral y roca por las algas fue elevado en el mes de noviembre. En el mes de marzo y agosto la preferencia de las algas sobre sustrato de coral fue del 100 %. Los valores de canopia algal fueron moderados, excepto en agosto que fueron bajos. La cobertura algal fue moderada en noviembre y baja en marzo y agosto (Tabla 4). En noviembre se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas, corticadas, filamentosas y foliosas; se registraron además porcentajes muy bajos de correosas y globosas. En marzo fueron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas, filamentosa y foliosas; se registraron porcentajes muy bajos de corticadas y correosas. En agosto se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, corticadas, foliosas, filamentosas y costrosas; además porcentajes muy bajos de correosas (Tabla 4). Los valores de diversidad fueron altos en noviembre y moderados en marzo y agosto. La equitatividad tuvo valores muy altos y la riqueza específica fue alta en estos tres meses (Tabla 6).

En la subzona de Tulum, AFI la preferencia al sustrato de coral en agosto y marzo por las algas fue del 100 %. En noviembre el porciento de alga sobre coral fue elevado y un bajo porcentaje sobre roca. Los valores de canopia algal fueron bajos. La cobertura fue baja en noviembre y moderada en agosto y marzo (Tabla 5). En el mes de noviembre se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas, correosas, foliosas además porcentajes muy bajos de corticadas. En agosto fueron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, foliosas y filamentosas. En marzo se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, filamentosas y foliosas; además porcentajes muy bajos de costrosas (Tabla 5). Los valores de diversidad fueron moderados para los meses de noviembre y agosto; en marzo fueron bajos. La equitatividad presentó valores muy altos y la riqueza específica fue alta en el mes de noviembre y moderada en los meses de agosto y marzo (Tabla 6).

En la subzona de Tulum, TB la preferencia al sustrato de coral en los tres meses de estudio fue del 100 %. Los valores de canopia algal y cobertura fueron bajos (Tabla 5). En el mes de noviembre se determinaron porcentajes bajos de calcáreas articuladas y foliosas; se registraron además porcentajes muy bajos de corticadas y costrosas. En el mes de agosto los porcentajes fueron bajos de calcáreas articuladas, corticadas, costrosas, foliosas y filamentosas. En marzo se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas y foliosas; además porcentajes muy bajos de correosas y filamentosas (Tabla 5). La diversidad fue baja en agosto y marzo y para el mes de noviembre fue moderada. La equitatividad fue muy alta en los tres meses y la riqueza específica fue moderada (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Como resultado principal de este estudio se realizó una descripción detallada de las localidades

más representativas de la región con sus listados florísticos, en cuatro diferentes localidades y diferentes subzonas del arrecife. El trabajo que se llevó a cabo permitió analizar las variaciones en los parámetros comunitarios básicos de riqueza específica, abundancia y diversidad de las macroalgas arrecifales que son considerados importantes indicadores de la condición del arrecife. El análisis de la proporción de grupos morfo-funcionales en algas permitió además detectar cambios en la comunidad arrecifal y hacer inferencias sobre el estado de conservación del arrecife.

En la subzona de Cresta de Punta Maroma la cobertura algal fue baja y los valores de canopia oscilaron de moderados a pequeños, predominaron las algas corticadas y calcáreas articuladas (indicadoras de ambientes estables, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982), y bajos porcentajes de foliosas y filamentosas (indicadoras de disturbio ambiental, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982). Los valores de diversidad oscilaron de moderados a bajos, y la riqueza específica algal fue moderada por lo que en esta subzona los indicadores mostraron que no hay influencias externas significativas.

En el Arrecife Frontal Interno de Punta Maroma la cobertura algal fue baja y los valores de canopia moderados; predominaron las algas foliosas (indicadoras de disturbio ambiental, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) en el mes de noviembre y de correosas y corticadas (indicadoras de ambientes estables, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) en los otros dos meses de estudio. Se registraron bajos porcentajes de calcáreas articuladas, correosas y foliosas, valores de diversidad bajos y moderados de riqueza específica. Por lo que consideró que en la subzona aunque predominaron las algas filamentosas en el mes de noviembre con porcentajes bajos no hubo influencias externas significativas.

En la subzona de Transición Barlovento de Punta Maroma la cobertura algal fue baja y los valores de canopia fueron moderados, predominaron las algas calcáreas articuladas, y bajos porcentajes de foliosas, correosas, costrosas y filamentosas con valores de diversidad y riqueza específica moderados, por lo se puede señalar que no hay influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Moc-Che Cresta la cobertura algal fue baja y los valores de canopia moderados, predominaron las algas costrosas en el mes de noviembre, la predominancia de filamentosas en agosto (indicadoras de ambientes con disturbio, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) y la predominancia de correosas (indicadoras de ambientes estables, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) en marzo, con valores de diversidad bajos, y de riqueza específica moderada, por lo que se plantea que dicha subzona pudo estar sujeta a la acción de alguna influencia externa significativa en el mes de noviembre y marzo (como el aumento del herbivorismo, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) provocando la predominancia de algas costrosas y filamentosas respectivamente, aunque en porcentajes de cobertura bajos.

En la subzona de Moc-Che, TB la cobertura algal fue baja y los valores de canopia moderados, además predominaron las algas calcáreas articuladas y correosas (indicadoras de ambientes estables, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982), los valores de diversidad fueron muy bajos y la riqueza específica algal baja, por lo que se puede plantear que no hubo influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Chun-Zumbul TB la cobertura algal fue baja y los valores de canopia pequeños, predominaron las algas correosas y filamentosas, los valores de diversidad fueron moderados, y la riqueza específica baja, por lo que se considera que aunque predominaron las algas filamentosas y correosas, se presentaron en porcentajes bajos y no hubo influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Jardines TB, la cobertura y canopia algal fueron bajas, predominaron las algas corticadas y correosas (indicadoras de ambientes estables, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982), los valores de diversidad fueron muy bajos, y la riqueza específica moderada, por lo que se puede señalar que no hay influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Arrecife Frontal Interno de Xaac la cobertura algal fue baja, y los valores de canopia algal moderados, predominaron las algas calcáreas articuladas (indicadoras de ambientes estables, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982), los valores de diversidad oscilaron de moderados a altos y la riqueza específica fue moderada, por lo que se estima que no hay influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Transición Barlovento de Xaac la cobertura algal y canopia fueron bajas, los porcentajes de grupos morfofuncionales fueron bajos sin predominancia de ninguno, los valores de diversidad oscilaron de moderados a bajos, y la riqueza específica fue moderada, por lo que se puede decir que no hubo influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Xaac, Cresta la cobertura algal fue de moderada a baja, y los valores de canopia algal moderados, los porcentajes de grupos morfo funcionales fueron bajos predominando las algas calcáreas articuladas y correosas (indicadoras de ambientes estables, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982), los valores de diversidad fueron de moderados a bajos, y la riqueza específica fue alta, por lo que se estima que no hubo influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Arrecife Frontal Interno de Tulum la cobertura algal fue de moderada a baja, los valores de canopia algal fueron bajos, los porcentajes de grupos morfo funcionales fueron bajos sin predominancia de ninguno, los valores de diversidad fueron moderados, y la riqueza específica alta, por lo que se puede señalar que no hubo influencias externas significativas en esta subzona.

En la subzona de Transición Barlovento de Tulum la cobertura algal y canopia fueron bajos, los porcentajes de grupos morfo funcionales también fueron bajos sin predominancia de ninguno, y los valores de diversidad y riqueza específica fueron moderados por lo que se plantea que no hubo influencias externas significativas en la subzona.

Finalmente se concluye que todos los arrecifes estudiados presentaron porcentajes de cobertura algal de moderado a bajo. Los grupos morfofuncionales filamentosas y foliosas (indicadoras de disturbio ambiental, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) también se presentaron en bajos porcentajes o estuvieron ausentes. Sólo Moc-Che Cresta presentó indicios de influencias externas significativas teniendo en cuenta la predominancia de algas costrosas y filamentosas (indicadoras de ambientes con disturbio, Littler, 1980; Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) en dos meses de estudio, de lo que se puede deducir que esta subzona pudo estar sujeta a la acción de algún disturbio ambiental (como el aumento del herbivorismo).

BIBLIOGRAFÍA

AGRRA. 2000. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA). The AGRRA Rapid Assessment Protocol.

García, G. y R. M. Loreto. 1996a. Arrecifes Coralinos de Cozumel. Caracterización y Recomendaciones de Manejo. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

García, G. y R. M. Loreto. 1996b. Caracterización de los Arrecifes de la Poza de Xcalak. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

García, G., R. Loreto y M. Lara. 1997. Caracterización de la Flora y Fauna Terrestre y Marina de la Reserva

de la Biosfera Banco Chinchorro. 1ª. Campaña de trabajo. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A.C. México.

Gutiérrez, D., M. Lara, C. Padilla, J. Pizaña, G. García, y R. M. Loreto. 1995. Los Arrecifes Coralinos del Corredor Cancún-Tulum. Sian Ka'an. Serie de Documentos. No. 4. 1-44 p.

Lara, M., C. Padilla, R. M. Loreto y A. Loreto. 1998. Propuesta de ordenamiento ecológico, pesquero y turístico para los arrecifes del Centro de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Reporte técnico. México.

Littler, M. M. 1980. Morphological form and photosynthetic performances of marine macroalgae: test of a functional/form hyphotesys. Bot. Mar. 22:161-165.

Littler, M. M. y D. S. Littler. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory test of a functional form model. Am. Nat. 116:25-44.

Littler, M. M. y K. E. Arnold. 1982. Primary productivity of marine macroalgal and functional form groups from southwestern North America. J. Phycol. 18:307-311.

Littler, M. M. y D. S. Littler. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. J. Exp. Mar. Biol Ecol. 74:13-34.

Littler, M. M. y D. S. Littler. 2000. Caribbean Reef Plants. An identification Guide to the Reef Plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico. Off Shore Graphics. USA. 542 p.

Padilla, C., D. Gutiérrez, M. Lara, y C. García. 1992. Coral Reefs of The Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Proc. 7th. Int. Coral Reef Symp, Guam. 2:986-992.

Padilla, C., M. García y M. Lara. 2000. El uso del buceo en el muestreo de comunidades bentónicas. P 448 en Granados Barba, A., V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (Eds.). Métodos de muestreo en la Investigación Oceanográfica. 17 Capítulos. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.

Reef Check. 2001. Reef Check Survey Instruction Manual. http://www.reefcheck.org/methods.htm.

CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE GORGONÁCEOS DEL ARRECIFE DEL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD

CHARACTERIZATION OF THE GORGONIAN (SOFT CORAL) COMMUNITY IN SOLIDARIDAD

Claudia Padilla Souza
Centro Regional de Investigación Pesquera Puerto Morelos, Instituto Nacional de la Pesca
claudiapadilla@prodigy.net.mx

Resumen: Los gorgonáceos resultaron un elemento importante del paisaje en la comunidad arrecifal de la zona costera del Municipio de Solidaridad. La mayor abundancia de organismos de este taxa se encontró en las subzonas de profundidad intermedia, en las subzonas del Arrecife Frontal Interior y Transición Barlovento, donde fue común encontrar sitios llamados "jardines de gorgonáceos", como fue el caso de Punta Maroma, Mayacoba, Xaac y Tulum. En la parte central del área de estudio, frente a Playa del Carmen, la cordillera presentó una abundancia intermedia de gorgonáceos, generalmente de tamaños medianos y alta variedad de especies. Sin embargo, en las partes profundas del arrecife (como el Arrecife Frontal Exterior) y las muy someras (como la Cresta Arrecifal), la abundancia de gorgonáceos fue baja.

Palabra clave: Gorgonáceos de la Riviera Maya, arrecifes de coral, distribución.

Abstract: The gorgonian taxa were the must important element in the coral reef community at Solidaridad Municipality coast. The must abundance of this taxa was found at middle depth, in the subzones Front Reef Interior and Windward Transition, where the "gorgonians garden" are founded in places like Punta Maroma, Mayacoba, Xaac y Tulum. In front of Playa del Carmen was founded a middle abundance of gorgonian with middle size and high species varieties. However, in deep coral reef subzones as Front Reef Exterior, and in very shallow waters as Reef Crest, the gorgonians abundance was low.

Key words: Riviera Maya gorgonians, coral reefs, distribution.

INTRODUCCIÓN

Los gorgonáceos, comúnmente conocidos como corales blandos, tienen una gran importancia como elementos del paisaje submarino en los arrecifes coralinos. Anteriormente algunas de estas especies tenían uso comercial por los productos derivados de su metabolismo que se empleaban como bactericidas y prostaglandinas que funcionan como hormonas. Los esqueletos de los gorgonáceos en forma de abanico se utilizan para elaborar piezas de ornato, y algunos de crecimiento arbustivo se llegan a utilizar para elaborar joyería y artesanía. Sin embargo, su mayor importancia reside en el papel ecológico que tienen en los arrecifes, ya que el la región del Caribe la comunidad de gorgonáceos representa una parte de la fauna bentónica más conspicua y espectacular para los visitantes, por su colorido, forma y tamaño. Los gorgonáceos no son verdaderos constructores arrecifales, pero sus espículas constituyen una fracción significativa de las arenas. Por otro lado sirven de refugio a otros organismos arrecifales como peces, equinodermos y algunos moluscos y crustáceos que los usan como sustrato permanente o como fuente de alimento.

La metodología empleada en este estudio, se describe detalladamente en un articulo previo de esta publicación "Metodología utilizada en el estudio de la Comunidad arrecifal de las Playas del municipio solidaridad: generalidades".

RESULTADOS

Las especies más abundantes fueron *Plexaura flexuosa, Eunicea mamosa* y *Gorgonia flabellum*, que se encontraron distribuidas en toda el área de estudio. El tamaño de las colonias varió, sobre todo entre las diferentes zonas del arrecife, encontrándose los organismos de mayor tamaño en los sitios denominados "jardines de gorgonáceos". En algunos sitios, se encontró un alto porcentaje de colonias dañadas, sobre todo en Punta Maroma y en Mayacoba.

En los tres muestreos se registró un total de 32 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 12 géneros y cuatro familias del Orden Octocorralia, de la Clase Anthozoa, del Phylum Cnidaria, del Reino Animalia (Tabla 1).

Tabla 1. Listado de especies de gorgonáceos en los tres muestreos.

Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Anthozoa		Anthothelidae	Erythropodium	*Erythropodium polyanthyes*
			Iciligorgia	*Iciligorgia schrammi*
		Briareidae	Briareum	*Briareum asbestinum*
		Gorgoniidae	Gorgonia	*Gorgonia flabellum*
				Gorgonia marie
				Gorgonia ventalina
			Pseudopterogorgia	*Pseudopterogorgia acerosa*
				Pseudopterogorgia americana
				Pseudopterogorgia bipinnata
				Pseudopterogorgia elisabethae
			Pterogorgia	*Pterogorgia anceps*
				Pterogorgia citrina
		Plexauridae	Eunicea	*Eunicea calyculata*
				Eunicea fusca
				Eunicea grandiflora
				Eunicea laxispica
				Eunicea mamosa
				Eunicea palmeri
				Eunicea succinea
				Eunicea tourneforti
			Muricea	*Muricea atlantica*
				Muricea taxa
				Muricea muricata
			Muriceopsis	*Muriceopsis flavida*
			Plexaura	*Plexaura flexuosa*
				Plexaura homomalla
			Plexaurella	*Plexaurella dichotoma*
				Plexaurella grisea
				Plexaurella nutans
			Pseudoplexaura	*Pseudoplexaura flagellosa*
				Pseudoplexaura porosa
				Pseudoplexaura wagenaari

Las especies que tuvieron amplia distribución, como *Plexaura flexuosa* y *Eunicea mamosa,* se presentaron en la mayoría de los sitios y las subzonas, en los tres muestreos del estudio; mientras que las especies de distribución restringida como *Pterogorgia anceps*, *Muricea muricata* y *Eritrhropodium polyanthes* mostraron una menor área de distribución.

El número de especies varió entre cuatro y 20 en las distintas localidades de los tres muestreos. La Transición Barlovento de la mayoría de los sitios fueron los que presentaron el mayor número de especies (Tabla 2 y Fig. 1), siendo esta zona del arrecife donde se forman los jardines de gorgonáceos y donde estos organismos constituyen la fauna sésil dominante. La riqueza específica se mantuvo constante en cada localidad a lo largo de los tres muestreos. En la mayoría de las zonas profundas, en las subzonas del Arrecife Frontal (AFI) se observó una tendencia a disminuir el número de especies en los tres muestreos. En las partes someras se observó una ligera fluctuación en el número de especies y en algunas de ellas se apreció una tendencia a la disminución. Probablemente esta situación refleje algún tipo de perturbación que afecta principalmente las partes de menor profundidad del arrecife, como puede ser la incidencia de huracanes y tormentas que han sido frecuentes en los muestreos.

Tabla 2. Número de especies en las localidades por zona y por muestreo.

