

Informe final* del Proyecto CQ017
Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del Mpio Solidaridad, Q. Roo, México Influencia de la calidad del agua en el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Riviera Maya

Responsables: Dra. Guadalupe de la Lanza Espino
Instituciones: Instituto de Biología.
Universidad Nacional Autónoma de México
Dirección: Apartado Postal 70-153, Coyoacán. México, Distrito Federal C.P. 04510

Correo electrónico: gdliae@servidor.unam.mx
Teléfono/Fax: Tel.: 5622 9132, Fax: 5550 0164
Fecha de inicio: Agosto 30, 2004
Fecha de término: Junio 22, 2006

Principales resultados: Informe final, Cartografía

Forma de citar** el informe final y otros resultados: De la Lanza, G. 2006 Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del Mpio Solidaridad, Q. Roo, México Influencia de la calidad del agua en el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Riviera Maya. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. **Informe final SNIB-CONABIO** proyecto No. CQ017. México D. F.

Resumen: Proyecto financiado con recursos aportados por Ecológica Laguna Azul, S.A. de C.V. , Promotora Turística, S.A. de C.V. , Promotora Xcaret, S.A. de C.V.
En el presente proyecto se evaluará la calidad ambiental y dinámica de la zona litoral de la Riviera Maya, en especial, de las playas del Carmen, Akumal y Tulum, así como las zonas de arrecifes coralinos. Se realizarán levantamientos topográficos y batimétricos, así como indicadores de respuesta a la calidad del agua y otros factores ambientales de origen natural, identificando el impacto de las actividades humanas con mayor repercusión en estos ecosistemas, con una fuerte influencia del ascendente desarrollo de la infraestructura turística y urbana en la región. Estos aspectos son fundamentales sobre todo para los programas de manejo sustentable, para lo cual se complementará una base de datos para la región y se capacitará a la comunidad local.

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

Informe final* del Proyecto CQ017
Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del Mpio Solidaridad, Q. Roo, México Influencia de la calidad del agua en el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Riviera Maya

Responsables: Dra. Guadalupe de la Lanza Espino
Instituciones: Instituto de Biología.
Universidad Nacional Autónoma de México
Dirección: Apartado Postal 70-153, Coyoacán. México, Distrito Federal C.P. 04510

Correo electrónico: gdliae@servidor.unam.mx
Teléfono/Fax: Tel.: 5622 9132, Fax: 5550 0164
Fecha de inicio: Agosto 30, 2004
Fecha de término: Junio 22, 2006
Principales resultados: Informe final, Cartografía

Forma de citar** el informe final y otros resultados: De la Lanza, G. 2006 Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del Mpio Solidaridad, Q. Roo, México Influencia de la calidad del agua en el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Riviera Maya. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CQ017. México D. F.

Resumen: Proyecto financiado con recursos aportados por Ecológica Laguna Azul, S.A. de C.V. , Promotora Turística, S.A. de C.V. , Promotora Xcaret, S.A. de C.V.
En el presente proyecto se evaluará la calidad ambiental y dinámica de la zona litoral de la Riviera Maya, en especial, de las playas del Carmen, Akumal y Tulum, así como las zonas de arrecifes coralinos. Se realizarán levantamientos topográficos y batimétricos, así como indicadores de respuesta a la calidad del agua y otros factores ambientales de origen natural, identificando el impacto de las actividades humanas con mayor repercusión en estos ecosistemas, con una fuerte influencia del ascendente desarrollo de la infraestructura turística y urbana en la región. Estos aspectos son fundamentales sobre todo para los programas de manejo sustentable, para lo cual se complementará una base de datos para la región y se capacitará a la comunidad local.

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

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

INSTITUTO DE BIOLOGIA



ENERO, 2006

COORDINADORA
Dra. Guadalupe de la Lanza Espino

COLABORADORES

FÍSICA

Dr. Steven Czitrom Baus
Oc. Santiago Gajá Ferrer

GEOLOGIA

Antonio Márquez García
Eric Márquez García
Virginia Pérez Aguilar
Zuhelen Florez Erazo

CALIDAD DEL AGUA

Dra. Guadalupe de la Lanza Espino
Salvador Hernández Pulido.
Juan Carlos Gómez Rojas
Iván Penie Rodríguez

FITOPLANCTON

M. en C. José Luís Moreno Ruiz

ARRECIFES CORALINOS

Claudia Padilla Souza
Participantes:
Jhoana Díaz Larrea
Gerardo García Beltrán
Axayacatl Molina Ramírez
Beatriz Yáñez Rivera

INDICE

Resumen

Introducción	2
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Zona de Estudio	6
Metodología general	9
Resultados esperados	11

Resultados

Oceanografía física

Introducción	14
Metodología	15
Resultados	18
Playa del Carmen	18
Corrientes	18
Estadística de Oleaje	19
Modelación de Oleaje	20
Akumal	25
Corrientes	25
Modelación de Oleaje	26
Conclusiones	31
Comparación de la dinámica costera entre las zonas de estudio	31
Corrientes	31
Oleaje	31
Modelación	32

Geología

Introducción	33
Aspectos generales de las playas	34
Objetivos	35
Metodología	35
Morfología de la línea de costa.	35
Levantamiento topográfico de playas	35
Monitoreo de sedimentos	37
Sedimentos en playa	37
Sedimentos en la zona lagunar	37
Análisis granulométrico	38
Sedimentos arenosos	38
Cartografía digital	39
Resultados	40
Perfiles de playa	40
Textura de Sedimentos	52
Tamaño gráfico promedio	52
Desviación estándar gráfica inclusiva	52
Asimetría gráfica inclusiva	53
Curtosis	54
Tamaño gráfico promedio	55
Desviación estándar gráfica inclusiva	56
Asimetría gráfica inclusiva	56

Curtosis _____	57
Desviación estándar gráfica inclusiva _____	58
Asimetría gráfica inclusiva _____	59
Curtosis _____	60
Tamaño gráfico promedio _____	61
Desviación estándar grafica inclusiva _____	62
Asimetría gráfica inclusiva _____	63
Curtosis _____	64
Tamaño gráfico promedio _____	65
Desviación estandar grafica inclusiva _____	66
Asimetria grafica inclusiva _____	67
Curtosis _____	68
Tamaño grafico promedio _____	69
Desviación estándar grafica inclusiva _____	70
Asimetria grafica inclusiva _____	71
Curtosis _____	72
Tamaño grafico promedio _____	73
Desviación estándar grafica inclusiva _____	74
Asimetria grafica inclusiva _____	75
Curtosis _____	76
Tamaño grafico promedio _____	77
Desviación estándar grafica inclusiva _____	77
Asimetría grafica inclusiva _____	78
Curtosis _____	79
Tamaño grafico promedio _____	80
Desviación estándar grafica inclusiva _____	81
Asimetría grafica inclusiva _____	82
Curtosis _____	83
Tamaño grafico promedio _____	84
Desviación estándar grafica inclusiva _____	84
Asimetría gráfica inclusiva _____	85
Curtosis _____	86
Tamaño gráfico promedio _____	87
Desviación estándar grafica inclusiva _____	87
Asimetría grafica inclusiva _____	88
Curtosis _____	89
Tamaño grafico promedio _____	90
Desviación estándar grafica inclusiva _____	91
Asimetría grafica inclusiva _____	92
Curtosis _____	93
Sedimentos de la zona lagunar _____	94
Tamaño gráfico promedio _____	94
Desviación estándar gráfica inclusiva _____	96
Asimetría gráfica inclusiva _____	97
Curtosis _____	98
Composición de los sedimentos _____	100
Análisis de las líneas de costa _____	100
Perfiles de playa _____	100
Sedimentos _____	101
Conclusiones _____	102

Físico-química o calidad del agua	
Metodología _____	103
Resultados _____	104
Temperatura _____	104
Conductividad _____	104
Sólidos totales disueltos, salinidad _____	106
Potencial de Hidrógeno (pH) _____	108
Nutrientes _____	108
Fósforo _____	113
Nitrógeno (amonio) _____	113
Nitritos _____	116
Nitratos _____	118
Nitrógeno total _____	120
Turbiedad y Sólidos suspendidos _____	122
Clorofila "a" _____	124
Bacteriología _____	127
Demanda química y biológica de oxígeno (DQO y DBO) _____	131
Metales Pesados _____	135
Isótopos estables (O^{18}) _____	142
Conclusiones _____	144
ANEXO _____	147
Fitoplancton en los ambientes acuáticos de la Riviera Maya, Quintana Roo.	
Introducción _____	161
Metodología _____	161
Resultados y discusión _____	162
Composición, abundancia y diversidad _____	162
Estaciones de muestreo en los cenotes _____	162
Estaciones de muestreo en el ambiente marino _____	170
Conclusiones _____	189
Descripción y monitoreo ambiental de los arrecifes coralinos del Municipio de Solidaridad, Quintana Roo, México.	
Introducción _____	190
Antecedentes _____	190
Fauna bentónica _____	190
Microalgas _____	192
Peces _____	195
Metodología _____	196
Sítios de muestreo _____	196
Técnicas de muestreo _____	197
Transectos _____	197
Abundancia _____	199
Diversidad _____	199
Formas de crecimiento _____	200
Estructura de tallas _____	200
Condiciones del organismo _____	200
Grupos funcionales _____	201
Cambios en la comunidad arrecifal _____	201
Videotransectos _____	201
Análisis de datos _____	203

Resultados	204
Descripción del area de estudio y sitios de muestreo	204
Generalidades	204
Comunidad de organismos arrecifales	206
Corales escleractineos	206
Gorgonaceos	211
Microalgas	216
Punta Maroma, AFE	219
Punta Maroma, Cresta	220
Punta Maroma, AFI	221
Punta Maroma, TB	222
Playa del Carmen	222
Moc-che, Frontal Cordillera	224
Moc-che, cresta	224
Moc-che, TB	225
Chun-zumbul, comunidad de gorgonáceos	225
Jardines, comunidad de gorgonáceos	226
Xaac	226
Xaac, AFE	226
Xaac, AFI	228
Xaac, TB	228
Cantenah, cresta	228
Xaac, cresta	229
Tulum	229
Tulum, AFI	229
Tulum, TB	230
Finalmente y a modo de conclusión	233
Peces arrecifales	235
Chun-zumbul	235
Jardines	236
Punta Maroma	238
Tulum	239
SAC	240
Tallas	243
Grupo trófico	245
Chun-zumbul	246
Jardines	246
Moc-che	248
Punta Maroma	250
Tulum	251
SAC	252
Equinodermos	257
Distribución de morfotipos	261
Conclusiones	263
Consideraciones sobre el muestreo	264
Efecto del huracán Emily en la comunidad arrecifal	264
ANEXO I	266
ANEXO FOTOGRÁFICO	271
Capacitación	287

Resumen

En el presente proyecto se evaluó la dinámica de corrientes y de la zona de playa así como la calidad ambiental que incluyó las características físico-químicas y la comunidad arrecifal de la zona litoral de la Riviera Maya, en especial, de las playas del Carmen, Akumal y Tulum (particularmente geología). Se realizaron tres trabajos de campo (noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005) donde se efectuaron levantamientos topográficos, batimétricos y sedimentológicos (transporte, erosión y sedimentación) costeros, así como la evaluación *in situ* en el medio marino y cenotes de: temperatura, salinidad, visibilidad al disco de Sechhi, ph, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno disuelto y profundidad; además se tomaron muestras para la determinación de: nitrógeno (nitratos, nitritos, amonio y nitrógeno total), fósforo (ortofosfatos y fósforo total), demanda química y bioquímica de oxígeno, metales pesados (plomo, cobre, aluminio, fierro, cromo, manganeso, zinc, níquel y el metaloide arsénico), turbidez, sólidos suspendidos, isótopos estables (O_{18}); composición fitoplanctónica (especies, densidad, diversidad, riqueza e índices; todos ellos como elementos bioindicadores), bacteriología (coliformes totales y fecales y enterococos), en estaciones 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. El estudio de los arrecifes coralinos consistió en diversidad, composición de especies, morfotipos, formas de crecimiento, cobertura, densidad, tamaño, según el grupo (algas, gorgonaceos, equinodermos, peces y corales). En el presente informe, constituido por: oceanografía física (velocidad y dirección de corrientes) geología (topografía, batimetría y sedimentología), físico-química (calidad del agua) y biología (arrecifes), al final de cada subcapítulo se presenta una diagnosis en forma específica al período comprendido del estudio que incluyó la influencia de dos huracanes (Emely y Wilma); por lo que cabe aclarar que la variación climática interanual puede cambiar los resultados que se obtuvieron en el citado período.

Palabras clave: Circulación costera, calidad del agua, sedimentología, evolución geomorfológica, arrecifes.

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 (Chávez e Hidalgo, 1988; Salazar-Vallejo, 1998, Fig. 1).



Fig. 1. Muelles Fiscal y Porto Real, Playa del Carmen, Quintana Roo.

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, incluye 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; también, tiene gran relevancia socioeconómica 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.groo.gob.mx>). Se ha incrementando entre otras cosas, el amplio sistema portuario que atiende a más de un millón de turistas que viajan en crucero, 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 desarrollan 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 conocer y monitorear 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 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 catastro municipales, al modificarse los límites de zona federal, estatal y municipal.

El deterioro de los ecosistemas arrecifales es un proceso a escala global (Burke *et al.*, 2001). En el marco de acuerdos internacionales para la protección del SAM, se han desarrollado protocolos para el monitoreo, conservación y uso sostenible de este recurso, que proporcionan un panorama general de la condición arrecifal y facilitan la difusión de resultados, ubicando las zonas donde es urgente la aplicación de medidas que reduzcan los patrones de explotación económica no sostenibles (Wilkinson y Baker, 1997).

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

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; Padilla *et al.*, 1992; Gutiérrez y Bezaury, 1993; García y Loreto, 1996a, 1996b; García *et al.*, 1997; Lara *et al.*, 1998; Loreto, 1998; Loreto *et al.*, 2001; Vega y Loreto, 2001). Además, existe un plan de manejo para la reserva de la biosfera de Sian Ka'an (www.conanp.gob.mx).

Como un método complementario a los programas de monitoreo se utilizan videotransectos. Por ejemplo el "Coral Reef Monitoring Program" (CRAMP), se ha utilizado con buenos resultados en los programas de monitoreo en Hawaii, Puerto Rico, Islas Vírgenes y los Cayos de Florida (Woodley 1995, 1999; Stewetman, 1997; Whweaton *et al.*, 1999).

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 ante la conservación de las playas en todos los sectores de la sociedad, estudiar y analizar la situación real en que se encuentran las mismas, y consecuentemente, actuar para su 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.

Esta acción denominada “Campaña Bandera Azul” (CBA) que contempla determinados lineamientos establecidos y criterios a cumplir (www.blueflag.com), comprende varios subprogramas cuyo nivel de alcance e integridad se subordina al Programa CBA del H. Ayuntamiento de Solidaridad, que articula los diferentes factores involucrados en el manejo de zonas costeras en virtud de lo arriba planteado. De ahí, se desprende la propuesta de proyecto a solicitud de esta entidad que complementa una de las partes y áreas de estudio que integran la acción y programa de la CBA mencionado.

En el presente proyecto se plantea un programa de diagnóstico de la situación actual de la zona costera del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, principalmente 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.

También se evaluarán parámetros físico-químicos y de calidad del agua; asimismo se utilizarán indicadores biológicos, tales como la concentración y distribución de organismos del fitoplancton, así como las asociaciones fitopláncticas con las variables abióticas en las distintas épocas climáticas para conocer a las algas microscópicas bioindicadoras de calidad del agua, que permiten diagnosticar de forma temprana cambios de la calidad ambiental en el entorno de los arrecifes coralinos.

La investigación de los microorganismos fotosintéticos se justifica principalmente por constituir un grupo ecológicamente importante en los ecosistemas acuáticos; lo que ha impulsado actualmente el desarrollo de indicadores taxonómicos (McCormick y Cairns 1994; Stoermer y Smol 2000), aunque sólo se han basado en un grupo de algas microscópicas (diatomeas). Por otra parte, las investigaciones en la región deben perfilarse a conocer la dinámica ecológica de sus recursos, para proporcionar las bases de futuros estudios y estrategias de manejo de los recursos bióticos existentes (Tapia-García 1997).

En el aspecto biológico se incluye la evaluación del estado actual de las zonas arrecifales y ecosistemas asociados frente a las costas del Municipio de Solidaridad, para la comprensión del posible impacto de las actividades antrópicas 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 de 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.

Con base en lo anterior es necesario incluir, como en cualquier estudio, la capacitación en la evaluación de la calidad del agua, la protección de los arrecifes coralinos y la planeación estratégica de proyectos de desarrollo, la cual es la base para una buena ejecución y seguimiento de dichos proyectos.

A menudo, la planeación en los proyectos de desarrollo se considera completa por el hecho de contener rubros de insumos físicos y financieros, el personal, las actividades y los resultados esperados; sin embargo, frecuentemente no se lleva a cabo un análisis adecuado de todos estos elementos y se omiten los factores tanto externos como internos, los cuales son básicos para determinar el éxito o fracaso de los proyectos a ejecutar (ANCD, 1997; Baker, 2000).

Es por esto que se integraran a las autoridades locales y a la sociedad civil para que cualquier proyecto sea integral, sustentable y su desarrollo permita disponer de un ejemplo práctico, en la preparación de los actores locales, en el desarrollo de proyectos de protección del ambiente.

Objetivo General

Evaluar las condiciones ambientales en noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005 de 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 una etapa posterior.

Objetivos Específicos

1. Determinar los patrones de oleaje y circulación de las aguas costeras.
2. 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.
3. Identificar las principales fuentes de contaminación marina.
4. Efectuar un levantamiento topográfico de las tres principales playas del municipio de 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.
8. Elaborar un diagnóstico del estado actual de la zona costera del Municipio de Solidaridad que aporte información para el desarrollo de programas de manejo sustentable en una etapa posterior.

9. Capacitar al personal de la Dirección de Medio Ambiente, de las Asociaciones Civiles y a la comunidad del Municipio Solidaridad de Quintana Roo, en temáticas como el monitoreo del ambiente acuático costero y la evaluación de proyectos ambientales.

Zona de Estudio

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.

Este sector litoral 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 (UAMI, 2003).

Constituye una típica llanura costera carsificada, que no sobrepasa los 25 metros de altitud, desarrollada mayormente sobre rocas calcáreas terciarias hacia las zonas más interiores, mientras que hacia la costa predominan las rocas calcáreas cuaternarias, recubiertas en partes por depósitos recientes, principalmente arcilloso-pantanosos en las zonas bajas de lagunas y humedales circundantes, y por arenas en los sectores de playas y dunas.

A la escala regional es notoria la distribución de las unidades geográficas o paisajes en franjas paralelas a la línea de costa, que pasan desde las playas y dunas a una franja intermedia de superficies carsificadas y lagunas costeras interiores, hasta la plataforma continental que distingue a la parte central de la Península de Yucatán (UAMI, 2003).

Este tipo de estructura paisajística, especialmente en su parte litoral, se caracteriza por una dinámica-funcional intensa, fuertemente influenciada por los procesos costeros vinculados al oleaje, las corrientes marinas y a la biota marina, así como a las fluctuaciones climáticas y cambios del nivel medio del mar. A este marco dinámico marino se suman los efectos de los “nortes” invernales, tormentas veraniegas y los frecuentes huracanes.

La interacción tierra-mar es acentuada, que en paisajes jóvenes, desarrollados sobre llanuras holocénicas y pleistocénicas tardías, dan lugar a un escenario inestable, por ende, frágil y susceptible ante los impactos humanos (UAMI, 2003).

Debe resaltarse que en la zona de estudio se localizan dos áreas con régimen de conservación de notoriedad internacional, que son el Parque Nacional de Tulum y la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.

Las playas y dunas, junto a la zona costera de forma general, constituyen, como ya se señaló, el centro de atención de este trabajo. Ellas son el escenario principal del desarrollo turístico municipal, al mismo tiempo, juegan un papel crítico en la protección contra los efectos de las tormentas e inundaciones tanto de los recursos naturales terrestres como del desarrollo en la zona costera.

Representan 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 la playa. Esta condición incrementa su fragilidad y ello debería convertirse en factor de limitación para ser aprovechada antes del establecimiento de una infraestructura costera. En la práctica, se aprecia una extensiva violación de esto y predominan en muchos sectores instalaciones hoteleras y extrahoteleras, cuya micro localización, dimensiones y tipología constructiva, afectan física y ambientalmente a este vital ecosistema costero (Fig. 2).

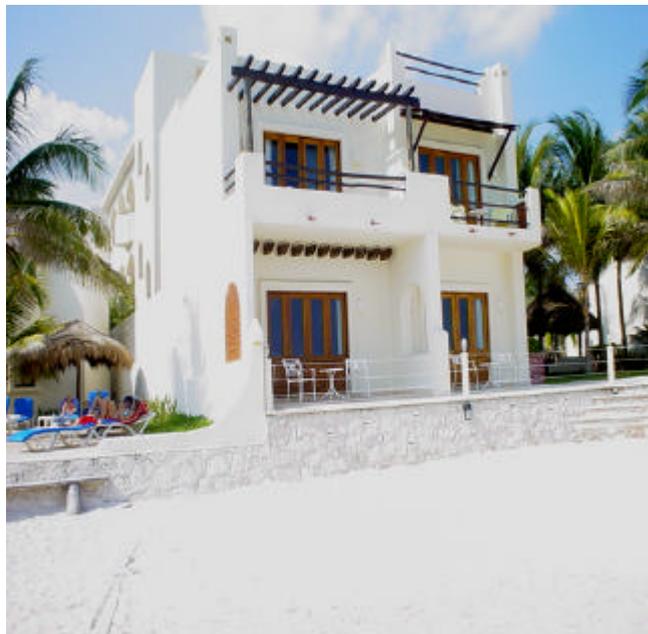


Fig. 2. Construcciones sobre la duna en Playa de Carmen

Parte importante de todo este extenso sistema litoral, es el arrecife de coral, que se extiende paralelo a la costa, en forma discontinua desde el norte de Quintana Roo hasta la Bahía en Honduras, que incluyendo aquellos arrecifes de Cuba, se conoce como el Gran Arrecife Mesoamericano y reconocido como el segundo más largo del mundo, después de la Gran Barrera Coralina de Australia. Por su cercanía a la costa, estas formaciones arrecifales juegan un papel relevante para las playas, ya que proporcionan protección contra el oleaje y ante las tormentas y huracanes que afectan al Mar Caribe mexicano.

Asociados directamente a los arrecifes de coral, se presentan lagunas arrecifales donde se pueden encontrar pastos marinos (*Thalassia sp.* y *Syringodium sp.*). Usualmente no se les reconoce 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 encuentra una franja 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); además de 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 (Fig. 3).



Fig. 3. Afloramientos rocosos en Playa del Carmen y Akumal, Quintana Roo.

El Municipio de Solidaridad tiene una extensión territorial de 4,245.6 km² y se distingue 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.

Playa del Carmen es la cabecera municipal y de ser conocida sobre todo como punto de salida hacia Isla Cozumel de escasos cinco mil habitantes (Fig. 4), se ha convertido en los últimos años en un importante enclave turístico de sol y playa. Hasta el año 2003 contaba con 111 000 habitantes.

Este crecimiento tan acelerado de la población residente y de la infraestructura hotelera y extrahotelera, no ha cumplido los lineamientos para un ordenamiento espacial ambientalmente óptimo y ha estado por encima del crecimiento de la infraestructura de servicios, especialmente aquella destinada al tratamiento de las aguas residuales y los desechos sólidos; situación que ha comenzado a manifestarse en afectaciones a la zona costera (UAMI, 2003).

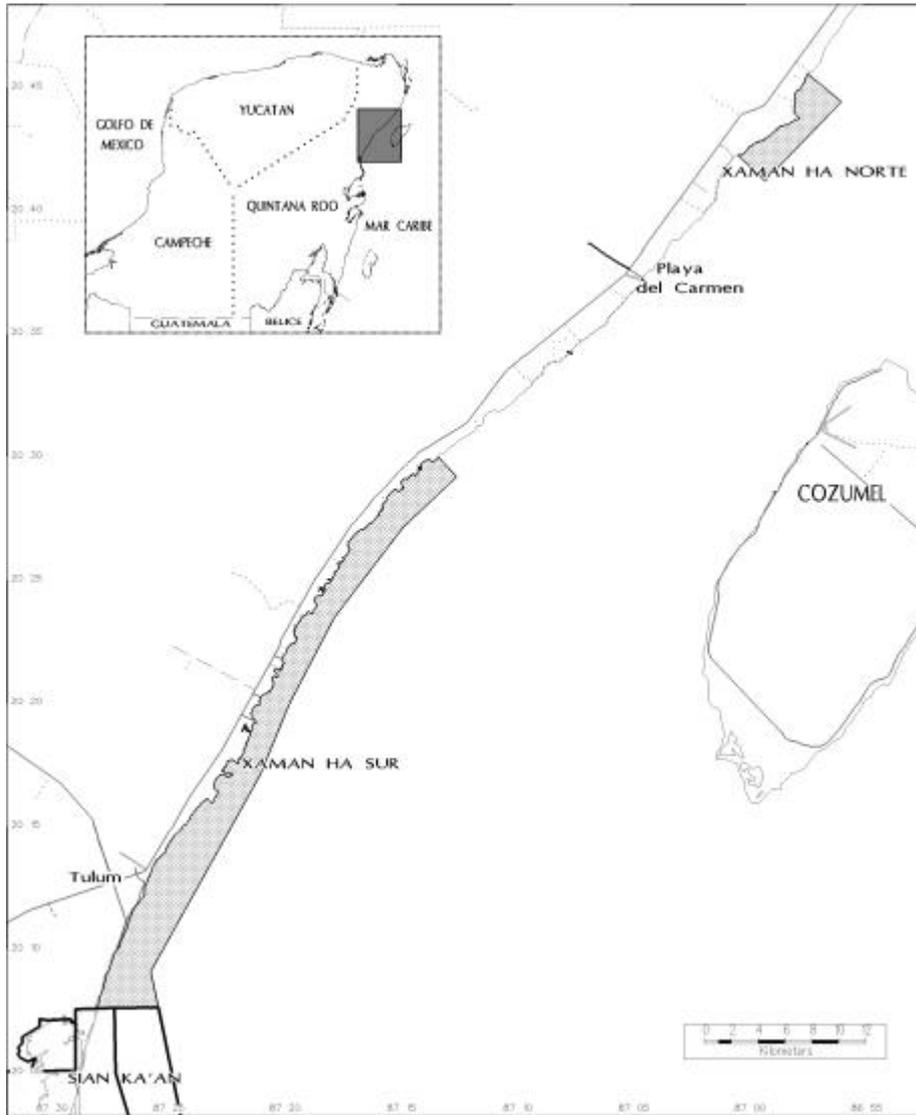


Fig. 4. Localización del área de estudios.

Metodología general

El proyecto comprendió cuatro grupos temáticos (oceanografía física, química o calidad del agua, geología marina y arrecifes coralinos), agrupados por la coordinación misma del proyecto (Fig. 5) y del que se generará un acápite de capacitación, como se verá más adelante.

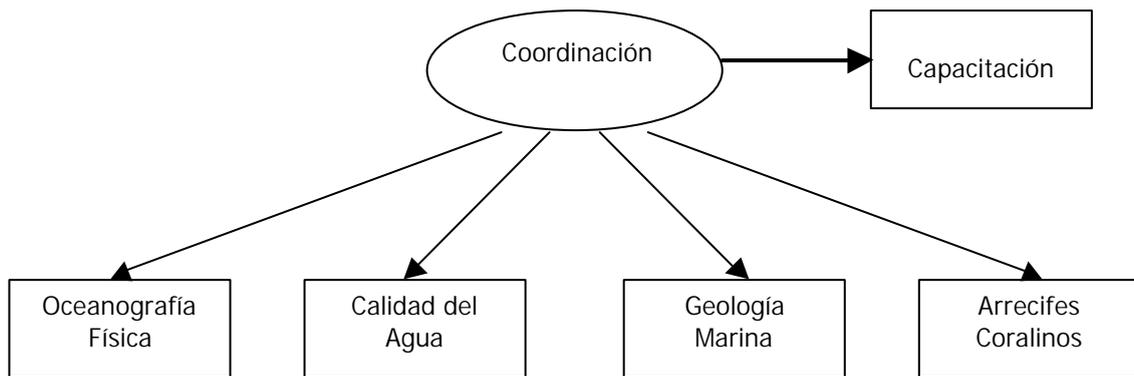


Fig. 5. Organigrama del proyecto.

Siguiendo los requerimientos de la CONABIO, cada especialidad rindió informes después de cada salida a trabajo de campo, para el cumplimiento de los objetivos y actividades. Los primeros seis meses del proyecto, estuvieron dedicados a la adquisición y adecuación del equipamiento a emplear.

Dentro de la oceanografía física se emplearon cuatro perfiladores acústicos (correntómetros) para definir la velocidad y dirección de las corrientes en cuatro puntos representativos de la Riviera Maya que se ven sometidos a una mayor intensidad del oleaje y en consecuencia a una mayor erosión y pérdida de playa.

En la primera salida para trabajo de campo, se definió la intensidad del muestreo, las posiciones idóneas de las estaciones para las cuatro especialidades. Asimismo se incluyó el estudio fitoplanctónico para elegir posibles organismos bioindicadores de la calidad del agua. Este es un aspecto que por su utilidad y novedad, se ha agregado a las actividades del proyecto.

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.

Por otra parte, se efectuó un levantamiento topográfico de las playas, principalmente en las épocas de lluvias, secas y nortes, que suministrara información sobre el grado de conservación. Se realizó un estudio sedimentológico (textura y composición de las arenas), para determinar su dinámica. Se evaluaron las variaciones morfológicas de la línea de costa a través del tiempo, con apoyo de imágenes de satélite y fotografías aéreas para definir la evolución y tendencias a futuro de las playas del municipio.

Se evaluó el estado de conservación de los arrecifes coralinos, como indicadores de respuesta a la calidad del agua y otros factores ambientales de origen natural y

antrópico, para una futura identificación por influencia de actividades humanas con mayor repercusión en estos ecosistemas.

Con toda la información generada por el proyecto, se generó una base de datos para el área de la Riviera Maya estudiada, siguiendo los formatos y la metodología establecida por la CONABIO. Se elaboraron cinco mapas: localización de playas, zonas de riesgo por erosión y bacteriología así como tamaño gráfico promedio de textura de sedimentos para las salidas de noviembre-marzo-agosto, que van incluidos dentro de la propia base de datos.

Se impartieron cursos de capacitación, tanto al mismo personal participante en el proyecto, como a los agentes locales, autoridades municipales y sociedad civil, tomando en lo fundamental el desarrollo del mismo proyecto como ejemplo práctico.

El planteamiento general del proyecto responde a las necesidades locales; por esa razón el informe final se entregará tanto a la CONABIO bajo los requerimientos establecidos, como al Municipio Solidaridad, Quintana Roo.

Resultados esperados

-El proyecto permitirá determinar el estado actual de las playas que optarán por la certificación "Bandera Azul", la calidad de sus aguas y la condición de los 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.

-Elaboración de mapas de contorno de la evolución a lo largo del año de los espectros de potencia del oleaje en los cuatro sitios de muestreo. Con esto se obtendrá una descripción de los períodos más significantes y su energía en el tiempo.

-Generación de diagramas polares de probabilidad conjunta de la dirección e intensidad del oleaje (esta última dada por la altura significativa del oleaje) en los cuatro sitios de muestreo. Asimismo, se elaborarán de histogramas de la dirección, período del pico espectral y de la altura significativa del oleaje.

-Con base en la batimetría detallada, producto de la sección Geología Marina de este proyecto, se elaborará una carta de difracción del oleaje prevaeciente en la región. Esta carta nos brindará información sobre la distribución de la energía del oleaje que llega a las playas bajo estudio.

-Construcción de gráficas contra el tiempo los vectores de velocidad de corriente superficial, de fondo y promedio vertical para cada sitio de muestreo. Asimismo se obtendrán diagramas progresivos de circulación superficial, cerca del fondo y velocidad promedio. Estos diagramas se compararán con diagramas equivalentes de velocidad del viento para estudiar la influencia de este último sobre la circulación local.

-Con esta información detallada se podrán definir las zonas potencialmente más sensibles al impacto ambiental desde el punto de vista dinámico.

-Elaboración de planos de muestreo, batimétricos, topográficos, de textura de sedimentos, composición de sedimentos y toda la cartografía necesaria para el proyecto; para ello se utilizará el programa Arc View. Esta cartografía tendrá los lineamientos y requerimientos por CONABIO (www.conabio.gob.mx), así como en atributos y características cartográficas.

-Al final del proyecto se tendrá la información cartográfica impresa y digital de la *Carta de riesgos por procesos costeros* (incluirá las áreas de erosión y depósito de materiales), así como la *Carta sedimentológica* (distribución de arenas, limos y arcillas).

-Creación de una base de datos geográfica de las características texturales y de composición de los sedimentos de los diferentes ambientes muestreados (arrecife, playa, zona costera, y otras áreas de interés), en las diferentes épocas de muestreo. En la textura de sedimentos se determinarán los parámetros granulométricos (*Kg*, grado de asimetría, tamaño gráfico promedio y desviación estándar gráfica inclusiva). En la composición de sedimentos se determinarán las variedades de materiales carbonatados y se realizará la base de datos geográfica de materia orgánica en sedimentos.

-La información generada por el proyecto sentará las pautas para la elaboración de un plan futuro de saneamiento de las aguas de la zona costera, incluyendo los cenotes y manto freático, así como para la conservación de los arrecifes, su mantenimiento, posible rehabilitación y manejo racional. Asimismo, generará información útil para el establecimiento de un programa de contingencia contra posibles impactos de petroquímicos en el mar (considerando las actividades náuticas, las obras de infraestructura construidas en la zona, incluido el Home Port de Xcaret). Toda la información generada se presentará en formatos 'windows' compatibles (WORD, EXCEL, imágenes y videos de multimedia).

-Igualmente, del proyecto derivarán programas independientes de recuperación de las playas, con mayor eficiencia y pertinencia a las condiciones dinámicas naturales de la geomorfología costera. Además, se homogeneizarán las metodologías de monitoreo para la evaluación de la condición arrecifal y ecosistemas asociados, diseñadas en el marco de los acuerdos del SAM.

-El proyecto complementará el Sistema de Información Geográfica de la Zona Costera del Municipio de Solidaridad, de la Dirección de Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Solidaridad y generará información valiosa en cuanto a los indicadores de sustentabilidad a incorporar en el Programa Agenda 21 del H. Ayuntamiento de Solidaridad para lograr un desarrollo sustentable en la Riviera Maya. Como producto del proyecto, se registrará una memoria fotográfica, que igualmente formará parte de la base de datos del mismo.

-Capacitación de las Organizaciones No Gubernamentales y al Gobierno Municipal de la localidad en el monitoreo y la detección de anomalías ambientales, para la alerta y aviso oportuno a la dependencia competente de posibles emergencias o contingencias ambientales, en relación con la calidad del agua y en los aspectos básicos para el diseño de un desarrollo turístico sustentable en áreas ecológicamente sensibles, que incluye el monitoreo y evaluaciones rápidas acerca de la condición y conservación de los arrecifes.

RESULTADOS

OCEANOGRAFÍA FÍSICA

En el presente trabajo se describe la dinámica costera en dos localidades del Caribe mexicano identificadas como Playa del Carmen y Akumal durante la época de primavera, verano y parte del otoño del 2005. Los patrones físicos que se tomaron en cuenta para describir cierta 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 fue posible aplicar un modelo de propagación de oleaje SWAN (Simulating WAVes Nearshore, tercera generación) para obtener modelos 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 pueden determinar posibles zonas de riesgo, altamente erosionables ya sea tanto en condiciones predominantes como en extremas.

Introducción

Existen diversas razones por las cuales es de gran importancia el estudio del oleaje, interacciones dinámicas del océano y la costa, el diseño y operación de embarcaciones, la planeación de rutas marítimas, el diseño ingenieril 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 proporcionan un aumento en la energía del oleaje, ocasionando desastres en la costa dejando pérdidas de gran magnitud económica.

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), huracanes, época de lluvias muy variantes y elevación del nivel del mar, entre otros (Salazar-Vallejo, 1998).

Estos procesos de contaminación y erosión continua se llevan a cabo 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 proporciona empleo y es fuente de ingresos para personas que viven en las áreas costeras cercanas (INE-SAM, 1997).

Este litoral se caracteriza por tener una dinámica muy 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 precisamente, 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 midió durante tres meses el oleaje y las corrientes litorales en tres puntos a lo largo de la costa del municipio 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. Esta información se complementará con datos meteorológicos colectados en estaciones del Servicio Meteorológico Nacional en la isla de Cozumel y en Sian Ka'an, Q. Roo, así como el análisis de imágenes de satélite y fotografías aéreas por parte del grupo de geología marina.