Localidad	Subzona	Número de especies		
		1er muestreo noviembre del 2004	2do muestreo marzo del 2005	3er muestreo agosto del 2005
Punta Maroma	AFI	14	6	4
	TB	7	13	11
	Cr	18	8	7
Moc-che	TB	9	17	20
	Cr	8	5	8
Chun-zumbul	TB	18	17	16
Jardines	TB	17	17	14
Xaac	AFI	15	11	13
	TB	13	16	13
	Cr	5	5	8
Tulum	AFI	18	15	13
	TB	16	17	15

La densidad de gorgonáceos fue muy variable en la zona de estudio. Se conservó la tendencia de mayor densidad en la región sur, así como en la subzona de Transición Barlovento de todas las localidades. En cuanto a la densidad de gorgonáceos en la mayoría de los sitios de monitoreo se apreció una disminución de los valores registrados a lo largo de los muestreos. En algunos casos la diferencia fue notoria, sobretodo en los valores del primer muestreo, que fueron más altos que los registrados en los dos siguientes (Tabla 3 y Fig. 2). Probablemente esta diferencia del primer muestreo con los otros dos se deba a que en el primer muestreo se llevó a cabo un trabajo de prospección y no se precisó el sitio de muestreo y la estación de monitoreo se delimitó hasta el

segundo muestreo, por lo que probablemente no se trate de los mismos sitios, aunque estén dentro de la misma localidad.

El índice de diversidad (H') estimado para la comunidad de gorgonáceos osciló entre 0.8 y 2.5, encontrando los valores más altos en la subzona de Transición Barlovento de la mayoría de las localidades (Tabla 3 y Fig. 3). La diversidad no presentó cambios drásticos entre los diferentes muestreos como los otros dos parámetros comunitarios, manteniendo valores similares a lo largo del tiempo.

Tabla 3. Densidad de gorgonáceos en las localidades por zona y por muestreo.

Localidad	Subzona	Densidad (ind/m^2)		
		1er muestreo noviembre del 2004	2do muestreo marzo del 2005	3er muestreo agosto del 2005
Punta Maroma	AFI	2	0.50	0.30
	TB	3.25	5.20	3.80
	Cr	8.7	1.75	0.85
Moc-che	TB	1.65	4.35	4.10
	Cr	3.85	4.05	3.80
Chun-zumbul	TB	5.25	3.90	3.00
Jardines	TB	7.5	4.90	4.30
Xaac	AFI	3.8	4.40	3.35
	TB	3.8	6.20	4.75
	Cr	6.65	5.55	8.05
Tulum	AFI	7.35	5.35	4.70
	TB	7.6	5.75	3.75

La estructura de tallas permaneció similar a lo largo del estudio, encontrando que la mayoría de las colonias fueron de tallas intermedias (II y III) registrándose pocos organismos pequeños (I) y de tamaño grande (IV) (Fig. 4).

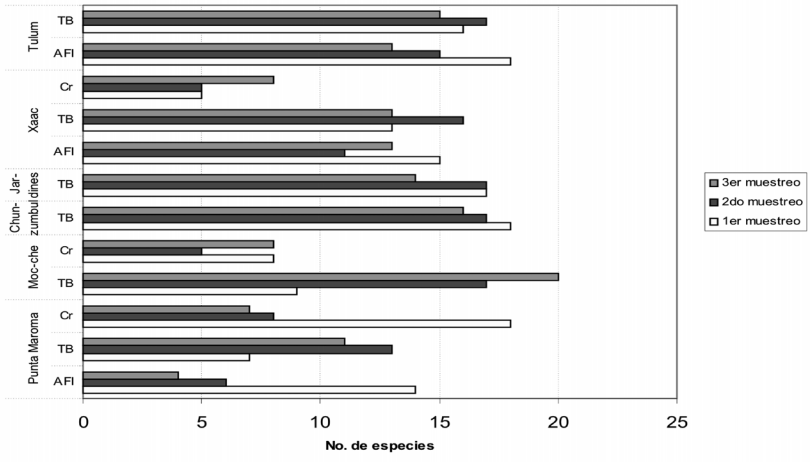


Fig. 1. Número de especies en las localidades por zona y por muestreo.

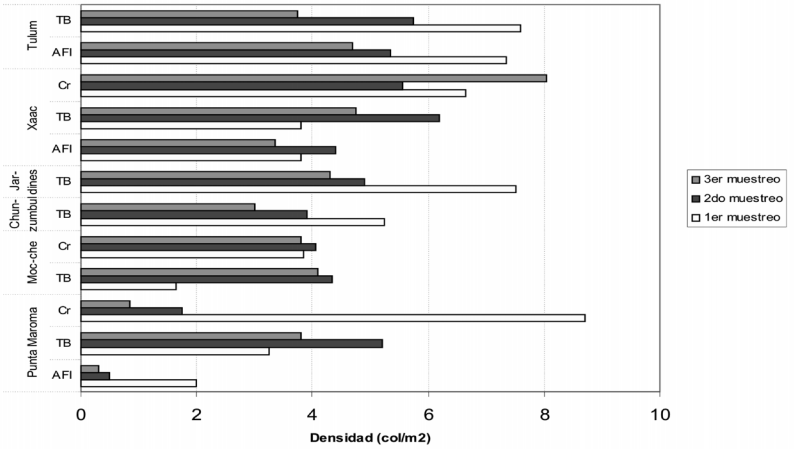


Fig. 2. Densidad de gorgonáceos en las localidades por zona y por muestreo.

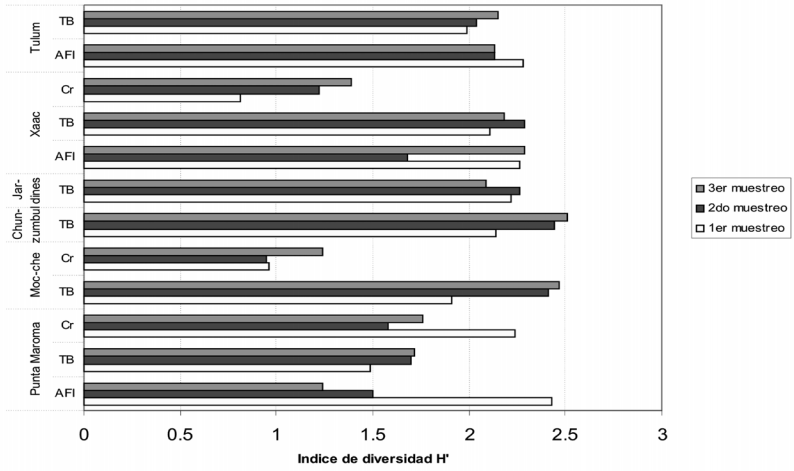


Fig. 3. Índice de diversidad de gorgonáceos en las localidades por zona y por muestreo.

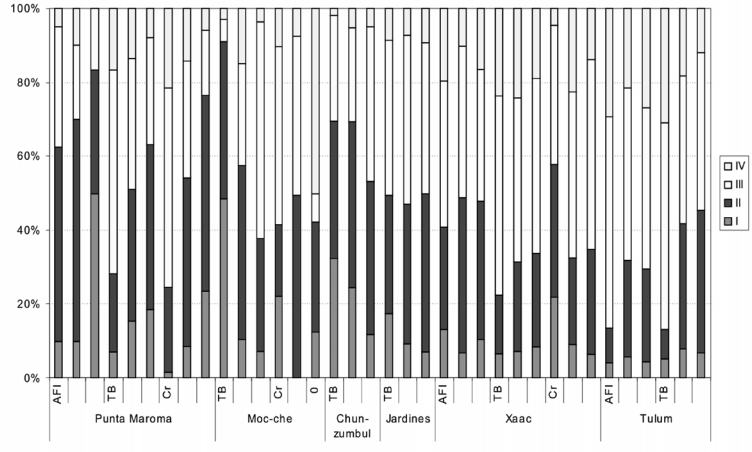


Fig. 4. Estructura de tallas porcentual de gorgonáceos por localidad, subzona y muestreo.

En referencia al análisis de la condición de los organismos, se observó una similitud en los muestreos, donde un alto porcentaje de las colonias se encontraron sanas y la incidencia de enfermedades se presentó de manera esporádica y no afectó a un alto número de organismos. En el caso de la subzona de la Cresta Arrecifal en Punta Maroma, en el tercer muestreo se observó que no hubo incidencia de mortalidad parcial, la cual fue alta en los muestreos anteriores (Fig. 5).

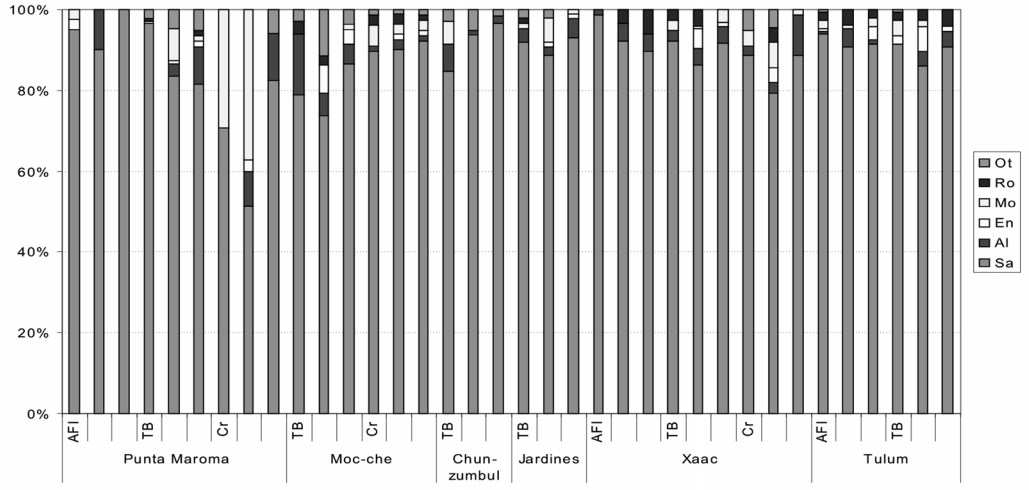


Fig. 5. Condición porcentual de gorgonáceos por localidad, subzona y muestreo.

Tabla 4. Índice de diversidad de gorgonáceos en las localidades por subzona y por muestreo.

Localidad	Subzona	Índice de Diversidad (H')		
		1er muestreo noviembre del 2004	2do muestreo marzo del 2005	3er muestreo agosto del 2005
Punta Maroma	AFI	2.43	1.50	1.24
	TB	1.49	1.70	1.72
	Cr	2.24	1.58	1.76
Moc-che	TB	1.91	2.41	2.47
	Cr	0.96	0.95	1.24
Chun-zumbul	TB	2.14	2.44	2.51
Jardines	TB	2.22	2.26	2.09
Xaac	AFI	2.26	1.68	2.29
	TB	2.11	2.29	2.18
	Cr	0.81	1.22	1.39
Tulum	AFI	2.28	2.13	2.13
	TB	1.99	2.04	2.15

CONCLUSIONES

En el caso de los gorgonáceos, los factores ambientales que determinan en mayor medida su distribución y abundancia, así como su diversidad, dentro de los ambientes de arrecifes coralinos son principalemente la sedimentación, la energía del oleaje y la variedad de sustratos disponibles para la implantación de nuevas colonias. En el caso de la sedimentación, sitios con altas tasas de acumulación de sedimento, pero que tienen sustrato duro disponible, están dominados por especies como *Pterogorgia anceps* y *P. citrina*, tal es el caso de la zona de la Laguna Arrecifal. Sitios con alta energía del oleaje, como es la Rompiente arrecifal, están dominados por abanicos de mar del género *Gorgonia*, en mayor abundancia la especie *G. ventalina*. Por otro lado, la disponibilidad de sustrato duro para la fijación de la colonia parece ser el elemento más importante para determinar la presencia de corales blandos en un lugar determinado, ya que las larvas necesitan de un sustrato duro para establecerse y formar una nueva colonia, con una base de fijación estable. Por este motivo, los sitios del arrecife con mayor presencia de sustrato duro como son la zona posterior de la Transición Barlovento y del Frontal Interior, son las subzonas del arrecife que presentan mayor abundancia y diversidad de corales blandos. Sitios más profundos, como es el Arrecife Frontal Exterior, presentan una disminución en la abundancia de gorgonáceos, y la especie *Icilligorgia schramii* suele ser un elemento importante. Por otro lado, los llamados jardines de gorgonáceos se desarrollan en la subzona del Arrecife Frontal Interior, en lugares, donde la estructura coralina no esta muy desarrollada y el relieve del sustrato es más bien bajo. Estos sitios albergan una alta diversidad y abundancia de colonias de coral blando, como en el caso de Tulum, Xaac y Mayacoba.

Conclusiones generales del estado de la comunidad del arrecife coralino frente a la Riviera Maya: El arrecife que existe en el Municipo de Solidaridad presenta diferencias morfológicas en su estructura geológica y comunitaria a lo largo de toda su extensión. Esta característica favorece la existencia de diversos ambientes que albergan una gran variedad de organismos arrecifales. Como resultado principal de este estudio se tiene una descripción detallada de las localidades más representativas de la región y 12 estaciones de monitoreo establecidas y georeferenciadas, en seis diferentes localidades y tres diferentes subzonas del arrecife. El monitoreo que se llevó a cabo permite analizar variaciones en los parámetros comunitarios básicos de riqueza específica, abundancia y diversidad de cinco taxones de organismos arrecifales (corales escleractinios, gorgonáceos, macroalgas, peces y equinodermos), que son considerados los principales indicadores de la condición del arrecife.

Los arrecifes coralinos que se encuentran dentro del Municipio de Solidaridad presentaron una baja cobertura de corales escleractienos que están sujetos a un regimen de perturbación continuo tanto de origen natural como antropogénico; por lo que este tipo de sistemas deben estar sujetos a un programa de monitoreo continuo ya que principalmente los parches arrecifales de las subzonas someras (Cresta Arrecifal y Transición Barlovento) son el atractivo natural que funciona como la base de diversas actividades económicas en el Municipio de Solidaridad.

Es importante que un Programa de Monitoreo sea capaz de detectar cambios de manera temprana y ser lo suficientemente sensible para detectar variaciones finas en la estructura de la comunidad de los organismos arrecifales. Por este motivo, el programa de monitoreo que se inició en los arrecifes del Municipio de Solidaridad incluyó indicadores de posibles alteraciones previas a una disminución de la abundancia y diversidad como fueron la estructura de tallas, la forma de crecimiento, las condiciones del organismo y el análisis de grupos funcionales de los cinco taxones estudiados, con la intención de establecer un monitoreo más fino que el que se realiza en otros

sitios.

Un análisis importante en este sentido suele ser la estructura de talla para organismos coloniales, donde una tendencia a reducir el tamaño de las colonias puede alertar sobre una condición previa al decremento de la abundancia, mientras que el incremento en la talla de las mismas evidencia el crecimiento de los organismos de dicha comunidad.

La forma de crecimiento en organismos coloniales también suele estar relacionada con factores bióticos y abióticos que las determinan, considerando que la morfología suele ser una respuesta adaptativa al ambiente. Por lo tanto, cambios en la proporción de las diversas formas de las colonias que suelen existir en una cierta zona del arrecife, también pueden indicar un efecto de cambios en la intensidad del oleaje, en la exposición a la sedimentación o en la competencia por sustrato.

La condición de las colonias en corales y gorgonáceos también puede ser un indicador útil para detectar una posible mortalidad de organismos, que pueda llevar a un decremento en la abundancia. El análisis de la proporción de grupos funcionales en algas y peces, permite detectar cambios en la comunidad arrecifal y hacer inferencias sobre el estado de conservación que denota el arrecife.

Es importante resaltar que las causas directas de las variaciones en la comunidad de organismos arrecifales que se presentan en este documento no pueden ser determinadas mediante un solo estudio. Sin embargo, hay que tener presente que la zona está siendo frecuentemente afectada por perturbaciones naturales como tormentas y huracanes, así como el efecto de la posible contribución de material terrígeno por las descargas de agua adyacentes a los predios.

Como última consideración se comenta que el Programa de Monitoreo del Sistema Arrecifal que se estableció en los arrecifes del Municipio de Solidaridad requiere llevarse a cabo de manera continua y a largo plazo, para poder detectar con mayor precisión los cambios temporales y espaciales que suceden en las comunidades de los organismos arrecifales estudiados, y poder servir como una referencia para evaluar perturbaciones, ya sea naturales o antropogénicas, que se puedan presentar en el futuro.

Consideraciones sobre el muestreo. El muestreo eficiente de la mayoría de los taxa de organismos arrecifales representa un problema logístico y siempre tiene sesgos, por lo cual cualquier muestreo es una representación incompleta de la comunidad y la delimitación espacial y temporal es necesariamente arbitraria en la mayoría de los casos. Los métodos que permitirían conocer la totalidad de las especies y los individuos que existen en una localidad en un momento dado son destructivos (p.e. rotenona, explosivos), por lo que la mayoría de los investigadores adoptan la opción de examinar un ensamble; es decir, solo una porción de la comunidad, en un tiempo y espacio dados. Se espera que las propiedades de un ensamble reflejen las de la comunidad a que pertenece, de la misma forma que se espera que el promedio de una muestra refleje el promedio de una población.

Las limitaciones de estos métodos son sin embargo importantes, como lo son la subestimación de las especies crípticas, las nocturnas y grupos taxonómicos móviles como los peces en donde hay algunas especies que se desplazan en la parte superior de la columna de agua; así mismo, se subestima la cantidad de individuos por especie, lo que sirve para calcular la densidad de organismos por unidad de área.