Utilizando los datos de batimetría colectados en los estudios del citado grupo, acerca de la geomorfología de las playas, descritos adelante, se realizarán cartas de difracción que puedan usarse en la interpretación del oleaje que incide sobre la costa. Estas cartas, en conjunto con los datos de corrientes, permitirán hacer inferencias sobre la influencia que tienen el oleaje y las corrientes mar adentro sobre puntos cercanos al litoral.

Aparatos de Medición. Se realizaron mediciones de oleaje y corrientes en aguas someras en tres localidades de la Riviera Maya, identificadas como Playa del Carmen, Akumal y Tulum, la localización geográfica de los instrumentos se muestra en la figura 6. El aparato de medición en Playa del Carmen operó a una profundidad media de 10 m, el aparato en Akumal a una profundidad media de 15 m y en Tulum a una profundidad de 16 m.

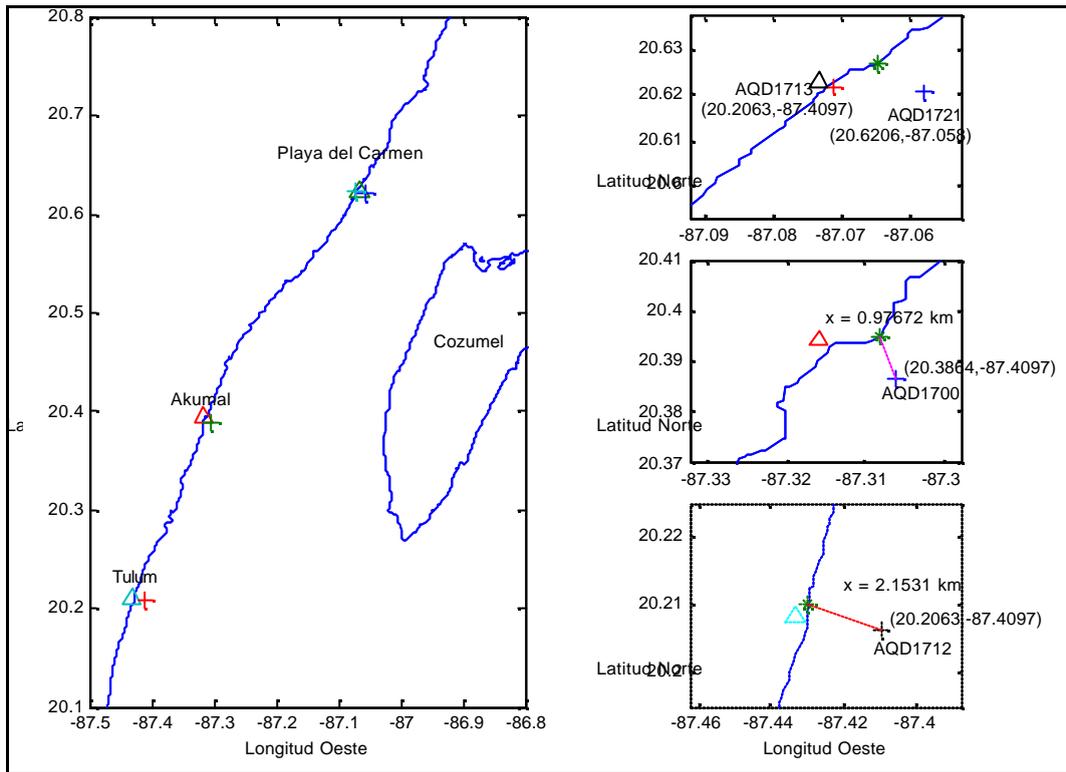


Fig. 6. Izq. Localización general del área de estudio, los triángulos indican ciudades y las cruces instrumentos. Der. Posición de los instrumentos (ADCP) y distancia más cercana a la costa. De arriba hacia abajo: Playa del Carmen, Akumal y Tulum.

El instrumento localizado en Playa del Carmen empezó a operar el 16 de abril del 2005, el de Akumal el 15 de abril del 2005, y el de Tulum empezó el 14 de abril del 2005; dejaron de funcionar (por falta de baterías) el 26 de junio del 2005, el 25 de junio del 2005 y el 24 de junio respectivamente. A principios de agosto se llevó a cabo un viaje de trabajo de campo para recuperar los instrumentos, darles servicio y re-colocarlos dentro del programa de muestreo de corrientes y oleaje. Este viaje, originalmente planeado para finales de julio, tuvo que ser pospuesto por la entrada del huracán Emily. Afortunadamente tres de los instrumentos pudieron ser rescatados sin daño, recuperando la información registrada y volviéndolos a instalar el 3 de agosto del 2005. Esta visita se aprovechó para reforzar los anclajes con peso muerto, cadenas y boyas sub-superficiales para el caso de eventos como el 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 nos brindaron buzos locales que lo vieron fortuitamente. De otra forma hubiera sido imposible ubicarlo. 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.

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 de velocidad y dirección para todo el periodo de muestreo en las localidades 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 correspondientes aparecen huecos de interpolación, lo cual no implicó una ausencia de datos.

Estadística de Oleaje. Se realizaron gráficas en el dominio del tiempo de la altura significativa (H_s), el periodo asociado al pico espectral (T_p), 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 1 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. La aplicación del modelo dentro de esta investigación tiene como función el determinar posibles zonas de riesgo (de mayor erosión) identificadas como las zonas en donde existe mayor convergencia de 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 *et al.*, 1973). El modelo de disipación de energía inducida por cambios en el fondo es el obtenido por Battjes y Janssen (1978).

Resultados

Playa del Carmen

Corrientes

En la figura 7, se puede observar que las velocidades de la corriente a lo largo de la columna de agua no varió de forma significativa, manteniendo valores cercanos a los que se encuentran en superficie, disminuyendo de forma tenue hacia la profundidad. 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.

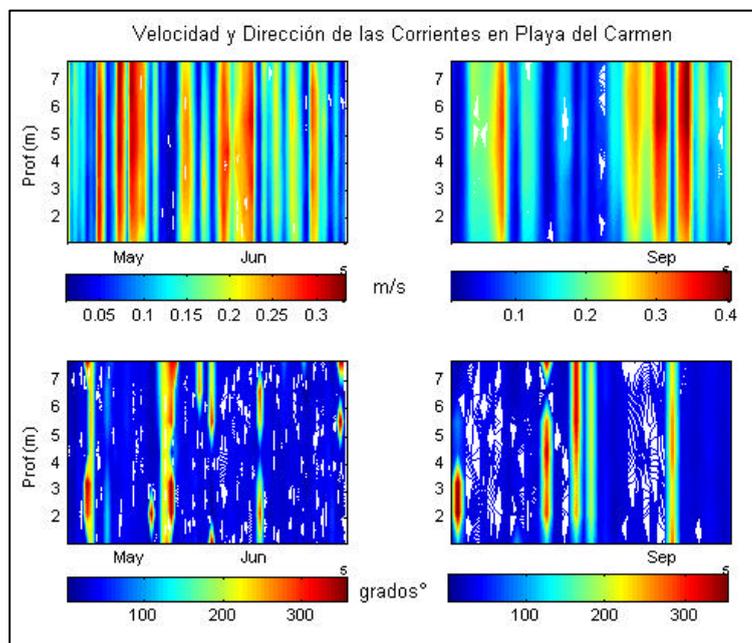


Fig. 7.- Contornos de velocidad (arriba) y dirección (abajo) para las dos temporadas muestreadas: mayo y junio (izq) y segunda temporada agosto y parte de septiembre (der).

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

Como se observa en la figura 8, 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, en donde la altura significativa de mayor porcentaje de ocurrencia para todo el periodo de medición fue de 0.4 a 0.5 m.

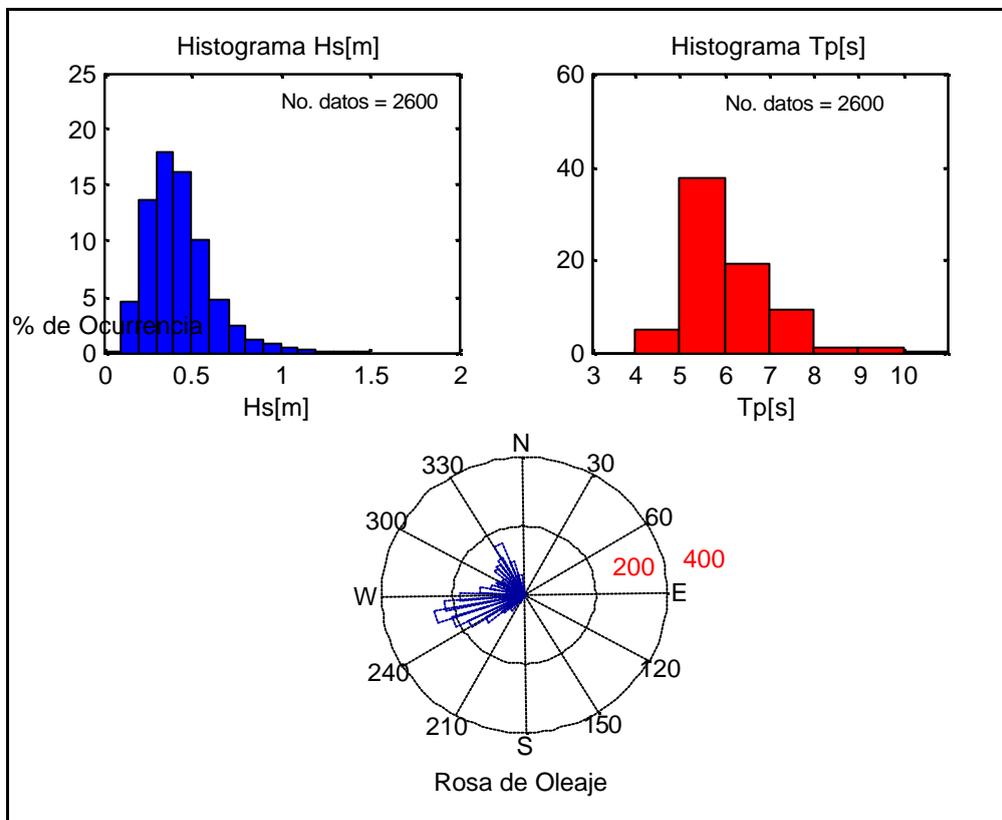


Fig. 8.- Histogramas de frecuencia de Hs, Tp y Rosa de Oleaje para Playa del Carmen en todo el periodo de medición. Los niveles de frecuencia en la rosa de oleaje son con respecto al total de datos de la serie analizada.

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 N de la misma.

Claramente se puede observar en la figura 9 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 m²/Hz las cuales corresponden a olas de poco más de un metro de altura significativa, 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.

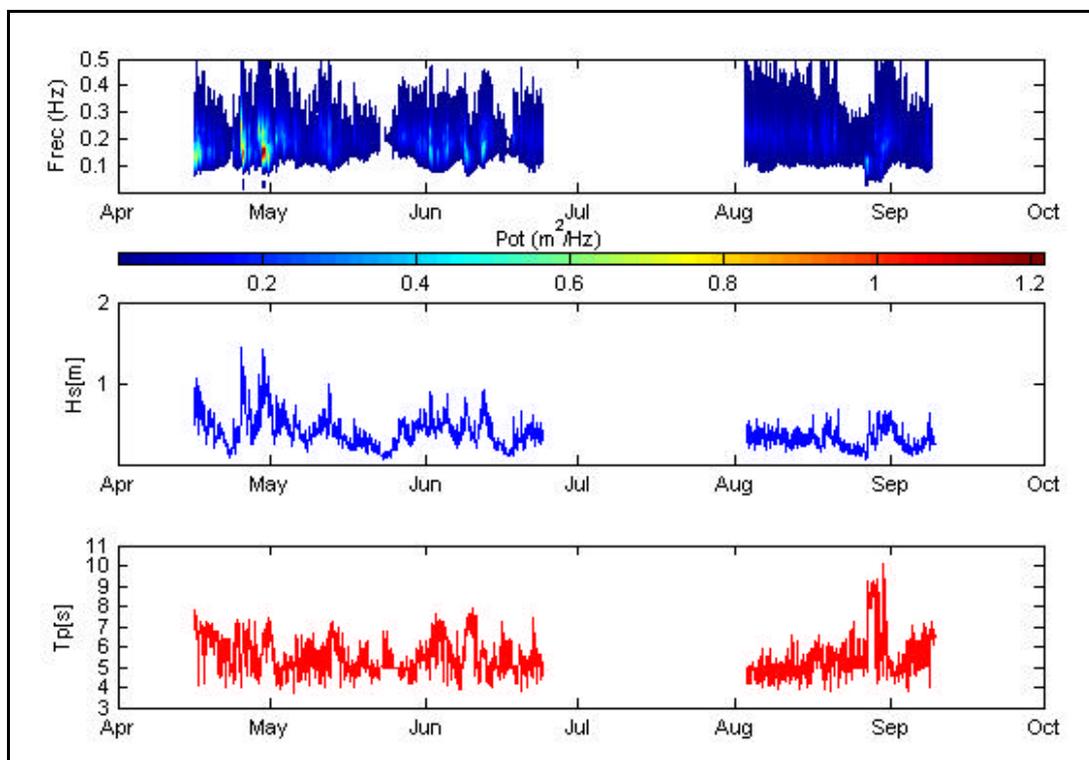


Fig. 9.- Espectro de potencia de oleaje, altura significativa (Hs) y periodo del pico espectral (Tp) para PC, el espacio en blanco representa el mes donde hubo falla de batería por parte del instrumento.

Modelación de Oleaje

Malla Batimétrica y Malla Computacional. Para el caso de la modelación en Playa del Carmen (Figs, 9 y 14a) 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 grados, 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. 10a-10e) y los de valor extremo (Fig. 10f), 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 significativa, 6 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).

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 significativa 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. 10d) 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.

Las direcciones de aproximación del oleaje que disipa menos energía debido a los cambios en el fondo fueron 300° y 330° (Figs. 10c y 10d) 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.

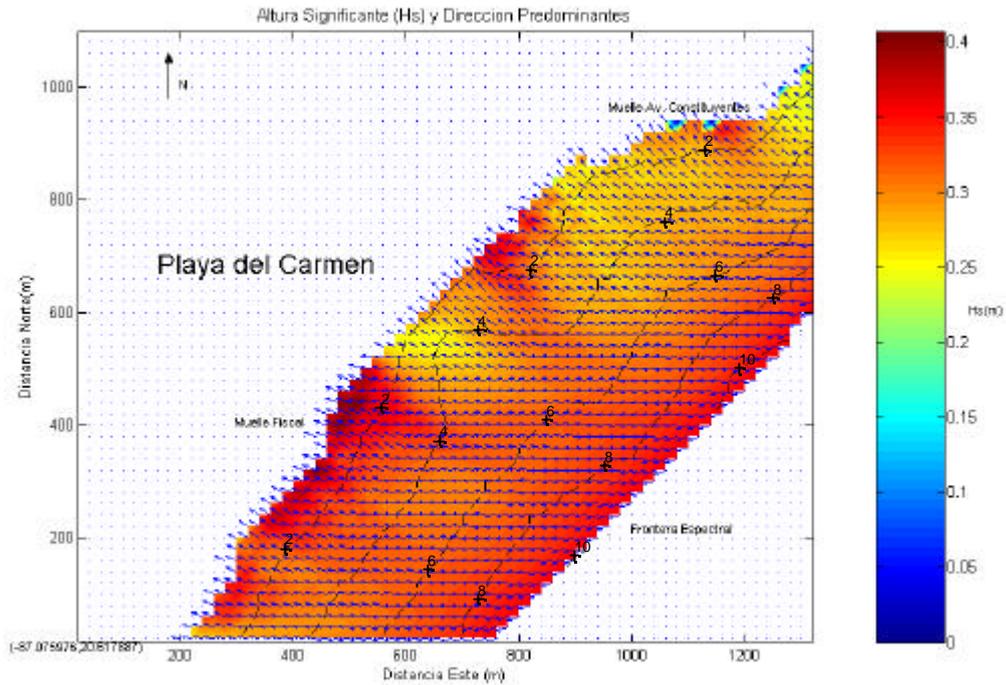


Fig. 10a. Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 255° .

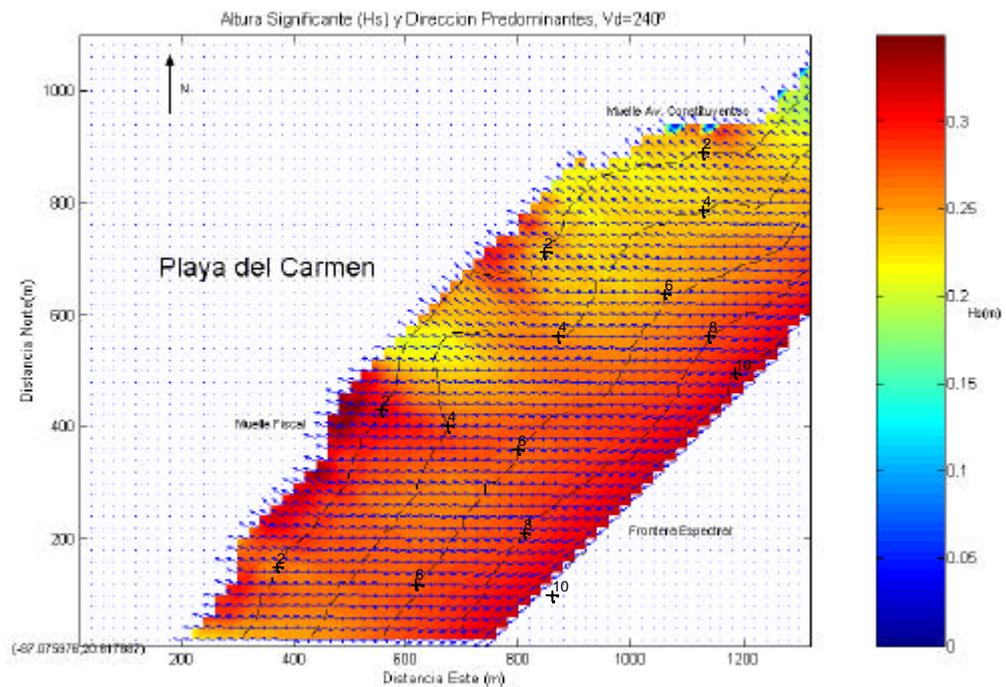


Fig. 10b. Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen; los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 240° .

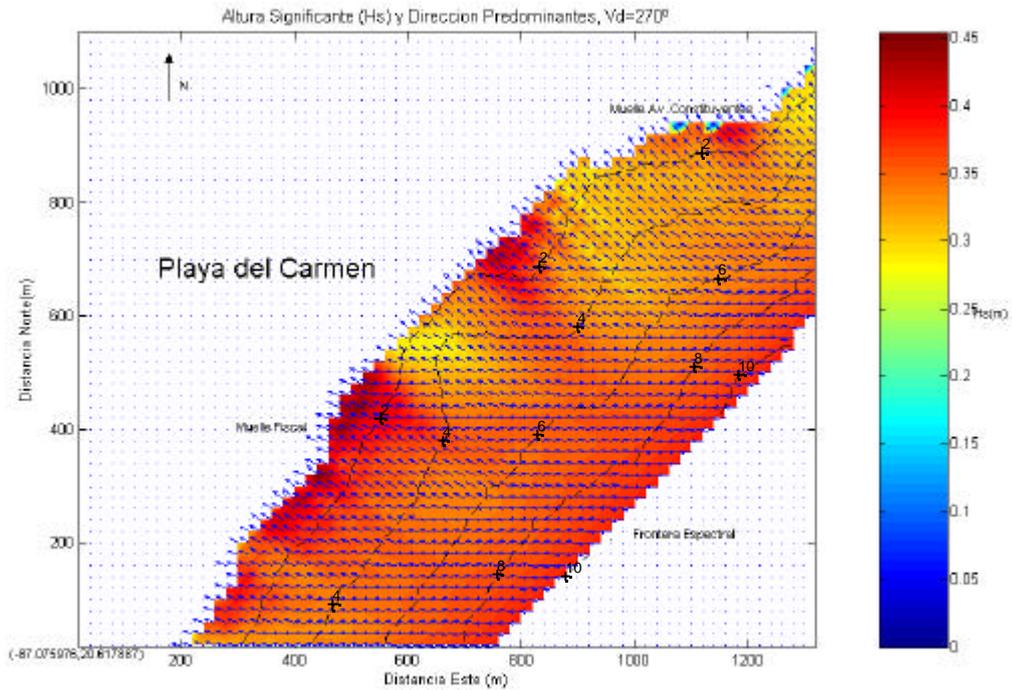


Fig. 10c. Valores de altura significativa (Hs, en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 270°.

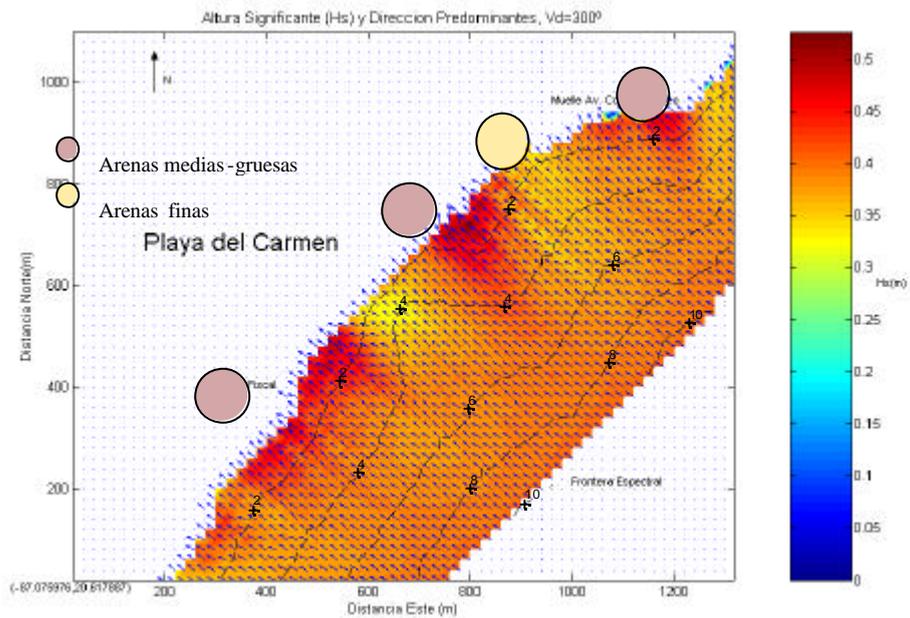


Fig. 10d. Valores de altura significativa (Hs, en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 300°. También se presenta la distribución del tamaño de grano (círculos).

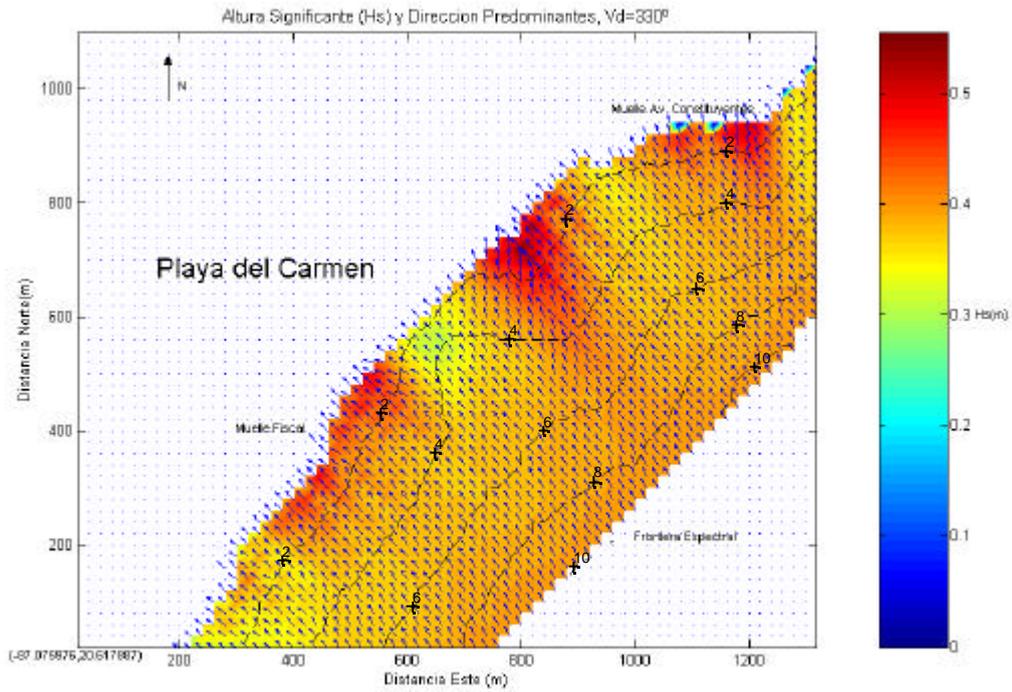


Fig. 10e. Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección promedio de 330° .

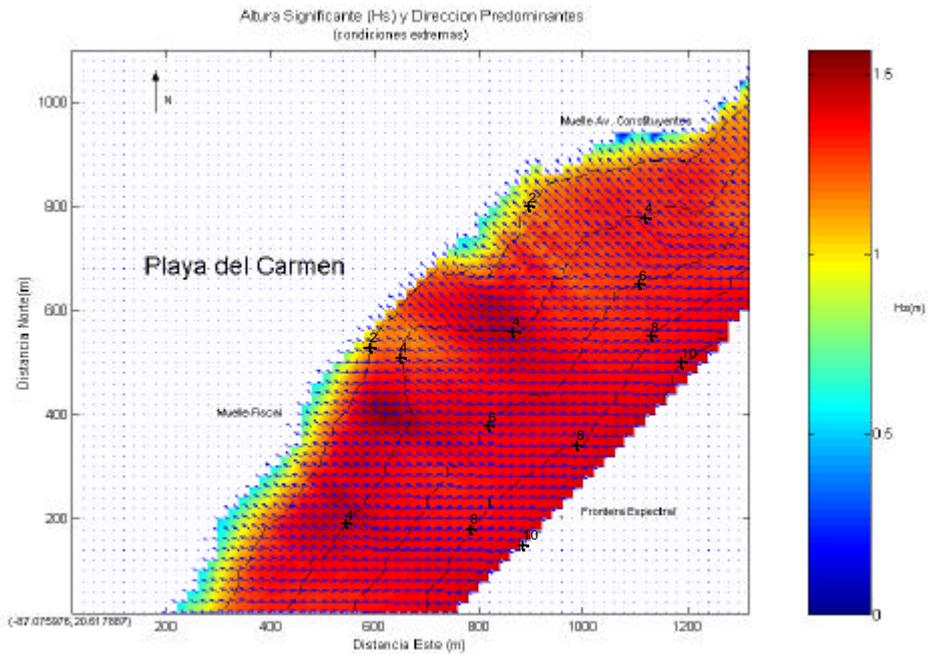


Fig. 10f. Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Playa del Carmen, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los valores extremos ($H_s = 1.5$, $T_p = 6$).

Akumal Corrientes

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. 11) 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 encuentra va 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.

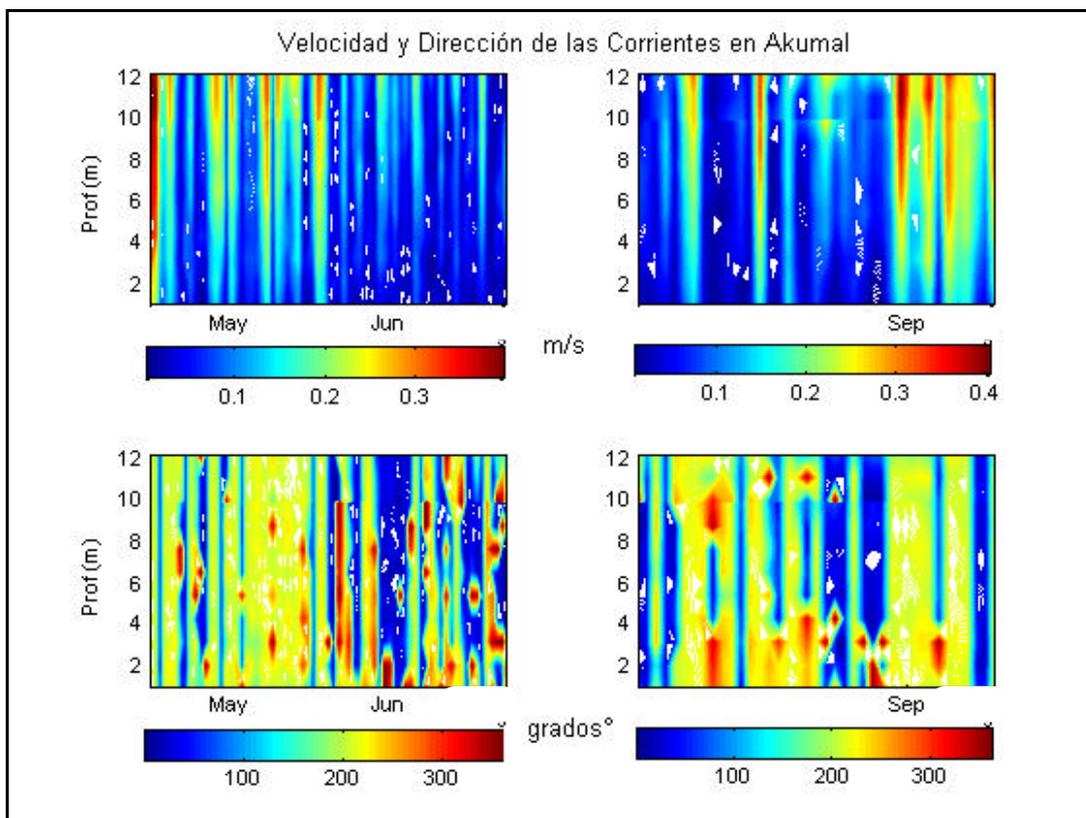


Fig. 11. Contornos de velocidad (arriba) y dirección (abajo) para las dos temporadas muestreadas: mayo y junio (izq) y segunda temporada agosto y parte de septiembre (der).

Estadística de Oleaje. En el histograma de frecuencia de la Hs para Akumal (Fig. 12) 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 significativa que tiene mayor porcentaje de ocurrencia en la zona es de 0.4 a 0.5 m, con periodos asociados de 6 a 7 segundos en su mayoría. La

dirección de propagación del oleaje se registro 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.

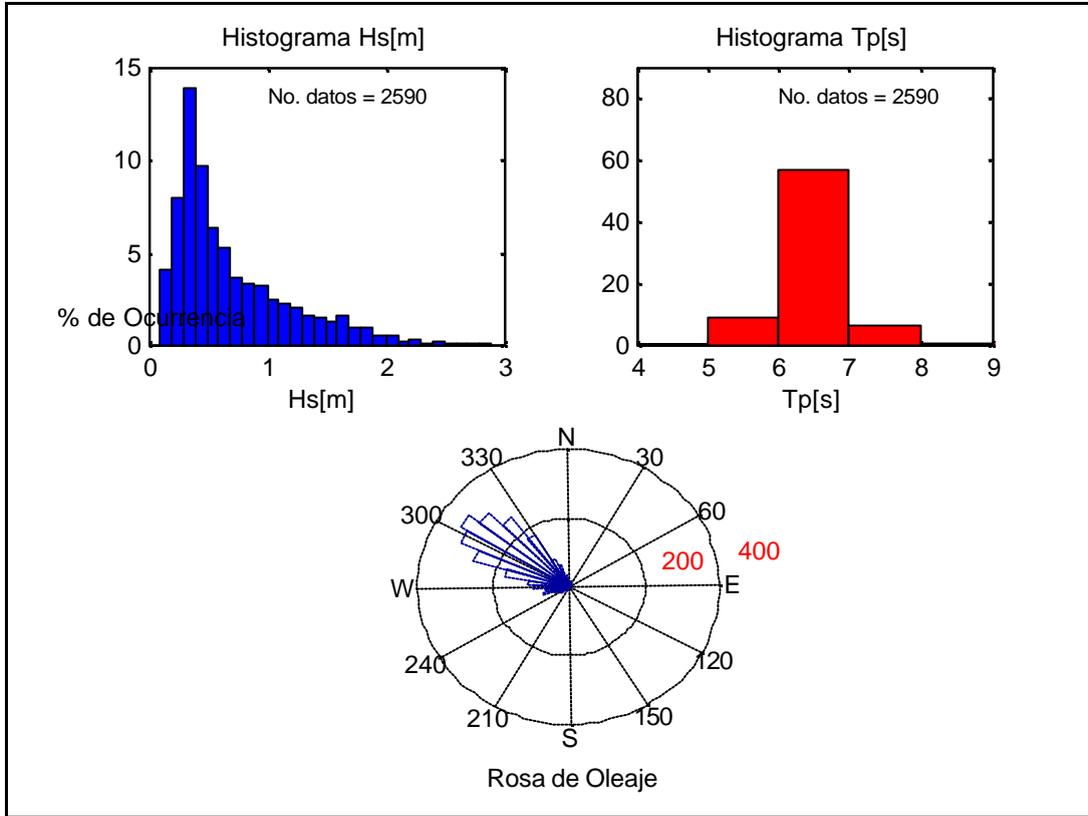


Fig. 12. Histogramas de frecuencia de Hs, Tp y Rosa de Oleaje para Akumal durante todo el periodo de medición. Los niveles de frecuencia en la rosa de oleaje son con respecto al total de datos de la serie analizada.

Se puede observar en la figura 13, que Akumal es una zona más expuesta al oleaje a diferencia de 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 m²/Hz asociado a olas entre 2 y 3 m de Hs, con periodos entre 6 y 7 segundos.

Modelación de Oleaje

Malla Batimétrica y Malla Computacional. En el caso de la modelación numérica del oleaje en Akumal, (Figs. 14a-14f) 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.

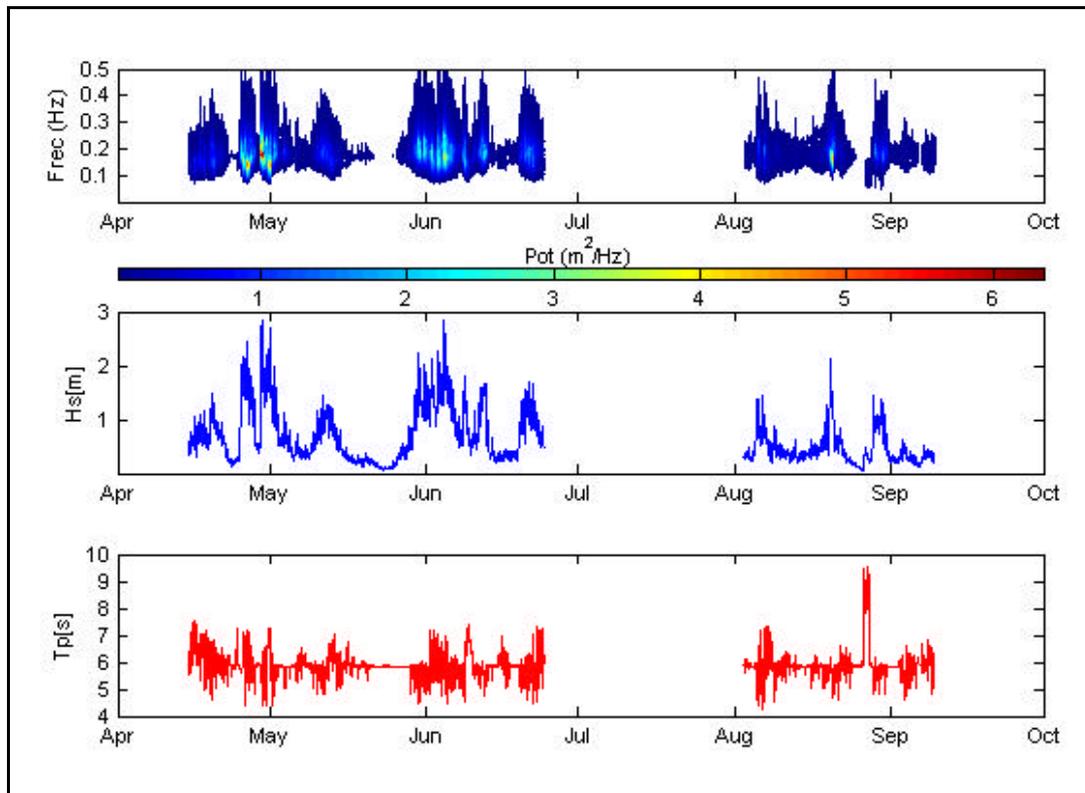


Fig. 13. Espectro de potencia de oleaje, altura significativa (Hs) y periodo del pico espectral (Tp) para Akumal, el espacio en blanco representa el mes donde hubo falla de batería por parte del instrumento.

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 significativa (Hs), 7 segundos de periodo asociado al pico espectral (Tp) y 300° de dirección. Los correspondientes al evento extremo fueron 2.7 m de Hs, 9 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 observa 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 composición rocosa, no se considera como de alto riesgo.

En el caso de las ventanas direccionales, no existe mucha diferencia con respecto a la Hs, entre una y otra, de manera que dentro del rango de dirección se obtienen 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 granos (Fig. 15a) los cuales fueron proporcionados por el equipo de geología. La zona sur (de mayor dinámica costera) presenta arenas más gruesas que la zona central en donde la dinámica costera disminuye, con arenas de tamaño más fino.

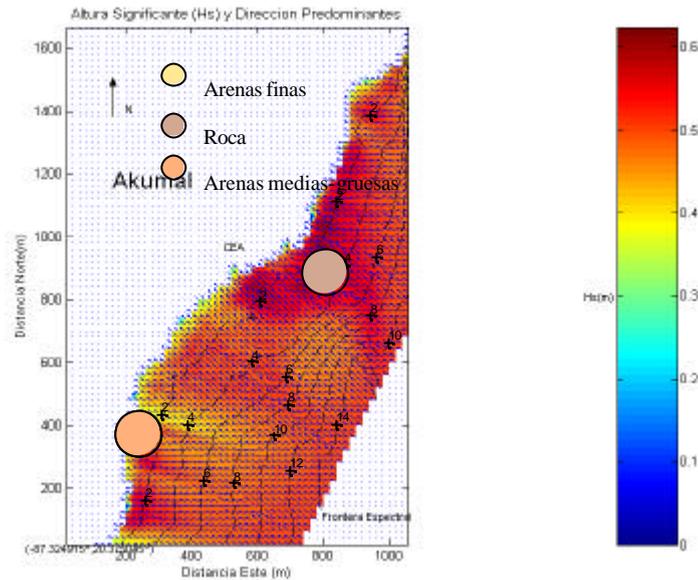


Fig. 14a.- Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia. Se presentan la distribución del tamaño de grano, en relación con las zonas dinámicas (circulo).

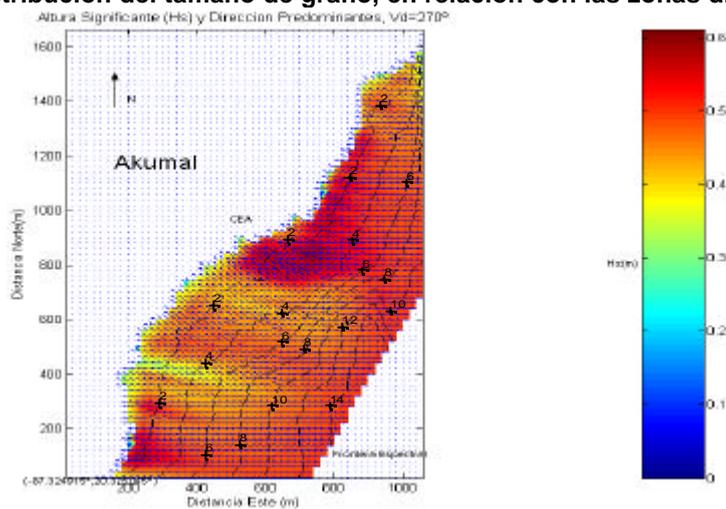


Fig 14b. Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección de aproximación promedio de 270° .

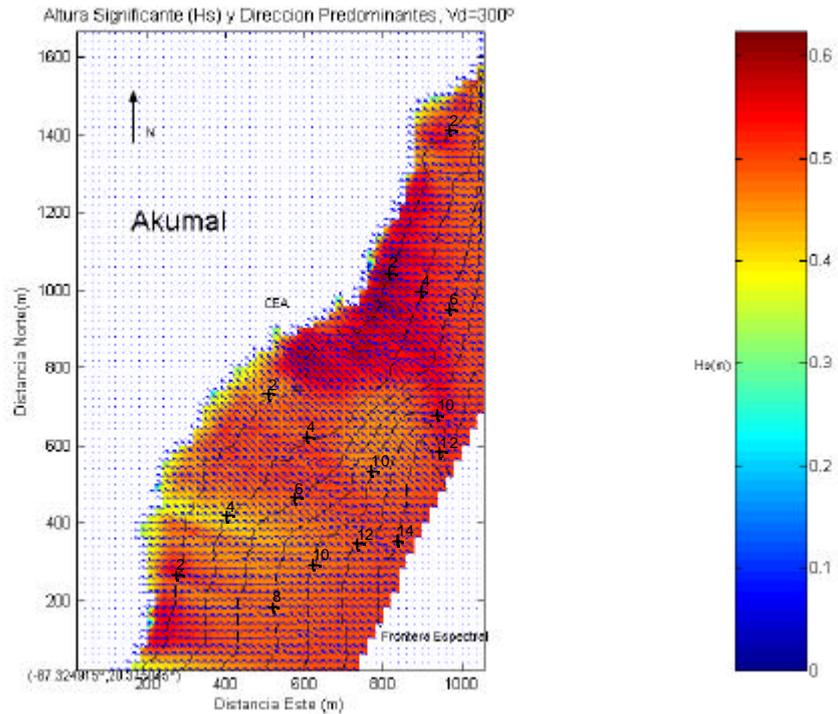


Fig. 14b.- Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección de aproximación promedio de 300° .

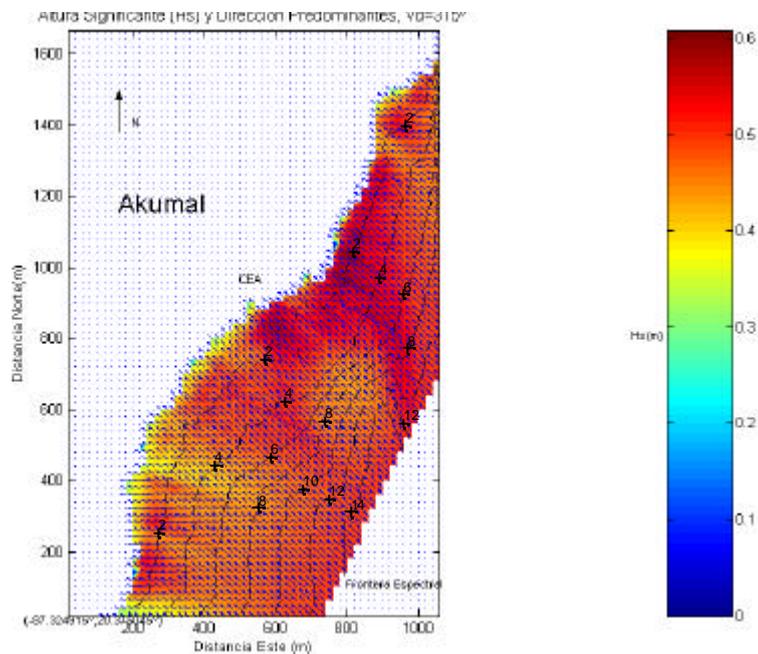


Fig. 14c.- Valores de altura significativa (H_s , en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección de aproximación promedio de 315° .

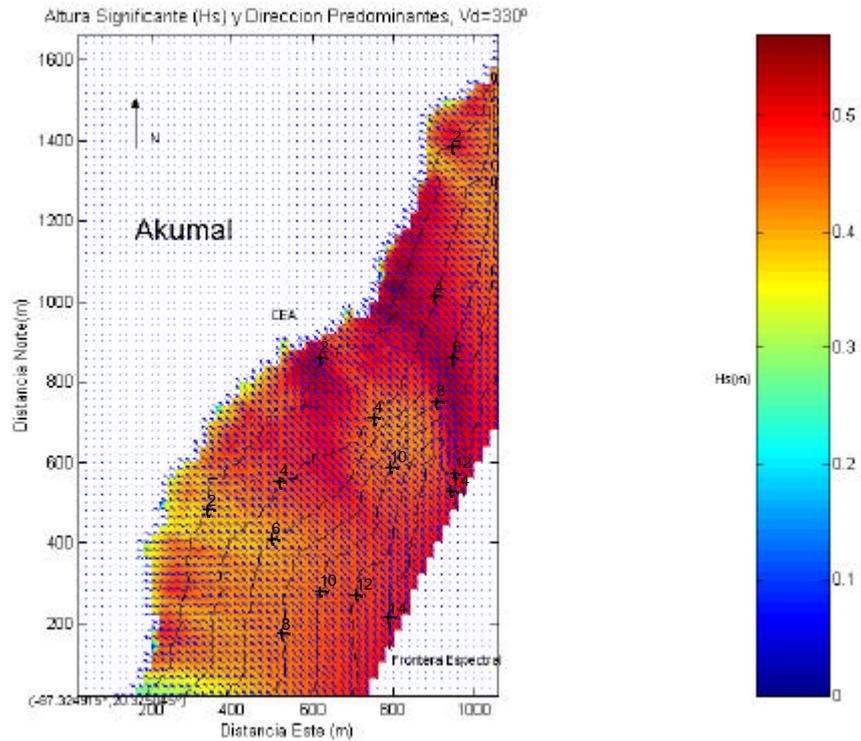


Fig. 14c.- Valores de altura significativa (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los de mayor porcentaje de ocurrencia con una dirección de aproximación promedio de 330°.

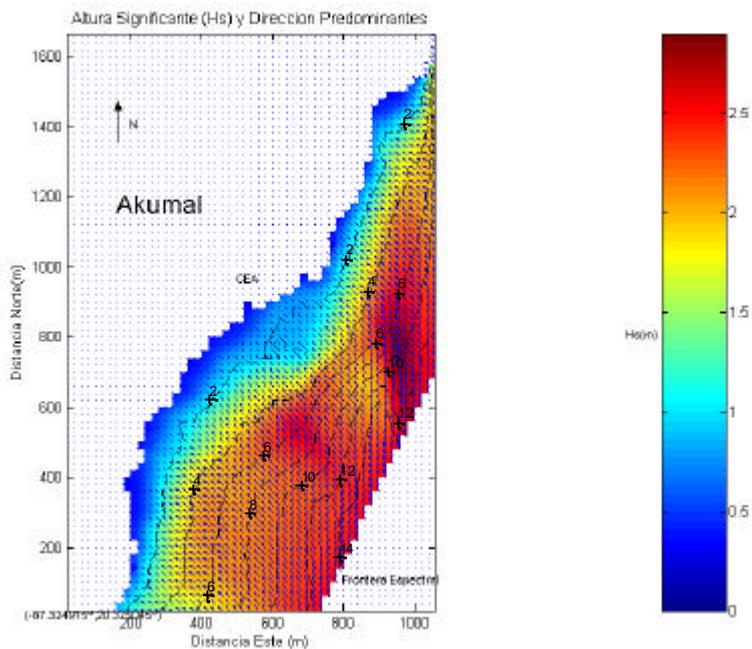


Fig. 14c.- Valores de altura significativa (Hs, en color) y dirección (flechas) para Akumal, los valores utilizados en la frontera espectral corresponden a los eventos extremos.

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).

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, en 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 cae (mayores proporciones) bajo el efecto de sombreado que produce la Isla de Cozumel. 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.

Sin embargo, 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, en donde esta última funciona como una playa expuesta más susceptible a la erosión.

Modelación

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 significativa 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 presentó la alternancia entre zonas de arenas finas y arenas gruesas, correspondiendo estas últimas a zonas de mayor altura.

En Akumal, las zonas de mayor dinámica de oleaje se presentaron en ambas puntas de la bahía principal, las cuales al estar compuestas de material rocoso no se consideran como zonas potenciales de erosión, pero sí 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) en 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.

GEOLOGIA

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).

En la zona costera, la zona litoral se reconoce como una de las áreas más dinámicas con una morfología que cambia en respuesta a la energía de las olas y corrientes marinas.

La exposición de los materiales no consolidados que forman las playas quedan sujetas a la fuerza de los procesos marinos causando cambios en la morfología de las playas y tamaños y composición de los sedimentos que las constituyen.

A lo largo de los litorales se puede apreciar acumulación de arenas formando playas extensas de pendientes suaves acompañadas de dunas, tómbolos, lengüetas, barreras, o bien, existen procesos de erosión o remoción de las arenas exponiendo sustratos rocosos, formando cavernas, farallones, puntas 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), requieren de comprender la dinámica que domina y controla la zona litoral y es necesario considerar todas las escalas y distinguir la combinación de procesos más relevantes que se presentan.

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, 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.

Actualmente, el papel de la actividad antropogénica también ha contribuido a modificar la zona costera, desde el momento que construye hoteles, casas, restaurantes, etc, que interrumpe y modifica las playas en su parte continental (supraplaya), hasta la construcción de muelles, espigones, escolleras, rompeolas en la parte marina (infraplaya) que modifican el transporte litoral y la morfología de la playa.

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 pérdida 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

Los estudios sobre la dinámica costera, aportarán información fundamental para el desarrollo de proyectos adecuados y funcionales para lograr la recuperación de playas en la zona (Sylvatica, 2003 a, b).

Aspectos generales de las playas.

Las playas y extensiones submarinas de esta no son superficies estables dado que están sujetas a los niveles de energía asociados con el oleaje principalmente (Gutiérrez-Estrada & Montaña-Ley, 1987). Las playas constituyen un límite natural entre el aire, la tierra y el agua. De acuerdo con King (1972), la playa es la acumulación de material suelto alrededor del límite de la acción del oleaje. Según Komar (1976), los geólogos emplean con frecuencia el término litoral para incluir la playa hacia la porción marina a una profundidad en la cual el sedimento es menos transportado por olas superficiales.

La dinámica de la playa está determinada por diversos factores físicos y biológicos, entre los primeros destacan, en orden de importancia, el oleaje, las corrientes marinas y costeras, mareas, batimetría, el clima, topografía submarina, las características geológicas de la costa, su tipo y origen; entre los factores biológicos destaca la influencia del ambiente terrestre adyacente, la presencia o ausencia de comunidades biológicas y la existencia o no existencia de una rompiente o laguna arrecifal. Todos estos factores inciden de manera diferencial para esculpir el perfil de la zona litoral y modificarlo continuamente (Sylvatica, 2003 a, b).

Las variaciones sedimentológicas que se presentan en las playas principalmente se da por cambios energéticos en las corrientes marinas, por oleaje, así como, por la variación propia de los aportes de sedimentos fluviales, que no es el caso para la zona de estudio, y por la productividad biogénica presente, sin embargo, todos estos factores son modificados a su vez por los cambios climáticos durante el transcurso del año.

Para el sureste del Golfo de México, los huracanes son responsables de los cambios geomorfológicos a lo largo de la línea de costa (Manzano 1989; Ortiz-Pérez, 1992), donde patrones de acumulación y erosión alteran a lo largo de cientos de kilómetros a las costas de Tabasco y Campeche formando transgresiones marinas que han sido localizados en las últimas décadas (Ortiz-Pérez, 1992).

Recientemente se ha observado que las modificaciones globales de las condiciones naturales pueden generar cambios severos en los diferentes tipos de ecosistemas (ITESM-Guaymas, 1993; PEMEX-UNAM, 2003).

Objetivos

Desde el punto de vista geológico se tienen los siguientes objetivos:

Determinar las variaciones morfológicas de la costa, a través del tiempo con apoyo de imágenes de satélite y fotografías aéreas que permitan ver la evolución y tendencias a futuro de las playas del Municipio Solidaridad.

Efectuar un levantamiento topográfico de las principales playas del municipio de acceso público, que proporcione información sobre su configuración.

Realizar un estudio sedimentológico de las playas, que permita definir la erosión y el transporte.

Metodología

Morfología de la línea de costa.

Mediante el uso de un Sistema Global de Posicionamiento Geodésico se utilizaron bancos de nivel (puntos físicos de playa). En estos puntos se construyeron mojeneras para ser utilizadas como bases topográficas en diferentes épocas de muestreo inclusive para monitoreos que se realicen después del proyecto y necesita georreferenciación.

Se adquirieron y analizaron imágenes de satélite y fotografías aéreas, digitalizadas mediante escáner de alta resolución y las imágenes de satélite georreferenciadas con el GPS Geodésico, así como su interpretación verificado en el campo.

Se trazó la línea de costa utilizando las fotografías aéreas, 1: 75 000 del año 1990; la cartografía INEGI 1985, 2000, escala 1:250 000 y una imagen Quickbird 2005. La digitalización de la línea de costa se hizo utilizando Arc Info y llevando a cabo su representación de acuerdo a las especificaciones CONABIO.

Levantamiento topográfico de playas

Los objetivos específicos 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. Estos perfiles sirvieron como base, para la determinar los cambios de las playas, debido a la erosión y acreción, durante el periodo de estudio.

Para el muestreo realizado en agosto de 2005, se utilizaron los 12 Bancos de Nivel (BN) establecidos en el muestreo de marzo de ese año, ubicados entre Punta Maroma y Tulum (Fig. 15, Tabla 1), de estos 12 bancos de nivel 10 correspondieron al levantamiento efectuado en noviembre de 2004. Los perfiles de playa se trazaron normales a la línea de costa, se ubicaron a partir de BN, los cuales estuvieron georeferenciados con coordenadas geográficas (Tabla 1), por medio del Sistema Global de Posicionamiento, (Global Position System; GPS, por su nombre y siglas en inglés). Para cuestiones prácticas de cálculo de desniveles se les determinó una altura a los BN de cero metros.

Por cada banco de nivel se trazaron 3 perfiles de playa, excepto en las playas de Tulum donde se tuvieron 4 perfiles, en Tres Ríos y Muelle fiscal se trazaron 2 perfiles por BN, teniendo un total de 35 perfiles de playa.

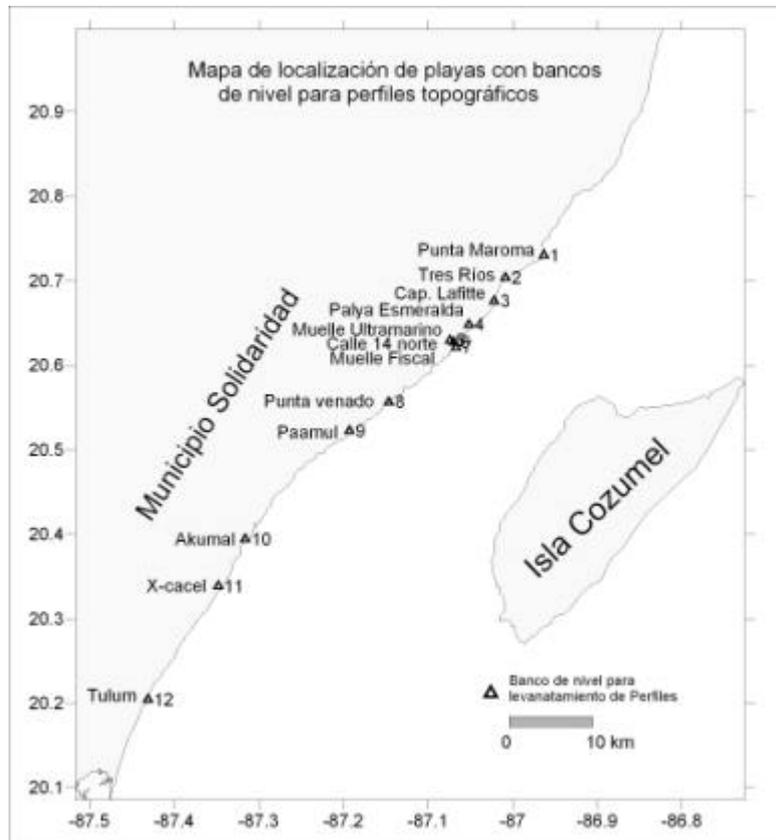


Fig. 15. Mapa de localización de las playas estudiadas en el Municipio Solidaridad.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los Bancos de Nivel y nombre de las playas donde se localizan.

Playa	Banco Nivel	Longitud W	Latitud N
Punta Maroma	1	86° 57' 47.3"	20° 43' 47.7"
Tres Ríos	2	87° 00' 31.0"	20° 42' 12.4"
Cap. Lafitte	3	87° 01' 18.1"	20° 40' 33.1"
Playa Esmeralda	4	87° 03' 06.2"	20° 38' 52.8"
Muelle ultramarino	5	87° 04' 26.9"	20° 37' 18.9"
Calle 14 norte (Inter.)	6	87° 04' 9.84"	20° 37' 38.6"
Muelle Fiscal	7	87° 04' 00.4"	20° 37' 40.3"
Punta Venado	8	87° 08' 46.9"	20° 33' 22.5"
Paamul	9	87° 11' 33.9"	20° 31' 19.7"
Akumal	10	87° 18' 57.0"	20° 23' 38.5"
X-cacel	11	87° 20' 53.0"	20° 20' 18.3"
Tulum	12	87° 25' 52.0"	20° 12' 14.9"

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 obtuvieron las alturas de los puntos intermedios y se calcularon los desniveles con respecto al BN, la ubicación de estos puntos intermedios se realizó aplicando el método topográfico de radiaciones, que consiste en medir distancias y ángulos a partir de una línea base; uno de los extremos de esta línea base está determinado por el propio BN; este trabajo se realizó utilizando una estación total topográfica Nikon.

En el primer muestreo (noviembre del 2004) se realizaron los perfiles en 11 playas: Punta Maroma -Faro y el muelle de su marina, Tres Ríos, Capitán Lafitte, Playa Esmeralda, en el muelle fiscal y ultramarino de Playa del Carmen, Punta Venado, Akumal, X-cacel y Tulum. Realizándose un total de 31 perfiles. Para el segundo muestreo (marzo del 2005) para tener un mayor conocimiento del área de estudio se omitió la playa del muelle de Punta Maroma, y se anexaron las playas de Paamul y una más en Playa del Carmen en calle 14 norte ubicada entre los dos muelles de Playa del Carmen, así mismo, se omitió un perfil al sur de Punta Venado y se anexo uno al norte, por lo que a partir de la segunda salida y tercera (agosto del 2005) se realizaron un total de 35 perfiles en 12 playas.

Monitoreo de sedimentos

Se efectuaron en la última salida, tres muestreos para sedimentos tanto en la zona de playa como en la zona lagunar (área comprendida entre la playa y arrecife), así como, un muestreo en los arrecifes.

Se hicieron colectas en nortes, secas y huracanes (noviembre del 2004, marzo del 2005 y agosto del 2005 respectivamente), colectando cerca de 100 muestras por época en aproximadamente 12 playas del Municipio de Solidaridad.

Sedimentos en playa

En el muestreo de agosto de 2005 al igual que los anteriores se colectó sedimentos a lo largo de los perfiles topográficos de playa en las zonas de: 1) infralitoral o infraplaya localizada por debajo de la zona de baja marea. 2) Mesolitoral o meso playa localizada en la zona intramareal, 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. 3) Supralitoral o supraplay se encuentra en la parte alta por arriba del nivel de marea alta, en condiciones normales se encuentra seca con predominio de agentes eólicos sobre los hídricos, ya que el agua sólo invade ocasionalmente esta zona durante eventos de tormenta combinados con mareas altas o tsunamis. En ella generalmente se encuentran bermas de tormentas.

Sedimentos en la zona lagunar

En esta zona se colectaron muestras a una distancia de 5 m, 50 m y 100 m de la línea de costa, por medio de una draga tipo Van Veen de 3 litros de capacidad. Para noviembre del 2004 se llevaron a cabo 8 transectos con 14 estaciones de monitoreo de profundidad, mientras que en marzo y agosto del 2005 se hicieron 11 transectos con 31

puntos (Tabla 2). También se tomaron datos de profundidad con una ecosonda y GPS integrado marca Garmin GPS-MAP- 188Csounder.

Tabla 2. Sitio de colecta y número de muestreo de sedimentos en la zona lagunar para marzo y agosto del 2005.

Transecto	Muestra	Latitud N	Longitud W	Prof. M
1 Pta. Maroma	1	2043717	8657779	3
	2	2043819	8657719	1,2
2 Tres Ríos	1	2042224	8700284	2,4
	2	2042248	8700341	2
	3	2042266	8700405	0,9
3 Lafitte	1	2039714	87011736	7,5
	2	2039809	87011798	1,5
	3	2039831	87011826	1
4 Esmeralda	1	2038548	8702846	7,5
	2	2038757	8703030	2,1
	3	2038858	8703097	0,5
5 Ultramar	1	2037534	8703935	4,5
	2	2037588	8704012	1,8
	3	2037635	8704144	0,5
6 (Xcacel)	1	2020315	8720819	1,4
	2	2020272	8720703	3,4
	3	2020230	8720709	4
7 (Akumal)	1	2023647	8718704	3,7
	2	2023700	8718826	2,4
	3	2023715	8718836	0,9
8 (Aventuras)	1	2029834	8713589	1,3
	2	2029869	8713636	1,3
	3	2029924	8713660	0,9
9 Venado	1	2033727	8708202	3,5
	2	2033821	8708283	2,3
	3	2033887	8708303	1
10 Xcaret	1	2034616	8707012	11,9
	2	2034689	8707027	3,4
	3	2034710	8707067	5,3
11 Fiscal	1	2037226	8704317	2,4
	2	2037268	8704406	2
	3	2037296	8704496	1,5

Análisis granulométrico.

Sedimentos arenosos

El análisis granulométrico se realizó por el método de tamizado a cada $\frac{1}{4}$ de phi y se calcularon los parámetros granulométricos (Tabla 3): tamaño gráfico promedio, desviación estándar gráfica inclusiva, grado de asimetría gráfica inclusiva y Curtosis. Se graficaron e interpretaron los resultados, utilizando los límites de los parámetros estadísticos y se determinó la nomenclatura de los sedimentos de acuerdo a Folk (1974).

El análisis de composición se hizo mediante microscopio estereoscópico, clasificando a las muestras principalmente como biocalcarenitas debido a que está compuesto en su totalidad y en las tres épocas de muestreo, por restos orgánicos de composición calcárea como son fragmentos de concha, espículas, algas calcáreas, restos de coral y foraminíferos.

Tabla 3. 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 0.0625 mm)
Limo muy grueso	4 phi a 5 phi
Limo grueso	5 phi a 6 phi
Limo medio	6 phi a 7 phi
Limo fino	7 phi a 8 phi
Arcilla	>8 phi

Desviación estándar gráfica inclusiva	
Clasificación	Límites
Muy bien clasificado	Menor de 0.35 phi
Bien clasificado	0.35 a 0.50 phi
Moderadamente bien clasificado	0.50 phi a 0.71 phi
Moderadamente clasificado	0.71 phi a 1.00 phi
Mal clasificado	1.00 phi a 2.00 phi
Muy mal clasificado	2.00 phi a 4.00 phi
Extremadamente mal clasificado	Mayor de 4.00 phi

Grado de asimetría gráfica inclusiva	
Clasificación	Límites
Muy asimétrico hacia finos	+1.00 a +0.30
Asimétrico hacia finos	+0.30 a +0.10
Simétrico	+0.10 a -0.10
Asimétrico hacia gruesos	-0.10 a -0.30
Muy asimétrico hacia gruesos	-0.30 a -1.00

Curtosis	
Clasificación	Límites
Muy platicúrtico	Menor de 0.67
Platicúrtico	0.67 a 0.90
Mesocúrtico	0.90 a 1.11
Leptocúrtico	1.11 a 1.50
Muy leptocúrtico	1.50 a 3.00
Extremadamente leptocúrtico	Mayor de 3.00

Cartografía digital

Asimismo, se realizó una cartografía temática, que consistió en la realización de los *planos base* para el trabajo de campo y la elaboración de los planos de muestreo; además se realizaron cartas batimétricas, topográficas, de textura de sedimentos, composición de sedimentos y la cartografía necesaria para el proyecto. Se utilizó el programa Arc View. Esta cartografía tiene los lineamientos y requerimientos por

CONABIO (www.conabio.gob.mx), así como en los atributos y características cartográficas.

Resultados

Perfiles de playa

Punta Maroma

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 el que se localiza del 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 durante el periodo de huracanes. En esta playa se puede ver que del lado norte tienen longitudes de más de 35 m 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. 16).

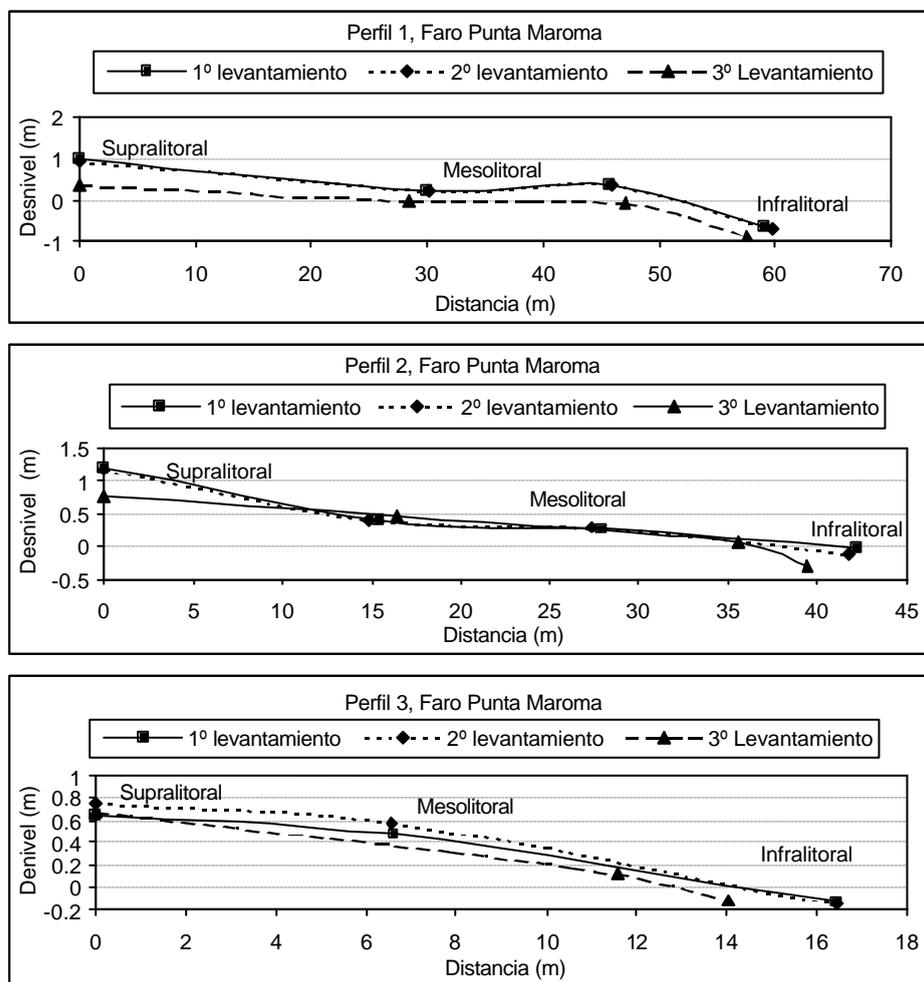


Fig. 16. Los perfiles 1 al 3, correspondientes a la playa Punta Maroma-Faro.

Tres Ríos

En los perfiles 4 y 5 correspondientes a la playa 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 o acumulación de material (Fig. 17).

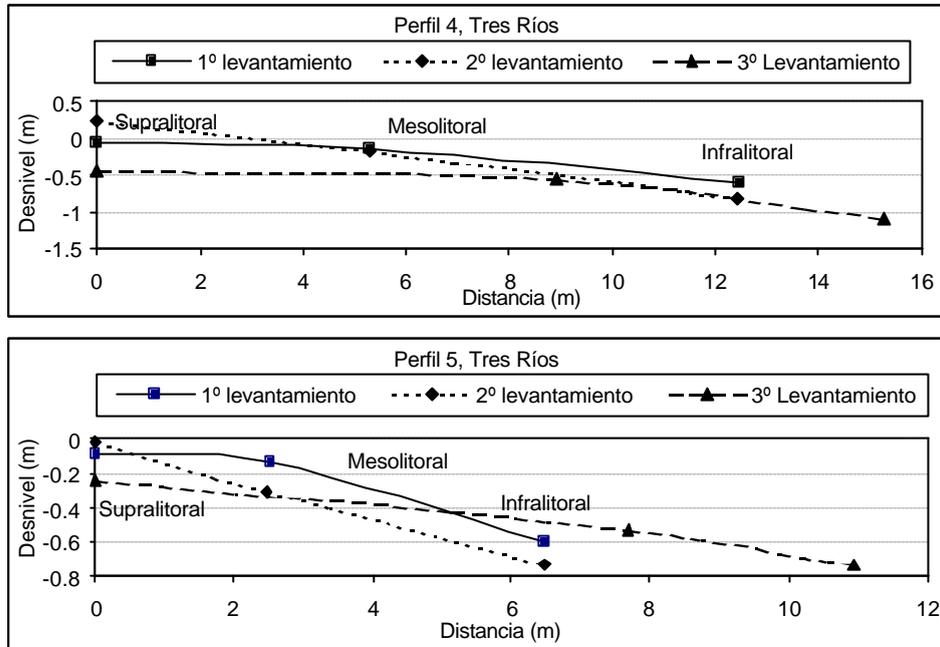


Fig. 17. Perfiles 4 y 5 correspondientes a la playa del complejo turístico Tres Ríos.

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 el perfil 7 tenía una longitud de 30.35 m y en el tercer muestreo 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. 18).

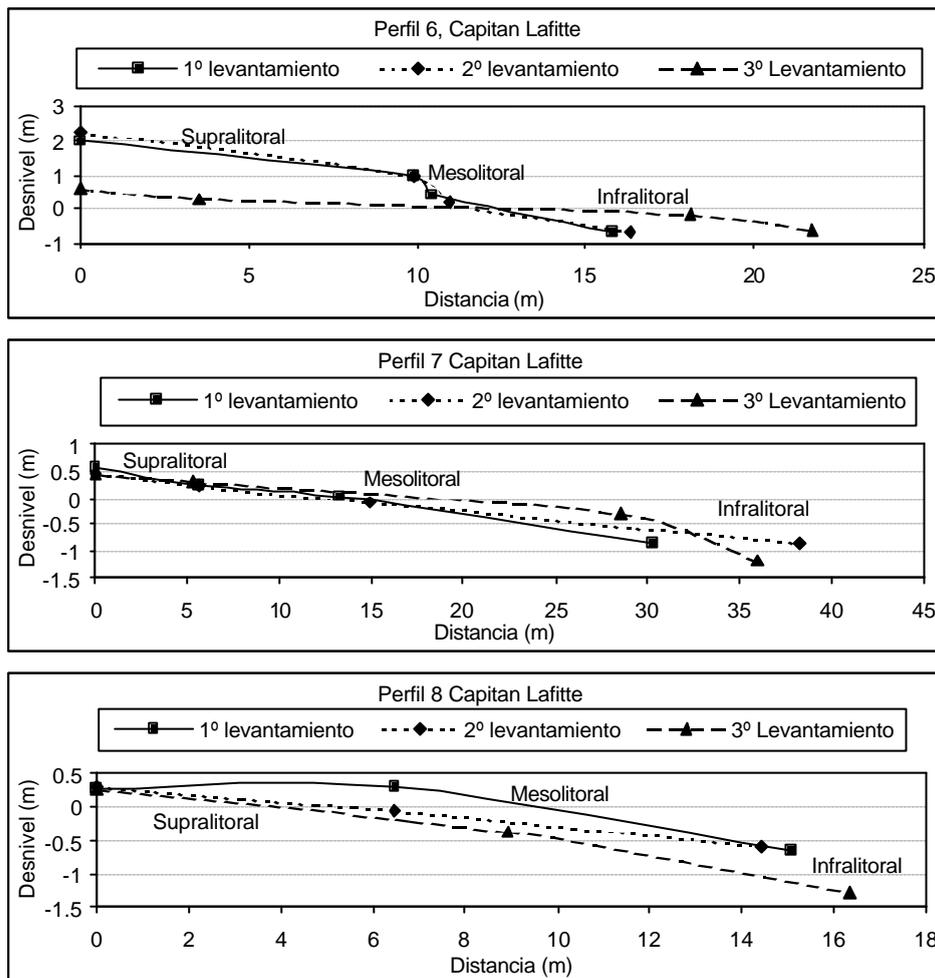


Fig. 18. Perfiles 6 a 8 correspondientes a Capitán Lafitte.

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. En el perfil 10 se observó un incremento de material en la playa en su parte infralitoral de 0.5 m. El grafico 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. 19).