Hay que considerar que existen limitaciones del método por los siguientes factores:

a) Muestreos realizados únicamente durante el día. Los muestreos diurnos de entrada subestiman a las especies nocturnas, de las cuales se encuentran varias especies de peces como las morenas, *Pempheris schomburgki* entre otras y la mayoría de los equinodermos.

b) Superficie de muestreo de solo 20 m^2. Dada la gran superficie del arrecife, así como la

motilidad de los peces, un área de 20 m^2 subestima muchas especies que no caen dentro del transecto. Para ello se realizaron recorridos en los alrededores del transecto y las especies se consideraban como presencia en los listados de especies, pero se subestima la densidad.

c) Excesiva cantidad de personal trabajando en el transecto. Dado que los trabajos de caracterización se realizaban sincronizadamente con muestreos para corales escleractinios, octocorales, algas e invertebrados, la cantidad de tomadores de datos sobre el transecto era excesiva, lo que de alguna manera ahuyentaba a una buena parte de las especies de peces presentes en el área (p. e. meros, pargos, y otros carnívoros), mientras que otras eran atraídas, tal es el caso de *Thalassoma bifasciatum* que aprovecha para buscar alimento entre los sedimentos resuspendidos.

d) Necesidad de calcular la talla de los organismos de peces. Las tallas de los peces fueron calculadas "a ojo", sin ayuda de ningún instrumento de medición, lo que puede haber causado errores de apreciación, dadas las cualidades ópticas en el agua. En el caso de los organismos bentónicos como los corales y los gorgonáceos la estimación sí se pudo llevar a cabo con instrumentos de medición como cintas métricas.

La gran abundancia de ejemplares pequeños es debida a factores de comportamiento y biología de algunas especies grandes y pequeñas. Por ejemplo, las tallas más pequeñas corresponden a especies territoriales como las damiselas (Fam. Pomacentridae), que difícilmente se mueven de un lugar definido, aún cuando el transecto es colocado en su sitio, tratando de defender su territorio incluso de los buzos. Por otro lado, algunas especies llegan al transecto en busca de alimento como es el caso de *Thalassoma bifasciatum*, que aprovecha el sedimento resuspendido durante las maniobras de toma de datos para obtener alimento.

Los grandes carnívoros como meros, chernas, pargos o barracudas son en particular más tímidos a la proximidad humana y prefieren mantenerse alejados, algunos, como la barracuda observan a distancia, otros como los pargos o meros prefieren esconderse o alejarse, por ello ninguna de estas especies fue contabilizada en los transectos a pesar de haber sido observadas en los alrededores.

Los ejemplares más grandes observados correspondieron al género *Gymnothorax* (morenas), que permanecieron en su refugio durante los trabajos de toma de datos, por lo cual fue relativamente fácil encontrarlas dentro del área del transecto.

Las características del sustrato fueron determinantes en el estado de la comunidad ictiológica, ejemplo claro son las localidades de Xaac y Tulum, donde se presentaron sistemas de macizos y canales bien formados, a diferencia de Punta Maroma y Playa del Carmen (Chun-zumbul, Jardines, Moxche). Sobre estos macizos coralinos se desarrolló una comunidad coralina que condicionó un sustrato heterogéneo, favorable para el desarrollo de las comunidades de peces. De igual manera, las zonas profundas fueron más ricas en especies debido a la estabilidad ambiental (menor turbulencia).

Las localidades ubicadas frente a Playa del Carmen presentaron un escaso desarrollo coralino, siendo simples agregados de corales gorgonáceos con algunos corales duros en los bordes de las pequeñas paredes, donde los peces han encontrado un lugar de refugio y alimentación, que si bien no es el óptimo, es lo único que hay en varios kilómetros a la redonda.

Efecto del Huracán Emily en la comunidad arrecifal. El huracán Emily azotó la zona de la Riviera Maya el 17 de julio de 2005, un mes antes del tercer muestreo, provocando daños a la infraestructura turística y urbana de la zona. Las formaciones arrecifales suelen ser afectadas por estos fenómenos, aunque la magnitud de los daños está en dependencia de la fuerza y dirección de los vientos y el oleaje de tormenta. Los principales daños son estructurales, afectando colonias coralinas de diversos tamaños, desprendiéndolas del sustrato, golpeándolas con diversos objetos

(rocas, otras colonias coralinas, e incluso elementos terrestres), o abrazándolas con el ir y venir de la arena durante estos fenómenos. La comunidad íctica es afectada con la pérdida de individuos, así como de sustrato óptimo para refugiarse, alimentarse o reproducirse.

BIBLIOGRAFÍA

Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en Mexico. En Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González, (Eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D.F: 81-92 pp.

Chávez, E. A. y E. Hidalgo. 1988. Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 15:167-176.

Padilla, C., D. Gutiérrez, M. Lara y C. García. 1994. Coral Reefs of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. Proc. 7th. Int. Coral Reef. Symp. Guam, 2:986-992.

Padilla, C., M. García, y M. Lara. 2000. El uso del buceo en el muestreo de comunidades bentónicas. P. 222-234 en Granados Barba, A., V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (Eds.). 2000. Postgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México: 448 pp.

Tunnell, J. W., A. A. Rodríguez, R. L. Lehman and C. R. Beaver. 1993. An ecological characterization of the southern Quintana Roo Coral Reef System. Center for Coastal Studies Texas A y M University, Corpus Christi, Texas.

CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE CORALES ESCLERACTINEOS DEL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO, MÉXICO

CHARACTERIZATION OF THE SCLERACTIAN CORALS COMMUNITY IN SOLIDARIDAD MUNICIPALITY, QUINTANA ROO, MÉXICO

Axayacatl Molina-Ramírez
El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal
axa_molina@mac.com

Resumen: Este trabajo, presenta el análisis de la estructura comunitaria de corales escleractineos de seis localidades del Municipio de Solidaridad. Se realizaron tres muestreos en noviembre del 2004, mayo y agosto del 2005. Los parámetros de la comunidad de corales escleractieneos se determinaron sobre transectos de 20 m en cada localidad y subzona del arrecife. Se registraron 30 especies de corales escleractineos. Las colonias se encontraron principalmente agrupadas en parches; las localidades de Xaac y Tulum presentaron la mayor cobertura de colonias, la distribución más continua y los mayores valores de diversidad. La especie más abundante fue *Montastraea annularis* y la forma de crecimiento dominante fue la de las colonias masivas. Se registraron valores de 20% de blanqueamiento promedio siendo más frecuente durante el último muestreo. La baja riqueza específica y la baja cobertura de tejido vivo pueden ser el resultado de que estos arrecifes muestran un cierto grado de deterioro que puede deberse a diversos factores. Se require determinar el origen específico (naturales y antropogénicas) y la intensidad de cada una de las fuentes de perturbación sobre el sistema.

Palabras Clave: Corales escleractineos, estructura comunitaria, caribe mexicano, monitoreo.

Resumen: This work shows the community structure analysis of scleractinan corals in Solidaridad. Samples were taken on November 2004, May and August 2005. The records were made in 20 m transects for each study site and the reef zone. Thrity species of scleractinean corals were reported. The colonies were found in patchiness; only at Xaac and Tulum localities the distribution was more continuous, they had more coverture and diversity. The most abundant species was *Montastraea annularis* and the growth type dominant was the massive colonies. The bleaching average was 20% more frequent in the last sampling. The low species richness and the low coverture of the live colonies can be the result of damage by multiple factors. It is necessary determinate the specific origin (natural and anthropogenic) and intensity of perturbations over the system.

Key words: coral reefs, community structure, Mexican Caribbean, monitoring.

INTRODUCCIÓN

Las formaciones arrecifales presentes en el Estado de Quintana Roo, han sido ampliamente estudiadas en diferentes aspectos, debido a su importancia ecológica, social y económica (Chávez e Hidalgo, 1988; Carricart-Gavinet y Horta-Puga, 1993; Tunnell et al., 1993).

En Puerto Morelos, Padilla y Lara (1996) analizaron la importancia del tipo de crecimiento en el tamaño de la colonia de *Acropora palmata*. Muñoz-Chagin y de la Cruz-Agüero (1993) caracterizaron los arrecifes de Akumal, registrando 33 especies de corales, con *Montastraea annularis* como la dominante. Para esta misma zona cabe destacar un estudio poblacional de la sobrevivencia de los corales de donde fueron extraídas colonias para el experimento Biosfera 2 (Clark et al., 1991).

Gutiérrez et al. (1993) compararon los arrecifes de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an y Veracruz, analizando la presencia y ausencia de las diferentes especies, además de presentar las

medidas necesarias para su conservación. Jordán (1990), analizó los corales escleractinios y gorgonáceos.

Además de los reportes de evaluación, monitoreo y conservación de los arrecifes del Caribe dentro de las iniciativas internacionales (UNEP/IUCN, 1988; Goenaga, 1990; Alcolado et al., 1993; Bacon et al., 1994; Kramer y Kramer, 2002), se tienen todos los trabajos de Amigos de Sian Ka'an, donde en las propuestas, planes y programas de manejo de las reservas o áreas naturales protegidas, se presentan las características generales de los ecosistemas arrecifales, como los informes para Puerto Aventuras-Punta Petempich (Gutiérrez et al., 1995); para Sian Ka'an (Gutiérrez-Carbonell y Bezaury-Creel, 1993; Gutiérrez-Carbonell et al., 1993a, b; García-Beltrán et al., 1995; Loreto-Viruel y García-Beltrán, 1997). García-Beltrán y Loreto-Viruel (1996) analizaron los efectos del huracán Roxana; para el corredor Cancún-Tulum (Jordán-Dahlgren et al., 1990a, b; Zarate-Lomelí et al., 1994; Gutiérrez et al., 1995) para la zona del Municipio de Solidaridad (Gutiérrez-Carbonell et al., 1993a); la caracterización para el arrecife de Banco Chinchorro (Jordán y Martín, 1987; Aguilar-Perera y Aguilar-Dávila, 1993; García-Beltrán et al., 1997); la descripción para los arrecifes de Isla Cozumel (Fenner, 1988; Martínez, 1988; Jordán, 1988); y para Isla Contoy (Reyes-Castro et al., 1989; Lara et al., 1993).

Para la zona de la Península de Yucatán, Jordán (1979a, b, 1989) determinó la estructura y composición de los arrecifes coralinos. Castañares y Soto (1982) caracterizaron taxonómicamente las 38 especies de corales escleractinios hermatípicos y posteriormente se elaboró el Atlas de las especies de corales escleractinios (Capurro et al., 1984) y la caracterización de los arrecifes del Caribe mexicano (Jordán-Dahlgren, 1993a,b).

Para este trabajo la información fue obtenida durante tres muestreos que se realizaron en el marco del proyecto: "Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, México Influencia de la calidad del agua en el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Riviera Maya".

MATERIALES Y MÉTODOS

La tipificación de la comunidad arrecifal se realizó mediante el método de muestreo que han aplicado Amigos de Sian Ka'an en las Áreas Naturales Protegidas de Quintana Roo, para la caracterización, monitoreo y diagnóstico que se ha llevado a cabo en toda la costa del estado de Quintana Roo (Gutiérrez, et al., 1993;= Lara, et al., 1993; Padilla, et al., 1994; García-Beltrán y Loreto-Viruel 1996; García-Beltrán, et al., 1997; 1995; Loreto-Viruel, 1997).

Se realizaron tres muestreos, en noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005. Se trabajó en los principales arrecifes del área de estudio entre Punta Maroma y Tulum. En cada sitio el muestreo se realizó a diferentes profundidades para abarcar las diferentes subzonas estructurales del arrecife. La referencia geográfica de las estaciones de monitoreo se encuentra en la tabla 1.

Los registros en campo se llevaron a cabo sobre transectos de 20 m, que sirvieron como referencia para anotar la presencia de los corales debajo de la cadena. Cada transecto consistió en una cadena de plástico de flotabilidad negativa con eslabones de 3.3 cm, marcada cada metro para facilitar el conteo de los organismos, según los métodos descritos por Gutiérrez et al. (1993; 1995), Lara et al. (1993), y Padilla et al. (1994,1996), García-Beltrán y Loreto-Viruel (1996, 1997), García-Beltrán et al. (1997), Lara y Padilla (1996);.

Tabla 1. Ubicación de estaciones para estudio de la comunidad arrecifal.

Localidad	Subzona arrecifal	Profundidad (m)	Localización Geográfica Latitud (N)	Longitud (W)
Punta Maroma	AFI	15	20°43.385	86°57.520
	TB	12	20°43.481	86°57.605
	Cr	1.5	20°43.570	86°57.822
Moc-che	TB	9	20°38.417	87°02.904
	Cr	3	20°38.451	87°03.119
Chun-zumbul	TB	9	20°38.116	87°03.197
Jardines	TB	9	20°37.495	87°03.780
Xaac	AFI	21	20°26.117	87°16.622
	TB	12	20°26.203	87°16.714
	Cr	1	20°26.481	87°16.480
Tulum	AFI	21	20°12.315	87°24.996
	TB	10	20°12.400	87°25.180

*Cr: cresta arrecifal, TB: transición barlovento, AFI: arrecife frontal interior.

Tabla 2. Tamaños y clases de talla para los corales escleractineos.

Tamaño de la colonia (cm)	Clase de talla
<5	I
5-10	II
10-20	III
>20	IV

Se generaron los listados de especies, la riqueza específica, la abundancia y la cobertura. También se evaluó la condición de los organismos para detectar enfermedades (escleractinios y gorgonáceos), estructura de tallas y formas de crecimiento de cada colonia (digitiforme, incrustante, masivo, ramificado), la condición de cada colonia (sana, blanqueamiento o epibiontes). También, se calculó el índice de diversidad de Shanon-Wienner (H').

La estructura de tallas se designó como se muestra en la tabla 2, se consideró el diámetro mayor

de cada colonia. El análisis de estos datos se presenta en histogramas de frecuencias para cada taxa y por sitios de muestreo.

RESULTADOS

Durante los tres muestreos se registraron 30 especies de corales escleractineos agrupados en 16 géneros y 10 familias (Tabla 3). Sin embargo, la mayor parte de las localidades analizadas presentaron una baja cobertura de corales escleractineos, los cuales conforman uno de los componentes principales dentro de los arrecifes coralinos de la zona.

Tabla 3. Listado de especies de corales escleractineos registrados en los tres muestreos.

Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Anthozoa	Scleractinia	Acroporidae	Acropora	*Acropora cervicornis*
			Acropora	*Acropora palmata*
			Acropora	*Acropora prolifera*
		Agariciidae	Agaricia	*Agaricia agaricites*
			Agaricia	*Agaricia fragilis*
			Agaricia	*Agaricia humilis*
			Agaricia	*Agaricia tenuifolia*
			Leptoseris	*Leptoseris cucullata*
		Astrocoeniidae	Stephanocoenia	*Stephanocoenia michelini*
		Faviidae	Colpophyllia	*Colpophyllia natans*
			Diploria	*Diploria clivosa*
			Diploria	*Diploria labyrinthiformis*
			Diploria	*Diploria strigosa*
			Montastraea	*Montastraea annularis*
			Montastraea	*Montastraea cavernosa*
		Meandrinidae	Dichocoenia	*Dichocoenia stokesi*
			Meandrina	*Meandrina meandrites*
		Mussidae	Isophyllia	*Isophyllia sinuosa*
			Isophyllastrea	*Isophyllastrea rigida*
			Scolymia	*Scolymia lacera*
		Pocilloporidae	Madracis	*Madracis decactis*
		Poritidae	Porites	*Porites astreoides*
			Porites	*Porites branneri*
			Porites	*Porites divaricada*
			Porites	*Porites furcata*
			Porites	*Porites porites*
		Siderastreidae	Siderastrea	*Siderastrea radians*
			Siderastrea	*Siderastrea siderea*
Hydrozoa	Capitata	Milleporidae	Millepora	*Millepora alcicornis*
			Millepora	*Millepora complanata*

En todas las localidades los crecimientos arrecifales se encontraron agrupados en parches cercanos o sobre formaciones rocosas. Sólo en la localidad de Xaac y Tulum se observó una distribución más continua; en éstas estaciones se encontraron los valores más altos de riqueza de

especies, particularmente en el primer muestreo, con más de 12 especies (Fig. 1).

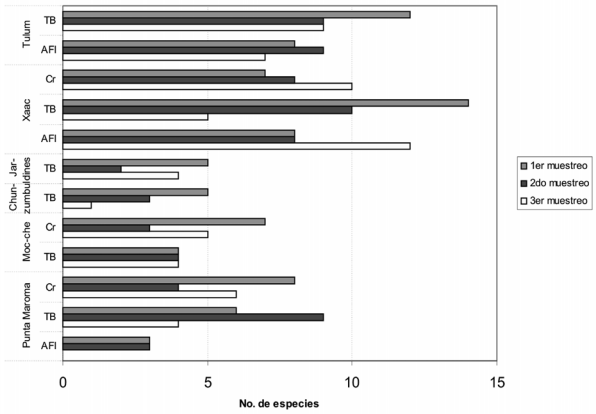


Fig. 1. Número de especies de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

La especie más abundante fue *Montastrea annularis*, otras especies frecuentes fueron *Agaricia agaricites*, *Porites asteroides* y *Montastrea cavernosa*. Estas especies presentan formas de crecimiento similares que construyen colonias masivas por lo que la forma de crecimiento dominante fue ésta, lo cual da una idea de la morfología general de las estructuras arrecifales vivas; las formas de crecimiento menos abundantes fueron la laminar y la ramificada. Las especies menos frecuentes fueron *Dichocoenia stokesi*, *Stephanocoenia michellini* y *Acropora palmata.*

Las estaciones localizadas al sur del Municipio de Solidaridad: Tulum y Xaac, fueron las de mayor riqueza de especies y diversidad, en las subzonas de la Transición Barlovento y Arrecife Frontal Interior, con una cobertura de corales escleractineos de aproximadamente el 25%. Mientras que la localidad con menor cobertura fue Punta Maroma con tan solo un 3% de corales escleractineos en el Arrecife Frontal Interior, al igual que Chun-zumbul y Jardines en la Transición Barlovento, que fueron subzonas dominada por gorgonáceos y zoantideos (Fig. 2).