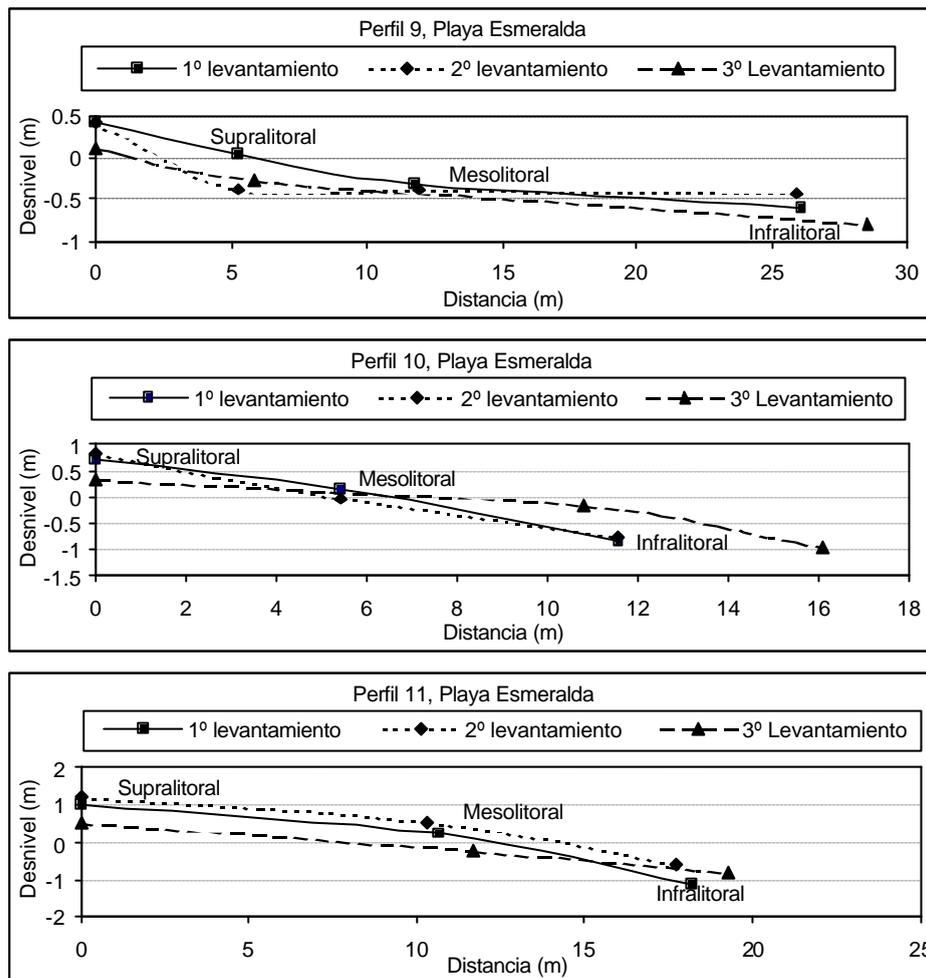


Fig. 19. Perfiles 9 al 11 correspondientes a Playa Esmeralda.

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 se observó para el perfil 12 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 3 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 pérdida de material de 0.5 m en la zona comprendida entre SL y ML (Fig. 20).

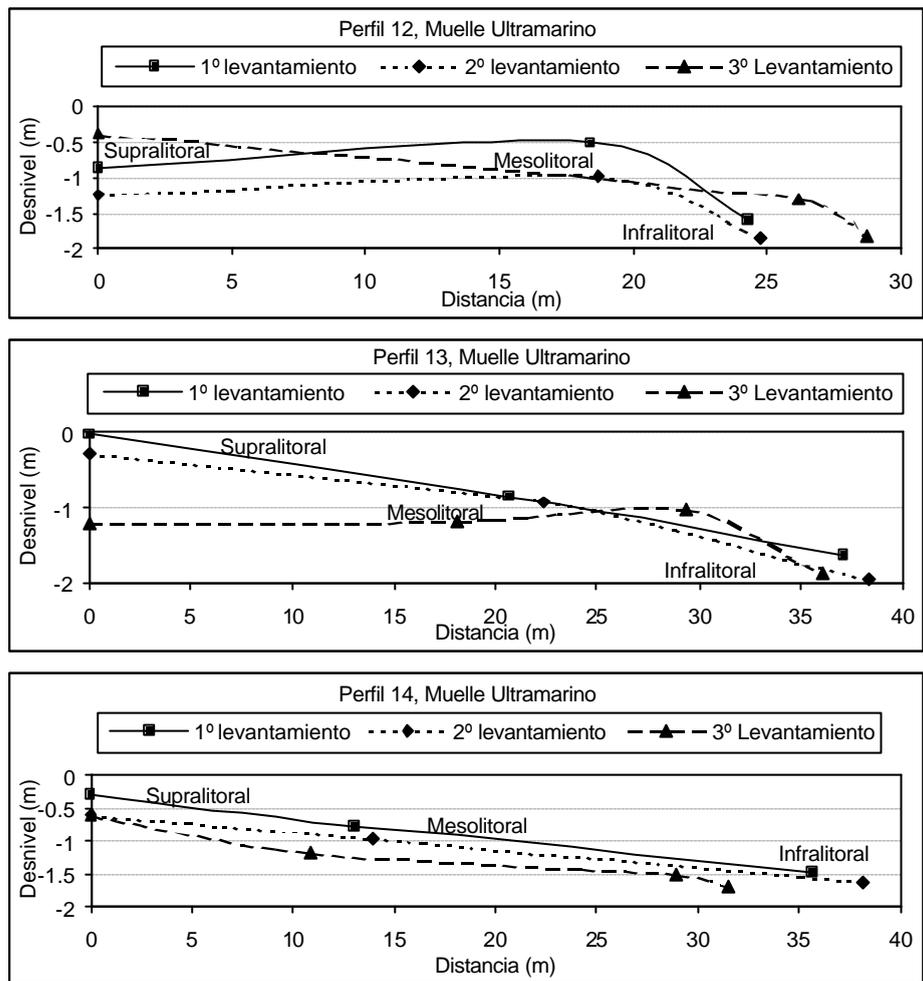


Fig. 20. Perfiles 12 a 14 correspondientes al Muelle Ultramarino.

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 el perfil 15 y 16 se observó una disminución en su longitud de 3 m, 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. 21).

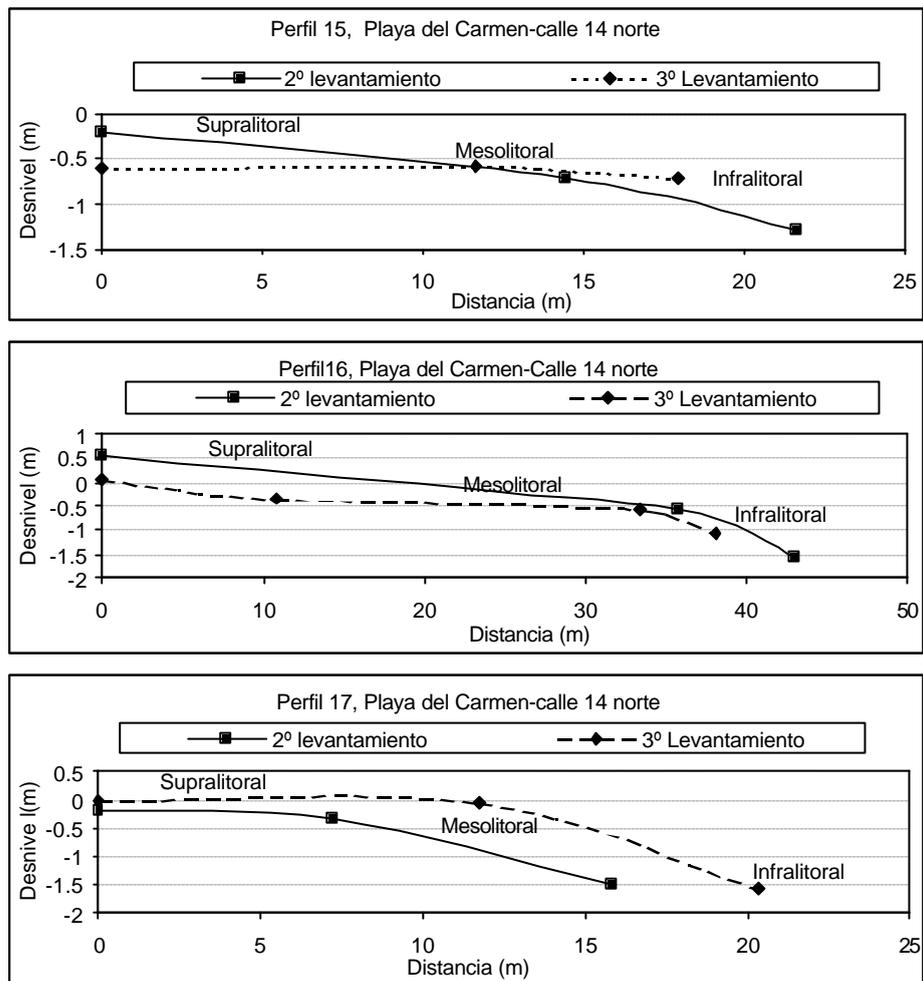


Fig. 21. Perfiles 15 al 17 correspondientes a Playa del Carmen-Calle 14 norte.

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. 22).

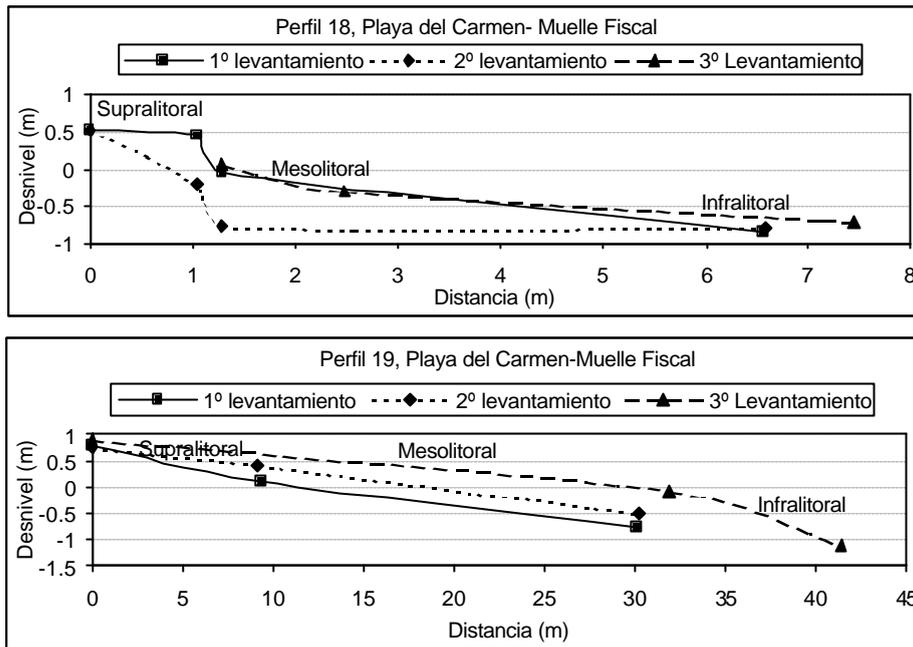


Fig. 22. Perfiles 18 y 19 correspondientes a Playa del Carmen-Muelle Fiscal.

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 pérdida de material en 50 m de longitud en la zona de infraplaya (Fig. 23).

El perfil 22, también presenta 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 6 m su longitud de playa, teniendo una pérdida de 4 m (Fig. 23).

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. 23).

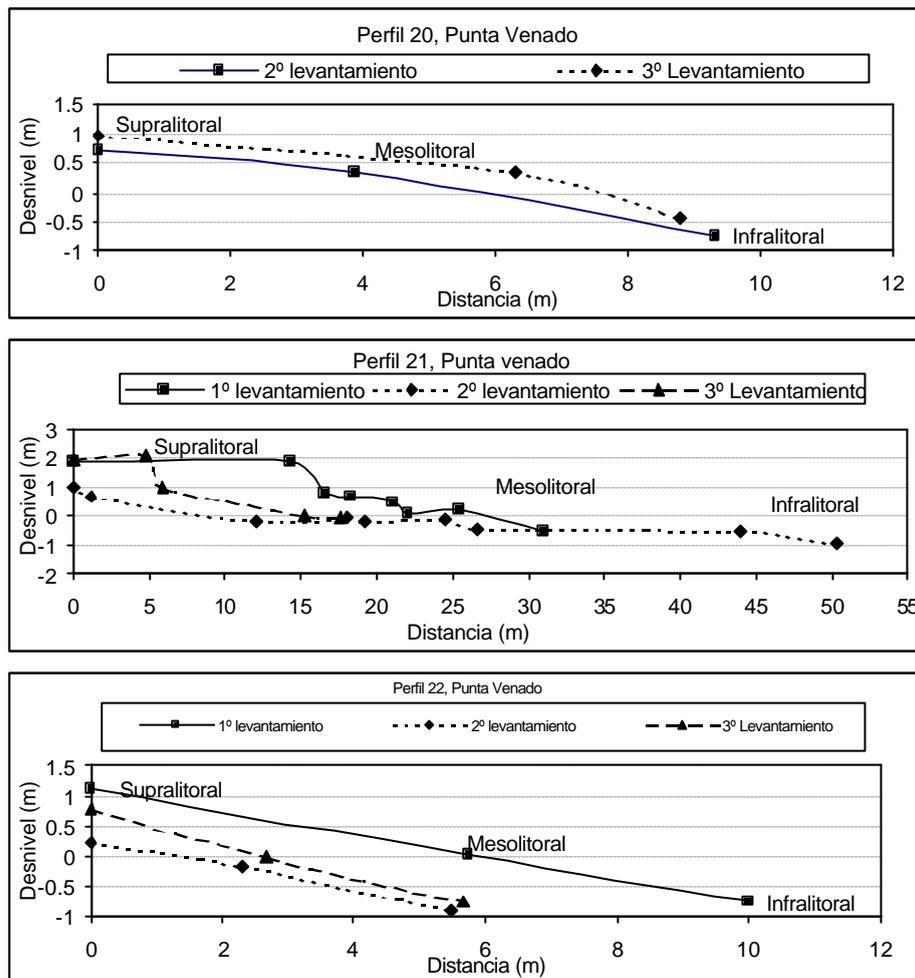


Fig. 23. Perfiles de playa del 20 al 22 correspondientes a Punta Venado.

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 presenta una acumulación de sedimentos en el tercer muestreo. El perfil 24 en el segundo muestreo su longitud es de 40 m aproximadamente con escalon en la zona SL de 1.5 m, en el tercer muestreo se observó una acumulación de material, manteniendo su longitud de playa (Fig. 24).

El perfil 25, con una longitud de 15 m aproximadamente, no cambia significativamente tanto en el segundo muestreo como en el tercero muestreo, manteniendo su desnivel de 2 m y longitud de 15 m (Fig. 24).

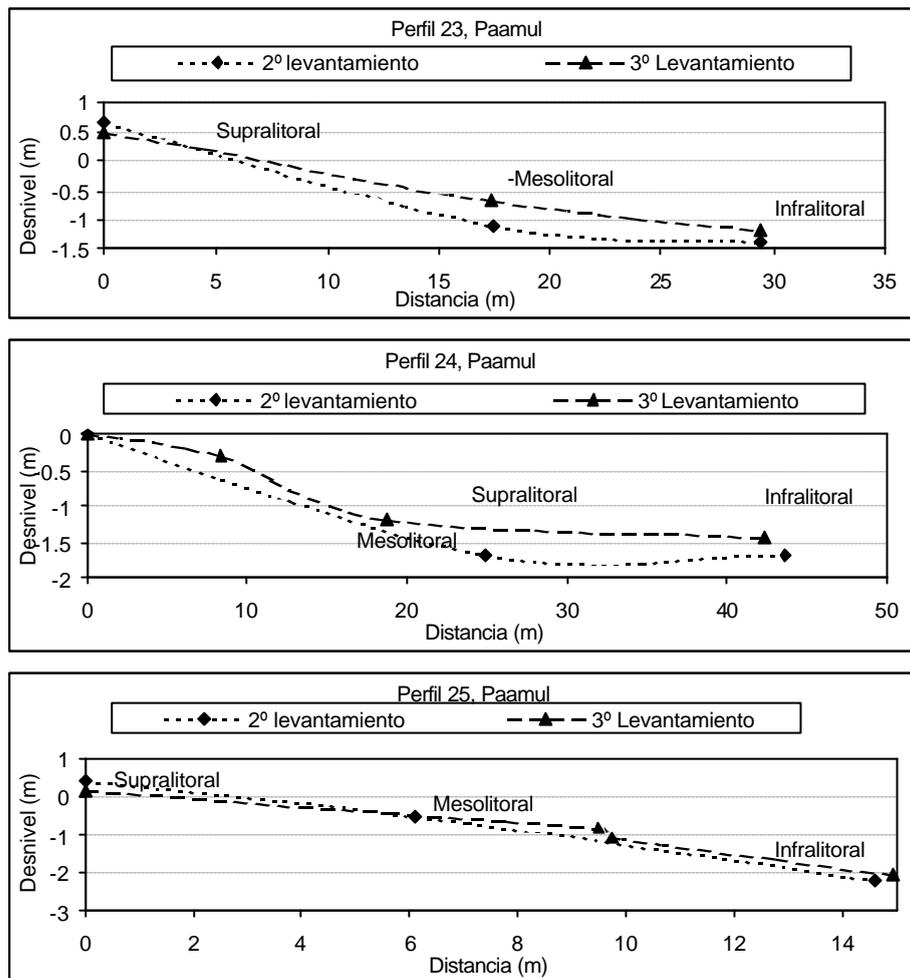


Fig. 24. Perfiles de playa del 23 al 25 correspondiente a Paamul.

Akumal

Constituida por los perfiles 26 a 28, que tuvieron la misma morfoestructura en los tres levantamientos. Se observó un aumento en la longitud perpendicular a la línea de costa en el tercer levantamiento de 6 m en promedio para todos los perfiles, con una pendiente suave y homogénea lo que indicó una zona de acreción (Fig. 25).

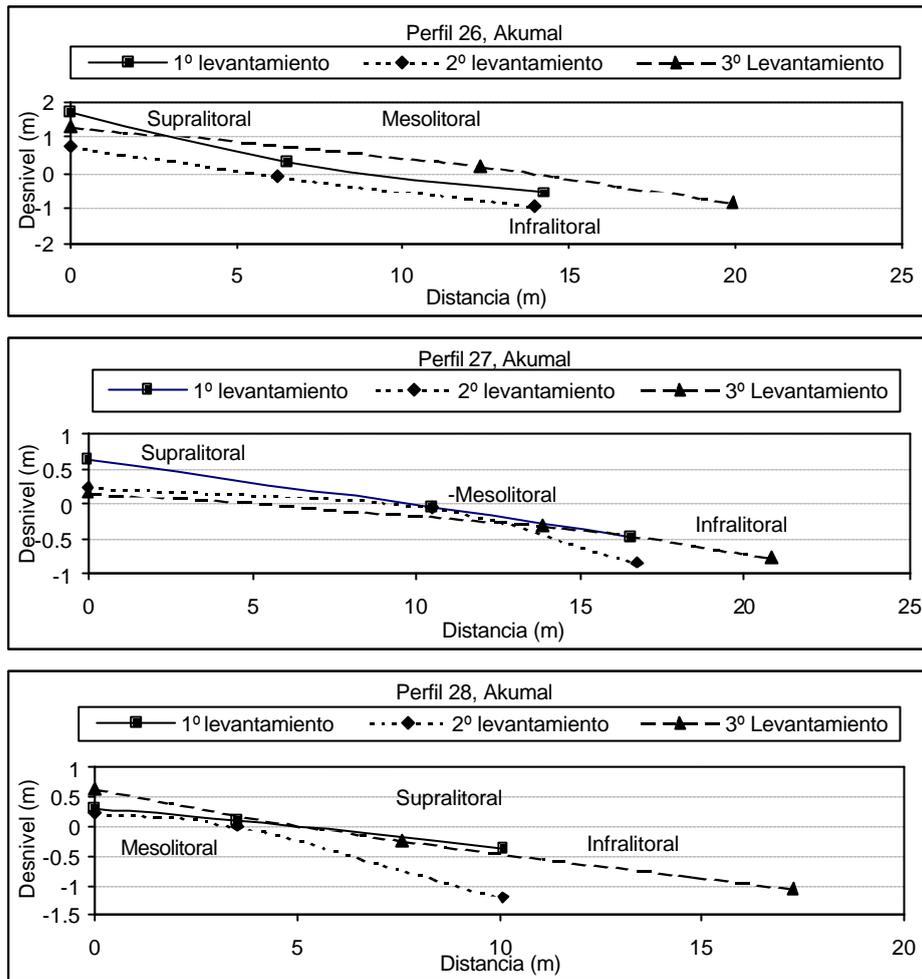


Fig. 25. Perfiles de playa del 26 al 28 correspondientes a Akumal.

X-Cacel

Constituida por los perfiles 29 a 31, distribuidos en la bahía, en los extremos (perfiles 29 y 31) y en el centro (perfil 30). Los tres perfiles en el primer y segundo levantamiento no cambio su morfología, pero en el tercer levantamiento existen cambios considerables: el perfil 29 aumentó su longitud de 14 m a 22 m aproximadamente, el perfil 30 cambió de 25 m a 40 m y el perfil 31 perdió material disminuyendo su longitud de 10 m a 8 m (Fig. 26).

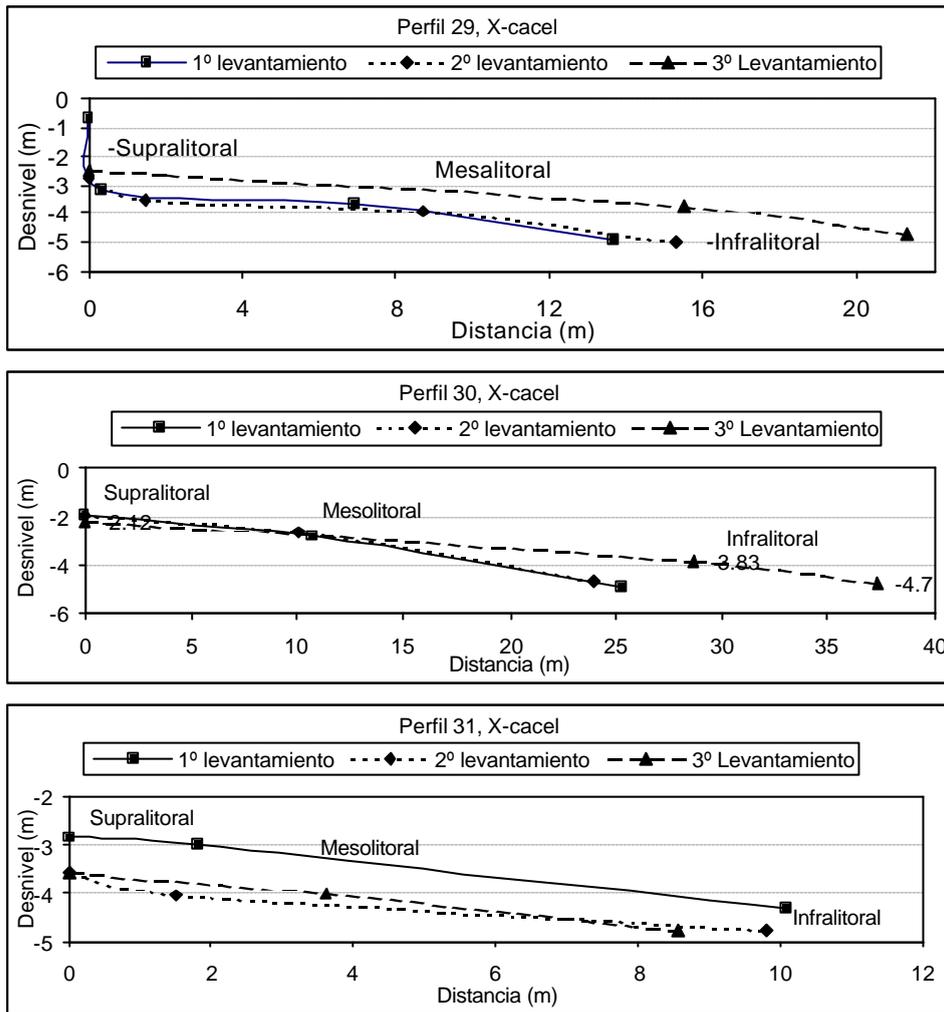


Fig. 26. Perfiles de playa del 29 al 31 correspondientes a X-cacel.

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 en la zona de infraplaya aumentando la longitud de la playa en 16 m. En el perfil 33 el material se acumuló en la zona mesolitoral, con un aumento de metro y medio en su vertical y su longitud solo incrementó 3 metros. Los perfiles 34 y 35 conservaron su misma morfoestructura en todos los levantamientos (Fig. 27).

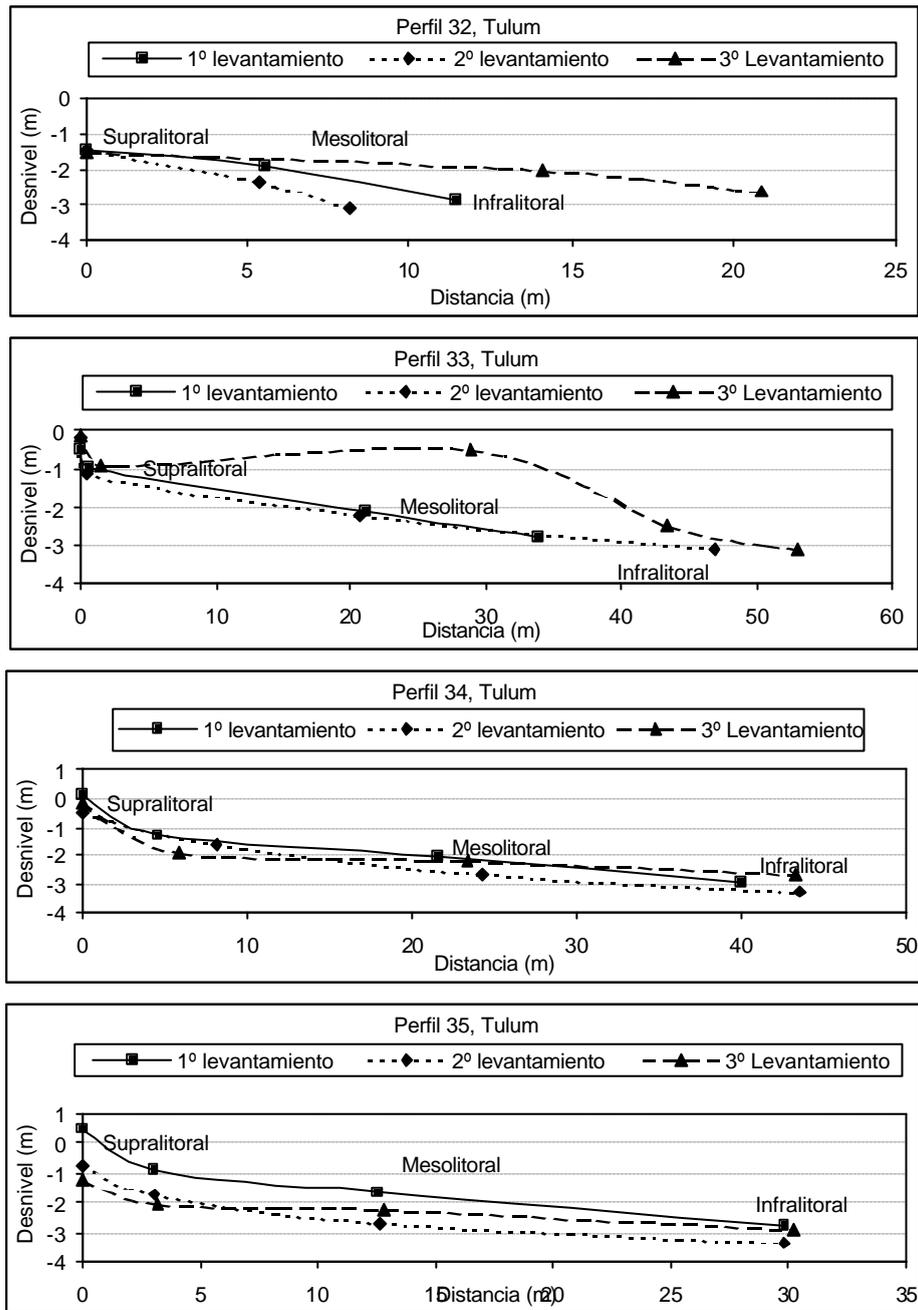


Fig. 27. Perfiles de playa del 32 al 35 correspondientes a Tulum.

La mayoría de las playas presentó pocos cambios morfológicos durante el primer y segundo levantamiento, sin embargo, en el tercer levantamiento la mayoría sufrieron incremento de su longitud de playa y disminución de su des nivel entre la zona supralitoral con la zona infralitoral, resultado de acumulación de sedimentos durante el Huracán Emily.

Textura de Sedimentos

Playa Punta Maroma.

Tamaño gráfico promedio

Las condiciones texturales señalaron un predominio de arenas medias, aunque en época de huracanes fueron arenas gruesas en la zona infralitoral de sus perfiles 1 y 2, aunque en general sus variaciones fueron homogéneas. (Tabla 4 y Fig. 28).

Tabla 4. Punta Maroma. Tamaño gráfico promedio (phi).

Perfil	Muestra	Zona litoral	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	1	Infra	0.99	1.54	1.37
	2	Meso	0.8	1.13	1.56
	3	Supra	0.8	0.87	1.01
2	4	Infra	1.1	0.91	0.52
	5	Meso	0.91	0.97	0.91
	6	Supra	1.08	0.82	1.07
3	7	Infra	1.17	1.02	1.28
	8	Meso	1.4	0.98	1.08
	9	Supra	2.28	1.02	1.08

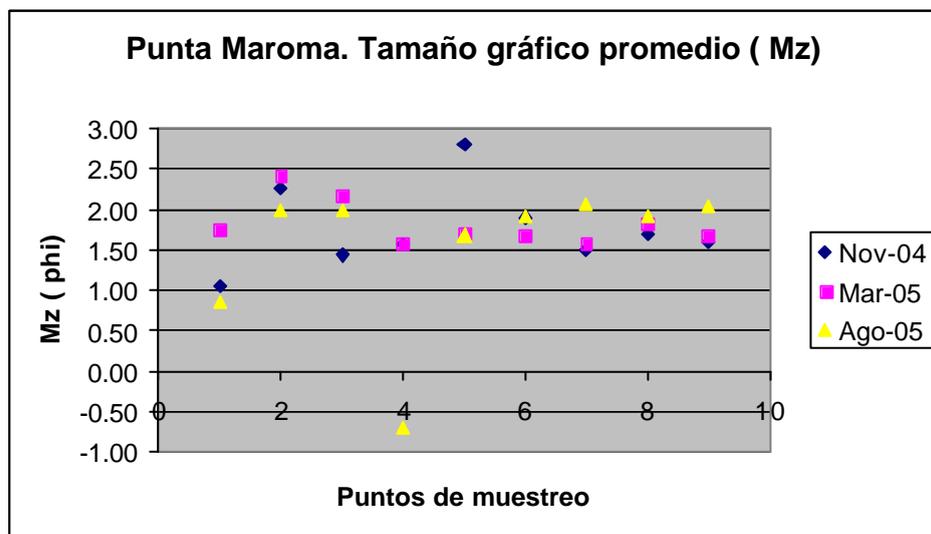


Fig. 28. Tamaño gráfico promedio, Punta Maroma.

Desviación estándar gráfica inclusiva.

El grado de clasificación varió de moderadamente clasificado a muy bien clasificado (menores de 1 phi), siendo muy similar sus variaciones para las diferentes épocas. (Tabla 5 y Fig. 29).

Tabla 5. Punta Maroma. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Perfil	Muestra	Zona litoral	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	1	Infra	1.12	0.72	0.53
	2	Meso	0.62	0.5	0.49
	3	Supra	0.76	0.56	0.69
2	4	Infra	0.91	0.91	0.92
	5	Meso	0.30	0.59	0.48
	6	Supra	0.72	0.75	0.74
3	7	Infra	0.92	0.9	0.76
	8	Meso	0.84	0.57	0.63
	9	Supra	0.40	0.87	0.65

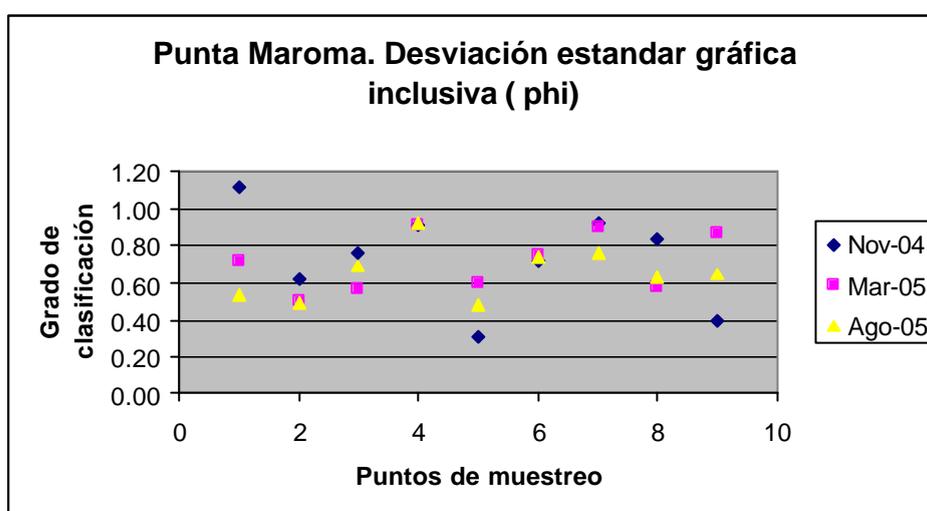


Fig. 29. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Asimetría gráfica inclusiva

Aunque gran parte de los sedimentos fueron asimétricos hacia gruesos (valores negativos), éstos fueron más comunes hacia el centro de la playa propiamente en la punta. Sin embargo no se observaron cambios en forma estacional (Tabla 6, Fig. 30).

Tabla 6. Punta Maroma. Asimetría gráfica inclusiva.

Perfil	Muestra	Zona litoral	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	1	Infra	0.17	-0.06	0.42
	2	Meso	-0.28	-0.2	0.17
	3	Supra	-0.10	-0.07	-0.33
2	4	Infra	-0.35	-0.11	-0.05
	5	Meso	1.00	-0.03	0.42
	6	Supra	0.06	0.03	-0.11
3	7	Infra	-0.13	-0.01	-0.33
	8	Meso	0.04	0.14	-0.20
	9	Supra	-0.13	-0.101	0.23

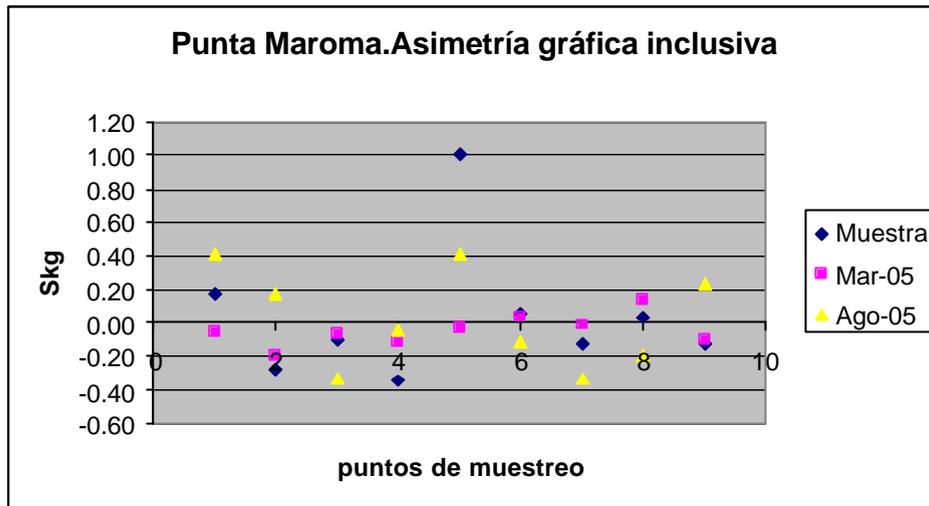


Fig. 30. Asimetría gráfica inclusiva.

Curtosis

El reflejo de los otros parámetros granulométricos se registró también en la curtosis (forma de la campana estadística de Gauss por la presencia de una o varias clases de tamaño de sedimento) donde predominaron los sedimentos mesocúrticos (sedimentos con presencia de algunas clases de tamaño dominantes) hacia leptocúrticos (sedimentos donde predomina una o dos clases de tamaño, mayores de 0.7), siendo en el perfil 3, estaciones 8 y 9 donde en noviembre del 2004 se tuvieron las mayores variaciones de curtosis (Tabla 7 y Fig. 31).

Tabla. 7. Punta Maroma. Distribución de la curtosis.

Perfil	Muestra	Zona litoral	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	1	Infra	0.99	1.54	1.37
	2	Meso	0.80	1.13	1.56
	3	Supra	0.80	0.87	1.01
2	4	Infra	1.10	0.91	0.52
	5	Meso	0.91	0.97	0.91
	6	Supra	1.08	0.82	1.07
3	7	Infra	1.17	1.02	1.28
	8	Meso	1.40	0.98	1.08
	9	Supra	2.28	1.02	1.08

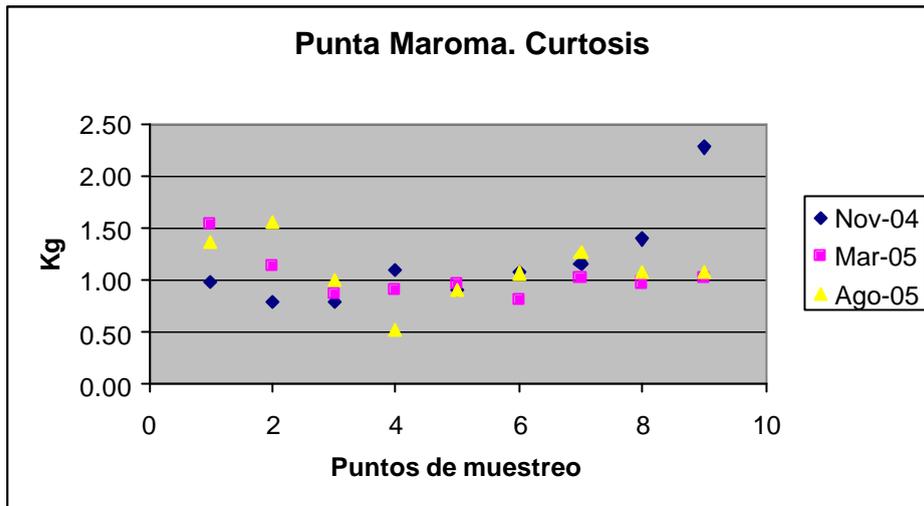


Fig. 31. Curtosis de Punta Maroma.

Playa Tres Ríos.

Tamaño gráfico promedio

Las arenas finas (2 a 3 phi) fueron las predominantes en esta playa y no se observó un cambio por muestreo (Tabla 8 y Fig. 32).

Tabla. 8. Tres Ríos. Tamaño gráfico promedio (phi)

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	2.16	2.15	2.35
	M	2	1.90	2.13	2.92
	S	3	2.26	2.4	2.35
2	I	4	2.60	2.16	2.10
	M	5	2.13	1.58	2.53
	S	6	1.80	1.68	1.83

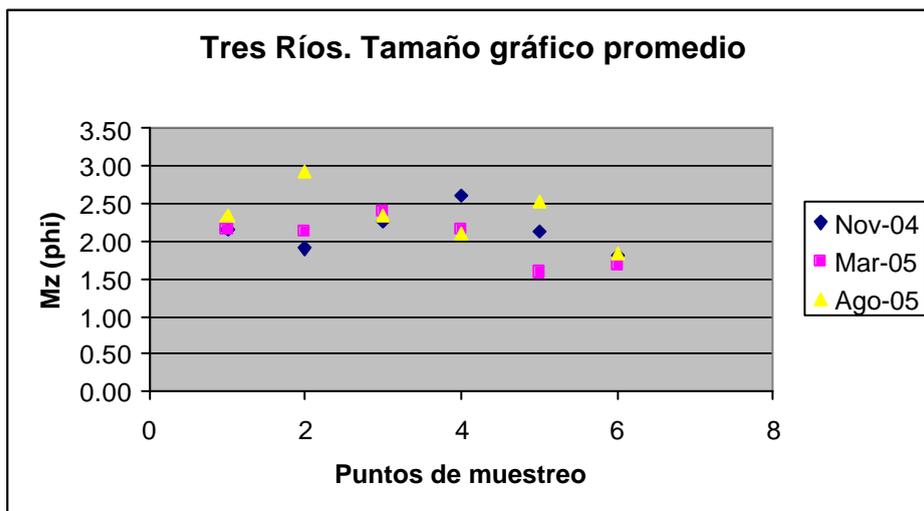


Fig. 32. Tamaño gráfico promedio.

Desviación estándar gráfica inclusiva

De acuerdo a la desviación estándar gráfica inclusiva, los sedimentos para Tres Ríos varían de moderadamente a moderadamente bien clasificados (Tabla 9 y Fig. 33).

Tabla 9. Tres Ríos. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.57	0.55	0.83
	M	2	0.74	0.57	0.59
	S	3	0.55	0.57	0.62
2	I	4	0.57	0.46	0.82
	M	5	0.57	0.9	0.55
	S	6	0.63	0.31	0.56

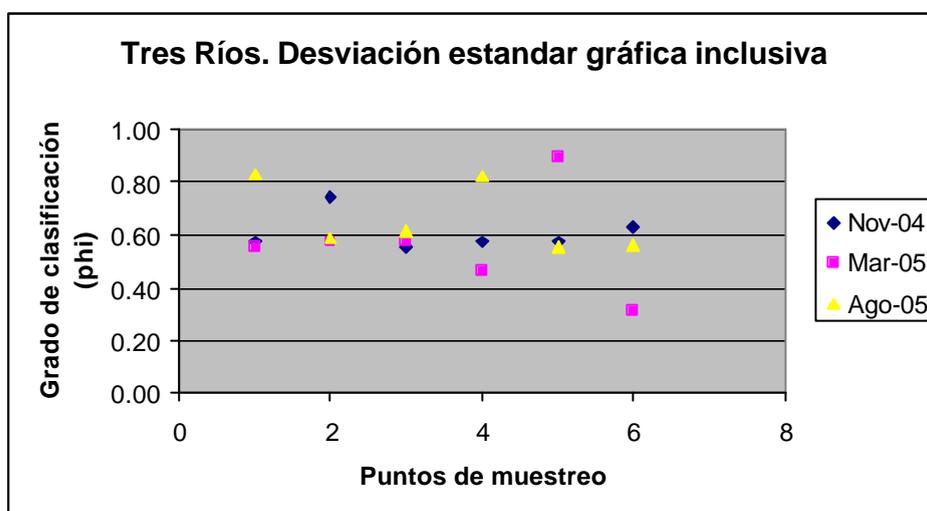


Fig. 33. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Asimetría gráfica inclusiva

Si se considera la simetría, tanto para el mes de noviembre del 2004 como para agosto del 2005 los sedimentos fueron muy similares en cuanto a su comportamiento hacia los tamaños gruesos. Para marzo los sedimentos fueron más finos, típicos de época de secas (Tabla 10 y Fig. 34).

Tabla 10. Tres Ríos. Asimetría gráfica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	-0.21	0	-0.23
	M	2	-0.27	-0.25	-0.24
	S	3	-0.35	-0.2	-0.28
2	I	4	-0.24	-0.16	-0.26
	M	5	-0.13	0.36	-0.10
	S	6	-0.08	0.28	0.15

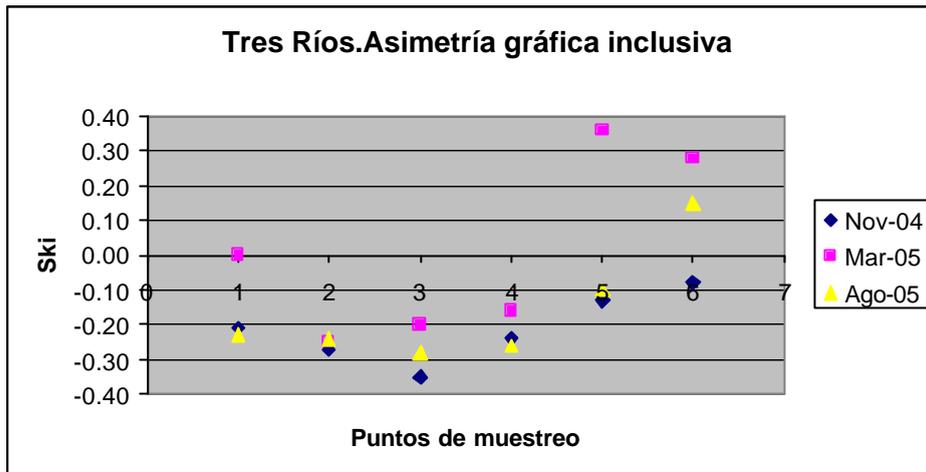


Fig. 34. Asimetría gráfica inclusiva.

Curtosis

La curtosis fue más leptocúrtico para el mes de marzo (muestra 5), mientras que en el perfil uno fueron más mesocúrticos (valores cercanos a 1) (Tabla 11 y Fig. 35).

Tabla 11. Tres Ríos. Distribución de la curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.82	1.09	1.30
	M	2	0.78	1.01	1.23
	S	3	1.17	0.9	1.42
2	I	4	1.60	0.97	0.80
	M	5	0.80	2.3	2.94
	S	6	0.70	1.71	0.85

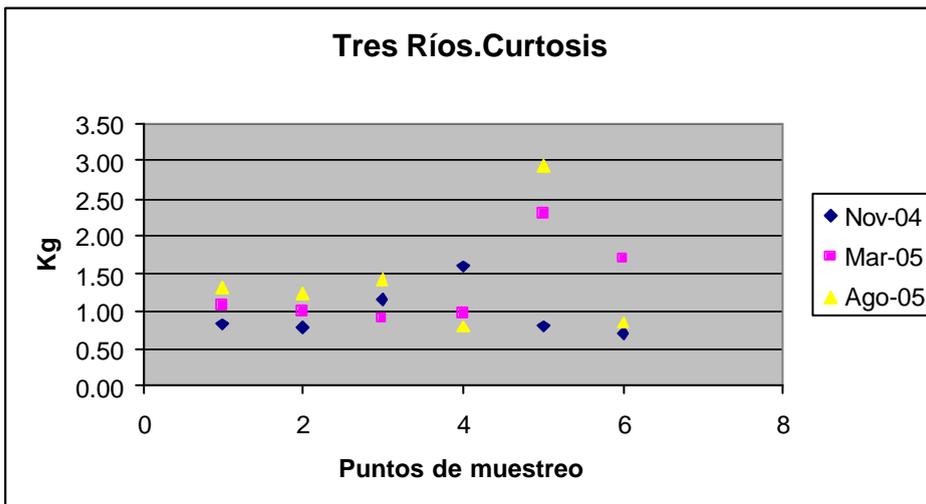


Fig. 35. Curtosis.

Playa Capitán Lafitte

En esta playa en noviembre del 2004 predominaron las arenas medias (1 a 2 phi). En marzo del 2005 fueron arenas finas (2 a 3 phi) típicas de épocas de secas, para huracanes (agosto del 2005) predominaron las arenas finas, aunque en el perfil 3 localizado al sur de la playa las arenas fueron medias (Estaciones 7, 8 y 9) (Tabla 12 y Fig. 36).

Tabla 12. Capitán Lafitte. Tamaño gráfico promedio.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.70	1.8	2.15
	M	2	1.80	2.23	2.35
	S	3	1.91	1.98	1.83
2	I	4	1.37	2.63	2.05
	M	5	1.81	2.08	2.53
	S	6	2.38	1.62	2.08
3	I	7	0.73	2.18	1.82
	M	8	1.38	2.05	1.83
	S	9	1.89	2.18	2.03

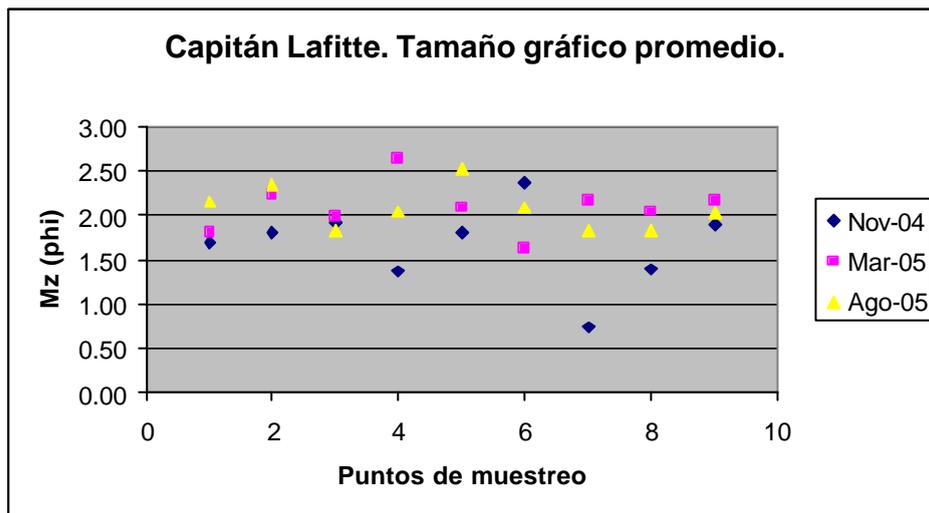


Fig. 36. Tamaño gráfico promedio.

Desviación estándar gráfica inclusiva

Los sedimentos en esta playa mostraron en el mes de noviembre del 2004 una tendencia hacia los sedimentos mal clasificados, en marzo de 2005 los sedimentos los valores de clasificación aumentaron, pero en la época de huracanes (agosto del 2005) se observó una mejor clasificación con valores menores (Tabla 13 y Fig. 37).

Tabla 13. Capitán Lafitte. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.98	0.67	0.55
	M	2	0.61	0.73	0.42
	S	3	0.55	0.52	0.41
2	I	4	0.90	0.41	0.44
	M	5	0.47	0.5	0.30
	S	6	1.00	0.6	0.45
3	I	7	0.58	0.56	0.63
	M	8	0.74	0.45	0.78
	S	9	0.95	0.59	0.49

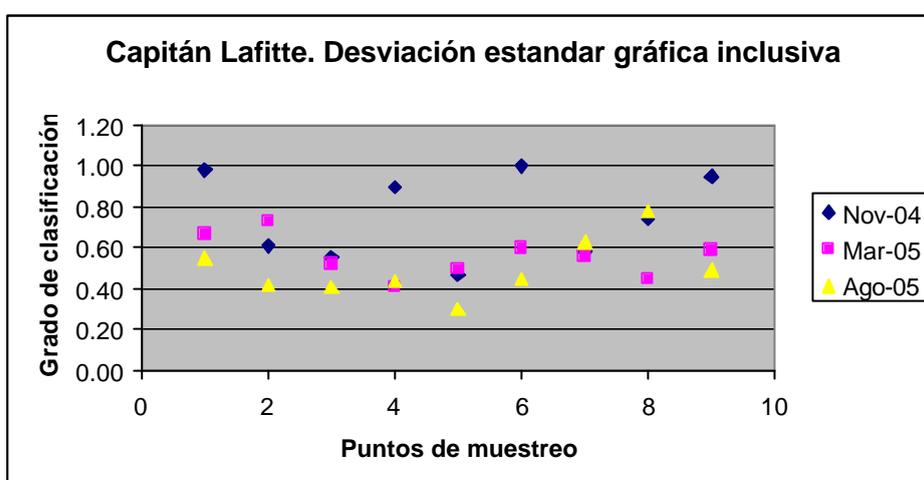


Fig. 37. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Asimetría gráfica inclusiva

La asimetría señaló una tendencia hacia los sedimentos finos (valores positivos) principalmente en noviembre del 2004, marzo del 2005 y agosto de 2005, no se tiene un patrón bien definido en cuanto a la clasificación de los sedimentos de esta playa. (Tabla 14 y Fig. 38).

Tabla 14. Asimetría gráfica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.09	0.1	0.33
	M	2	0.12	0.68	-0.53
	S	3	0.51	-0.01	-0.05
2	I	4	-0.26	-0.32	0.09
	M	5	0.15	0.06	0.08
	S	6	0.12	-0.21	-0.12
3	I	7	0.27	0	0.13
	M	8	0.31	0.06	-0.21
	S	9	0.25	-0.27	-0.10

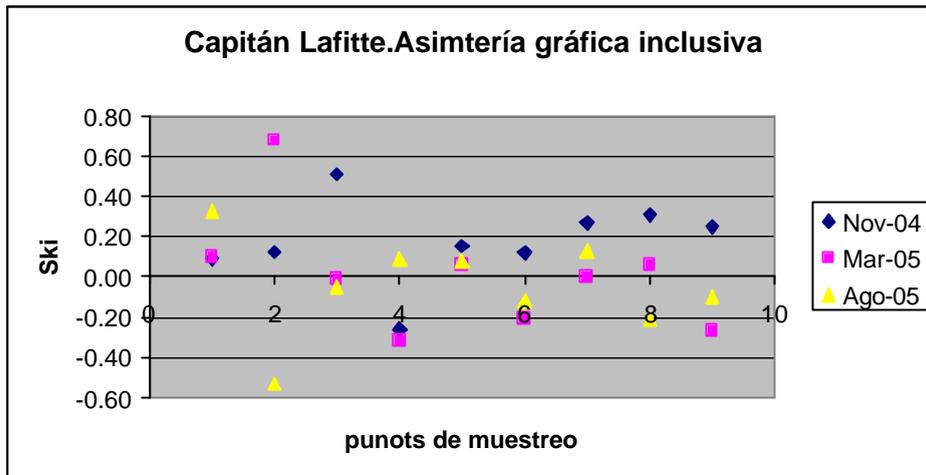


Fig. 38. Asimetría gráfica inclusiva.

Curtosis

Al analizar la curtosis, las estaciones 1, 2 y 3 del perfil 1 fueron sedimentos leptocúrticos y muy leptocúrticos con una variación mayor de sus valores que en las estaciones 4 a 9 donde se tuvieron sedimentos mesocúrticos y leptocúrticos, aunque con menor variación de sus valores, entre 0.94 y 1.5, esto significa una mayor clasificación de los sedimentos en las primeras estaciones ya que predomina un solo tamaño de sedimentos (Tabla 15 y Fig. 39).

Tabla 15. Capitan Lafitte. Curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.90	1.5	1.02
	M	2	1.31	2.25	1.87
	S	3	0.96	0.92	2.25
2	I	4	1.14	1.07	1.23
	M	5	0.82	1.02	1.37
	S	6	1.58	0.82	0.94
3	I	7	1.14	0.84	1.13
	M	8	0.81	1.31	1.20
	S	9	1.30	1.23	1.50

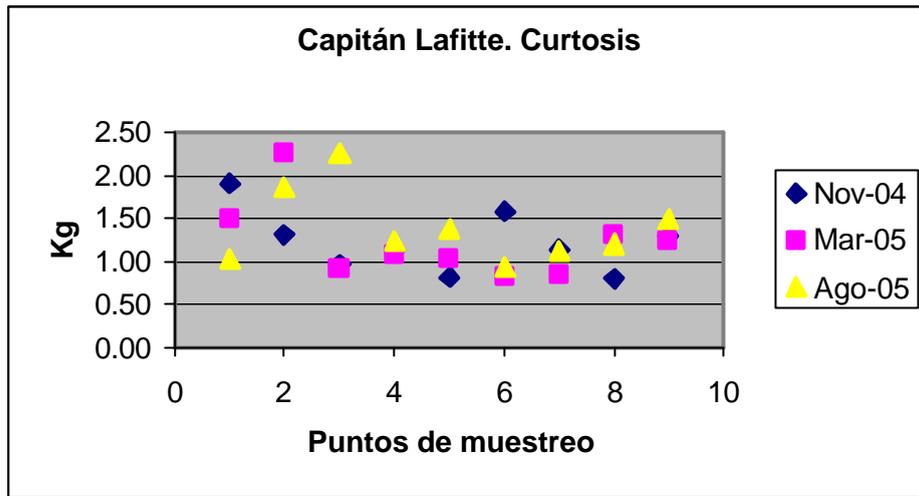


Fig. 39. Curtosis.

Playa Esmeralda

Tamaño gráfico promedio

El tamaño gráfico promedio en esta playa estuvo compuesto por arenas medias (1 a 2 phi), teniendo una variación en agosto hacia las arenas gruesas (0 a 1 phi) (Tabla 16 y Fig. 40).

Tabla 16. Playa Esmeralda.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.70	1.87	1.87
	M	2	1.80	1.37	2.00
	S	3	1.91	1.97	1.53
2	I	4	1.37	1.57	0.25
	M	5	1.81	2.03	1.70
	S	6	2.38	1.97	1.93
3	I	7	0.73	2.17	0.83
	M	8	1.38	1.83	1.92
	S	9	1.89	2	1.78

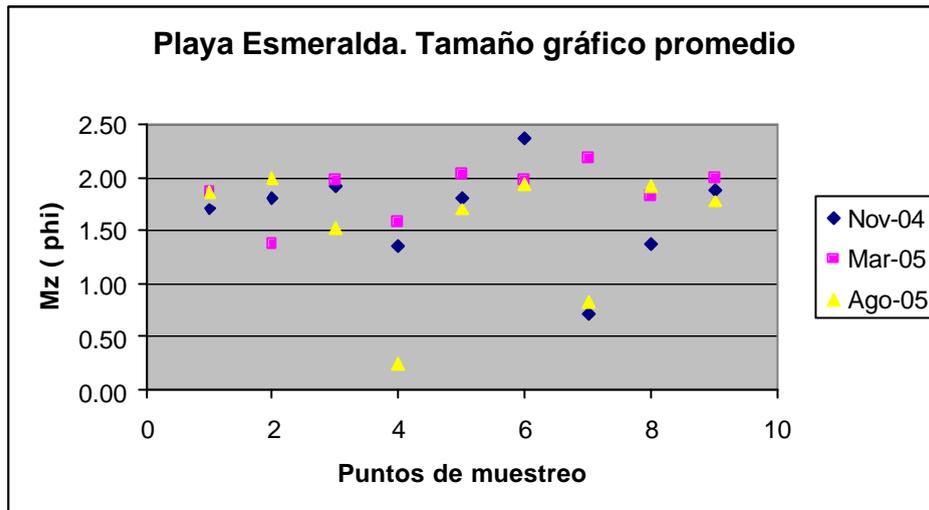


Fig. 40. Tamaño gráfico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

La clasificación de los sedimentos de esta playa, variaron de moderadamente clasificados a bien clasificados (0.35 a 1.00 phi), en agosto después del huracán Emily solo se observó una tendencia a sedimentos mal clasificados (Tabla 17 y Fig. 41).

Tabla 17. Playa esmeralda. Desviación estandar grafica inclusiva

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.60	0.42	0.63
	M	2	0.90	0.53	0.48
	S	3	0.56	0.93	0.40
2	I	4	0.63	0.56	0.79
	M	5	1.30	0.47	0.70
	S	6	0.55	0.7	0.46
3	I	7	0.40	0.35	1.16
	M	8	0.60	0.52	0.65
	S	9	0.37	0.42	0.71

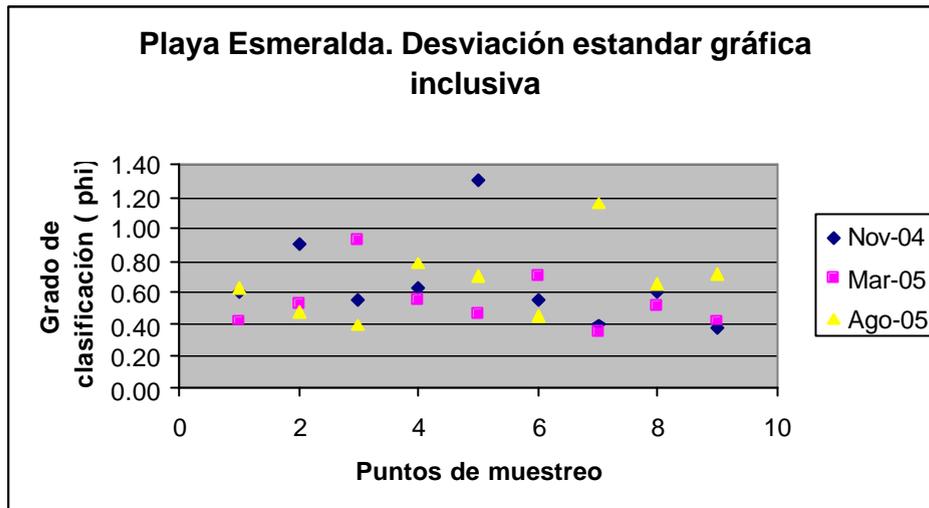


Fig. 41. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Asimetría gráfica inclusiva

Los sedimentos fueron asimétricos hacia finos. Siendo notorio para agosto una mayor simetría hacia finos sobretodo en el perfil 1 localizado al norte de la playa. (Tabla 18 y Fig. 42).

Tabla 18. Playa Esmeralda. Asimetría gráfica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.24	-0.02	0.51
	M	2	-0.60	0.43	0.88
	S	3	0.04	0.4	0.44
2	I	4	0.16	-0.12	-0.11
	M	5	0.60	-0.01	0.04
	S	6	-0.16	-0.04	0.06
3	I	7	-0.18	-0.12	-0.10
	M	8	0.10	-0.02	-0.09
	S	9	0.27	-0.1	0.06

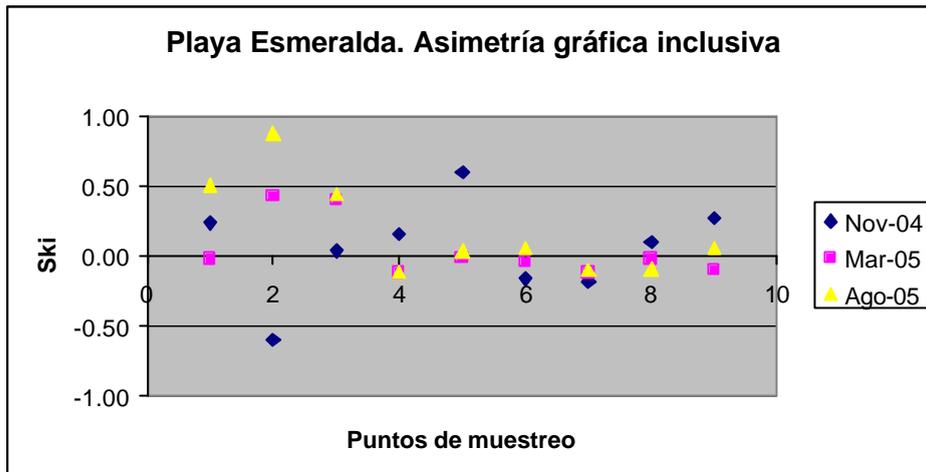


Fig. 42. Asimetría gráfica inclusiva.

Curtosis.

Los sedimentos en el perfil 1 (Estaciones 1, 2 y 3) son mesocúrticos, en el perfil 2 leptocúrticos y en el perfil 3 platicúrticos (sedimentos de varias clases), principalmente en agosto del 2005 (Tabla 19 y Fig. 43).

Tabla 19. Playa Esmeralda. Curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.90	0.76	1.02
	M	2	0.80	0.7	1.02
	S	3	1.00	2.63	1.02
2	I	4	1.16	1.3	0.79
	M	5	1.35	0.94	1.84
	S	6	1.00	1.45	1.03
3	I	7	1.10	1.13	0.72
	M	8	1.40	0.94	0.59
	S	9	1.20	0.41	0.58

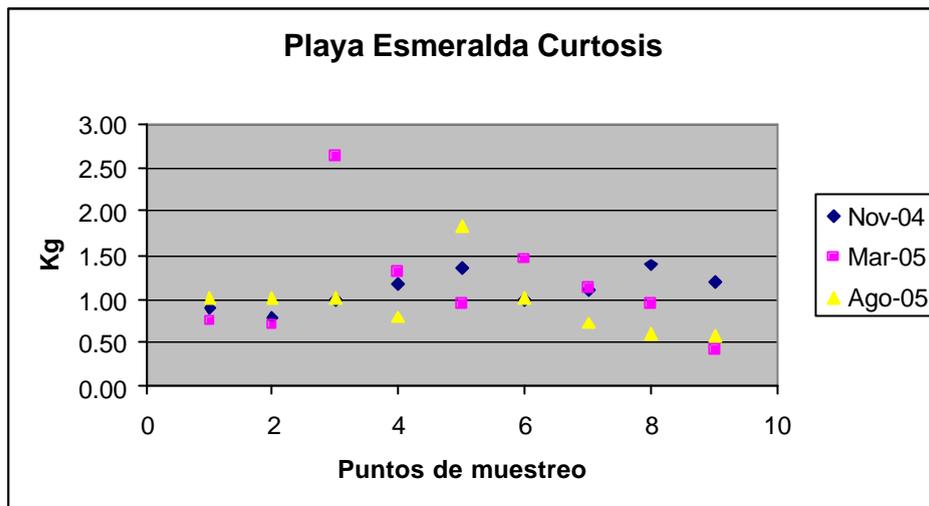


Fig. 43. Curtosis.

Muelle ultramarino

Tamaño gráfico promedio

Esta playa durante los tres muestreo, presentaron arenas medias, solo en agosto se presentaron arenas finas en los perfiles 1 y 3. Aunque con una tendencia en marzo del 2005 hacia materiales finos y materiales más gruesos en agosto del 2005, en época de huracanes (Tabla 20 y Fig. 44).

Tabla 20. Muelle Ultramarino. Tamaño grafico promedio.

Perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.50	1.63	1.28
	M	2	1.60	1.9	1.22
	S	3	1.38	1.4	2.08
2	I	4	0.96	1.8	1.23
	M	5	1.23	1.6	1.25
	S	6	1.80	1.9	1.48
3	I	7	1.16	1.68	1.30
	M	8	1.30	1.55	2.17
	S	9	1.40	1.6	1.32

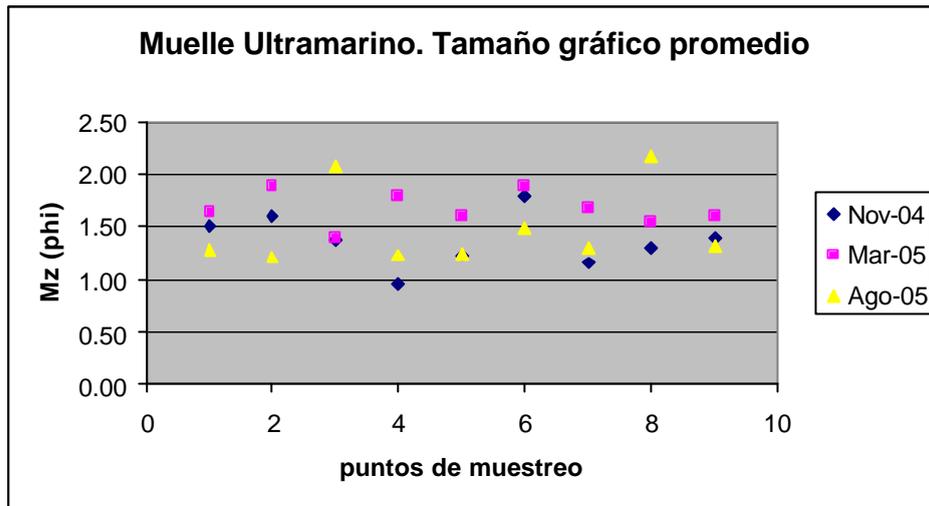


Fig. 44. Tamaño grafico promedio.

Desviación estandar grafica inclusiva

Los perfiles en esta playa tuvieron una distribución de moderadamente clasificados (0.75 phi) en el perfil 1 hasta bien clasificados en el perfil 3 (0.46 phi), es decir, un incremento de la clasificación se manifestó hacia el sur de la playa (Tabla 21 y Fig. 45).

Tabla 21. Muelle Ultramarino. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.75	0.64	0.63
	M	2	0.57	0.66	0.60
	S	3	0.60	0.62	0.87
2	I	4	0.80	1.02	0.51
	M	5	0.60	0.52	0.45
	S	6	0.40	0.44	0.52
3	I	7	0.50	0.5	0.55
	M	8	0.46	0.56	0.87
	S	9	0.53	0.46	0.48

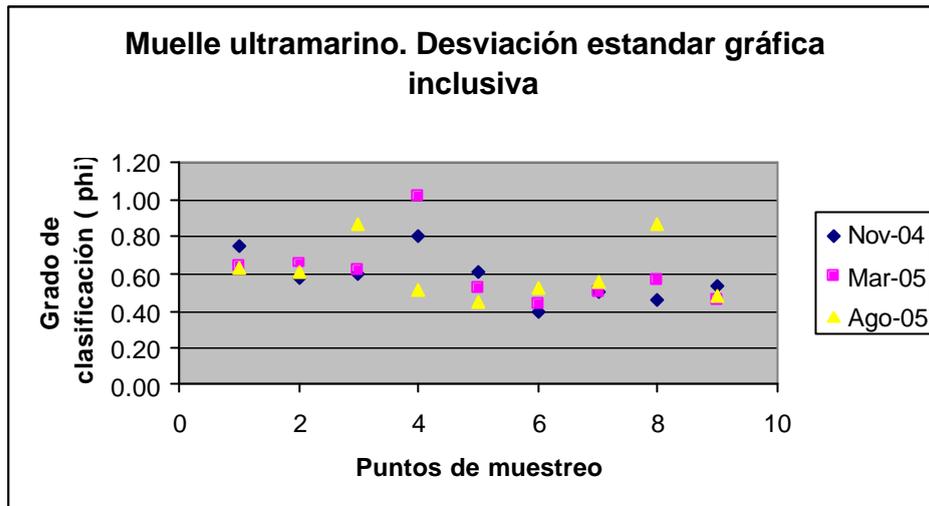


Fig. 45. Desviación estandar gráfica inclusiva.

Asimetría grafica inclusiva

Los parámetros granulométricos de tamaño y clasificación en esta playa no tuvieron un patrón definido, ya que fueron materiales desde simétricos hacia gruesos hasta simétricos hacia finos (Tabla 22 y Fig. 46).

Tabla 22. Muelle Ultramarino. Asimetría grafica inclusiva.

perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	-0.15	-0.16	0.04
	M	2	-0.09	-0.5	0.22
	S	3	-0.22	0.07	-0.44
2	I	4	-0.23	0.07	0.26
	M	5	-0.48	0	0.40
	S	6	0.35	0.24	0.04
3	I	7	-0.08	-0.18	0.09
	M	8	0.67	0.63	0.27
	S	9	0.17	0.02	0.28

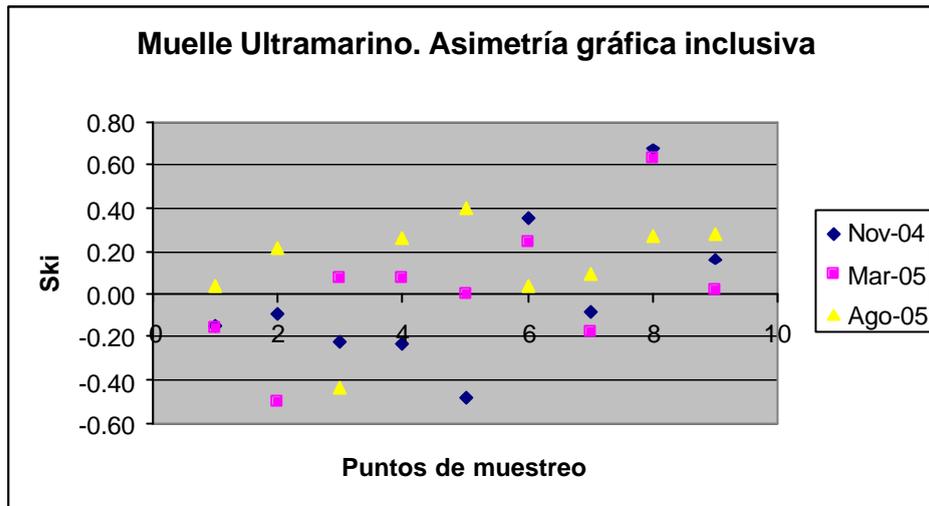


Fig. 46. Asimetría gráfica inclusiva.

Curtosis

No presentó un patrón definido, con sedimentos platicúrticos y leptocúrticos (Tabla 23 y Fig. 47).

Tabla 23. Muelle Ultramarino. Curtosis.

perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.96	0.9	1.26
	M	2	2.70	0.86	1.26
	S	3	1.23	0.62	1.48
2	I	4	1.23	1.4	0.79
	M	5	0.95	1.05	0.95
	S	6	1.23	1.02	1.00
3	I	7	0.60	0.17	0.77
	M	8	1.43	1.3	1.81
	S	9	1.00	1.35	0.98

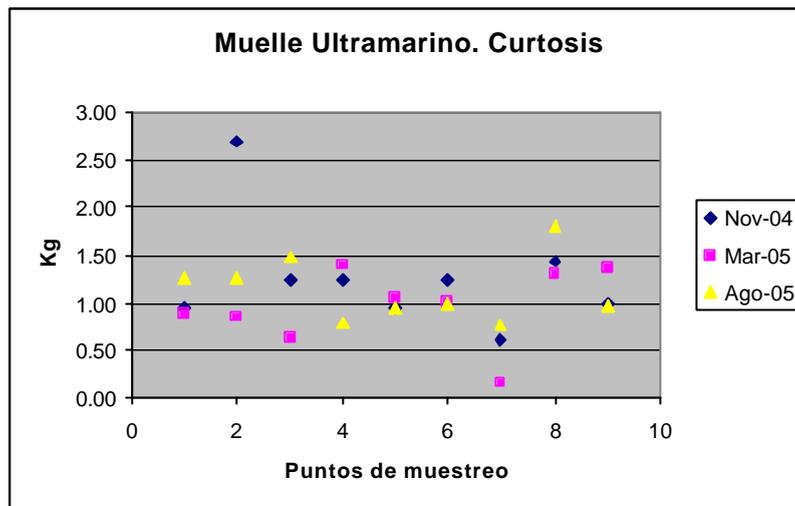


Fig. 47. Curtosis.