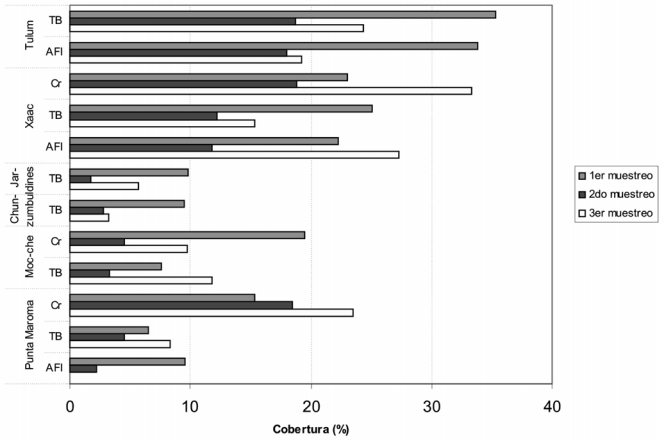


Fig. 2. Cobertura porcentual de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

Los valores más altos de diversidad se registraron en las localidades de Xaac y Tulum en la mayoría de las subzonas, éstas fueron las localidades con mayor cobertura y número de especies. Otras estaciones con valores elevados fueron: Jardines Transición Barlovento durante el primer muestreo y Punta Maroma Cresta Arrecifal, en éstas la cobertura de corales fue baja y el número de especies también; sin embargo, no se registró dominancia de alguna de las especies, por lo que los valores de diversidad fueron altos. En las demás estaciones los valores de diversidad fueron bajos (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de diversidad de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

Localidad	Subzona	Índice de Diversidad (H')		
		1er muestreo noviembre del 2004	2do muestreo marzo del 2005	3er muestreo agosto del 2005
Punta Maroma	AFI	0.76	0.98	1.36
	TB	1.64	1.37	1.62
	Cr	1.83	2.05	0.99
Moc-che	TB	1.10	1.03	1.32
	Cr	1.34	1.32	0.00
Chun-zumbul	TB	1.17	1.07	0.80
Jardines	TB	1.32	0.61	2.29
Xaac	AFI	1.71	2.04	0.88
	TB	1.67	2.03	2.02
	Cr	1.87	2.12	1.45
Tulum	AFI	1.48	1.91	1.76
	TB	1.82	1.94	1.36

Cr: cresta arrecifal, TB: transición barlovento, AFI: arrecife frontal interior.

Se registró alrededor de un 20% de blanqueamiento promedio; cabe destacar, que durante el tercer muestreo el porcentaje de blanqueo en algunas colonias fue alto, incluso en algunas hasta el 100%, como en la localidad de Tulum. El porcentaje de colonias sanas fue alrededor del 45% (Fig. 3).

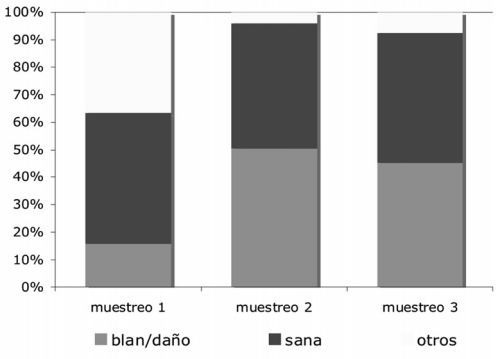


Fig. 3. Porcentaje de colonias sanas, blanqueadas y dañadas.

Estas condiciones, aunadas a la baja riqueza específica y a la baja cobertura de tejido vivo

pueden ser el resultado de que estos arrecifes muestran un cierto grado de deterioro que puede deberse a diversos factores.

DISCUSIÓN

Los arrecifes del Municipio de Solidaridad se pueden dividir en tres áreas geográficas: norte, centro y sur, que difieren en la estructura del arrecife. El área norte incluye a Punta Maroma y presentó arrecifes poco estructurados. El área central, que corresponde a los lugares aledaños a Playa del Carmen, mostró una cobertura de corales baja y gorgonáceos abundantes. El área sur incluye a Xaac, Kantenah y Tulum, donde las formaciones arrecifales fueron más continuas.

Las colonias de corales escleractinios se encontraron distribuidas de forma heterogénea en los diferentes tipos de sustrato. La mayoría de las colonias estaban agrupadas en parches con un sustrato arenoso abundante donde se registraron numerosas colonias de hidrozoarios y gorgonáceos. La subzonas de Transición Barlovento se caracterizaron por formar "jardines de gorgonáceos".

De las especies menos frecuentes de corales escleractineos, *Acropora palmata*, anteriormente era considerada una de las especies más abundantes, hace aproximadamente 20 años; sin embargo, actualmente se ha registrado como una especie que ha disminuido en abundancia en el Mar Caribe (Jordán-Dahlagren, 2003; Bellwood et al., 2004; Burke y Maidens, 2004). Cabe destacar que la forma de crecimiento ramificada es una de las más afectadas durante el paso de huracanes y de las que más tardan en recuperarse ya que la mayoría de las colonias sufren daño mecánico, además del blanqueamiento general por el incremento de temperatura antes de estos fenómenos (Lugo et al., 2000).

En la estructura de tamaños se presentaron las cuatro categorías, lo que indica que se encontraron colonias pequeñas, intermedias y grandes. La distribución de las colonias fue heterogénea siendo las categorías II y IV las más frecuentes (tamaño intermedio y grande). En general se presentaron entre tres y cuatro clases de tamaños en cada estación mostrando la variabilidad de tamaño de las colonias. En la localidad de Chun-zumbul se registraron sólo colonias grandes.

En distintas revisiones sobre la condición de los arrecifes coralinos se ha reconocido que los ecosistemas arrecifales del Mar Caribe se ven afectados por motivos antropogénicos, de manera directa por el desarrollo costero que incrementa la sedimentación y la contaminación; además de las causas naturales incrementadas por el cambio climático global como el blanqueamiento (consecuencia del incremento de la temperatura) y otras enfermedades; además, de los huracanes y tormentas tropicales, cambio en el nivel del mar y una disminución en el potencial de calcificación de los corales escleractineos (Bellwood et al., 2004.; Burke y Maidens, 2004).

Es necesario determinar el origen específico (naturales y antropogénicas) y la intensidad de cada una de las fuentes de perturbación sobre el sistema, para poder diseñar herramientas adecuadas de conservación y restauración.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Perera, A. y W. Aguilar-Dávila. 1993. Banco Chinchorro: Arrecife Coralino en el Caribe. P. 807-816 en Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/ CIQRO, Ciudad de México, México.

Alcolado, P., D. Bone, P. Bush, J. Cortes, J. Garzon-Ferreira, R. Laydoo, H. Oxenford, J. Rian, J. Singh, J. Tschirky, F. Ruiz, S. White and J. Woodley. 1993. Status and recent history of coral reefs at the Caricomp

network of Caribbean Marine Laboratories. P. 73-79 In: Smith, S. R. y J. C. Ogden (eds.). Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs, Health, Hazards and History. University of Miami. Rosenthiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Florida, USA.

Bacon, P., E. Jordán, B. Kjerve, J. Woodley y J. Zieman. 1994. CARICOMP Manual de métodos, nivel I. Manual de métodos para el mapeo y monitoreo de parámetros físicos y biológicos en la zona costera del Caribe. Centro de manejo de datos CARICOMP, Center for Marine Sciences University of the West Indies, Mona, Kingston Jamaica y Florida Institute of Oceanography University of South Florida St. Petersburgo Florida, USA:67 p.

Bellwood, D. R., T. P. Huges, C. Folke and M. Nyström. 2004. Confronting the coral reef crisis. Nature. 429: 827-833.

Bruke, L. y J. Maidens. 2004. Reefs at risk in the Caribbean World Resources Institute. Washington D.C., USA: 80 p.

Capurro, A. L., E. A. Chávez, V. Zlatarski, E. Hidalgo, L. Huerta, D. Torruco, M. Garduño, A. Rodríguez y A. Bonfil. 1984. Atlas de los corales escleractineos de la península de Yucatán. Informe Técnico. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Yucatán, México.

Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en Mexico. P. 81-92 en Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, Ciudad de México, México.

Castañares, L. y L. Soto. 1982. Estudios sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la Península de Yucatán, México. I Sinopsis taxonómica de 38 especies. (Cnidaria: Anthozoa: Escleractinia). Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 9:295-344.

Chávez, E. A. y E. Hidalgo. 1988. Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 15:167-176.

Clark, V., N. A. Sowinski, G. I. Arcila-Gonzáles and A. Alling. 1991. North East coral reef community population survey with reference to the collection of coral species for Biosphere 2. Space Biosphere Venture, 1-6.

Fenner, D. P. 1988. Some leeward reefs and corals of Cozumel, México. Bulletin of Marine Science, 42: 133-144.

García-Beltrán, G. y R. M. Loreto-Viruel. 1996. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo, efectos del huracán Roxana en la comunidad arrecifal. Quinto Informe. Amigos de Sian Ka'an, México.

García-Beltrán, G. y R. M. Loreto-Viruel. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Amigos de Sian Ka´an, A. C. Reporte preliminar, México.

García-Beltrán, G., M. Lara-Pérez-Soto y R. M. Loreto-Viruel. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Reporte preliminar correspondiente a la campaña del 21 de abril al 13 de mayo de 1997. Amigos de Sian Ka'an, México. 71 p.

García-Beltrán, G., R .M. Loreto-Viruel, D. Gutiérrez-Carbonell, y E. Ibarra-Navarro. 1995. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo. Cuarto Informe. Amigos de Sian Ka'an. Biocenosis, México: 44 p.

Goenaga, C. 1990. The state of coral reefs in the wider Caribbean. Interciencia, 15:12-20.

Gutiérrez, D., C. García-Saez, M. Lara y C. Padilla. 1993. Comparación de arrecifes coralinos: Veracruz y Quintana Roo, p. 787-806 en Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, Ciudad de México, México.

Gutiérrez-Carbonell, D., García-Saez, C. y J. E. Bezaury-Creel. 1993a. Arrecifes coralinos de la reserva ecológica marina del Municipio Solidaridad. Caracterización y propuesta para el manejo. Informe final. Amigos de Sian Ka´an, México.

Gutiérrez-Carbonell, D., C, García-Sáez, M. Lara, C. Padilla, J. Pizaña y R., Macías.1993b. Caracterización de los arrecifes coralinos de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka´an. Serie de documentos Amigos de Sian Ka´an, A. C. 1:1-47.

Gutiérrez-Carbonell, D. y J. E. Bezaury-Creel. 1993. Manejo del sistema arrecifal de Sian Ka'an, p. 772-786 in Salazar-Vallejo, S .I. y N. E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/

CIQRO, Ciudad de México, México.
Gutiérrez, D., G. García, R. M. Loreto y T. Camarena. 1995. Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor Cancún-Tulum, Quintana Roo, México. En Sian Ka´an, Ser. Doc. Am. de Sian Ka´an, A. C. (Ed.). Dic. (4):3-39.
Jordán, E. 1979a. An analysis of a Gorgonian Community in a Reef Calcareous Platform on the Caribbean Coast of México. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 6:87-96.
Jordán, E. 1979b. Estructura y composición de Arrecifes Coralinos en la Región Noreste de la Península de Yucatán, México. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 6:69-86.
Jordán, E. 1989. Gorgonian community structure and reef zonation patterns on Yucatán Coral Reefs. Bulletin of Marine Science. 45:678-696
Jordán, E. 1990. Corales escleractinios y gorgonáceos del ambiente arrecifal coralino de Sian Ka'an. P. 127-130 en Navarro, D. y J. G. Robinson (eds.). Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. CIQRO-Program for Studies in Tropical Conservation, University of Florida.
Jordán, E. y E. Martín. 1987. Chinchorro: Morphology and composition of a Caribbean atoll. Atoll Research Bulletin. 310:1-33.
Jordán, E. 1988. Arrecifes profundos en la Isla de Cozumel, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 15:195-208.
Jordán-Dahlgren, E., E. Martín-Chávez, M. Sánchez-Segura y A. González-de la Parra. 1990a. Consideraciones generales: Arrecifes del Corredor. P. 78-85 en López-Portillo, J. (ed.). Estudios de ecología costera y de determinación de zonas de preservación ecológica del Corredor Turístico Cancún-Tulum. TECNOCONSULT-Instituto de Ecología.
Jordán-Dahlgren, E., E. Martín-Chávez, M. Sánchez-Segura y A. González-de la Parra. 1990b. Medio Marino. Arrecifes Coralinos. P. 45-73 en López-Portillo, J. (ed.). Estudios de ecología costera y de determinación de zonas de preservación ecológica del Corredor Turístico Cancún-Tulum. TECNOCONSULT-Instituto de Ecología.
Jordán-Dahlgren, E. 1993a. Atlas de los Arrecifes Coralinos del Caribe Mexicano. Volume 1. El sistema continental. ICMyL-UNAM/CIQRO, México, D. F.
Jordán-Dahlgren, E. 1993b. El ecosistema arrecifal coralino del Atlántico Mexicano. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 44. Diversidad Biológica de México:157-175.
Kramer, P. A. y P. R. Kramer. 2002. Ecoregional conservation planning for the Mesoamerican Caribbean Reef. Washington, D.C., Worl Wildlife Fund, USA. 140 p.
Lara, M., C. Padilla y R. Muñoz. 1993. Valoración ecológica de la comunidad bentónica de Isla Contoy. Programa de Manejo. Reserva Especial de la Biosfera Isla Contoy. SEDESOL, Amigos de Sian Ka'an, A.C.
Lara, M. y C. Padilla. 1996. Efecto del tamaño de las colonias en el crecimiento de *Acropora palmata* en Puerto Morelos, Q. Roo. México. Hidrobiológica, 6:17-24
Loreto-Viruel, R. M., y G. García-Beltrán. 1997. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo. Séptimo Informe. Amigos de Sian Ka'an, México.
Lugo, A. E., C. S. Rogers y S. W. Nixon. 2000. Hurricanes, coral reefs and rainforest: resistance, ruin and recovery in the Caribbean. Ambio, 29:106-114.
Martínez, O. E. 1988. Estudio cuantitativo y cualitativo de los escleractinios (Clase Anthozoa) de cinco arrecifes de la Isla de Cozumel, Quintana Roo, México. Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía Naval, México. 11 p.
Muñoz-Chagín, R. F. y G. de la Cruz-Aguero. 1993. Corales del arrecife de Akumal, Quintana Roo. P. 761-771 en Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D.F.
Padilla, C., D. Gutiérrez, M. Lara, y C. García. 1994. Coral Reefs of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. Proc. 7th. Int. Coral Reef. Symp. Guam. 2:986-992.
Padilla, C. y M. Lara. 1996. Effect of colony size on the growth of *Acropora palmata* in Puerto Morelos,

Quintana Roo, Mexico. Hidrobiologica, 6:17-24.

Reyes-Castro, J., R. Saenz-Morales y G. Horta-Puga. 1989. Corales pétreos de Isla Contoy y arrecife del Cabezo, Q. Roo, México. Revista de zoología ENEPI/UNAM. 1:1-9.

Tunnell, J. W., A. Rodríguez, R. L. Lehman, and C. R. Beaver. 1993. An ecological characterization of the Southern Quintana Roo Coral Reef System. Center for Coastal Studies Texas A y M University, Corpus Christi, Texas, USA.

UNEP/IUCN. 1988. UNEP Regional Seas Directries and Bibliographies. Volume 1: Atlantic and Eastern Pacific. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, U.K./UNEP, Nairobi, Kenia. Page Bros., Norwich,U. K.

Zárate-Lomelí, D., M. Lara-Pérez-Soto, C. Padilla-Souza, J. Sánchez-Chávez, F. J. Pizaña-Alonso, R. Urquiza-García y R. Nava-Honc. 1994. Arrecifes de Coral. Estudio de caracterización ecológica del predio correspondiente al proyecto turístico Xaac en el corredor Cancún-Tulum, Quintana Roo, México. Programa EPOMEX/ECOMAR A.C. México: 56 p.

CONTEO VISUAL DE EQUINODERMOS EN LOS ARRECIFES CORALINOS DEL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO, MÉXICO

VISUAL COUNTING OF ECHINODERMS IN CORAL REEFS OF SOLIDARIDAD MUNICIPALITY, QUINTANA ROO, MÉXICO

Beatriz Yáñez Rivera
El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal
beyariv@mac.com

Resumen: En el presente trabajo se presentan los resultados del censo visual de equinodermos en los arrecifes coralinos del H. Municipio de Solidaridad. Este conteo se realizó dentro de la evaluación integral de la condición de las principales formaciones arrecifales. Se midieron las tallas del erizo *Diadema antillarum*, debido a su importancia dentro de estos ecosistemas. Se registraron 12 especies, las cuales cuentan con reportes previos y son comunes en la zona del Caribe Mexicano. Se detectó una disminución considerable en la densidad del erizo *D. antillarum*, posterior al paso del huracán Emily en el 2005.

Palabras clave: arrecifes de coral, equinodermos, erizo, *Diadema antillarum.*

Abstract: This study presents the echinoderms list found in the visual counting of coral reefs in Solidaridad. The project is part of a global assessment of coral reefs. The sea urchins were measured because of their role in this ecosystem. Twelve species were found, which are common in the Mexican Caribean. There was an important density decrease of the *Diadema antillarum*, after hurricane Emily in 2005.

Key words: coral reefs, echinoderms, sea urchin, *Diadema antillarum.*

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos que existen en el Caribe Mexicano han tenido una gran importancia para la economía del Estado de Quintana Roo y han sido ampliamente estudiados en diferentes aspectos, debido a su importancia ecológica, social y económica (Chávez e Hidalgo, 1988; Carricart-Ginvet y Horta-Puga, 1993; Tunnell et al., 1993). En particular, el grupo de los equinodermos en Quintana Roo, se ha trabajado poco; aunque existen registros de diferentes especies (Caso, 1974; 1990; 1995a,b,c), De la Fuente-Betancourt et al. (2001) analizaron la viabilidad de la pesquería del pepino de mar para Banco Chinchorro incluyendo la estructura poblacional de *Holothuria thomasi*, *H. mexicana* y *H. floridana*. Además del trabajo de Bravo-Tzompanzi et al. (1999), quienes revisaron la clase Echinoidea en Puerto Morelos.

El conteo de las especies de equinodermos se realizó dentro de la evaluación integral de los sistemas arrecifales del Municipio de Solidaridad. Se consideró la estructura de tallas del erizo *D. antillarum*, debido a su importacia en el ecosistema arrecifal como herbívoro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los registros en campo se llevaron a cabo sobre transectos de 20 m, que sirvieron como referencia para anotar la presencia de organismos a un metro de distancia, teniendo así un área

de muestreo de 20 m^2. Cada transecto consistió en una cadena de plástico de flotabilidad negativa con eslabones de 3.3 cm., marcada cada metro para facilitar el conteo de los organismos, según los métodos descritos por García-Beltrán y Loreto (1996; 1997), García-Beltrán et al. (1997), Gutiérrez-Carbonell et al. (1993; 1995), Lara et al. (1993) y Loreto-Viruel y García-Beltrán (1997).

En el muestreo se consideraron todas las subzonas (Tabla 1) de las principales formaciones arrecífales dentro del Municipio de Solidaridad, en tres muestreos, en noviembre del 2004, marzo y agosto del 2005.

Tabla 1. Ubicación de estaciones para estudio de la comunidad arrecifal.

Localidad	Subzona arrecifal	Profundidad (m)	Localización Geográfica	
			Latitud (N)	Longitud (W)
Punta Maroma	AFI	15	20°43.385	86°57.520
	TB	12	20°43.481	86°57.605
	Cr	1.5	20°43.570	86°57.822
Moc-che	TB	9	20°38.417	87°02.904
	Cr	3	20°38.451	87°03.119
Chun-zumbul	TB	9	20°38.116	87°03.197
Jardines	TB	9	20°37.495	87°03.780
Xaac	AFI	21	20°26.117	87°16.622
	TB	12	20°26.203	87°16.714
Tulum	Cr	1	20°26.481	87°16.480
	AFI	21	20°12.315	87°24.996
	TB	10	20°12.400	87°25.180

Las identificaciones se realizaron "in situ", considerando las características particulares de la morfología externa de las diferentes especies utilizando la guía de Humann (1993). La información que se registró fue el número de organismos por especie en el transecto y el tamaño de cada organismo de la especie *Diadema antillarum*.

Se calculo la riqueza específica y el índice de diversidad de Shanon-Wienner (H'). La estructura de tallas del erizo *D. antillarum* se consideró como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tamaños y clases de talla utilizada para el erizo *D. antillarum*.

Tamaño del organismo (cm)	Clase de talla
<5	I
5-10	II
10-20	III
>20	IV

RESULTADOS

Durante los tres muestreos se registraron 12 especies de equinodermos correspondientes a

cuatro clases del phylum Echinodermata: Crinoidea, Ophiuroidea, Echinoidea y Holothuroidea; y a nueve familias: Cidaridae, Comasteridae, Diadematidae, Echinometridae, Gorgonocephalidae, Holothuriidae, Ophiocomidae, Ophiothricidae y Stichopodidae (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de especies de equinodermos registrados durante los tres muestreos.

Clase	Orden	Familia	Género	Especie
Crinoidea	Comatulida	Comasteridae	Nemaster	*Nemaster discoidea*
		Comasteridae	Nemaster	*Nemaster rubiginosa*
Echinoidea	Cidaroida	Cidaridae	Eucidaris	*Eucidaris tribuloides*
	Diadematoida	Diadematidae	Astropyga	*Astropyga magnifica*
		Diadematidae	Diadema	*Diadema antillarum*
	Echinoida	Echinometridae	Echinometra	*Echinometra lucunter lucunter*
		Echinometridae	Echinometra	*Echinometra viridis*
Holothuroidea	Aspidochirotida	Holothuriidae	Holothuria	*Holothuria mexicana*
		Stichopodidae	Isostichopus	*Isostichopus badionotus*
Ophiuroidea	Phynophiurida	Gorgonocephalidae	Astrophytum	*Astrophytum muricatum*
	Ophiurida	Ophiocomidae	Ophiocoma	*Ophiocoma echinata*
		Ophiothricidae	Ophiotrix	*Ophiotrix suensonii*

En el primer muestreo se registró el mayor número de especies; en la localidad Punta Maroma subzona Transición Barlovento con cinco especies correspondientes a tres erizos y dos ofiuros y en Xaac en la Cresta Arrecifal se observaron cuatro especies, tres erizos y un ofiuro. En ambas subzonas disminuyó el número de especies en los dos siguientes muestreos a una sola especie o incluso no se encontraron equinodermos (Fig. 1).

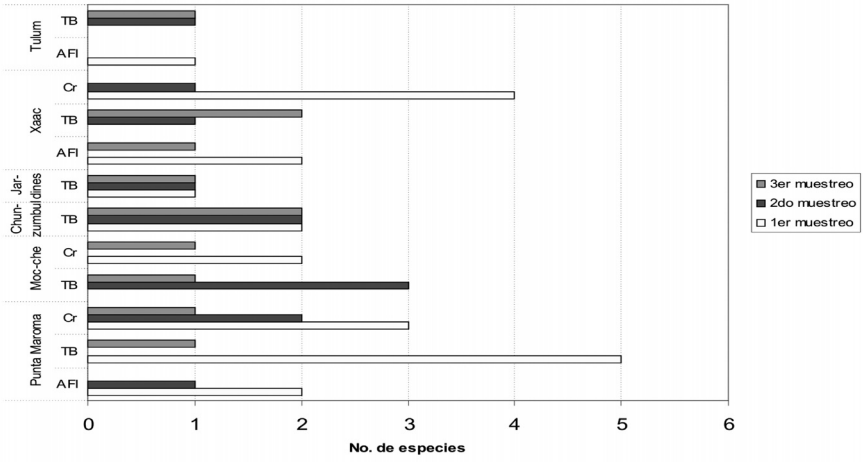


Fig. 1. Número de especies de equinodermos por localidad, subzona y muestreo

En el primer muestreo se registró la mayor densidad de equinodermos; solo de la especie *D. antillarum* se contaron 105 organismos. En el segundo muestreo las densidades disminuyeron; sin embargo, también fue la especie más abundante, con 15 individuos. En el tercer muestreo las

densidades fueron aún más bajas, solamente se registraron cinco individuos de *D. antillarum*, en este caso la especie más abundante fue el ophiuro *Ophiothrix suensonü*, que habita dentro de esponjas con 17 individuos (Fig. 2).

Los valores de diversidad en todos los casos fueron bajos (entre H´=0.27 y H´=1.42), debido

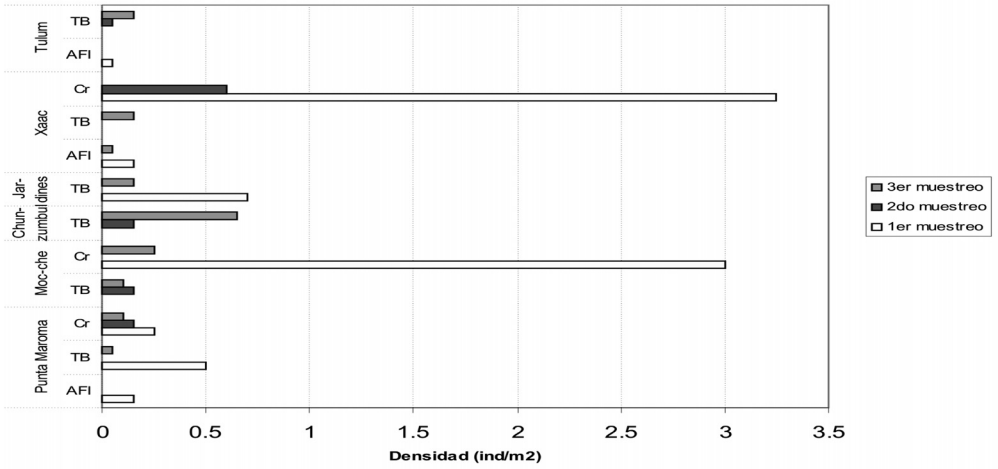


Fig. 2. Densidad de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

a que éste valor se refiere a la relación entre el número de especies y a la abundancia de cada una en la comunidad; en este caso, fueron pocas especies y poco frecuentes. Punta Maroma en la subzona Transición Barlovento y Cresta Arrecifal presentaron la mayor diversidad de equinodermos en el primer muestreo; en el segundo muestreo Moc-che Transición Barlovento registró el valor más alto, mientras que en el tercer muestreo los valores fueron menores, en muchos casos sólo se presentó una especie por transecto. (Fig. 3).

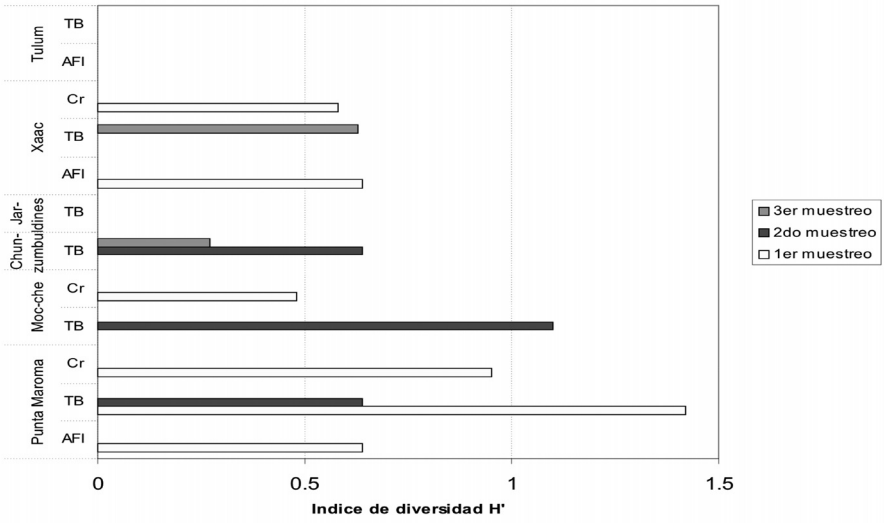


Fig. 3. Índice de diversidad de de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

En el análisis por categoría de tamaños solo se consideró a *Diadema antillarum,* debido a que

fue la especie con mayor abundancia y a su importancia como forrajeador de algas en ambientes arrecifales. Se observó una fluctuación en las tallas del erizo; no se encontraron todas las categorías en ninguno de los muestreos (Fig. 4).

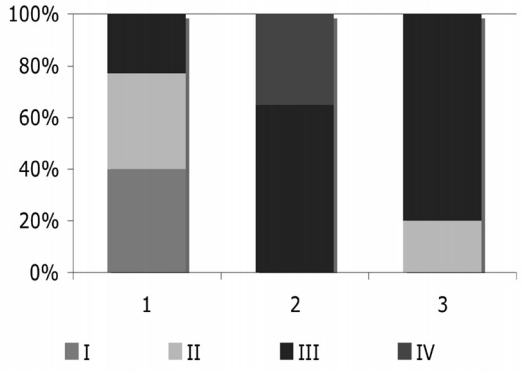


Figura 4. Frecuencia por categoria de tamaño del erizo *Diadema antillarium*
I=5 cm, II= 5 10 cm, III= 10 20 cm, IV= 20 cm

DISCUSIÓN

En la región del Mar Caribe se tienen registradas alrededor de 80 especies; sin embargo, para localizarlas es necesario remover y fragmentar las rocas ya que la mayoría de los equinodermos se mantienen ocultos durante el día, debido a que presentan un foto tactismo negativo por lo que se protegen durante el día escondiéndose bajo rocas o enterrándose en la arena (Hendler et al., 1995). En este trabajo sólo se registraron 12 especies debido a que solamente se consideraron los equinodermos visibles en el área de los transectos.

En general, la mayoría de las subzonas en las diferentes localidades presentaron pocas especies de equinodermos con baja densidad. En la Cresta Arrecifal fue donde se encontraron las más altas densidades; esta subzona se caracteriza por un oleaje constante, abundante pedacería de coral y formaciones rocosas que constituyen cavidades donde se mantienen ocultos la mayor parte del día.

En general se registró una disminución en la densidad de *D. antillarum*; esto se ha correlacionado con los cambios entre las coberturas generales de coral vivo *vs*. macroalgas, debido a sus hábitos alimenticios herbívoros. Sin embargo, un cambio entre las coberturas es producto de múltiples factores. No sólo de la abundancia en la que se encuentre este erizo ya que las relaciones son indirectas y complejas. Además, durante todos los muestreos se registró una disminución en la densidad. La dinámica poblacional de *D. antillarum* indica que hay variaciones frecuentes (Lessios, 2005), aunado a que los equinodermos son organismos móviles y con habitas crípticos. Cabe destacar que apenas unas semanas antes en el área de estudio, previo al tercer muestreo, se registró el huracán Emily (julio del 2005), y se ha documentado que las poblaciones de *D. antillarum* sufren grandes pérdidas después de estos disturbios naturales principalmente en las zonas de rompiente, donde es abundante (Lugo et al., 2000).

En las zonas arrecifales de Transición Barlovento, donde se encuentran elevadas densidades de gorgonáceos es frecuente el ophiuro *Astrophytum muricatum* que habita sobre gorgonáceos y se mantiene contraído durante el día (Humann, 1993). En la mayoría de las otras subzonas de las diferentes localidades, también se presentó una sola especie, por lo tanto no se calculó el índice de diversidad.

D. antillarum es una especie que se ha estudiado ampliamente en términos de dinámica poblacional, sus cambios en densidades y tamaños se deben a diferentes procesos y fluctúan entre varias generaciones, a tal grado que en algunos años pueden no encontrarse u observarse incrementos hasta de aproximadamente un 40% (Lessios, 2005). En este caso, en el análisis de tallas se puede observar que solamente en el primer muestreo (noviembre del 2004) se registraron nuevos reclutas u organismos de tallas menores (categorías I y II); mientras que en los siguientes muestreos sólo se observaron organismos de talla mayor. Esto pudo deberse a diferentes procesos, donde no puede establecerse toda la descendencia, lo que podría conllevar a una reducción constante en las poblaciones de *D. antillarum* (Lessios, 2005).

BIBLIOGRAFÍA

Bravo-Tzompantzi, D., F. A. Solís-Marín, A. Laguarda-Figueras, M. Abreu-Pérez y A. Durán-González. 1999. Equinoideos (Echinodermata : Echinoidea) del Caribe Mexicano : Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Avicennia, 10:11:43-72.

Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en México. P. 81-92 en Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González, N. E. (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, Ciudad de México, México.

Caso, M. E. 1974. Contribución al estudio de los equinoideos de México. El género, Tripneustes, Agassiz 1841. Morfología y ecología de *Tripneustes ventricosus* (Lamarck, 1826). Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 1:1-23.

Caso, M. E. 1990. Un nuevo Asteroideo del Caribe mexicano *Astropecten caribemexicanensis sp.* y comparación con la especie afín *Astropecten nitidus* Verrill. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 17:107-130.

Caso, M. E. 1995a. Asteroideos del Caribe Mexicano colectados en las campanas oceanográficas PROIBE II-III-IV-V a bordo del B/O "Justo Sierra". III. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 22:1-15.

Caso, M. E. 1995b. IV: Asteroideos del Caribe mexicano, colectados en las campanas oceanográficas PROIBE I-II-III-IV-V a bordo del B/O "Justo Sierra". Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 22:15-25.

Caso, M. E. 1995c. Las especies del género Luidia Forbes y Astropecten Gray del Caribe mexicano, colectadas en las campanas oceanográficas PROIBE II-III-IV-V a bordo del B/O "Justo Sierra". Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 22:25-35.

Chávez, E. A. y E. Hidalgo. 1988. Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM 15:167-176.

De la Fuente-Betancourt, M. G., A. de Jesús-Navarrete, E. Sosa-Cordero y M. D. Herrero-Perezrul. 2001. Assessment of the sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea) as potential fishery resource in Banco Chinchorro, Quintana Roo, México. Bulletin of Marine Science 68(1):59-67.

García-Beltrán, G. y V. R. M. Loreto. 1996. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo, efectos del huracán Roxana en la comunidad arrecifal. Quinto Informe. Amigos de Sian Ka'an, México.