Calle 14

Tamaño grafico promedio

Esta playa fue considerada para monitoreo después de haber realizado una prospección visual de ella se observaron cambios morfológicos importantes, que también se reflejaron en la textura; para el muestreo de agosto (después del huracán) los sedimentos variaron desde arenas gruesas a finas, muy diferente al muestreo de noviembre y marzo donde predominaron las medias (Tabla 24 y Fig. 48).

Tabla 24. Calle 14 Tamaño grafico promedio.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.82	1.79
	M	2	1.78	1.63
	S	3	1.78	0.48
2	I	4	1.22	0.88
	M	5	1.75	1.42
	S	6	1.6	1.20
3	I	7		1.18
	M	8		2.05
	S	9		1.93

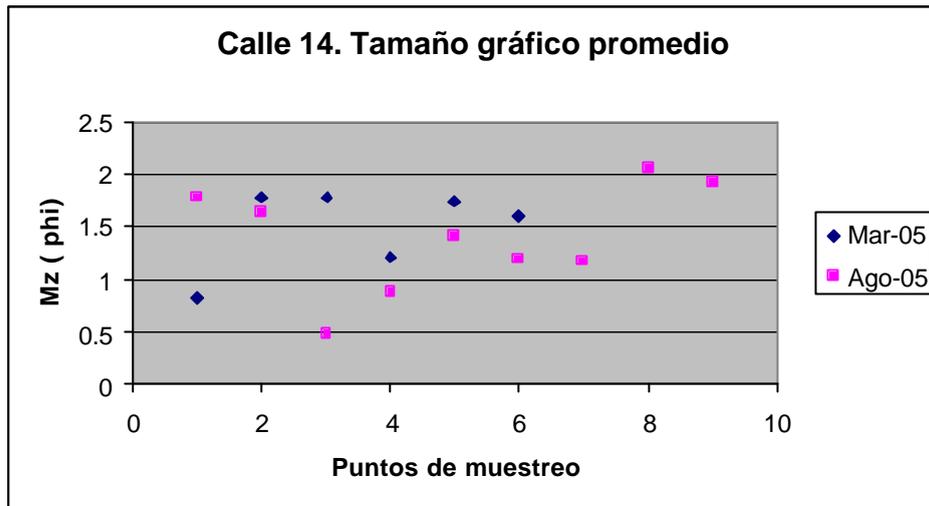


Fig.48. Tamaño grafico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

La clasificación fue de moderadamente clasificada a moderadamente bien clasificada, sin observarse cambios mayores en el grado de clasificación para esta playa. (Tabla 25 y Fig. 49).

Tabla 25. Calle 14. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.54	0.66
	M	2	0.7	0.62
	S	3	0.63	0.48
2	I	4	0.62	0.65
	M	5	0.51	0.58
	S	6	0.62	0.58
3	I	7		0.77
	M	8		0.49
	S	9		0.73

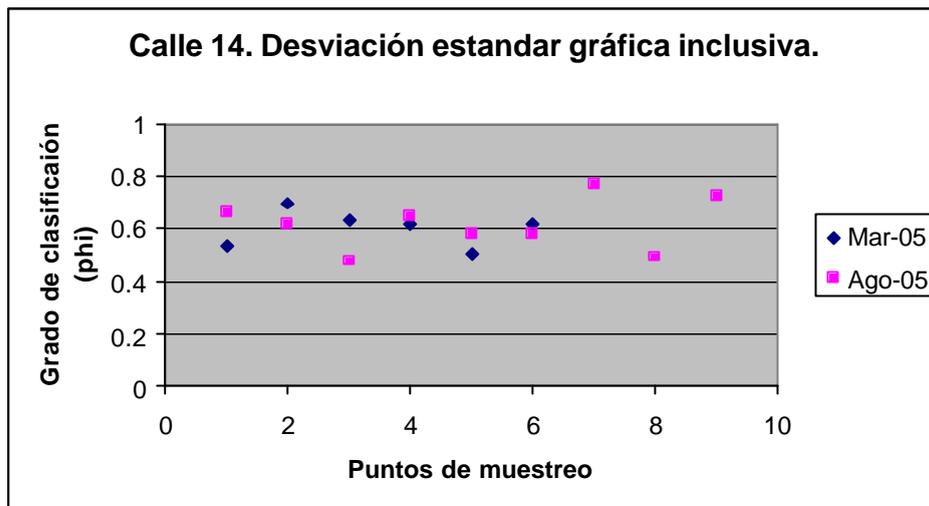


Fig. 49. Desviación estándar grafica inclusiva.

Asimetría grafica inclusiva

La asimetría fue muy variable desde simétricos hacia gruesos hasta simétricos hacia finos (Tabla 26 y Fig. 50).

Tabla 26. Calle 14 Asimetría grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.4	-0.03
	M	2	-0.06	0.13
	S	3	0.04	0.08
2	I	4	0.11	0.14
	M	5	0.03	-0.17
	S	6	0.09	-0.05
3	I	7		0.03
	M	8		0.05
	S	9		-0.20

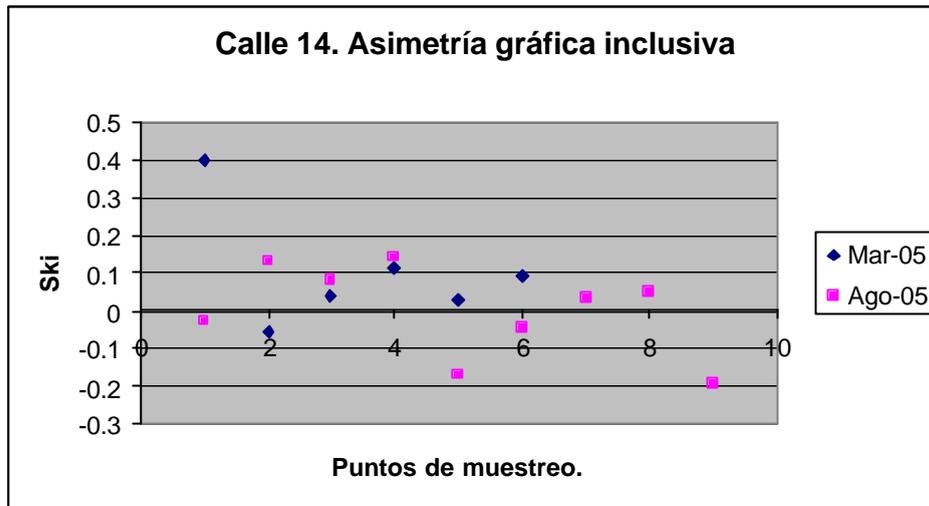


Fig. 50. Asimetría grafica inclusiva.

Curtosis

Este parámetro en esta playa fue mesocúrtico con valores cercanos a 0, sin embargo hubo una tendencia a sedimentos leptocúrticos y muy leptocúrticos en el perfil 1 y 3 (mayores a 1.1) (Tabla 27 y Fig. 51).

Tabla 27. Calle 14 Curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.84	0.88
	M	2	1.02	1.84
	S	3	1.09	1.02
2	I	4	0.86	0.96
	M	5	1.39	0.96
	S	6	0.89	1.07
3	I	7		0.97
	M	8		1.90
	S	9		1.93

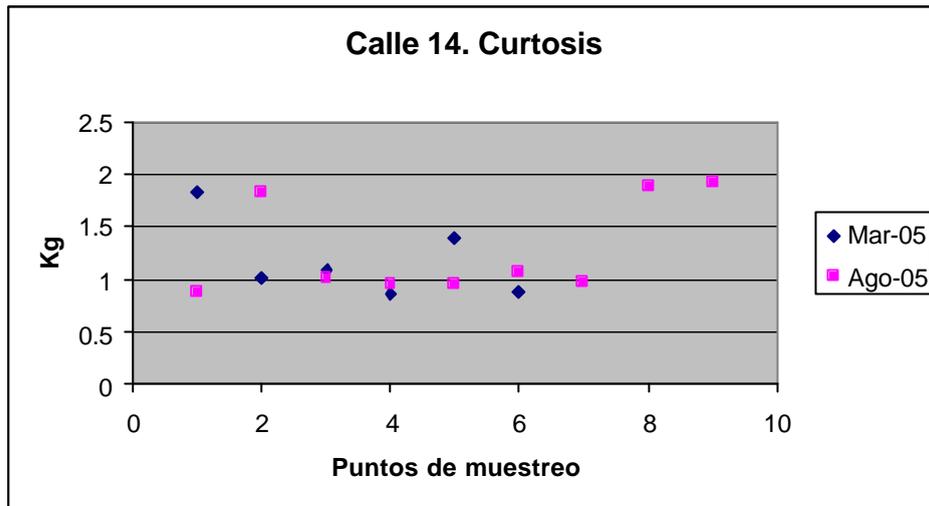


Fig. 51. Curtosis.

Muelle Fiscal

Tamaño grafico promedio

El tamaño fue homogéneo para esta playa siendo las arenas medias (1 a 2 phi) las que predominaron, independientemente del muestreo (Tabla 28 y Fig. 52).

Tabla 28. Muelle Fiscal. Tamaño grafico promedio.

Perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.70	0.916	1.62
	M	2	1.76	1.28	1.80
	S	3	1.60	2.15	1.68
2	I	4	1.70	1.55	1.87
	M	5	1.40	1.88	1.58
	S	6	1.60	1.8	1.90
	S	7	1.47		2.05

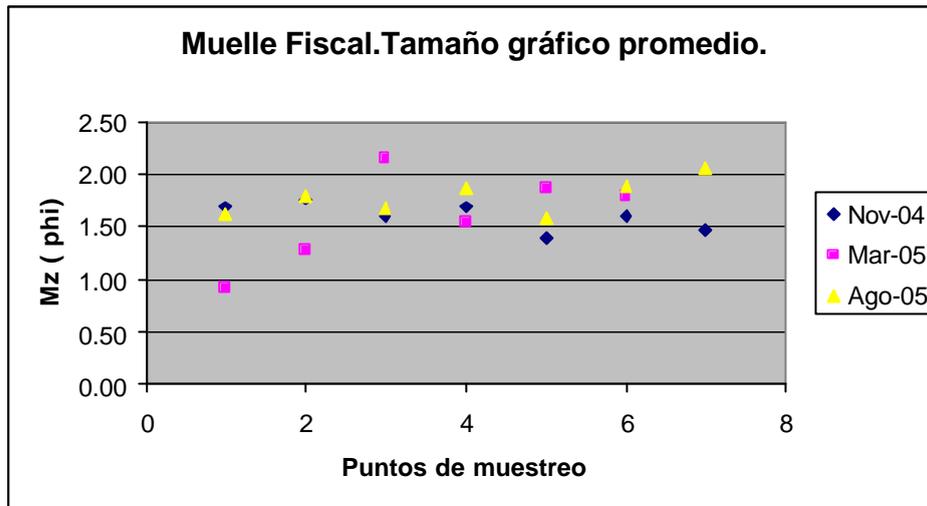


Fig. 52. Tamaño grafico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

La clasificación de los sedimentos varió de sedimentos moderadamente clasificados a moderadamente bien clasificados, observándose en agosto (huracán Emily) una mejor clasificación de los sedimentos (Tabla 29 y Fig. 53).

Tabla 29. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.68	1.17	0.72
	M	2	0.61	0.86	0.69
	S	3	0.70	0.49	0.52
2	I	4	0.69	0.79	0.63
	M	5	0.77	0.718	0.52
	S	6	0.55	0.55	0.73
	S	7	0.76		0.58

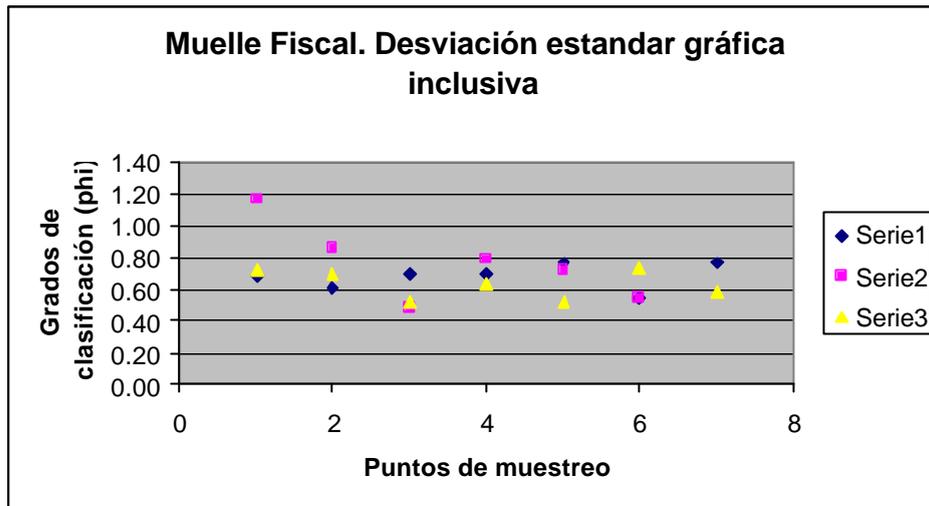


Fig. 54. Desviación estándar grafica inclusiva.

Asimetría grafica inclusiva

La asimetría tendió hacia los tamaños finos, notándose un cambio en agosto (huracán), donde se presentaron tamaños muy asimétricos hacia finos, o bien, arenas con tendencias hacia tamaños muy gruesos (Tabla 30 y Fig. 54).

Tabla 30. Muelle Fiscal. Asimetría grafica inclusiva.

Perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.23	0.12	0.18
	M	2	0.10	0.012	-0.25
	S	3	-0.05	-0.06	-0.17
2	I	4	0.07	0.06	0.00
	M	5	-0.02	0.145	0.43
	S	6	0.17	0.12	-0.32
	S	7	0.14		0.55

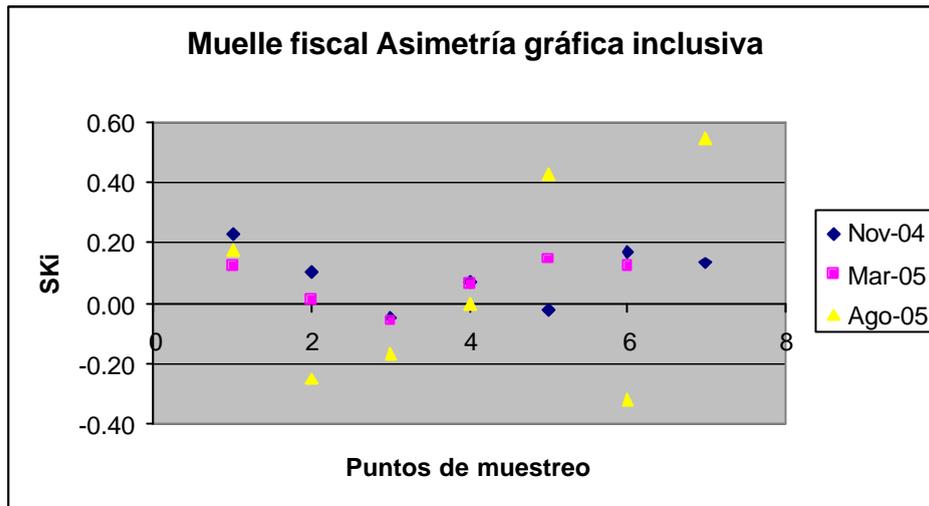


Fig. 54. Asimetría grafica inclusiva.

Curtosis

Principalmente fueron sedimentos mesocurticos con valores cercanos a 1, aunque en agosto del 2005 presentó valores leptocúrticos, mayores de 1.11 (Tabla 31 y Fig. 55).

Tabla 31. Muelle Fiscal. Curtosis.

Perfil	Zona de playa	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.80	0.99	0.82
	M	2	0.77	1.48	1.15
	S	3	0.80	0.15	0.96
2	I	4	0.72	0.72	1.08
	M	5	1.04	0.86	0.98
	S	6	0.80	1.12	0.70
	S	7	1.01	-	1.66

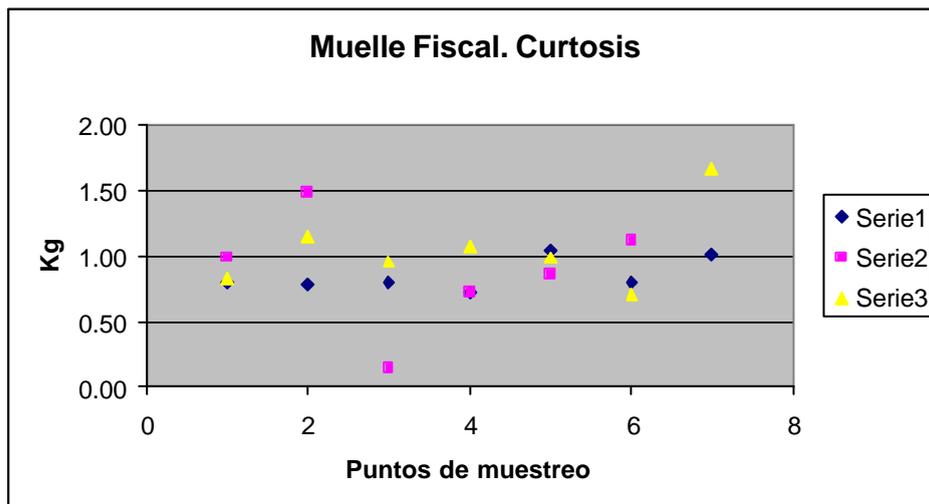


Fig. 55. Curtosis.

Punta Venado

Tamaño grafico promedio

En el perfil 1 ubicado al norte de esta playa se tuvieron sedimentos que variaron desde arenas muy gruesas hasta arenas finas, en el perfil central (perfil 2) se determinaron arenas medias y en el perfil 3 al sur de la playa las arenas gruesas (Tabla 32 y Fig. 56).

Tabla 32. Punta Venado. Tamaño grafico promedio.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	2.10	0.56	-0.88
	M	2	0.08	0.6	0.80
	S	3	0.60	0.6	0.30
2	I	4	1.20	1.26	0.58
	M	5	1.00	1.1	1.73
	S	6	1.70	0.93	1.03
3	I	7		1.05	0.72
	M	8		0.98	0.50
	S	9		0.75	0.53

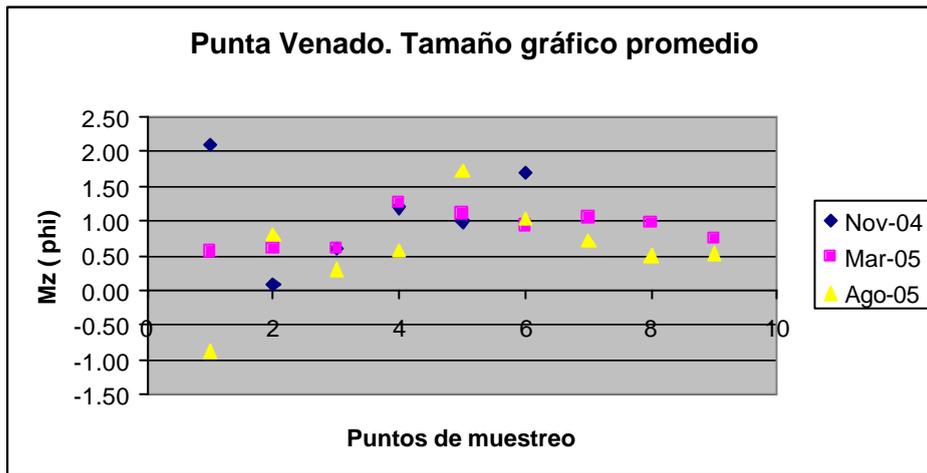


Fig. 56. Tamaño grafico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

Los sedimentos principalmente variaron de moderadamente clasificados a muy bien clasificados, siendo notorio que en agosto (huracán) sedimentos moderadamente bien clasificados (Tabla 33 y Fig. 57).

Tabla 33. Punta Venado. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral		Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.70	0.07	0.76
	M	2	0.67	0.38	0.37
	S	3	0.33	0.3	0.60
2	I	4	0.88	1.58	0.65
	M	5	0.38	0.6	0.63
	S	6	0.45	0.68	0.49
3	I	7		0.815	0.55
	M	8		0.59	0.52
	S	9		0.88	0.50

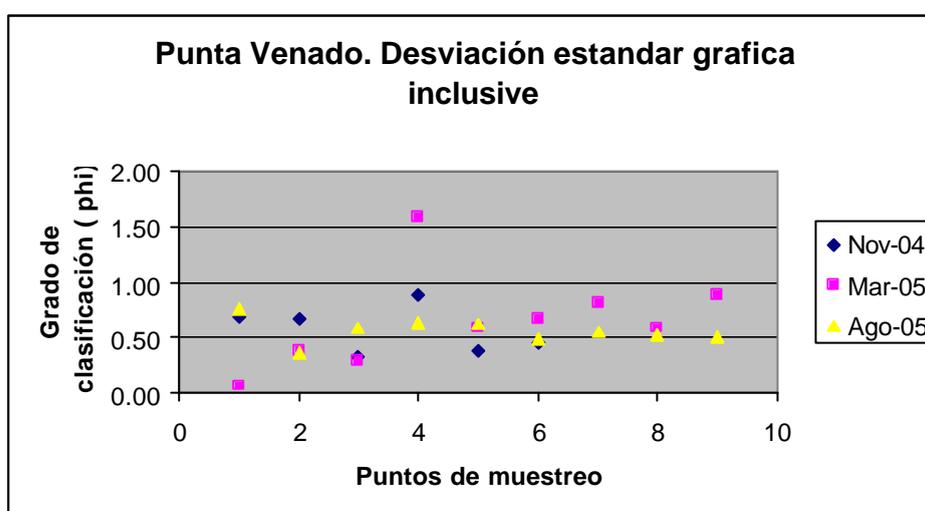


Fig. 57. Desviación estándar grafica inclusiva.

Asimetría grafica inclusiva

Se puede ver en el perfil 1 situado al norte de la playa sedimentos asimétricos hacia gruesos, (estación 1,2 y 3), el perfil 2 al centro de la playa fueron asimétricos hacia finos y en el perfil 3 al sur de la playa simétricos (Tabla 34 y Fig. 58).

Tabla 34. Punta Venado. Asimetría grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral		Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	-1.00	-1.5	-0.31
	M	2	-1.00	0.1	0.03
	S	3	0.24	0.26	-0.03
2	I	4	-0.35	0.8	0.27
	M	5	0.00	0.8	-0.09
	S	6	-0.08	0.5	0.21
3	I	7		-0.023	0.15
	M	8		0.001	0.07
	S	9		0.23	0.06

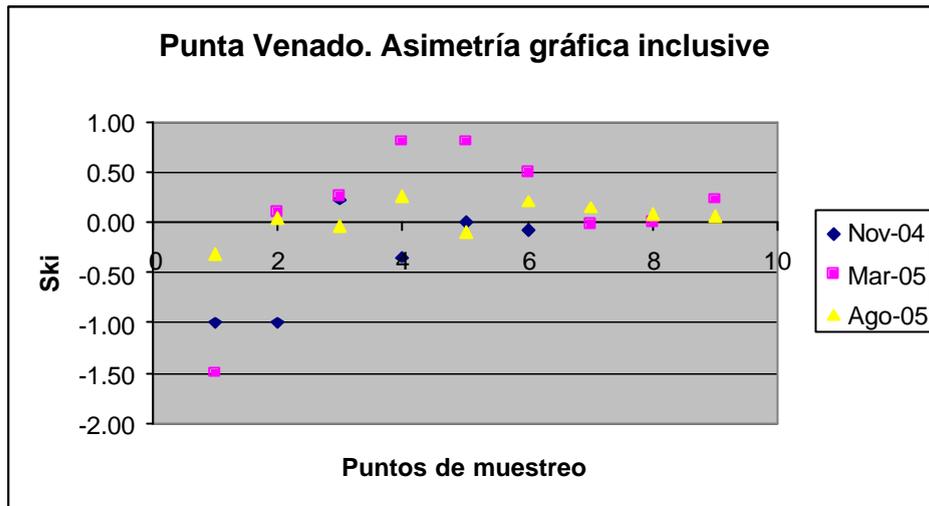


Fig. 57 Asimetría grafica inclusiva.

Curtosis

En el perfil 1 y 2, se calculó una curtosis muy variable, aunque solo en las estaciones 7, 8, y 9 fueron sedimentos leptocúrticos (Tabla 35 y Fig. 59).

Tabla 35. Punta Venado. Curtosis.

Perfil	Zona litoral		Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.92	0.3	1.07
	M	2	1.23	2.8	1.69
	S	3	1.23	0.3	0.87
2	I	4	1.20	1.54	1.84
	M	5	1.23	0.59	0.65
	S	6	1.50	0.2	0.84
3	I	7		1.33	1.64
	M	8		1.22	1.43
	S	9		1.516	1.64

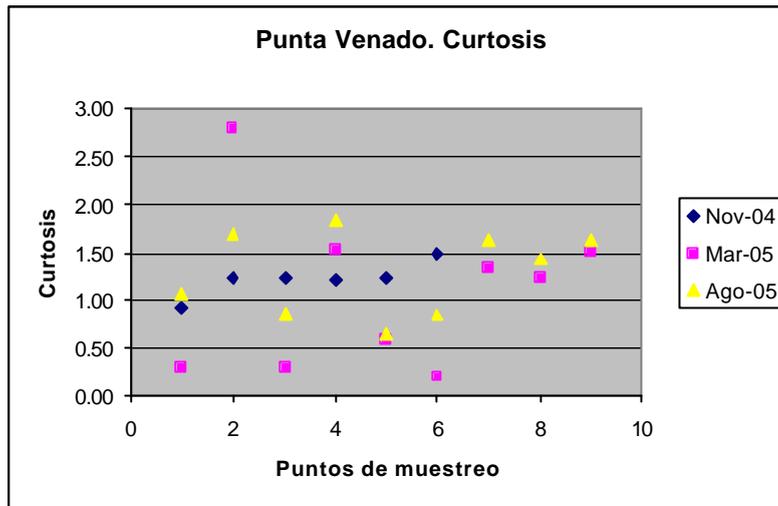


Fig. 59. Curtosis.

Playa Paamul

Tamaño grafico promedio

Esta playa estuvo formada principalmente por arenas gruesas (0 a 1 phi) con algunas arenas medias (Tabla 36 y Fig. 60).

Tabla 36. Paamul. Tamaño grafico promedio.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1			0.13
	M	2		1.25	1.18
	S	3		0.38	0.58
2	I	4			0.35
	M	5		0.8	0.02
	S	6		1.03	0.70
3	I	7		0.75	1.18
	M	8		0.9	0.50
	S	9		0.83	0.75

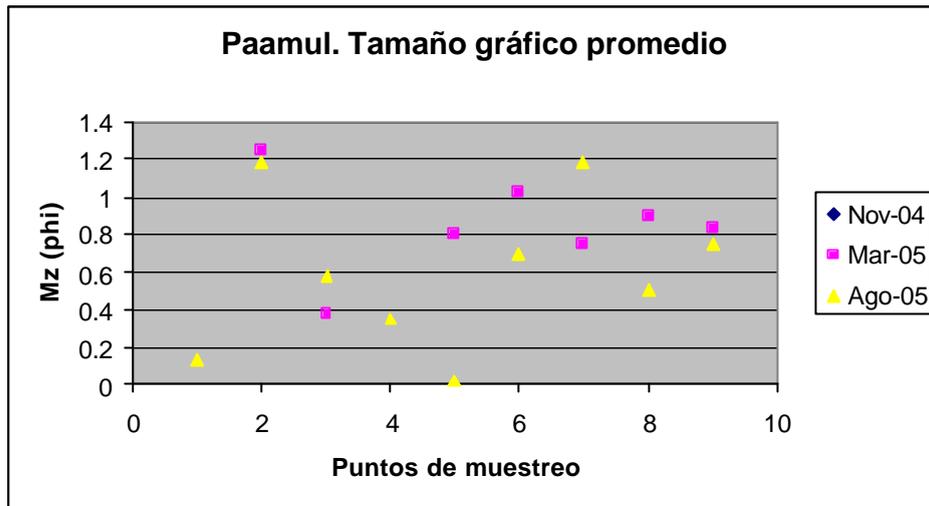


Fig. 60. Tamaño grafico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

La desviación estándar mostró una clasificación de sedimentos de moderadamente bien clasificados a moderadamente clasificados, no se determinaron cambios en los tres muestreos (Tabla 37 y Fig. 61).

Tabla 37. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1			0.57
	M	2		0.61	0.46
	S	3		0.74	0.69
2	I	4			0.77
	M	5		0.31	0.59
	S	6		0.62	0.28
3	I	7		0.39	0.77
	M	8		0.41	0.57
	S	9		0.45	0.52

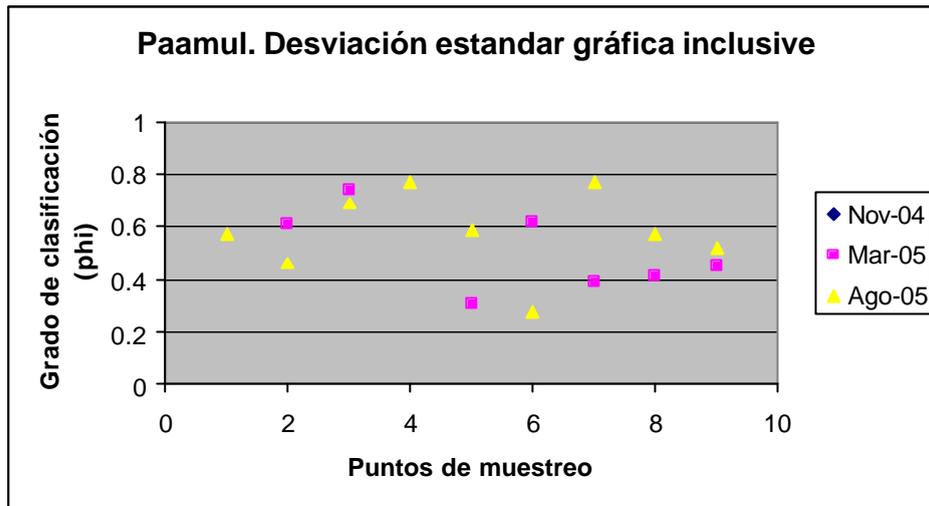


Fig. 61. Desviación estándar gráfica inclusive.

Asimetría gráfica inclusiva

Su simetría no presentó un patrón definido, con sedimentos tanto simétricos hacia finos, como simétricos hacia gruesos, con valores muy heterogéneos (Tabla 38 y Fig. 62).

Tabla 38. Paamul. Asimetría gráfica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1			-0.33
	M	2		0.14	-0.17
	S	3		-0.16	0.10
2	I	4			-0.14
	M	5		0.11	-0.13
	S	6		-0.4	0.51
3	I	7		0.5	0.03
	M	8		-0.07	-0.24
	S	9		0.24	-0.07

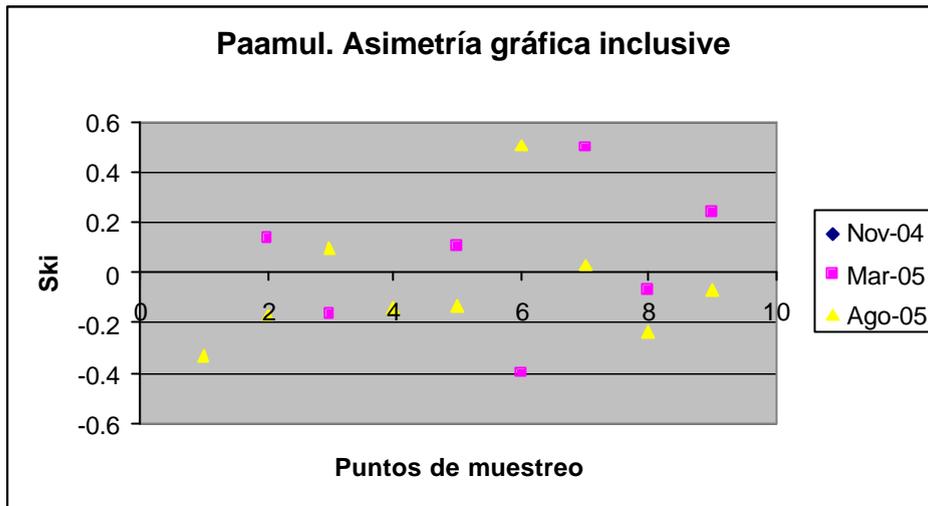


Fig. 62. Asimetría grafica inclusiva.

Curtosis

La curtosis al igual que la asimetría fue muy heterogénea (Tabla 39 y Fig. 63).

Tabla 39. Paamul. Curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1			1.08
	M	2		0.78	0.88
	S	3		0.72	1.71
2	I	4			1.21
	M	5		1.36	1.17
	S	6		2.05	0.58
3	I	7		0.74	0.97
	M	8		1.54	0.73
	S	9		1.43	1.43

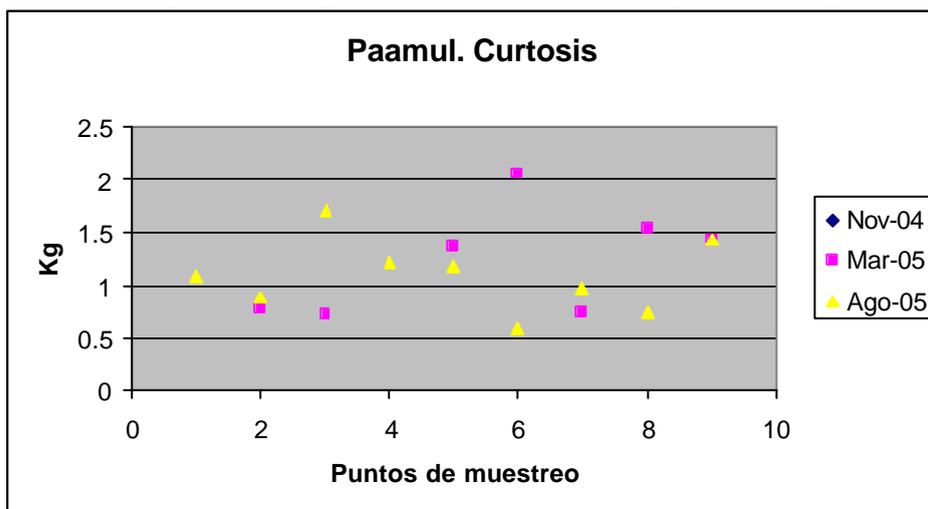


Fig. 63. Curtosis.

Akumal

Tamaño grafico promedio

Esta playa tuvo una heterogeneidad de tamaños de arena desde arenas gruesas hasta arenas finas, sin cambios en los muestreos (Tabla 40 y Fig. 64).

Tabla 40. Akumal. Tamaño grafico promedio.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.10	0.43	0.40
	M	2	1.45	1.88	1.92
	S	3	1.86	1.27	1.40
2	I	4	1.40	2.33	0.25
	M	5	1.23	3.2	1.50
	S	6	1.63	2.11	2.75
3	I	7	0.63	0.86	2.33
	M	8	1.70	2.13	2.02
	S	9	1.00	1.86	2.20

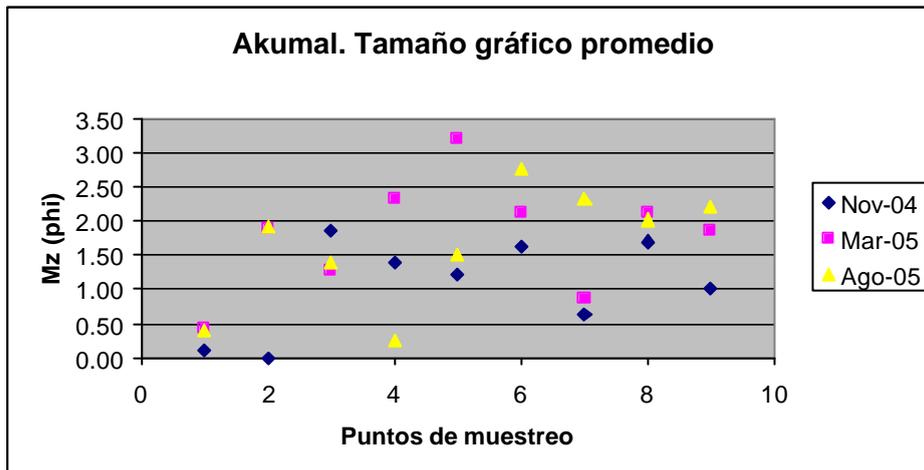


Fig. 64. Tamaño grafico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

Los sedimentos fueron moderadamente clasificados a mal clasificados, sin registrarse un patrón por perfil, ni por muestreo (Tabla 41 y Fig. 65).