García-Beltrán, G. y R. M. Loreto. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Amigos de Sian Ka´an, A. C. Reporte preliminar, México.

García-Beltrán, G., M. Lara-Pérez-Soto y R. M. Loreto-Viruel. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Reporte preliminar correspondiente a la campaña del 21 de abril al 13 de mayo de 1997. Amigos de Sian Ka'an, México:71 p.

Gutiérrez-Carbonell, D., C. García-Sáez, M. Lara-Pérez-Soto, C. Padilla-Souza y F. J. Pizaña-Alonso. 1993. Monitoreo de arrecifes. Primer Informe. Amigos de Sian Ka'an. UNAM. Biocenosis, México. 57 p.

Gutiérrez-Carbonell, D., M. Lara-Pérez-Soto, C. Padilla-Souza, F. J. Pizaña-Alonso, G. García-Beltrán, R. M. Loreto-Viruel, y T. Camarena-Luhrs. 1995. Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor "Cancún-Tulum", Quintana Roo, México. Sian Ka'an Serie de Documentos 4:3-34.

Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson and P. M. Kier. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smiths. Inst. Press. Washington and London, Inglaterra: 390 p.

Humman, P. 1993. Reef creature identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla., US. 320 p.

Lara, M., C. Padilla y R. Muñoz. 1993. Valoración ecológica de la comunidad bentónica de Isla Contoy. Programa de Manejo. Reserva Especial de la Biosfera Isla Contoy. SEDESOL, Amigos de Sian Ka'an, A.C., Mëxico.

Lessios, H. A. 2005. *Diadema antillarum* populations in Panana twenty years following mass mortality. Coral reefs 24:125-127.

Lugo, A. E., C. S. Rogers and S.W. Nixon. 2000. Hurricanes, coral reefs and rainforest: resistance, ruin and recovery in the Caribbean. Ambio, 29:106-114.

Tunnell, J. W., A. A. Rodríguez, R. L. Lehman y C. R. Beaver. 1993. An ecological characterization of the southern Quintana Roo Coral Reef System. Center for Coastal Studies Texas A y M University, Corpus Christi, Texas, USA. TAMU-CC-CCS Vol. 93-07.

CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE PECES DEL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO, MÉXICO

CHARACTERIZATION OF THE FISHES CORAL COMMUNITY IN SOLIDARIDAD MUNICIPALITY QUINTANA ROO, MÉXICO

Gerardo García Beltrán
Consultor Privado
gerardogb70@hotmail.com

Resumen: En todos los muestreos de peces en los arrecifes de coral del Municipio Solidaridad en las épocas de nortes, secas y huracanes, se destacaron: la familia Hemulidae con tres géneros y diez especies, y la Labridae con cinco géneros y siete especies. Dado sus hábitos natatorios, las diferencias en el número de especies, densidad y diversidad fueron heterogéneas, mostrando una disminución después del huracán Wilma. El rango de tallas dominantes estuvo entre los 21 y 30 cm y el hábito alimentario, el bentófago, encontrándose una selectividad por localidad.

Palabras Clave: Peces de la Riviera Maya, arrecifes de coral, distribución.

Abstract: In all localities sampled at Solidaridad municipality for coral fishes reefs in the three different season studied (nortes, dryness and hurricanes epochs), the Hemulidae family with three generous and 10 species, and the Labridae family with five genus and seven species were the must important. By their natatatorious habits, the number, density and diversity of different species were heterogeneous, decreasing after hurricane Wilma. The size of 21 to 30 cm and benthophagus food habits were dominated; a local selectivity was also found.

Key words: Riviera Maya fishes, coral reefs, distribution.

INTRODUCCIÓN

Los peces arrecifales del Caribe Mexicano han sido estudiados en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, particularmente en: Boca Paila, Punta Yuyum, Punta Allen, además de Mahahual, Xahuayxol y Xcalak. En las diferentes zonas, la riqueza de especies va de 28 hasta 66 especies. En general para la zona, de los valores más altos, se registran 134 especies correspondientes a 41 familias, principalmente de Labridae, Pomacentridae, Scaridae, Acanthuridae y Haemulidae. Dentro de las especies registradas como dominantes en los diferentes trabajos, se destacan: *Thalassoma bifasciatum, Acanthurus bahianus, A. coeruleus, Chromis cyanea, Halichoeres bivittatus, Haemulon plumieri, Scarus aurofrenatum, Lutjanus mahogoni y Caranx ruber*. Para los grupos tróficos de las especies se han encontrado a los carnívoros generalizados, herbívoros y piscívoros, como grupos principales (Salazar-Murguía et al., 1998; Arias-González et al., 2000; Kramer et al., 2000; Almada-Villela et al., 2002; González-Salas et al., 2003; Nuñez-Lara et al., 2003; Mumby et al., 2004).

La metodología empleada en este estudio, se describe detalladamente en un articulo previo de esta publicacion "Metodología utilizada en el estudio de la Comunidad arrecifal de las Playas del municipio solidaridad: generalidades".

RESULTADOS y DISCUSIÓN

En los tres muestreos realizados se identificaron un total de 98 especies de las cuales 83 estuvieron presentes dentro de los transectos y el resto fueron registradas por fuera de éstos. El número total de especies pertenecen a 52 géneros, 32 familias y 2 ordenes (Tabla 1). La familia con más especies identificadas fue Haemulidae (roncos y chac-chíes) con 10 especies, seguida de la familia Labridae y Pomacentridae con 9.

Tabla 1. Listado de especies de peces arrecifales registrados durante los tres muestreos.

Clase	Superorden	Familia	Género	Especie
Osteichthyes	Acanthopterygii	Acanthuridae	Acanthurus	*Acanthurus bahianus*
				Acanthurus chirurgus
				Acanthurus coeruleus
		Apogonidae	Apogon	*Apogon maculatus*
				Apogon townsendii
		Aulostomidae	Aulostomus	*Aulostomus maculatus*
		Balistidae	Aleuterus	*Aleuterus scriptus*
			Melichthys	*Melichthys niger*
			Xanthichthys	*Xanthichthys ringens*
		Blenniidae	Ophioblennius	*Ophioblennius atlanticus*
		Carangidae	Selar	*Selar crumenophthalmus*
			Caranx	*Caranx ruber*
		Chaetodontidae	Chaetodon	*Chaetodon aculeatus*
				Chaetodon capistratus
				Chaetodon ocelatus
				Chaetodon striatus
		Cirrhitidae	Amblicirrhitus	*Amblicirrhitus pinos*
		Clinidae	Malacoctenus	*Malacoctenus sp*
				Malacoctenus triangulatus
		Diodontidae	Diodon	*Diodon holocanthus*
		Engraulidae	Engraulidae	*Engraulidae spp*
		Gobidae	Coryphopterus	*Coryphopterus dicrus*
				Coryphopterus personatus
			Gobiosoma	*Gobiosoma genie*
				Gobiosoma horsti
		Grammatidae	Gramma	*Gramma loreto*
		Haemulidae	Anisotremus	*Anisotremus surinamensis*
				Anisotremus virginicus
			Haemulon	*Haemulon aurolineatum*
				carbonarium
				Haemulon crysargireum
				Haemulon flavolineatum

Tabla 1. Listado de especies de peces arrecifales registrados durante los tres muestreos (continuación).

Clase	Superorden	Familia	Género	Especie
				Haemulon parra
				Haemulon plumieri
				Haemulon sciurus
				Haemulon striatum
		Holocentridae	Holocentrus	*Holocentrus adscencionis*
				Holocentrus marianus
				Holocentrus rufus
		Kyphosidae	Kyphosus	*Kyphosus sextatrix*
		Labridae	Bodianus	*Bodianus rufus*
			Clepticus	*Clepticus parrae*
			Halichoeres	*Halichoeres bivitatus*
				Halichoeres garnoti
				Halichoeres maculipina
				Halichoeres radiatus
				Halichoeres garnoti
			Lachnolaimus	*Lachnolaimus maximus*
			Thalassoma	*Thalassoma bifasciatum*
		Lutjanidae	Lutjanus	*Lutjanus analis*
				Lutjanus griseus
				Lutjanus mahogoni
				Lutjanus synagris
			Oscyurus	*Oscyurus chrysurus*
		Malacanthidae	Malacanthus	*Malacanthus plumieri*
		Mullidae	Pseudopeneus	*Pseudopeneus maculatus*
		Muraenidae	Echidna	*Echidna catenata*
			Gymnotorax	*Gymnotorax funebris*
				Gymnotorax miliaris
				Gymnotorax moringa
		Ostraciidae	Lactophris	*Lactophris bicaudalis*
		Pempheridae	Pempheris	*Pempheris schomburgki*
		Pomacanthidae	Holacanthus	*Holacanthus ciliaris*
				Holacanthus tricolor
				Holacanthus bermudensis
			Pomacanthus	*Pomacanthus arcuatus*
		Pomacentridae	Abudefduf	*Abudefduf saxatilis*
			Chromis	*Chromis cyanea*
			Microsphatodon	*Microsphatodon chrysurus*
			Stegastes	*Stegastes diencaeus*
				Stegastes fuscus

Tabla 1. Listado de especies de peces arrecifales registrados durante los tres muestreos (continuación).

				Stegastes leucostictus
				Stegastes partitus
				Stegastes planifrons
				Stegastes variabilis
			Scaridae	Scarus	*Scarus croicensis*
					Scarus crysopterum
					Scarus taeniopterus
				Sparisoma	*Sparisoma atomarium*
					Sparisoma aurofrenatum
					Sparisoma chrysopterum
					Sparisoma rubripinne
					Sparisoma viridae
			Sciaenidae	Equetus	*Equetus acuminatus*
			Scorpaenidae	Scorpaena	*Scorpaena plumieri*
			Serranidae	Epinephelus	*Epinephelus adscensionis*
					Epinephelus cruentatus
					Epinephelus fulvus
					Epinephelus guttatus
				Hypoplectrus	*Hypoplectrus nigricans*
					Hypoplectrus puella
				Rypticus	*Rypticus saponaceus*
				Serranus	*Serranus tabacarius*
					Serranus tiginus
			Sphyraenidae	Sphyraena	*Sphyraena barracuda*
			Tetraodontidae	Canthigaster	*Canthigaster rostrata*
				Sphoeroides	*Sphoeroides spengleri*
Chondrichthyes	Rajiformes		Urolophidae	Urolophus	*Urolophus jamaicensis*

Los resultados obtenidos a lo largo de los tres muestreos realizados no tuvieron un comportamiento definido en ninguna de las variables y en ninguna de las localidades; la inclusión de una línea de tendencia no sería de gran significado dado que solo se realizaron tres muestreos

A continuación se discuten los parámetros analizados por localidad en los tres muestreos.

Chun-zumbul. En la localidad Chun-zumbul, la riqueza específica (S) del primer muestreo fue de 15, mientras que en el segundo y tercero únicamente fue de cinco (Tabla 2 y Fig. 1). Lo mismo se observó en la densidad (Tabla 3 y Fig. 2), donde en el primer muestreo se calculó una densidad mayor que en los dos restantes. La diversidad también fue mayor en el primer muestreo, dada por una mayor cantidad de especies (Tabla 4 y Fig. 3).

Jardines. En esta localidad la mayor riqueza específica se presentó durante el segundo muestreo con 11 especies, lo que se reflejó en una mayor diversidad y equidad. Esta riqueza no difirió mucho de la calculada en el primer muestreo, donde se identificaron ocho especies, sin embargo si hubo diferencia con respecto al tercer muestreo donde tan solo se observaron cinco especies, aunque una de ellas se presentó de manera muy abundante, lo que produjo una equidad baja y alta densidad. (Tabla 4 y Fig. 2).

Tabla 2. Número de especies de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

Localidad	Subzona	Número de especies		
		1er muestreo noviembre del 2004	2do muestreo marzo del 2005	3er muestreo agosto del 2005
Punta Maroma	AFI	7	7	1
	TB	5	12	13
	Cr	17	8	7
Moc-che	TB	7	12	7
	Cr	11	9	6
Chun-zumbul	TB	15	5	5
Jardines	TB	8	11	5
Xaac	AFI	19	7	10
	TB	19	4	11
	Cr	11	4	5
Tulum	AFI	13	3	7
	TB	14	8	8

Tabla 3. Densidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

Localidad	Subzona	Densidad (ind/m^2)		
		1er muestreo noviembre del 2004	2do muestreo marzo del 2005	3er muestreo agosto del 2005
Punta Maroma	AFI	1.55	0.32	0.03
	TB	1.85	0.90	0.55
	Cr	2.55	0.32	0.60
Moc-che	TB	2.60	1.15	0.45
	Cr	3.60	0.42	0.68
Chun-zumbul	TB	3.85	0.15	0.35
Jardines	TB	1.45	0.67	25.43
Xaac	AFI	3.45	0.35	0.93
	TB	1.95	0.17	0.50
	Cr	3.10	0.60	0.93
Tulum	AFI	3.65	0.50	0.33
	TB	4.10	0.30	0.75

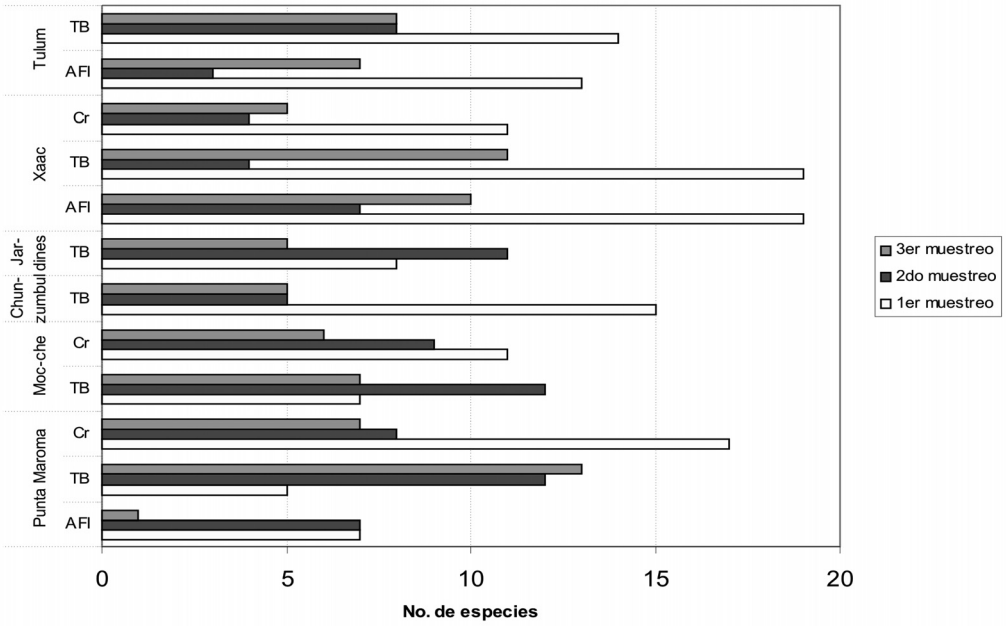


Fig. 1. Número de especies de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

Tabla 4. Índice de diversidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

Localidad	Subzona	Índice de Diversidad (H’)		
		1er muestreo noviembre del 2004	2do muestreo marzo del 2005	3er muestreo agosto del 2005
Punta Maroma	AFI	1.50	1.73	
	TB	0.58	2.21	2.46
	Cr	2.50	1.95	1.69
Moc-che	TB	0.95	1.44	1.35
	Cr	1.70	2.06	1.32
Chun-zumbul	TB	1.86	1.56	1.38
Jardines	TB	1.71	2.13	0.11
Xaac	AFI	2.52	1.73	1.81
	TB	2.60	1.35	2.03
	Cr	1.75	0.88	0.92
Tulum	AFI	2.00	0.52	1.69
	TB	1.91	1.93	1.63

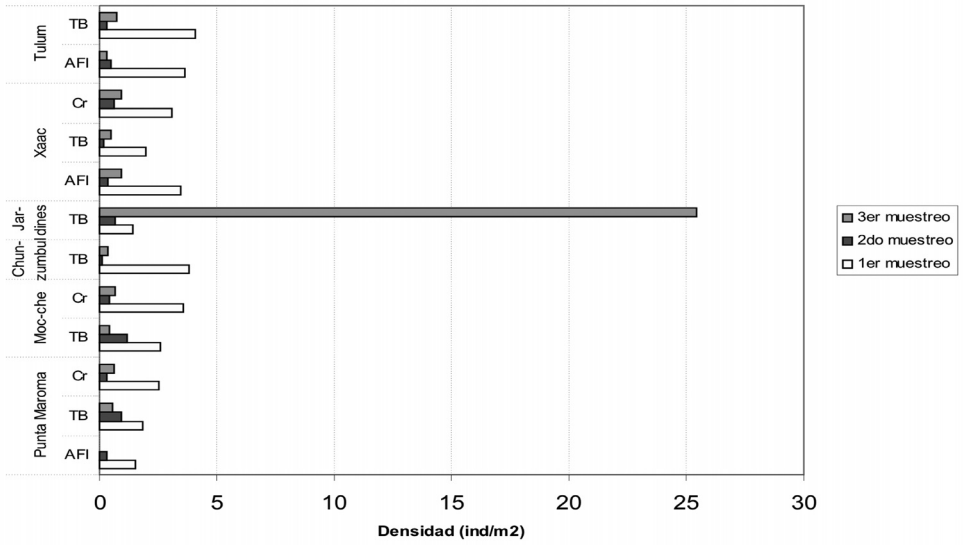


Fig. 2. Densidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo

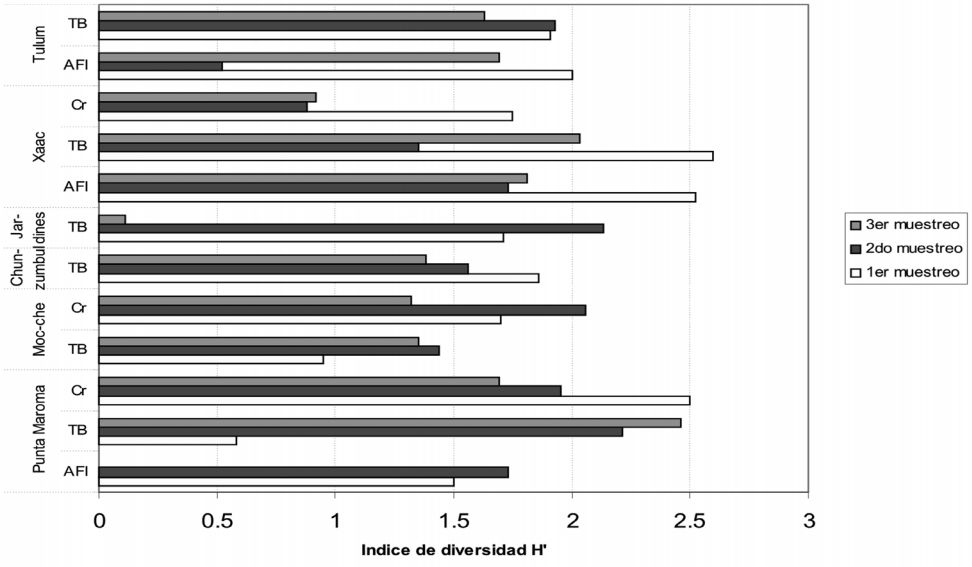


Fig. 3. Índice de diversidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

En esta localidad se analizaron dos subzonas arrecifales, la Cresta, y la Transición Barlovento (TB). En la primer subzona, la riqueza específica disminuyó constantemente desde el primer muestreo, sin que existiera correlación con el resto de las variables, donde la equidad y la diversidad fueron mayores durante el segundo muestreo, mientras que la densidad fue menor en este segundo muestreo que en los otros dos (Tabla 3 y Fig. 2).

En la Transición Barlovento la riqueza específica fue mayor en el segundo muestreo, mientras que en el primero y tercero se registró exactamente el mismo número. La densidad estuvo directamente relacionada con la riqueza específica, sin embargo la diversidad y equidad tuvieron

comportamientos diferentes. La diversidad fue menor en el primer muestreo, aumentando en el segundo y disminuyendo en el tercero (Tabla 4 y Fig. 3).

Punta Maroma. En esta localidad se realizaron trabajos de campo en cuatro subzonas arrecifales, pero sólo se dio continuidad a las tres más someras, dejando al Arrecife Frontal Exterior únicamente con un muestreo por lo que no es analizado.

En al Arrecife Frontal Interior la riqueza específica en el último muestreo fue de tan solo una especie, cuando en los dos primeros fue de siete especies. Por esta razón, la diversidad y equidad no fueron calculadas para el tercer muestreo. En los muestreos uno y dos, tanto la diversidad como la equidad aumentaron en el segundo muestreo, si bien la densidad no registró cambios (Tabla 3 y Fig. 2).

En la Transición Barlovento la riqueza específica, diversidad y equidad aumentaron paulatinamente desde el primer muestreo. Por su parte, la densidad fue mayor durante el segundo muestreo (Tabla 3 y Fig. 2).

En la Cresta Arrecifal la riqueza específica y la diversidad se comportaron de manera inversa a lo observado en la Transición Barlovento, disminuyendo paulatinamente a partir del primer muestreo. De igual manera, la densidad fue menor en el segundo muestreo respecto a los otros dos (Fig. 2).

Tulum. En el Arrecife Frontal Interior, todos los parámetros fueron mayores en el muestreo tres, a excepción de la densidad, donde fue de 0.5 ind/m^2 en el segundo muestreo y de 0.325 en el tercer muestreo (Tabla 3 y Fig. 2).

En la Transición Barlovento, el primer muestreo tuvo una mayor riqueza específica que en los otros dos. La densidad fue mayor en el primer y tercer muestreos. La diversidad fue mayor en los dos primeros muestreos y la equidad fue mayor en el segundo muestreo (Tabla 4 y Fig. 3).

Xaac. En esta localidad, a igual que en Tulum y Punta Maroma, el Arrecife Frontal Exterior solo se trabajó durante el primer muestreo, dando continuidad al Arrecife Frontal Interior, la Transición Barlovento y la Cresta Arrecifal.

En el Arrecife Frontal Interior se registró una alta riqueza específica en el primer muestreo, disminuyendo en el segundo y tercer muestreos. La densidad igualmente fue alta en el primer muestreo, aunque en el tercer muestreo la densidad fue la mayor registrada respecto a los tres muestreos. La diversidad fue mayor en el primer muestreo y la equidad se mantuvo prácticamente igual (Tabla 4 y Fig. 3).

La Transición Barlovento presentó una alta riqueza específica en el primer muestreo, aunque en el segundo muestreo disminuyó al igual que la diversidad, la cual presentó los valores más altos en el primer y segundo muestreos al igual que la densidad (Tabla 3 y Fig. 2).

La Cresta Arrecifal registró altos valores de riqueza de especies, diversidad y equidad en el primer muestreo, la densidad fue mayor en el tercer muestreo (Tabla 3 y Fig. 2).

Tallas. Las tallas determinadas en los tres muestreos no tuvieron una conformación normal; el número de organismos fue mayor en las tallas más pequeñas y disminuyeron de manera paulatina hacia los organismos más grandes. En total se contabilizaron 449 organismos menores a 5 cm, 429 entre 5 y 10 cm, 288 entre 11 y 20 cm, 1113 entre 21 y 30 cm, 20 entre 31 y 40 cm y solo dos de más de 40 cm (Tabla 5).

El intervalo de talla entre 21 y 30 cm presentó un valor alto debido al paso casual sobre el transecto de un gran banco de *Selar crumenophtalmus,* la cantidad total fue calculada con base en una porción del banco y estimada para el resto. De no haberse presentado este banco, la gráfica señalaría una clara tendencia a disminuir conforme las tallas aumentaron (Fig. 4).

Tabla 5. Número de peces arrecifales por especie y por intervalo de talla identificados en los tres muestreos.

Especie	<5	6 a 10	11 a 20	21 a 30	31 a 40	>40
Abudefduf saxatilis	2	1	8			
Acanthurus bahianus		4	2	2		
Acanthurus chirurgus		2	21	18		
Acanthurus coeruleus	6	4	9	7		
Aleuterus scriptus			1			
Amblicirrhitus pinos	1	2				
Anisotremus virginicus				1		
Apogon maculatus		1				
Apogon townsendii		1				
Bodianus rufus			2	1		
Canthigaster rostrata	3	1				
Caranx ruber				1		
Chaetodon aculeatus			1			
Chaetodon capistratus		9	6			
Chaetodon ocelatus	1	2	2			
Chaetodon striatus		2	2			
Chromis cyanea	22	53	6			
Clepticus parrae			18	1		
Coryphopterus dicrus	1					
Coryphopterus personatus	20					
Diodon holocanthus				1		
Epinephelus adscensionis			1	1		
Epinephelus cruentatus			2			
Epinephelus fulvus		1		1		
Epinephelus guttatus			1		1	
Gobiosoma horsti	1					
Gramma loreto		3				
Gymnotorax funebris						1
Gymnotorax miliaris				1		
Gymnotorax moringa						1
Haemulon aurolineatum				30		
Haemulon carbonarium			2	2		
Haemulon flavolineatum			8	10		
Haemulon parrai				1		
Haemulon plumieri			2	4		
Haemulon sciurus			5	3		
Haemulon striatum				1		

Tabla 5. Continuación

Especie	<5	6 a 10	11 a 20	21 a 30	31 a 40	>40
Halichoeres bivitatus		2	3			
Halichoeres garnoti	19	19	19	1		
Halichoeres maculipinna		1				
Halichoeres radiatus		1	1			
Hipoplectrus nigricans		1				
Holocantus ciliaris				1		
Holocanthus bermudensis			1			
Holocanthus tricolor				1		
Holocentrus adscencionis			2	1	1	
Holocentrus rufus				4		
Hypoplectrus guttavarius			1			
Hypoplectrus puella		1				
Kyphosus sextatrix			1			
Lactophris bicaudalis					1	
Lutjanus analis					1	
Lutjanus mahogoni					6	
Malacanthus plumieri					1	
Malacoctenus sp	1	1				
Malacoctenus triangulates	1					
Melichthys niger					2	
Microsphatodon chrysurus	4	5	3	1		
Oscyurus chrysurus			1	4		
Pomacanthus arcuatus				2		
Pseudopeneus maculatus			5	4		
Rypticus saponaceus					1	
Scarus croicensis	4		2	2		
Scarus taeniopterus	2	15	7		1	
Scorpaena plumieri					1	
Selar crumenophthalmus				1000		
Serranus tabacarius	1					
Serranus tigrinus	2	7	5			
Sparisoma atomarium	1	2		1		
Sparisoma aurofrenatum	3	11	13	3		
Sparisoma chrysopterum			1		1	
Sparisoma rubripinne		1	1		1	
Sparisoma viridae	9	8	12	2	1	
Sphoeroides spengleri	4	5	1			
Stegastes diencaeus	12	5				
Stegastes fuscus		28	33			

Stegastes leucostictus	7	11	6			
Stegastes partitus	90	61	12			
Stegastes planifrons	6	19	9			
Stegastes variabilis	3					
Thalasoma bifasciatum	223	139	50			
Urolophus jamaicensis					1	
Total general	449	429	288	1113	20	2

Grupo trófico. De las 83 especies registradas dentro de los cuadrantes, 34 tuvieron hábitos alimenticios de tipo bentófago, 13 herbívoros, 6 ictiófagos, 12 omnívoros, 9 especies piscívoras estrictas y 9 depredadoras de peces e invertebrados (Tabla 6).

Con la finalidad de observar si existieron cambios en la comunidad ictiológica con base en su tipo de alimentación, se elaboraron los siguientes gráficos comparando los tres muestreos en cada localidad y subzona arrecifal.

Tabla 6. Grupo trófico por especie identificada en los tres muestreos.

Especie	B	H	I	O	P	PI
Abudefduf saxatilis	X					
Acanthurus bahianus		X				
Acanthurus chirurgus		X				
Acanthurus coeruleus		X				
Aleuterus scriptus				X		
Amblicirrhitus pinus					X	
Anisotremus virginicus	X					
Apogon maculatus					X	
Apogon townsendii					X	
Bodianus rufus	X					
Canthigaster rostrata				X		
Caranx ruber			X			
Chaetodon aculeatus	X					
Chaetodon capistratus	X					
Chaetodon ocelatus	X					
Chaetodon striatus	X					
Chromis cyanea					X	
Clepticus parrae					X	
Coryphopterus dicrus				X		
Coryphopterus personatus				X		
Cromys cyanea					X	
Diodon holocanthus	X					
Epinephelus adscensionis	X					

Tabla 6. Grupo trófico por especie identificada en los tres muestreos.

Especie	B	H	I	O	P	PI
Epinephelus cruentatus						X
Epinephelus fulvus						X
Epinephelus guttatus						X
Gobiosoma horsti	X					
Gramma loreto					X	
Gymnotorax funebris			X			
Gymnotorax miliaris			X			
Gymnotorax moringa			X			
Haemulon aurolineatum	X					
Haemulon carbonarium	X					
Haemulon flavolineatum	X					
Haemulon parrai	X					
Haemulon plumieri	X					
Haemulon sciurus	X					
Haemulon striatum					X	
Halichoeres bivitatus	X					
Halichoeres garnoti	X					
Halichoeres maculipinna	X					
Halichoeres radiatus	X					
Hipoplectrus nigricans						X
Holocanthus bermudensis	X					
Holocanthus ciliaris	X					
Holocanthus tricolor	X					
Holocentrus adscencionis	X					
Holocentrus rufus	X					
Hypoplectrus guttavarius						X
Hypoplectrus puella						X
Kyphosus sextatrix		X				
Lactophris bicaudalis	X					
Lutjanus analis						X
Lutjanus mahogoni			X			
Malacanthus plumieri	X					
Malacoctenus sp				X		
Malacoctenus triangulatus				X		
Melichthys niger		X				
Microsphatodon chrysurus		X				
Oscyurus chrysurus						X

Pomacanthus arcuatus	X					
Pseudopeneus maculatus	X					
Rypticus saponaceus						X
Scarus croiscensis		X				
Scarus taeniopterus		X				
Scorpaena plumieri	X					
Selar crumenophthalmus					X	
Serranus tabacarius			X			
Serranus tigrinus	X					
Sparisoma atomarium		X				
Sparisoma aurofrenatum		X				
Sparisoma chrysopterum		X				
Sparisoma rubripinne		X				
Sparisoma viridae		X				
Sphoeroides spengleri	X					
Stegastes diencaeus				X		
Stegastes fuscus				X		
Stegastes leucostictus				X		
Stegastes partitus				X		
Stegastes planifrons				X		
Stegastes variabilis				X		
Thalassoma bifasciatum	X					
Urolophus jamaicensis	X					
83	34	13	6	12	9	9

B=bentófagos, H=herbívoros, I=ictiófagos, O=omnívoros, P=piscívoros estrictas, Pl=depredadores de peces e invertebrados.

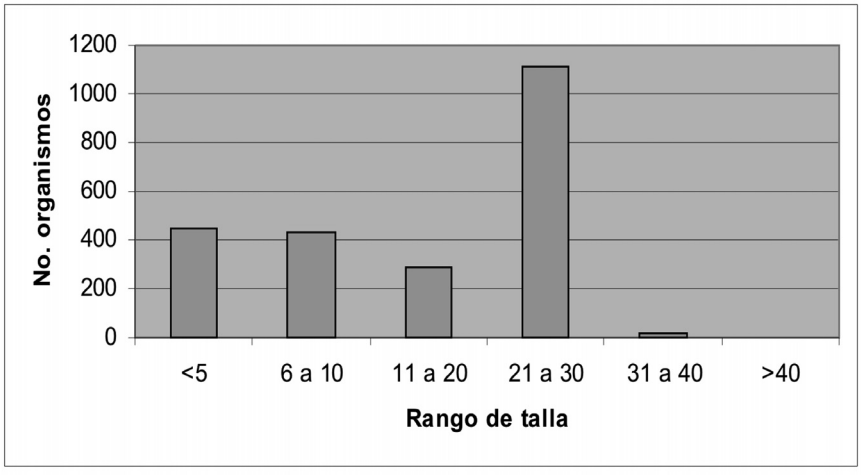


Fig. 4. Número de organismos de peces arrecifales por intervalo de tallas en los tres muestreos.

Chun-zumbul. En esta localidad los organismos bentófagos mostraron una dominancia en el primer y tercer muestreo. En el segundo muestreo los herbívoros tuvieron una especie más y no se registraron especies omnívoras, mientras que en el primero y particularmente en el tercero fueron más abundantes. En todos los muestreos fue notable la falta de especies depredadoras (Tabla 7 y Fig. 5).

Tabla 7. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Chun-zumbul Transición Barlovento.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	12	6	0	2	0	2
2	2	3	0	0	0	0
3	2	1	0	2	0	0

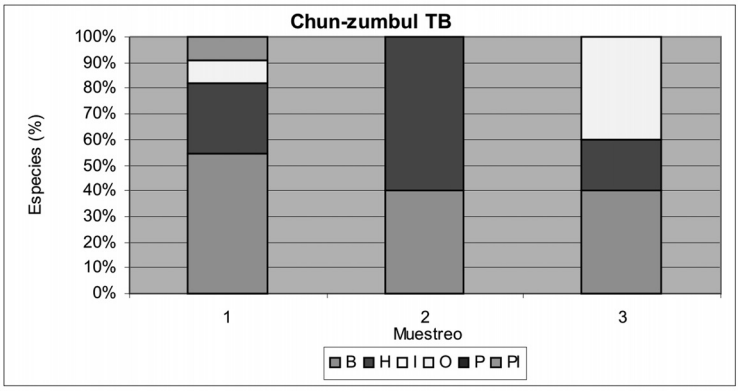


Fig. 5. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad de Chun-zumbul.

Jardines. Al igual que en Chun-zumbul, las especies bentófagas fueron más abundantes en el primer muestreo, sin embargo las herbívoras, fueron aumentando en el segundo y tercer muestreo. Las omnívoras estuvieron presentes en los tres muestreos con una o dos especies, mientras que las depredadoras (P y PI) estuvieron representadas por una especie (Tabla 8 y Fig. 6).