Tabla 41. Akumal. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.01	1.19	1.41
	M	2	0.88	0.75	1.08
	S	3	1.32	0.9	1.28
2	I	4	1.39	0.58	0.90
	M	5	0.61	0.89	0.68
	S	6	0.97	1.11	1.95
3	I	7	0.90	1.15	1.02
	M	8	0.70	1.15	0.60
	S	9	1.05	1.203	0.67

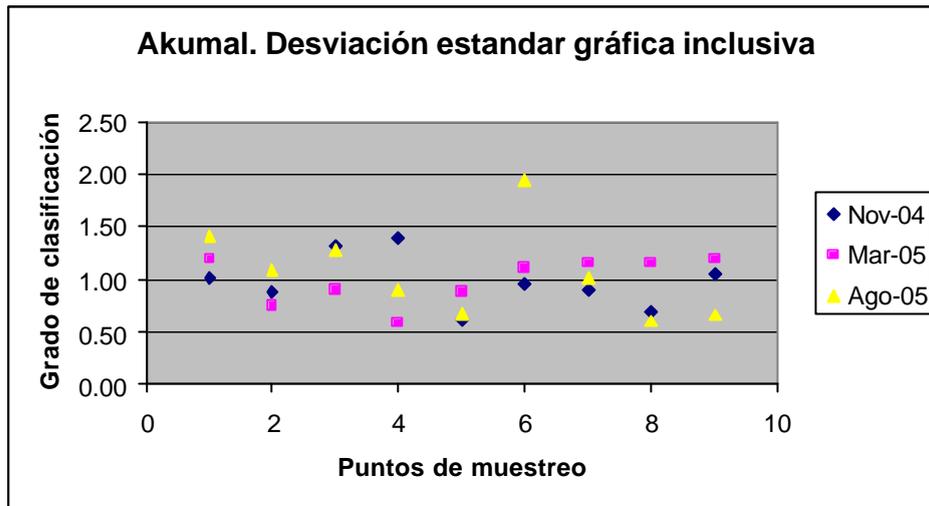


Fig. 65. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Asimetría gráfica inclusiva

La asimetría, también fue heterogénea, teniendo materiales gruesos y finos (Tabla 42 y Fig. 66).

Tabla 42 Akumal. Asimetría gráfica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	-0.26	0.046	0.25
	M	2	0.01	-0.26	-0.40
	S	3	0.20	0.201	-0.33
2	I	4	-0.11	-0.106	-0.07
	M	5	0.20	0.35	0.69
	S	6	0.21	-0.468	-0.20
3	I	7	0.02	0.686	0.48
	M	8	-0.12	-0.42	-0.50
	S	9	0.53	-0.15	-0.43

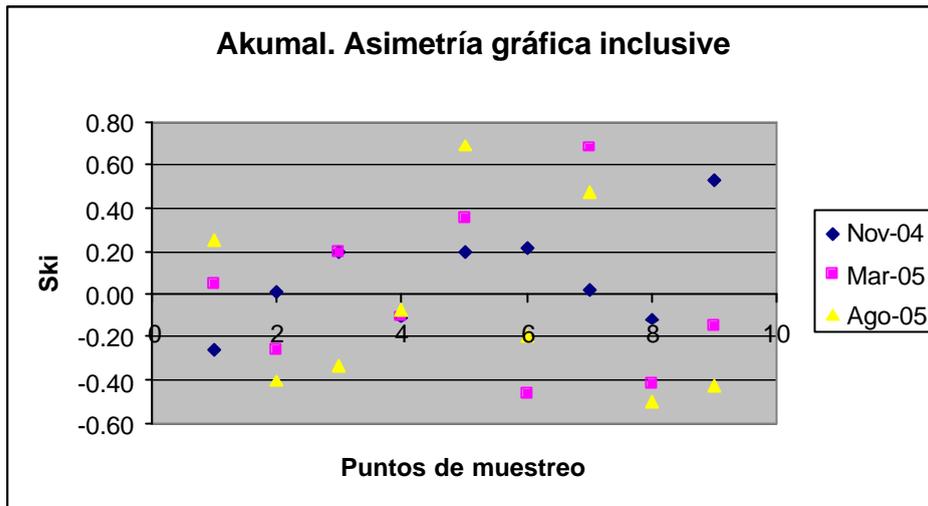


Fig. 66. Asimetría grafica inclusiva.

Curtosis

Al igual que los parámetros anteriores fue muy variable (Tabla 43 y Fig. 67).

Tabla 43 Akumal. Curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.17	0.93	1.41
	M	2	0.90	1.325	1.08
	S	3	1.22	1.127	1.28
2	I	4	1.63	3.15	0.90
	M	5	1.23	2.19	0.68
	S	6	0.68	0.796	1.95
3	I	7	1.16	1.66	1.02
	M	8	1.70	0.57	0.60
	S	9	0.68	0.68	0.67

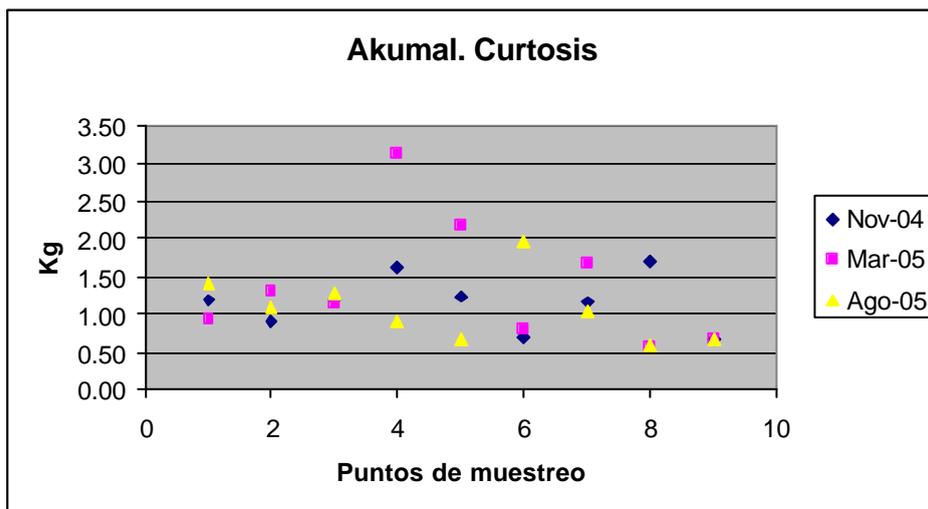


Fig. 67. Curtosis.

Playa X-Cacel.

Tamaño grafico promedio

Playa con una distribución de los sedimentos variable. En el perfil 1 al norte de la playa una dominancia de arenas gruesas, (muestras 1, 2 y 3) los perfiles más al sur arenas medias y finas. En marzo el patrón de la distribución de los tamaños fue muy marcado y en agosto los sedimentos fueron relativamente más gruesos con respecto a los otros muestreos (Tabla 44 y Fig. 68).

Tabla 44. Xcacel. Tamaño grafico promedio.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.50	0.45	-0.50
	M	2	1.00	0.816	0.80
	S	3	1.03	1.2	0.63
2	I	4	1.64	1.5	1.38
	M	5	1.70	1.7	1.63
	S	6	0.27	1.75	1.25
3	I	7	1.70	1.9	1.55
	M	8	1.60	2.06	1.48
	S	9	1.73	1.86	2.10

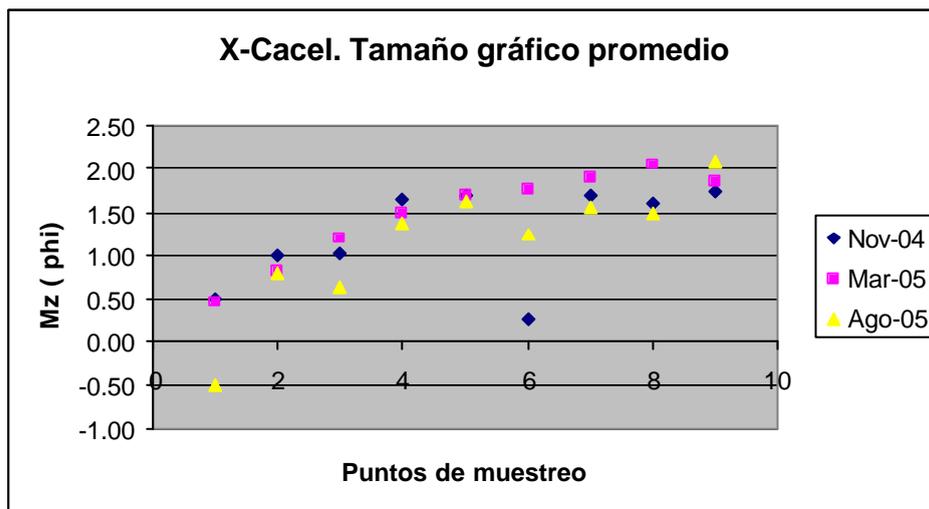


Fig. 68. Tamaño grafico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

Los sedimentos fueron mal clasificados en el norte de la playa y hacia el sur fueron bien clasificados. El perfil 1, localizado al norte de la playa, fue el que presentó sedimentos mal clasificados en agosto (Tabla 45 y Fig. 69).

Tabla 45. Xcace. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.75	0.65	0.89
	M	2	0.66	0.44	1.30
	S	3	0.67	0.93	1.97
2	I	4	0.55	0.39	0.78
	M	5	0.39	0.49	0.82
	S	6	0.42	0.75	0.40
3	I	7	0.50	0.46	0.57
	M	8	0.50	0.325	0.43
	S	9	0.52	0.32	0.44

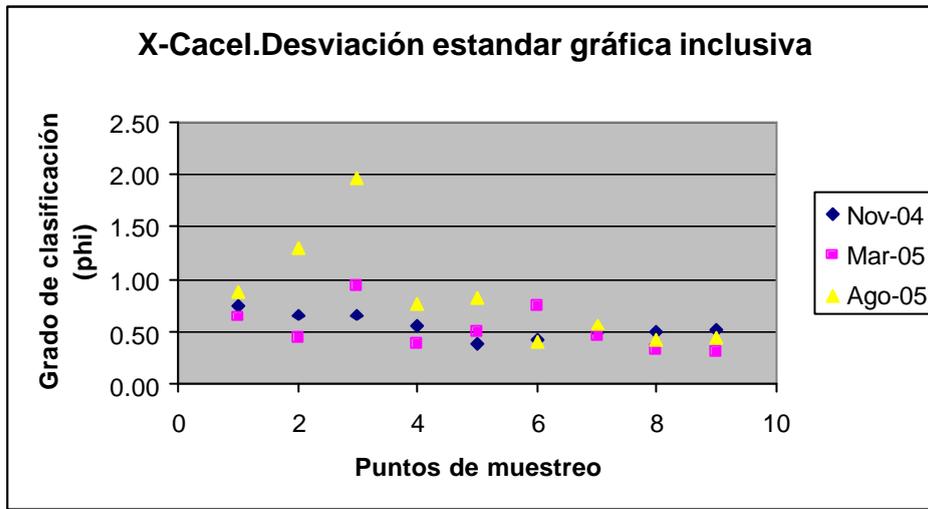


Fig. 69. Desviación estándar grafica inclusiva.

Asimetría grafica inclusiva

Los sedimentos fueron de simétricos hacia finos, sobre todo en marzo, sin embargo en agosto, los sedimentos tendieron a ser más gruesos (Tabla 46 y Fig. 70).

Tabla 46. Xcace. Asimetría grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	-0.26	0.65	0.66
	M	2	0.01	0.44	0.15
	S	3	0.20	0.93	-0.53
2	I	4	-0.11	0.39	-0.22
	M	5	0.20	0.49	0.03
	S	6	0.21	0.75	0.06
3	I	7	0.02	0.46	0.41
	M	8	-0.12	0.325	0.16
	S	9	0.53	0.32	-0.16

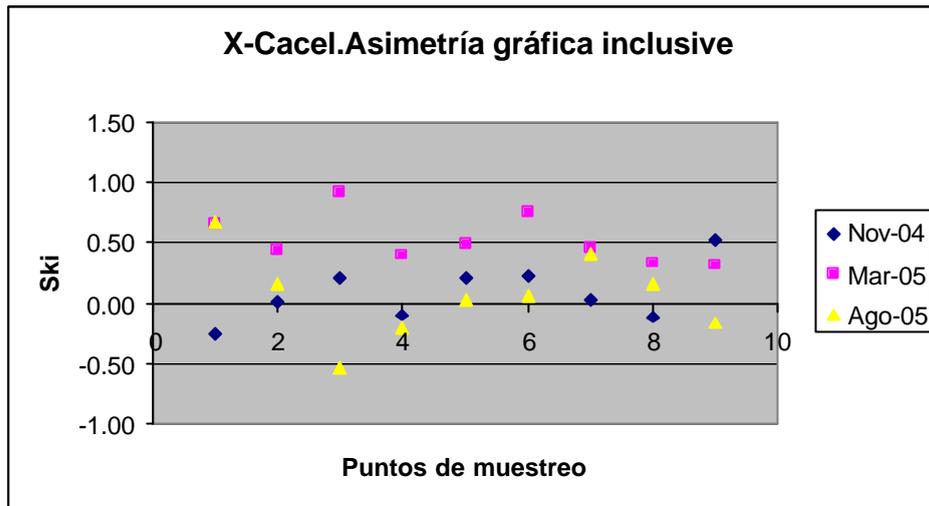


Fig. 70. Asimetría gráfica inclusiva.

Curtosis

No presentó algún comportamiento específico, fue muy heterogénea para los diferentes muestreos (Tabla 47 y Fig. 71).

Tabla 47. Xcachel. Curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.17	0.714	0.77
	M	2	0.90	1.3	1.09
	S	3	1.22	0.93	1.24
2	I	4	1.63	1.229	1.24
	M	5	1.23	1.01	0.89
	S	6	0.68	0.57	1.01
3	I	7	1.16	1.02	0.70
	M	8	1.70	1.03	1.19
	S	9	0.68	0.92	0.79

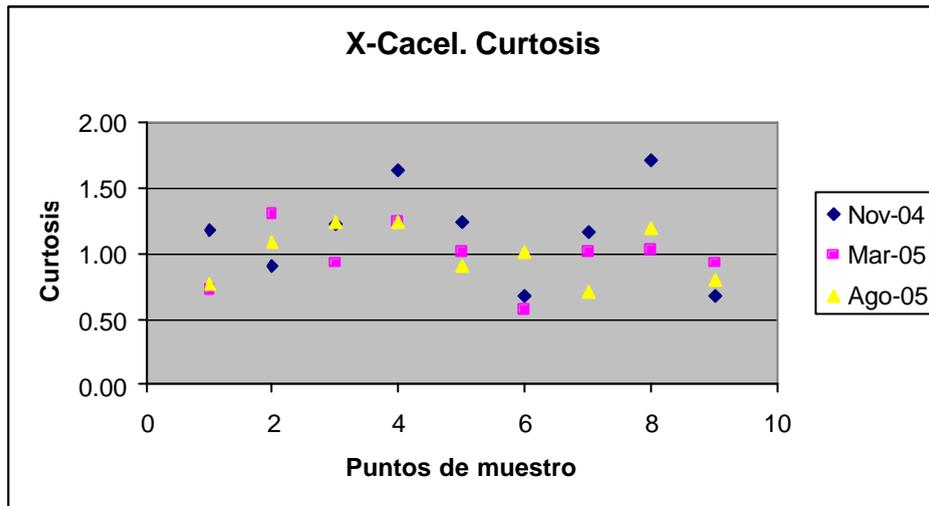


Fig. 71. Curtosis.

Tulum

Tamaño grafico promedio

Esta playa presento un predominio de arenas finas, aunque para el mes de noviembre los sedimentos fueron arena gruesa. Los otros dos muestreos fueron semejantes (Tabla 48 y Fig. 72).

Tabla. 48. Tulum. Tamaño grafico promedio

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	2.30	2.25	2.30
	M	2	2.60	2.4	2.35
	S	3	1.16	1.75	2.42
2	I	4	2.03	1.5	2.12
	M	5	2.52	2	2.12
	S	6	1.68	2.58	2.97
3	I	7	0.70	2.3	2.47
	M	8	2.10	2.13	2.42
	S	9	2.50	2.3	2.40
4	I	10	2.23	2.216	2.52
	M	11	2.20	2.7	2.82
	S	12	2.30	2.28	2.40

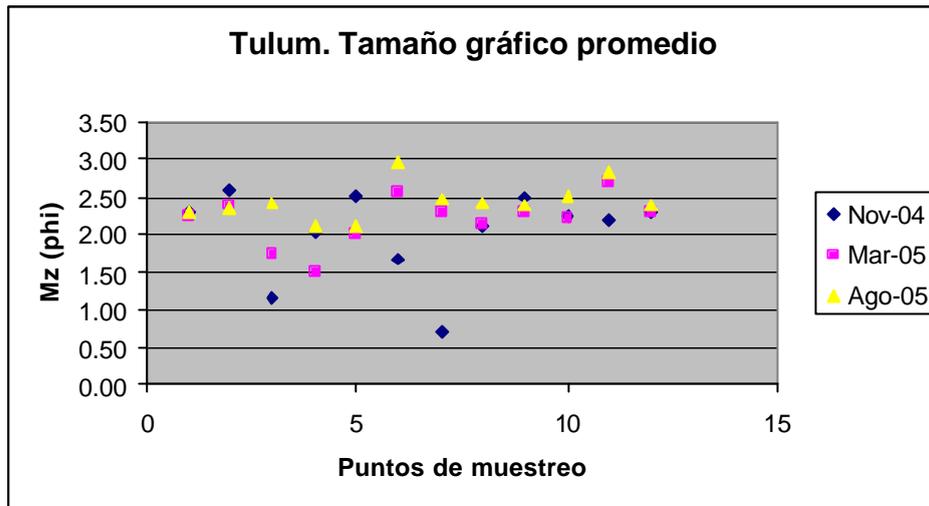


Fig. 72. Tamaño grafico promedio.

Desviación estándar grafica inclusiva

Gran parte de la playa fue compuesta por sedimentos moderadamente bien clasificados a moderadamente clasificados, aunque en noviembre y en algunos puntos de marzo los sedimentos fueron mal clasificados (Tabla 49 y Fig. 73).

Tabla 49. Tulum. Desviación estándar grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	0.80	0.841	0.66
	M	2	0.55	0.61	0.64
	S	3	0.55	0.97	0.58
2	I	4	1.60	2.43	0.85
	M	5	0.63	0.67	0.62
	S	6	1.68	0.93	0.67
3	I	7	1.60	2.059	0.65
	M	8	0.60	0.838	0.55
	S	9	0.61	0.6	0.55
4	I	10	1.30	0.67	0.40
	M	11	0.70	0.63	0.59
	S	12	0.40	0.55	1.06

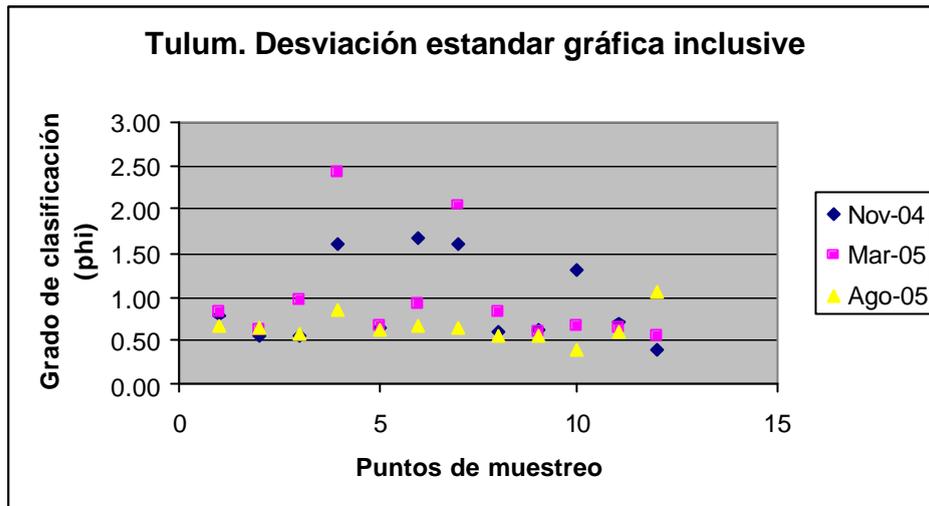


Fig. 73. Desviación estándar grafica inclusiva.

Asimetría grafica inclusiva

La asimetría fue muy heterogénea con valores desde sedimentos asimétricos hacia gruesos como sedimentos asimétricos hacia finos, no existió un patrón definido (Tabla 59 y Fig. 74).

Tabla 59. Tulum. Asimetría grafica inclusiva.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	-0.30	-0.63	-0.33
	M	2	-0.11	-0.16	0.17
	S	3	0.07	-0.06	-0.17
2	I	4	-0.23	0.4	-0.27
	M	5	-0.05	0	-0.05
	S	6	-0.39	0.167	-0.13
3	I	7	0.73	0.66	-0.05
	M	8	-0.02	-0.2	-0.13
	S	9	-0.30	0.08	-0.23
4	I	10	-0.34	0.29	0.23
	M	11	-0.20	-0.22	0.21
	S	12	-0.15	0.025	0.67

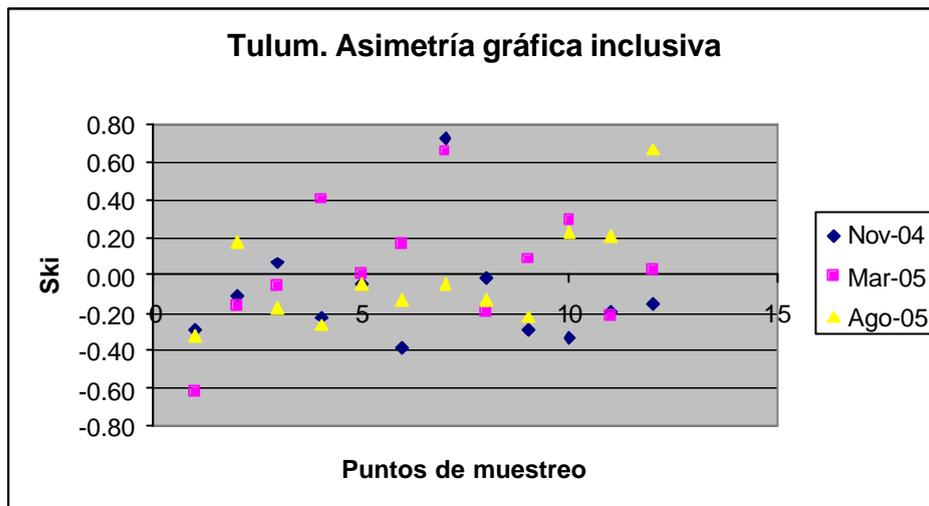


Fig. 74. Asimetría grafica inclusiva.

Curtosis

La curtosis igual que la asimetría fue muy heterogénea sin definirse algún patrón de distribución (Tabla 60 y Fig. 75).

Tabla 60. Tulum. Curtosis.

Perfil	Zona litoral	Muestra	Nov-04	Mar-05	Ago-05
1	I	1	1.18	0.54	0.98
	M	2	0.70	0.91	1.10
	S	3	0.70	1.36	0.90
2	I	4	0.80	0.79	1.09
	M	5	1.54	0.819	1.07
	S	6	1.18	1.098	0.82
3	I	7	1.05	1.46	1.33
	M	8	0.80	1.02	0.82
	S	9	0.70	0.15	0.75
4	I	10	1.05	0.92	1.10
	M	11	1.53	1.48	0.54
	S	12	1.23	1.038	2.41

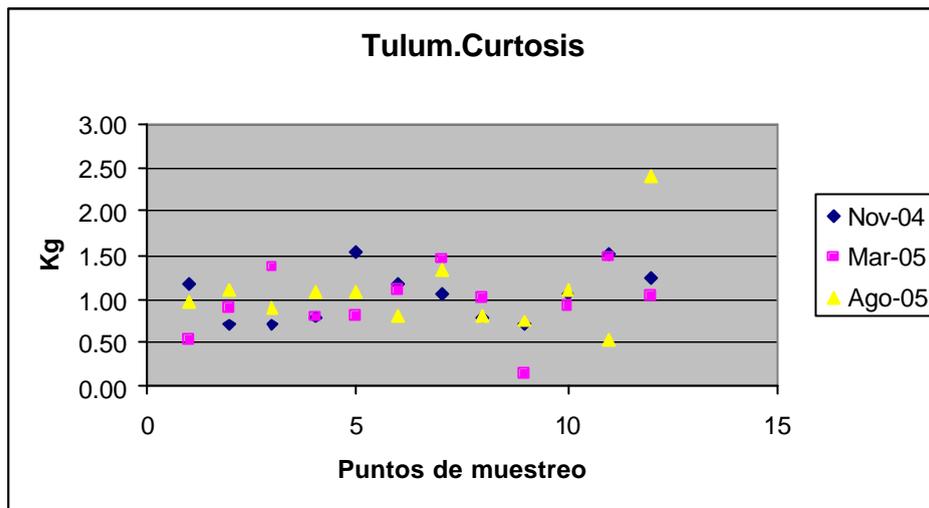


Fig. 75. Curtosis.

Sedimentos de la zona lagunar

El análisis de los sedimentos de la parte lagunar, es decir, en el área entre la playa y la zona de arrecife, fueron de los parámetros granulométricos principalmente para marzo y agosto, donde se tiene la mayor información que permite efectuar una comparación mejor.

Tamaño gráfico promedio

Los diferentes tipos de sedimentos presentes en la zona lagunar, variaron desde arenas muy gruesas hasta arenas muy finas, aunque el predominio fue de arenas finas y medias. Estos tamaños fueron los mismos tanto para los muestreos de marzo y agosto, sin observarse un cambio en el tamaño gráfico promedio (Tabla 61 y Fig. 76).

Tabla 61. Tamaño gráfico promedio.

Sitio	Transecto	Estación	marzo 2005	Ago-05
Punta Maroma	I	1	1.13	1.082
		2	0.2	0.7166
Tres ríos	II	3	0.56	0.65
		4	0.6	0.6083
		5	2.5	2.19
Lafitte	III	6	0	1.6666
		7	2.53	1.2708
		8	3.06	1
Punta esmeralda	IV	9	1.76	2.5416
		10	2.83	1.4791
		11	1.6	2.1041

Continuación tabla 61

Muelle de Ultramar	V	12	2.23	2.3916
		13	2.06	2.274
				1.166
Muelle Fiscal	VI	14	2.03	0.75
		15	1.7	1.6233
		16	2.5	2.5416
Punta venado	X	17	0.33	2.5416
		18	-0.16	0.3125
		19	0.46	2.5208
Akumal	VIII	20	2.23	1.8333
		21	0.93	1.8066
		22	2.9	2.4856
Xcaret	XI	23	-0.1	2.2916
		24	0.9	2.64
		25	2.53	1.3541
Xcacel	VII	26	1	2.2291
		27	-0.76	1.3125
		28	2	
Pto. Aventura	IX	29	0.6	0.625
		30	3.1	2.7916
		31	3	0.4583

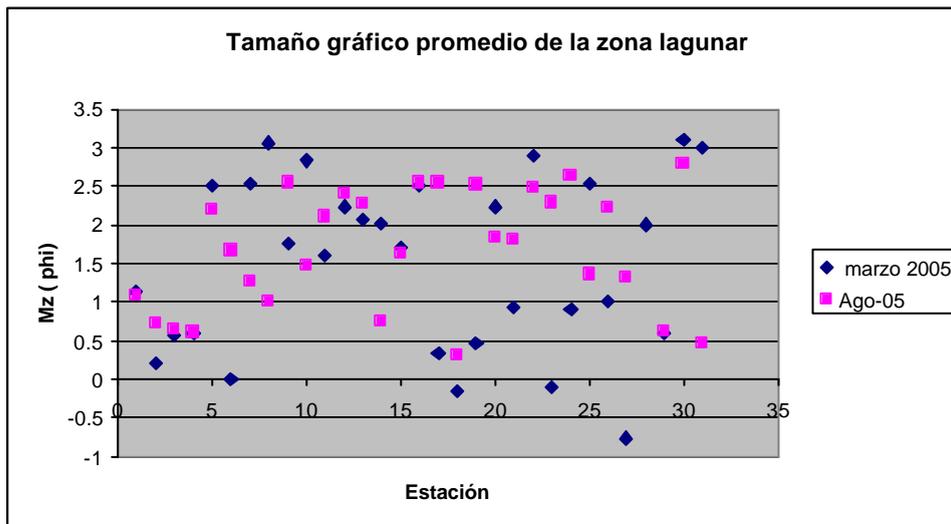


Fig. 76. Tamaño gráfico promedio.

Desviación estándar gráfica inclusiva

Analizando la tabla 62 y figura 77, se puede observar que los sedimentos en esta zona lagunar variaron desde sedimentos moderadamente bien clasificados (0.5 phi) hasta mal clasificados (2.0 phi), para los tres muestreo, aunque en agosto se observo en X-Cacel y Puerto Aventuras (est. 26 a 31) la presencia de sedimentos muy bien clasificados.

Tabla 62. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Sitio	Transecto	Estación	marzo 2005	agosto 2005
Punta Maroma	I	1	1.4	1.5071
		2	0.76	0.6958
Tres ríos	II	3	1.48	1.5712
		4	2.19	1.5617
		5	0.51	0.7142
Lafitte	III	6	1.66	0.659
		7	0.93	0.7627
		8	0.62	0.8205
Punta esmeralda	IV	9	0.6	0.7982
		10	0.61	1.058
		11	0.44	0.704
Muelle de Ultramar	V	12	0.47	0.4784
		13	1.25	0.4026
				1.074
Muelle Fiscal	VI	14	0.56	1.375
		15	0.74	1.6443
		16	0.72	0.86
Calica punta venado	X	17	1.22	0.839
		18	1.49	0.418
		19	0.6	0.6695
Akumal	VIII	20	1.35	0.9166
		21	2.32	1.8673
		22	0.87	1.493
Xcaret	XI	23	1.16	0.6382
		24	1.31	0.9441
		25	1.33	1.074
Xcacel	VII	26	1.19	-0.2914
		27	1.43	-0.0389
		28	0.54	
Pto. Aventura	IX	29	0.7	0.3408
		30	0.28	0.0115
		31	0.28	-0.3325

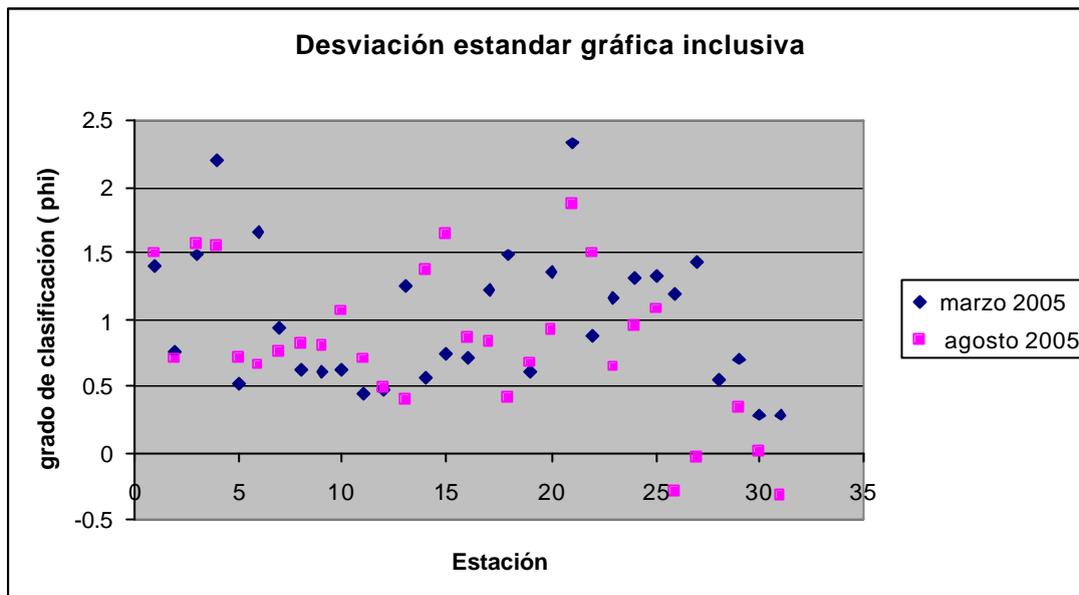


Fig. 77. Desviación estándar gráfica inclusiva.

Asimetría gráfica inclusiva

Es importante mencionar que en marzo, los sedimentos de la zona lagunar variaron de sedimentos asimétricos hacia gruesos hasta asimétricos hacia finos (-0.5 a 0.5); sin embargo, para agosto, los sedimentos fueron simétricos hacia finos y muy simétricos hacia finos (Tabla 63 y Fig. 78).

Tabla 63. Asimetría gráfica inclusiva.

Sitio	Transecto	Estación	Mar-05	agosto 2005
Punta Maroma	I	1	-0.02	1.5071
		2	0.06	0.6958
Tres ríos	II	3	0.09	1.5712
		4	0.008	1.5617
		5	-0.33	0.7142
Mayacoba"-Lafitte	III	6	0.13	0.659
		7	-0.46	0.7627
		8	-0.13	0.8205
Punta esmeralda	IV	9	0.21	0.7982
		10	-0.35	1.058
		11	0.55	0.704
Muelle de Ultramar	V	12	-0.34	0.4784
		13	-0.7	0.4026
Muelle Fiscal	VI			1.074
		14	0.24	1.375
		15	0	1.6443
Calica punta venado	X	16	-0.25	0.86
		17	0.05	0.839
		18	-0.04	0.418

Continuación tabla 63

		19	0.04	0.6695
Akumal	VIII	20	0.14	0.9166
		21	0.19	1.8673
		22	0.28	1.493
Xcaret	XI	23	0.16	0.6382
		24	0.08	0.9441
		25	0.45	1.074
Xcacel	VII	26	0.88	0.3461
		27	0.45	1.677
Pto. Aventura	IX	28	0	
		29	0.04	1.2826
		30	1.14	0.3925
		31	-0.05	0.5317

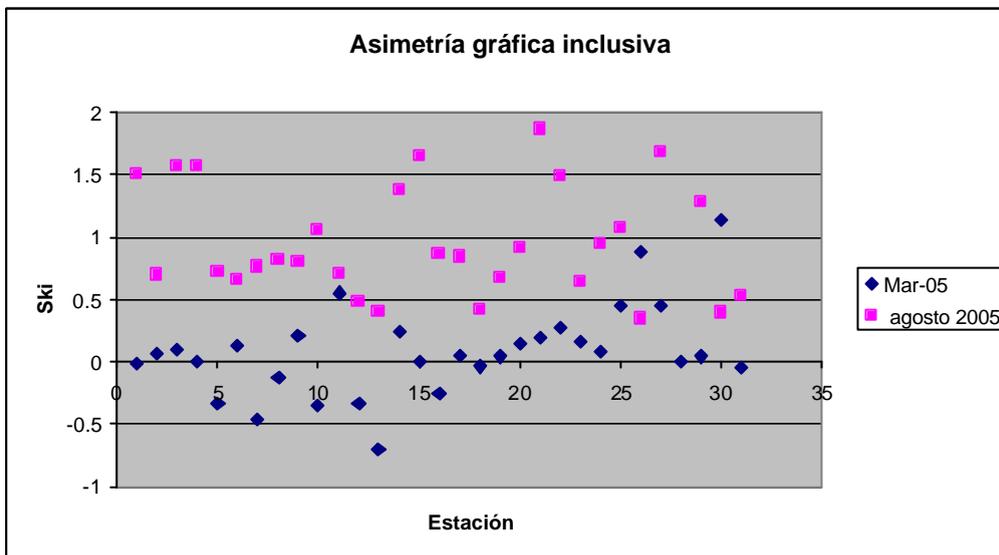


Fig. 78. Asimetría gráfica inclusiva

Curtosis

En lo que respecta a este parámetro, no existió un patrón definido y no se registró una diferencia entre muestreos (Fig. 79 y Tabla 64).