Tabla 8. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Jardines**.**

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	8	2	0	2	0	0
2	5	4	0	1	0	1
3	1	21	0	1	0	0

Tabla 9. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Moc-che.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	4	4	0	5	1	0
2	3	2	1	3	0	0
3	1	3	0	2	0	0

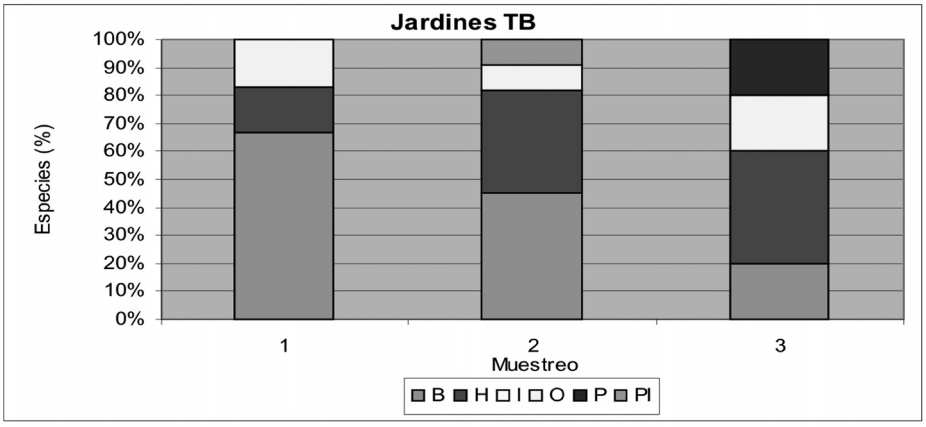


Fig. 6. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad de Jardines.

Moc-che. En la Cresta Arrecifal de la localidad Moc-che fueron abundantes los bentófagos, herbívoros y omnívoros en el primer muestreo, incluso se detectó un piscívoro; sin embargo fueron disminuyendo hacia el segundo y tercer muestreo donde todos los grupos tróficos en general presentaron menor cantidad de especies (Tabla 9). En términos de porcentaje, los omnívoros fueron importantes en todos los muestreos, aunque en el tercero estuvieron superados por las especies herbívoras (Fig. 7).

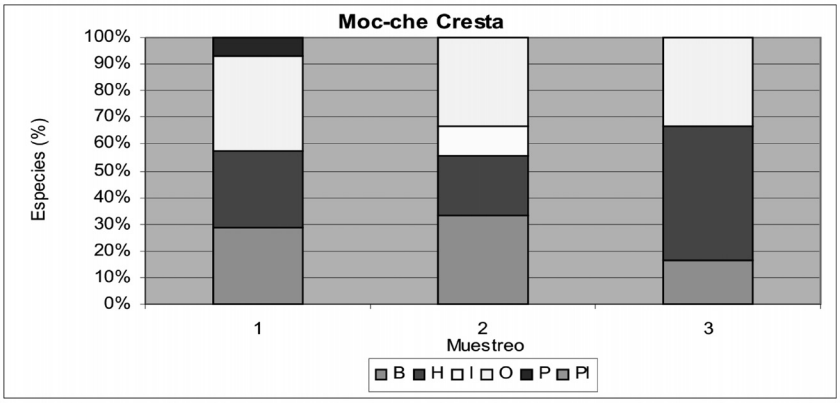


Fig. 7. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad de Moche-cresta.

En la Transición Barlovento los bentófagos y herbívoros fueron los mejor representados, aunque en el tercer muestreo los omnívoros fue el grupo más abundante con tres especies (Tabla 10). En general estos tres grupos tróficos fueron los más representados en esta localidad y subzona arrecifal (Fig. 8).

Tabla 10. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Moc-che Transición Barlovento.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	3	2	1	2	1	0
2	4	5	1	1	0	1
3	1	2	0	3	0	1

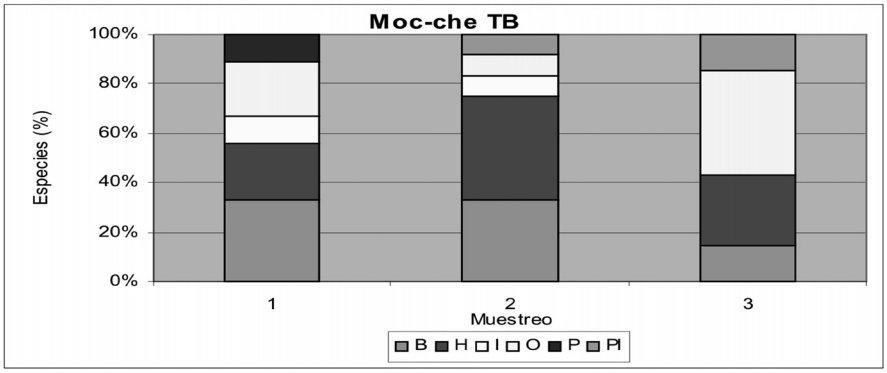


Fig. 8. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Moc- Che Transición Barlovento.

Punta Maroma. En el Arrecife Frontal Interior de Punta Maroma siempre se registraron pocas especies, dada las difíciles condiciones ambientales en la zona (sustrato arenoso homogéneo, fuerte corriente). De esta manera, en el tercer muestreo se registró una sola especie, de hábitos alimenticios bentófagos, lo que en términos de porcentaje representa el 100%. En el primer muestreo, los omnívoros fueron más abundantes con cuatro especies y en el segundo muestreo los bentófagos con tres especies (Tabla 11 y Fig. 9).

Tabla 11. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Punta Maroma Arrecife Frontal Interior.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	2	2	0	4	0	0
2	3	0	0	1	1	2
3	1	0	0	0	0	0

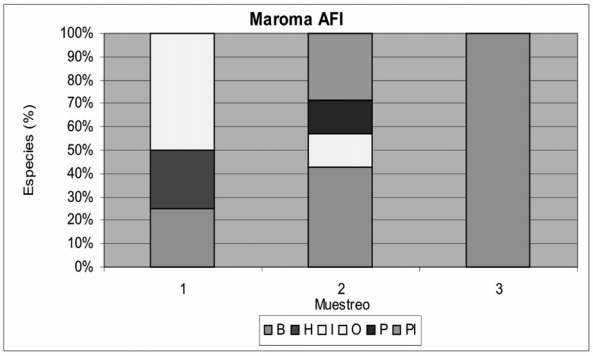


Fig. 9. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Punta Marona AFI.

En la Cresta Arrecifal aumentó significativamente el número de especies en comparación al Arrecife Frontal Interior. El sustrato fue muy heterogéneo, dando refugio a una gran cantidad de peces. En términos de porcentaje los bentófagos siempre fueron más abundantes que el resto de los grupos tróficos (Tabla 12 y Fig. 10), aunque existió buena representación de omnívoros y herbívoros. Fue notoria la falta de especies depredadoras mayores como meros, pargos o barracudas.

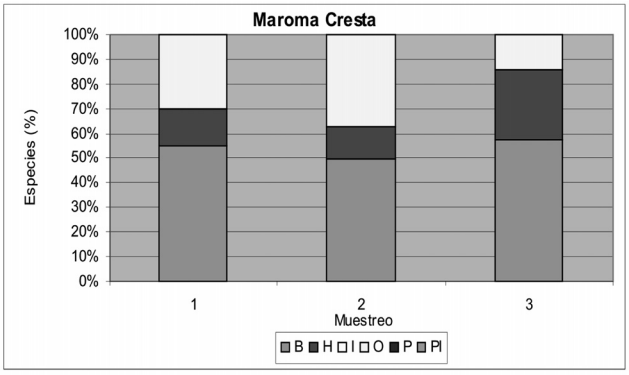


Fig. 10. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Punta Marona Cresta.

Tabla 12. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Punta Maroma Cresta

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	11	3	0	6	0	0
2	4	1	0	3	0	0
3	4	2	0	1	0	0

En la Transición Barlovento se observaron especies piscívoras, aunque en poca proporción (Tabla 13 y Fig. 11). Los grupos tróficos dominantes fueron los bentófagos, hervíboros y omnívoros.

Tabla 13. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Punta Maroma Transición Barlovento.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	2	2	0	1	0	0
2	5	4	1	3	0	0
3	4	5	0	2	0	2

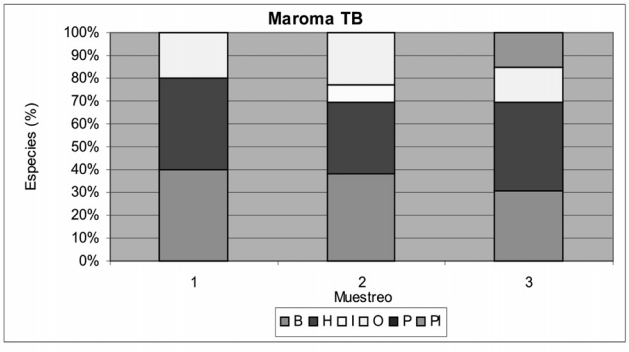


Fig. 11. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Punta Marona TB.

Tulum. Esta localidad al igual que Xaac presentó la mayor abundancia de peces arrecifales, dadas las características del fondo; sin embargo la proporción de los grupos tróficos observados fue similar al resto de las localidades, con abundancia de bentófagos, herbívoros y omnívoros y escasez de depredadores. Los únicos peces piscívoros observados se encontraron en el Arrecife Frontal Exterior, donde únicamente se realizó un muestreo (Tabla 14 y Fig. 12).

Tabla 14. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Tulum Arrecife Frontal Interior.

Muestreo	Zona	B	H	I	O	P	PI
1	AFE	7	2	0	5	2	0
2	AFI	1	1	0	1	0	0
3	AFI	3	2	0	2	0	0

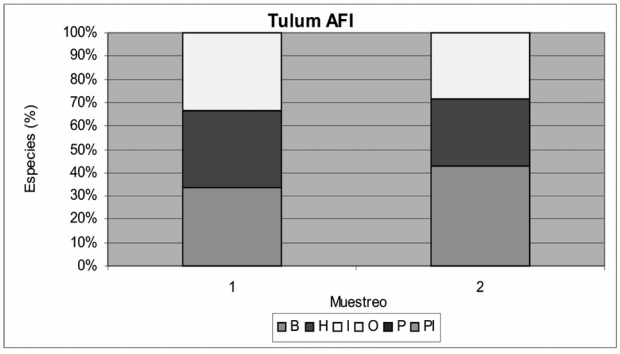


Fig.12. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Tulum Arrecife Frontal Interior.

En esta subzona se encontró el mayor número de especies piscívoras con cuatro durante el primer muestreo, superando en porcentaje a las especies omnívoras (Tabla 15 y Fig. 12). En el segundo y tercer muestreo, se presentó el mismo comportamiento de las demás localidades, es decir dominancia de bentófagos y herbívoros y escasez de depredadores.

Tabla 15. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Tulum Transición Barlovento.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	7	6	0	2	4	0
2	4	1	0	1	0	2
3	2	2	0	2	1	1

Tabla 16. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Xaac Arrecife Frontal Interior.

Muestreo	Zona	B	H	I	O	P	PI
1	AFE	5	1	0	2	2	0
1	AFI	10	6	2	3	2	0
2	AFI	3	2	0	1	1	0
3	AFI	3	5	0	1	1	0

Xaac. Esta localidad presentó al igual que Tulum una alta riqueza de especies en las zonas profundas, incluyendo algunas depredadoras como las barracudas y meros. El Arrecife Frontal Exterior solo se muestreó en una ocasión, por lo que no se realizaron comparaciones al respecto. Sin embargo en el Arrecife Frontal Interior, los bentófagos y herbívoros dominaron sobre el resto de los grupos (Tabla 16 y Fig. 13).

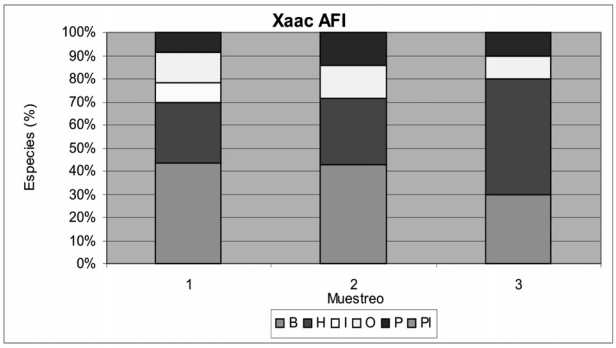


Fig. 13. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Xaac AFI.

En el primer muestreo de esta localidad se registró una elevada cantidad de especies, aunque éstas disminuyeron en los muestreos subsecuentes (Tabla 17 y Fig. 14). En el primer muestreo se registraron todos los grupos tróficos, siendo el único sitio en que esto sucedió. En el segundo y tercer muestreos el número de especies disminuyó de manera importante.

Tabla 17. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Xaac Transición Barlovento.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	7	6	0	2	4	0
2	4	1	0	1	0	2
3	2	2	0	2	1	1

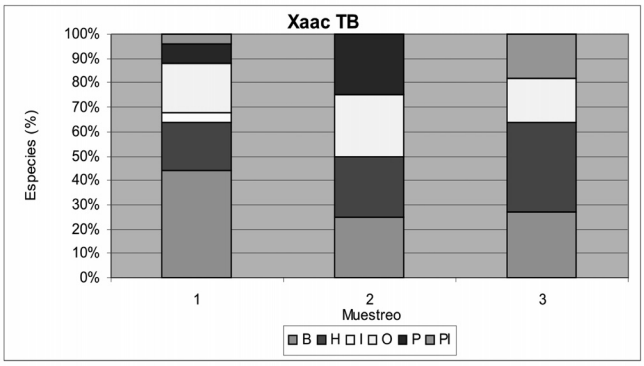


Fig. 14. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Xaac Transición Barlovento.

En la Cresta Arrecifal dominaron, omnívoros y herbívoros; fue notable la ausencia de especies piscívoras (Tabla 18 y Fig. 15).

Tabla 18. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Xaac Cresta.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	4	5	0	7	0	0
2	1	1	0	1	1	1
3	12	2	0	2	0	0

.

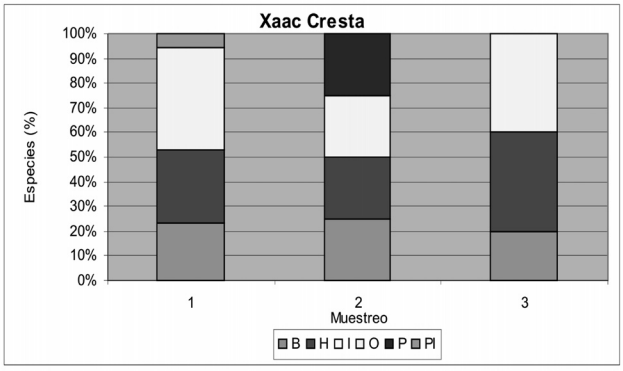


Fig. 15. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Xaac Cresta.

CONCLUSIONES

Durante los tres muestreos, predominaron dos familias: Hemulidae con dos géneros y diez especies, y Labridae con cinco géneros y nueve especies. No se observó un comportamiento definido en el número de especies, densidad y diversidad, probablemente a consecuencia de sus hábitos natatorios que les permitía salir de los cuadrantes de estudio; no se observó ninguna tendencia específica en las tres visitas al área de estudio. Sin embargo, se destacó la localidad de Punta Maroma por su mayor número de especies en dos de los tres muestreos; Tulum y Jardines por su mayor densidad en un solo muestreo; Punta Maroma presentó la mayor diversidad. En noviembre se registraron los mayores niveles de estos tres parámetros con una sensible disminución en marzo y particularmente en agosto después del huracán Wilma. Por talla dominaron los organismos entre 21 a 30 cm. Por grupo trófico se registró una heterogeneidad destacando dentro de ello el mayor porcentaje de bentófagos.

BIBLIOGRAFÍA

Almada-Villela, P., M. McField, P. R. Kramer, and J. E. Arias-González. 2002. Status of coral reefs of Mesoamerica-Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and El Salvador. In: Wilkinson, C. (ed). Status of Coral Reefs of the World: 2002. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia (2002).

Arias-González, J. E., J. R. Garza-Pérez, C. F. González-Salas, C. González-Gándara, R. C. Hernández-Landa, N. Membrillo-Venegas, E. Nuñez-Lara, E. Pérez and M.A. Ruíz-Zaráte. 2000. Coral reef ecosystem research: towards integrated coastal management on the Yucatan Peninsula, Mexico. P 39-50 In: Done T. y D. Lloyd (eds.). Information management and decision support for marine biodiversity protection and human welfare: coral reefs. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia..

González-Salas, C., E. Nuñez-Lara, M. A. Ruiz-Zarate, R. Hernández-Landa y J. E. Arias-González. 2003. Condition of coral reef ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico. Atoll Research Bulletin, 496:598-608.

Kramer, P., P. R. Kramer, J. E. Arias-González, and M. McField. 2000. Status of coral reefs of Northern Central America: México, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and El Salvador. In: Wilkinson, C. (ed). Status of Coral Reefs of the World: 2000. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.

Mumby, P., A. J. Edwards, J. E. Arias-González, K. C., Lindeman, P. G. Blackwell, A. Gall, M. I., Gorczynska, A. R. Harborne, C. L. , Pescod, H., Renken, C. C. Wabnitz and G. Llewellyn. 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. Nature, 427:533-536.

Nuñez-Lara, E., C. González-Salas, M. A. Ruíz-Zárate, R. C. Hernández-Landa and J. E. Arias-González. 2003. Condition of coral reef ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico. Atoll Research Bulletin, 496:318-337.

Salazar-Murguía, R. C. González-Salas and J. E. Arias-González. 1998. The effects of protected and unprotected areas along the Caribbean coast of Mexico on the structure of coral reef fish communities. Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst. 50:354-371.