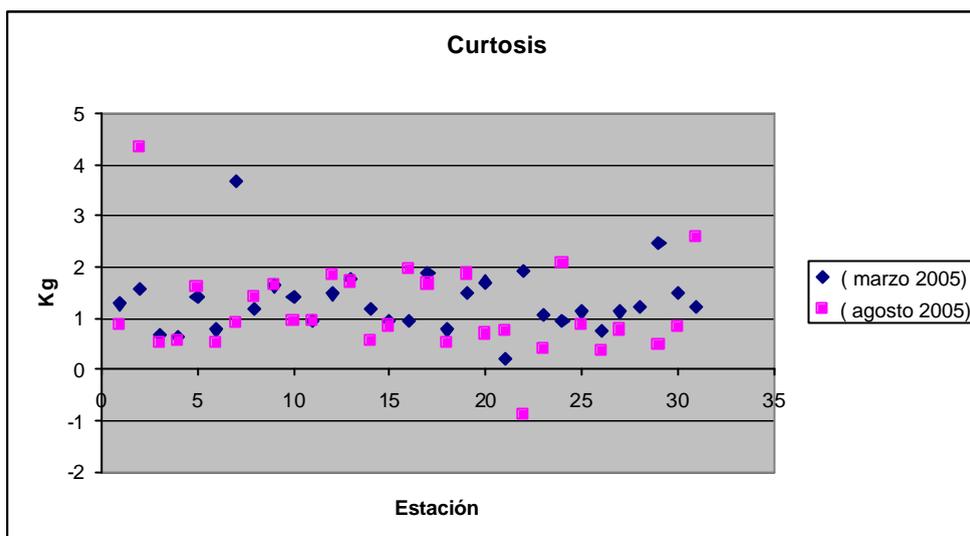


Fig. 79. Curtosis.

Tabla 64. Curtosis.

Sitio	Transecto	Estación	(marzo 2005)	(agosto 2005)
Punta Maroma	I	1	1.28	0.8544
		2	1.58	4.3412
Tres ríos	II	3	0.67	0.5091
		4	0.63	0.5721
Mayacoba"-Lafitte	III	5	1.43	1.6108
		6	0.77	0.5122
		7	3.68	0.9016
Punta esmeralda	IV	8	1.17	1.4207
		9	1.63	1.6393
Muelle de Ultramar	V	10	1.4	0.9457
		11	0.93	0.9581
		12	1.47	1.851
Muelle Fiscal	VI	13	1.77	1.6994
		14	1.17	1.022
Calica punta venado	X	15	0.96	0.5661
		16	0.93	0.843
		17	1.88	1.9483
Akumal	VIII	18	1.88	1.6734
		19	0.78	0.5327
		20	1.5	1.867
Xcaret	XI	21	1.7	0.6935
		22	0.21	0.7533
		23	1.94	-0.8911
Xcacel	VII	24	1.07	0.4002
		25	0.94	2.065
		26	1.12	0.8635
			0.76	0.3533

Continuación tabla 64

		27	1.13	0.7772
		28	1.22	
Pto. Aventura	IX	29	2.45	0.4683
		30	1.5	0.8196
		31	1.22	2.5956

Composición de los sedimentos

La composición de los sedimentos de playa como de la zona lagunar estuvieron conformados por sedimentos calcáreos compuestos por restos de coral, de moluscos, de algas calcáreas, que de acuerdo a la textura, solo cambiaron su tamaño. Estos sedimentos por su composición se clasifican como biocalcarenitas y para los diferentes muestreos no cambiaron su composición.

Análisis de las líneas de costa.

A partir del análisis de las líneas de costa (mapa anexo), se puede hacer una interpretación general y con cierto grado de incertidumbre debido a las fuentes diferentes (fotografías aéreas, 1:75 000 del año 1990, cartografía INEGI del 2000 y imagen Quikbird de alta resolución, 2005) con escalas diferentes, distinta resolución, a pesar de ello se pudo observar una morfología de la costa relativamente constante desde punta Maroma hasta Puerto Aventuras, a partir de este punto la morfología fue muy irregular hacia el sur sobre todo si se compara la línea de costa de INEGI y la imagen Quickbird. Lo que si se puede asegurar que desde Puerto Aventuras a Tulum se tuvieron los mayores cambios de la línea de costa.

Perfiles de playa

En este estudio se recopiló 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 de 2004, marzo de 2005 y agosto de 2005). La comparación de los perfiles generó información cuantitativa de los cambios en los niveles de arena resultantes de los procesos de erosión y acreción.

De acuerdo al estado erosivo de las playas y el nivel de ocupación urbana, las playas del Municipio Solidaridad pueden dividirse en 5 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, destacó 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.

Las características texturales de las diferentes playas del municipio, mostraron que en las playas al norte del municipio (Punta Maroma, Tres Ríos, Capitán Lafitte), independientemente que estén compuestas por arenas medias y/o finas, de manera estacional los cambios fueron relativamente homogéneos, donde la Isla Cozumel juega un papel importante en la protección de la línea de costa continental, ya que no hubo cambios significativos a nivel estacional y si existen cambios éstos se observaron en la simetría o clasificación de los sedimentos.

Sedimentos

En lo que corresponde a Playa del Carmen (Playas Punta Esmeralda, Muelle Ultramarino, Calle 14 y Fiscal), los sedimentos fueron arenas medias, con cambios por variaciones climáticas sobre todo en la época de huracanes (muestreo de agosto) donde los sedimentos cambian a arenas gruesas o finas, con una mejor simetría y clasificación hacia los sedimentos finos.

Punta Venado, fue una playa cambiante con respecto a las variaciones estacionales, sobre todo presentó diferentes tamaños de sedimentos y en su parte sur los sedimentos fueron más gruesos después del huracán Emily.

Las playas hacia el sur del municipio, excepto Tulum, como Paamul, Akumal, X-Cacel, mostraron amplia variación en tamaños de sedimentos, desde gruesos a finos, la distribución de sus parámetros granulométricos fueron muy heterogéneos, donde se notó un efecto más directo de los factores marinos como oleaje, corrientes sobre todo en época de huracanes (muestreo de agosto).

Tulum, fue una playa compuesta de arenas finas, aunque en el muestreo de noviembre fueron materiales más gruesos, mal clasificados que evidentemente reflejan los cambios estacionales.

En la parte lagunar se registró una mayor clasificación de los sedimentos y que pueden ser los más afectados por los huracanes.

Conclusiones

En general el Municipio Solidaridad, Quintana Roo, sus playas, principal recurso natural al que se asocia este desarrollo, sufren de los efectos de la erosión costera, considerado un fenómeno generalizado en la región del Caribe.

Los principales indicios de erosión que se aprecian son los escarpes que llegan alcanzar la duna litoral, marcando el continuo retroceso de la línea de costa y el afloramiento de superficies rocosas en la orilla y en la pendiente submarina.

Con base en la dinámica litoral de Playa del Carmen, en el Municipio de Solidaridad, puede señalarse como una zona litoral protegida por la Isla Cozumel, que mantienen mejor la línea de costa aunque localmente existan cambios en la textura de las playas, como lo es Punta Venado, Punta Esmeralda y la propia Playa del Carmen. Una parte sur desde Puerto Aventuras hacia Tulum, con tamaño de sedimentos muy variados, morfología de la costa muy cambiante como en Paamul, Akumal, X-Cacel. Tulum, playa compuesta de arenas finas, amplias playas cuyas condiciones hidrodinámicas fueron diferentes a las de otras playas.

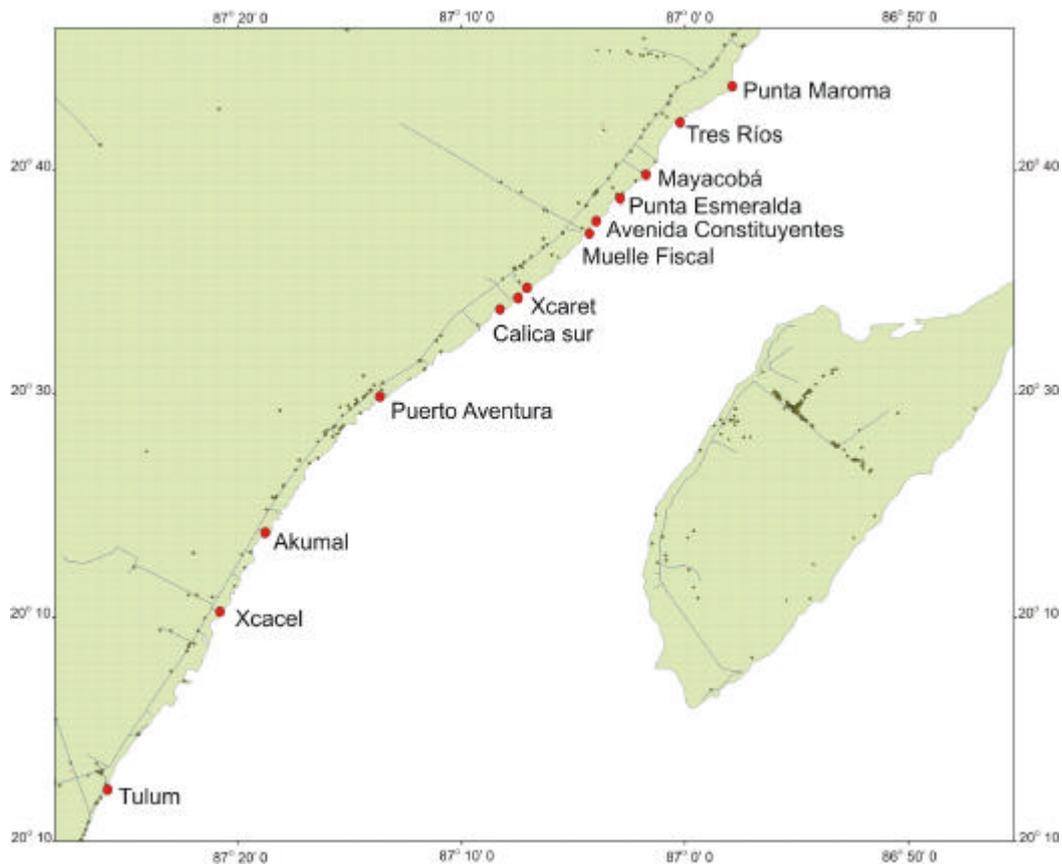
La costa de la parte sur del municipio fue la que presentó mayores cambios en la morfología notándose esto en el plano de líneas de costa, donde cambia la forma principalmente.

FISICOQUIMICA O CALIDAD DEL AGUA

Metodología

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, escogidas con base en las principales descargas urbanas, actividades turísticas y escurrimientos:

Punta Maroma
Tres Ríos
Mayacobá
Punta Esmeralda
Avenida Constituyentes
Muelle Fiscal
Xcaret
Calica
Puerto Aventuras
Akumal
Xcacel
Tulum



Estaciones de muestreo para físico-química.

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 o calidad del agua tanto en las playas como en los cenotes. Los parámetros contemplados fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH, visibilidad al disco de Secchi, turbiedad (todos determinados *in situ* empleando equipos como el Hydrolab), sólidos suspendidos totales, nutrientes nitrogenados, fosforados, demanda química y bioquímica de oxígeno según la tecnología HACH, clorofila "a", bacterias coliformes totales, fecales y enterococos (todos determinados cuatro horas de colectada la muestra), metales pesados, que cumplen con la normatividad internacional en este tipo de trabajos; los análisis bacteriológicos con el equipo de campo Enterolert y Colilert. 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 y fitoplanctónicos, siendo estos últimos fijados con lugol e identificados los organismos en el Instituto de Biología. Los análisis citados fueron realizados en tres época distintas: huracanes, sequía y lluvias.

Resultados

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 (Figs. 80, 81 y 82).

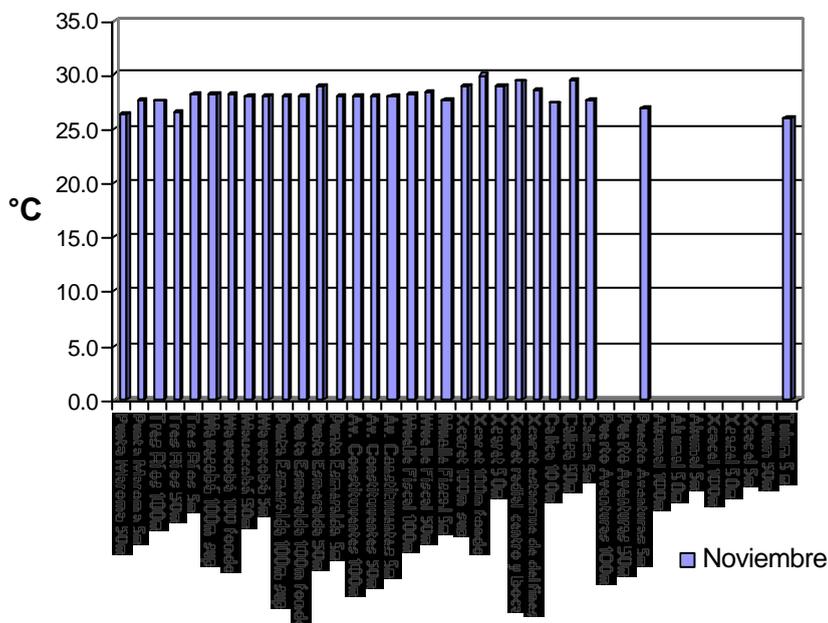


Fig. 80. Temperatura por localidad, durante el mes de noviembre del 2004.

La temperatura del agua en los cenotes estudiados osciló en un intervalo semejante (24.5 a 26.9 °C) a excepción de Sacbe en noviembre con la más baja de 20.4°C que es consecuencia del grado de cobertura (techo y vegetación) (Fig. 83).

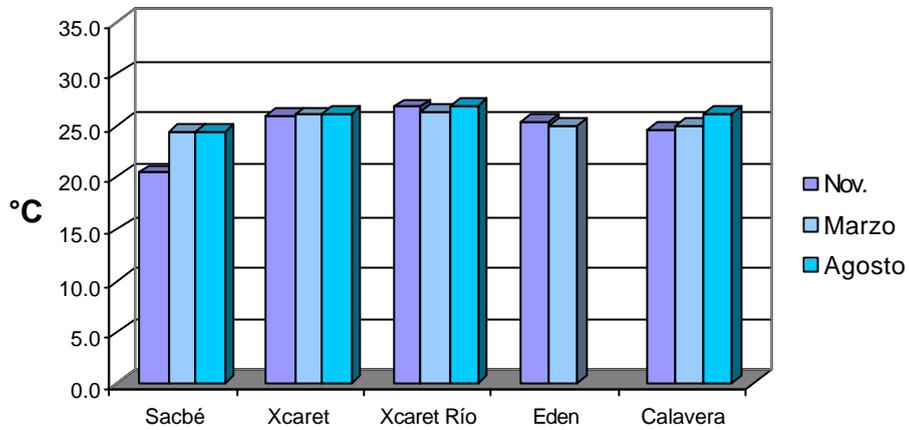


Fig. 83. Temperatura por cenotes, durante los tres meses de muestreos.

Conductividad

Este parámetro en la costa señaló el intervalo más bajo en agosto 2005 (25.37 a 52.48 mS/cm) después del huracán Emily que aportó más agua dulce (Fig. 84); en noviembre entre 50.20 y 57.0 mS/cm y en marzo de 43.24 a 53.0 mS/cm (Figs 85 y 86).

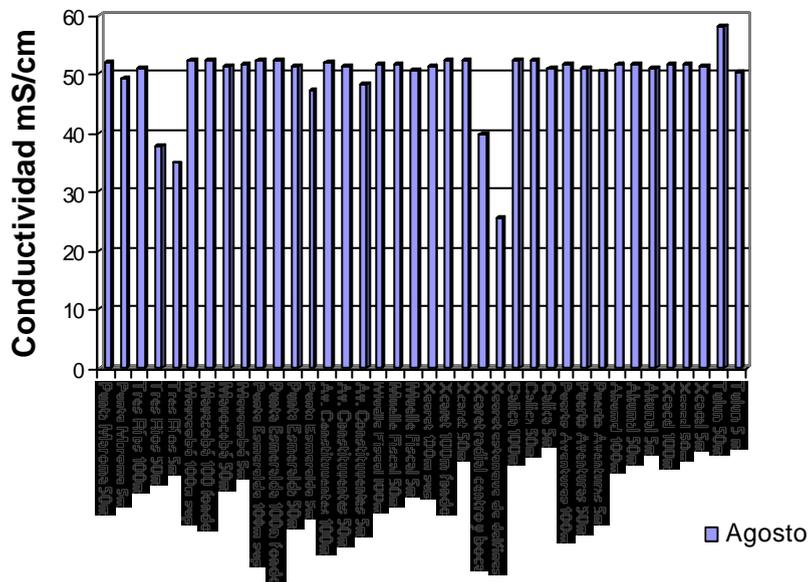


Fig. 84. Conductividad por localidad, en agosto del 2005.

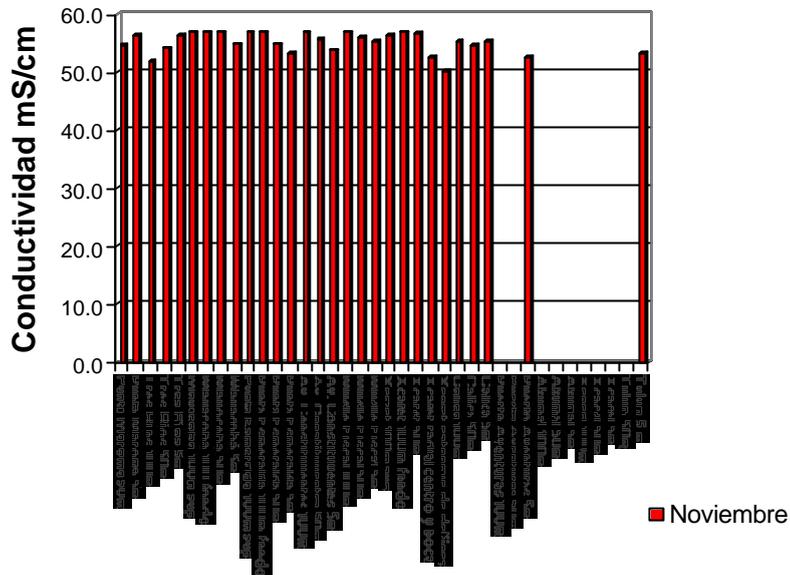


Fig. 85. Conductividad por localidad, en noviembre del 2004.

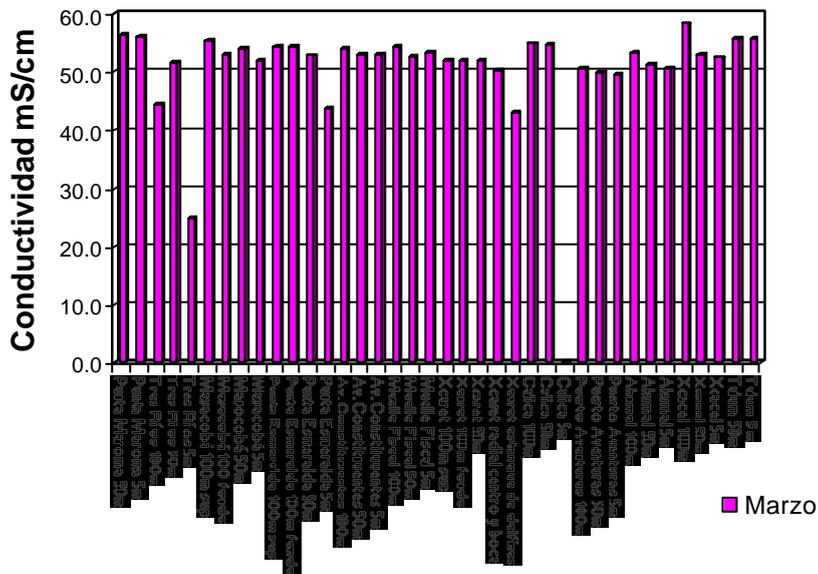


Fig. 86. Conductividad por localidad, en marzo del 2005.

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. 87).

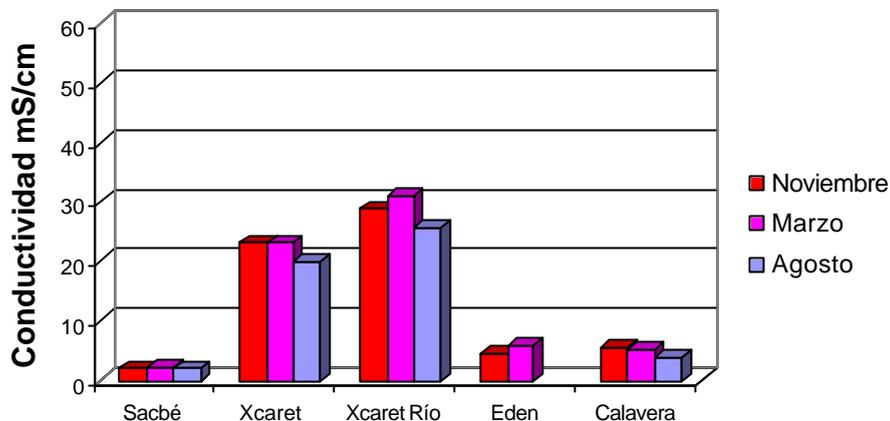


Fig. 87. Conductividad de los cenotes, durante los tres meses de muestreo.

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 UPS, 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 (Fig. 88). En marzo del 2005 el intervalo de salinidad fue entre 37.57 y 15.08 UPS, este último registrado a 5 m de la línea de costa de la estación “Tres Ríos”, denotando influencia de aguas dulces (Fig. 89). En agosto el intervalo fue de 34.59 y 19.0 UPS, también frente a “Tres Ríos” (Fig. 90).

En cuanto a los cenotes la salinidad osciló en los tres meses entre 1.2 y 3.2 UPS, con excepción de Xcaret con 14.09 a 18.75 UPS, resultado de su comunicación con el mar a través del canal que se construyó y se denomina Xcaret Río (Fig. 91).

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 (Figs 92, 93 y 94).

Los cenotes presentaron en noviembre de 2004 y marzo de 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. 95).

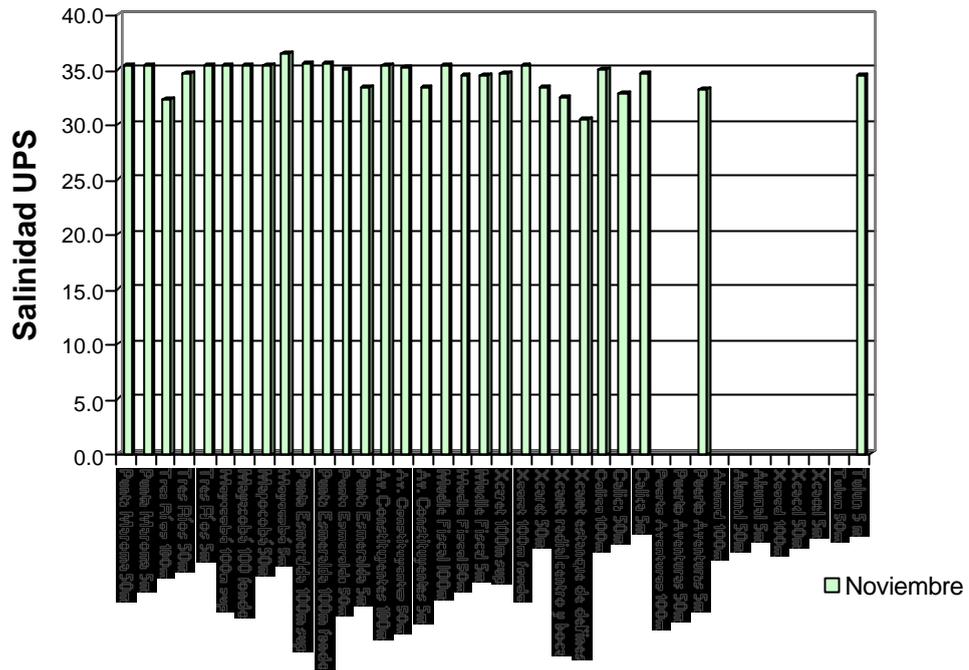


Fig. 88. Salinidad por localidad, durante el mes de noviembre del 2004.

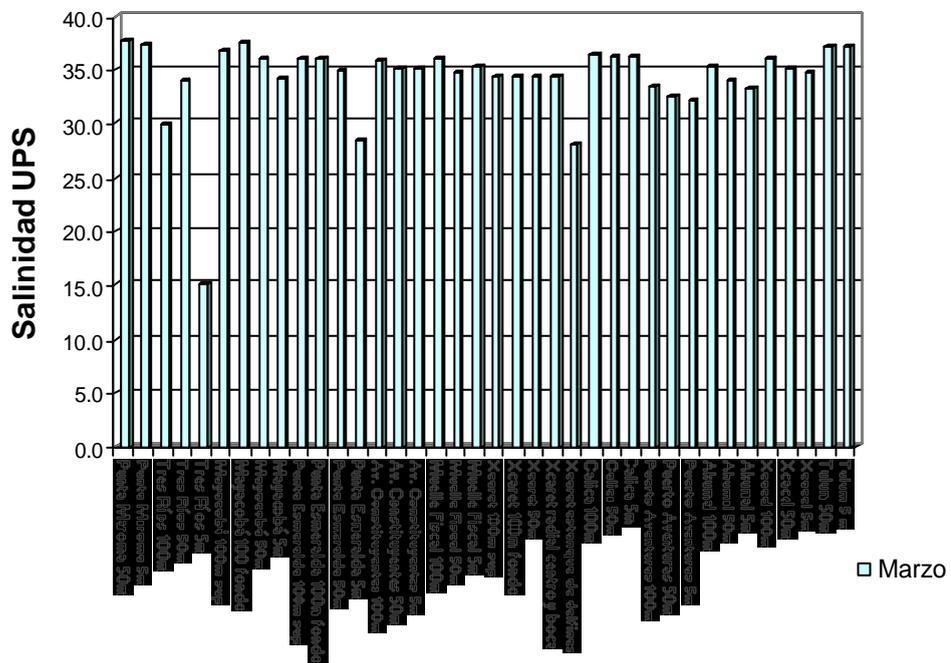


Fig. 89. Salinidad por localidad, durante el mes de marzo del 2005.

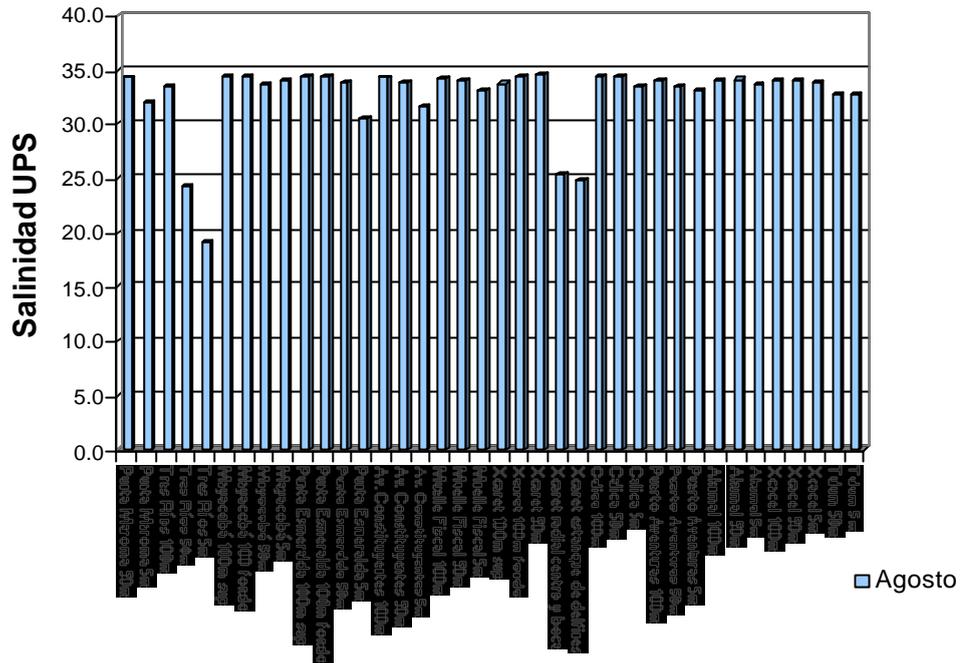


Fig. 90. Salinidad por localidad, durante el mes de agosto del 2005.

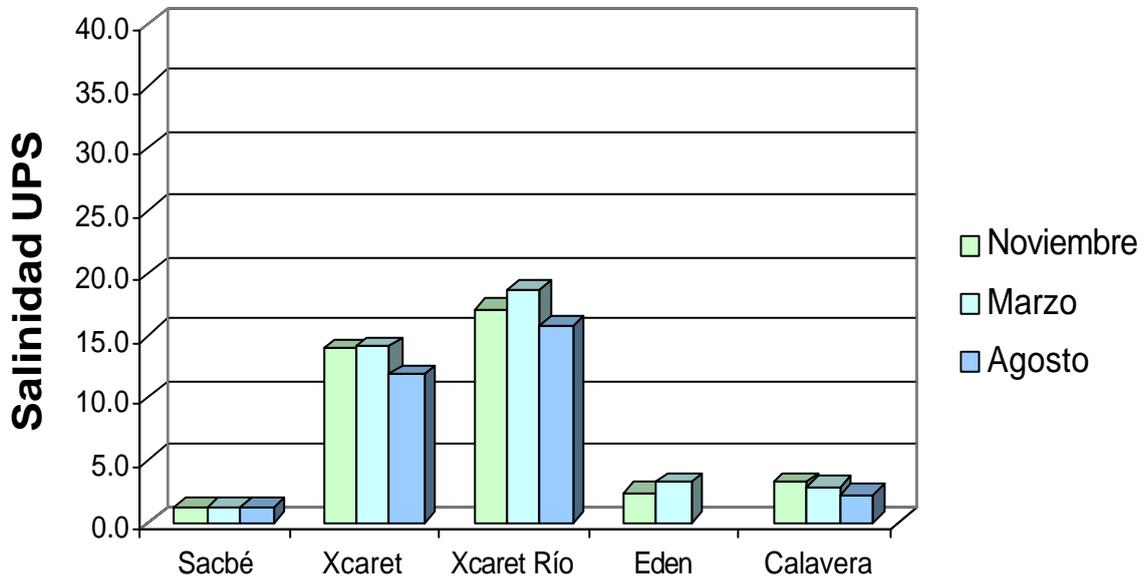


Fig. 91. Salinidad por cenote, durante los tres meses de muestreo.

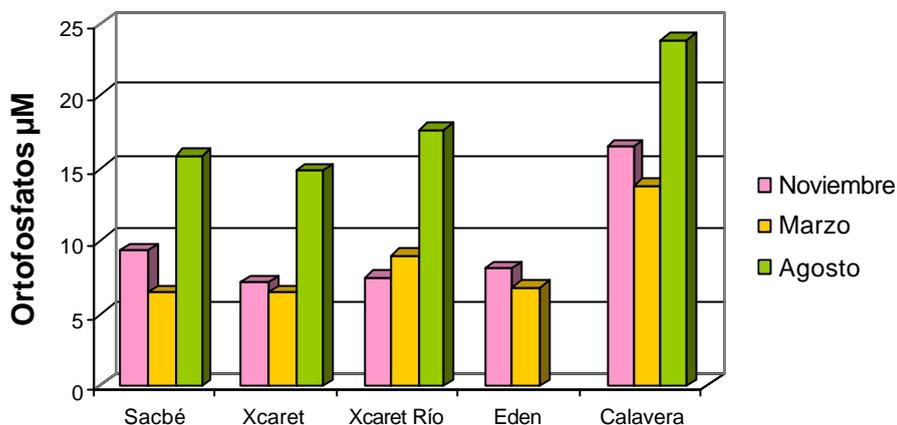


Fig. 97. Ortofosfatos por cenote, en los tres meses de muestreo.

En marzo de 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 (Fig. 98).

En marzo los cenotes estudiados mantuvieron contenidos altos de ortofosfatos (6.77 a 13.87 μM) y disminuyeron los niveles de fósforo total hasta en diez tantos (11.29 a 19.35 μM , este último del Eden; comparados con el de noviembre (Fig. 97).

En agosto se registraron los contenidos más bajos de ortofosfatos desde 0.0 (o indetectable) que puede ser justificado por efectos de dilución por aportes 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 (Fig. 99).

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 (Fig. 97).

Nitrógeno (amonio)

Generalmente los niveles de amonio en el medio marino son bajos e incluso indetectables ($0.0 \mu\text{M}$), sin embargo en noviembre todas las estaciones mostraron contenidos que definen influencia costera oscilando entre 4.29 a $9.29 \mu\text{M}$ (frente Avenida Constituyentes) (Fig. 100). En marzo de 2005, aunque hubo registros de $0.0 \mu\text{M}$ (o indetectables) también se cuantificaron concentraciones entre 0.71 a $19.29 \mu\text{M}$ en Punta Maroma, $11.43 \mu\text{M}$ en Mayacoba, $70.43 \mu\text{M}$ en Avenida Constituyentes, $15.0 \mu\text{M}$ en Muelle Fiscal, $11.43 \mu\text{M}$ en Xcaret estanque de delfines, $15.00 \mu\text{M}$ Puerto Aventuras y $15.0 \mu\text{M}$ Akumal (Fig. 101). En agosto de 2005 no se registró el amonio en ninguna estación y probablemente haya sido resultado de la gran influencia (dilución) del huracán Emily (Fig. 102).

El contenido de amonio en los *œnotes* fue particularmente mayor en noviembre (de 3.57 a $7.86 \mu\text{M}$ este último en Xcart), ya que en marzo y agosto de 2005 fueron de indetectable a $4.29 \mu\text{M}$ (este último del Eden) (Fig. 103).

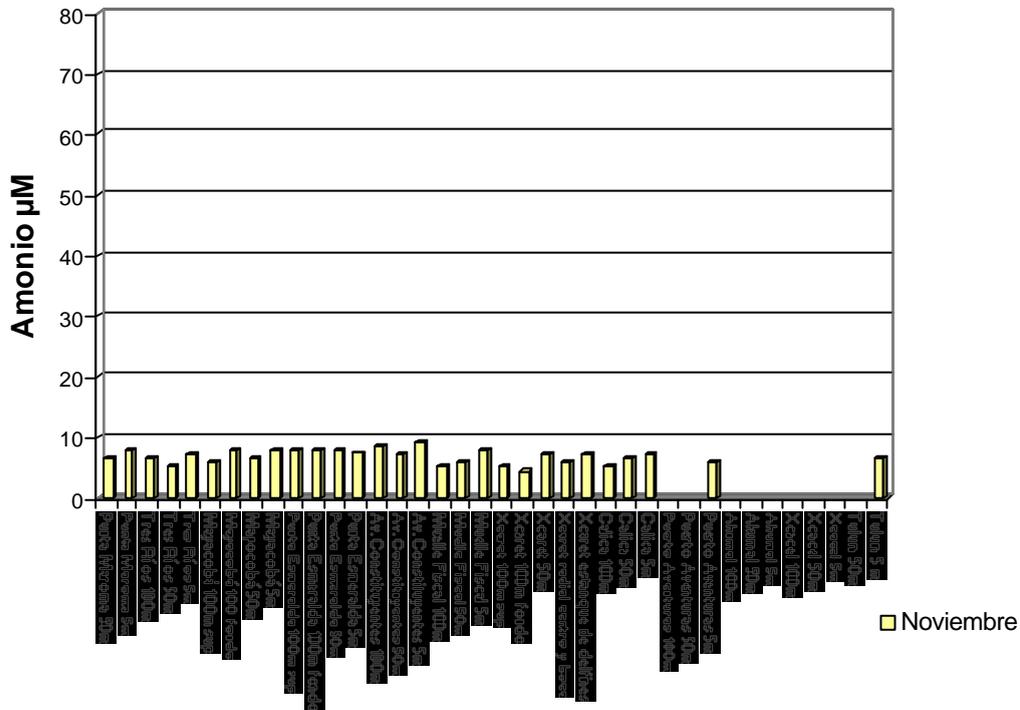


Fig. 100. Amonio por localidad, noviembre del 2004.

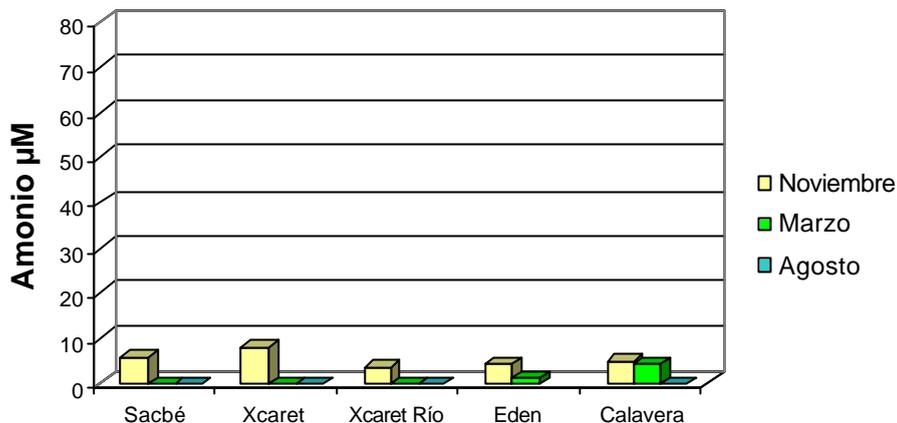
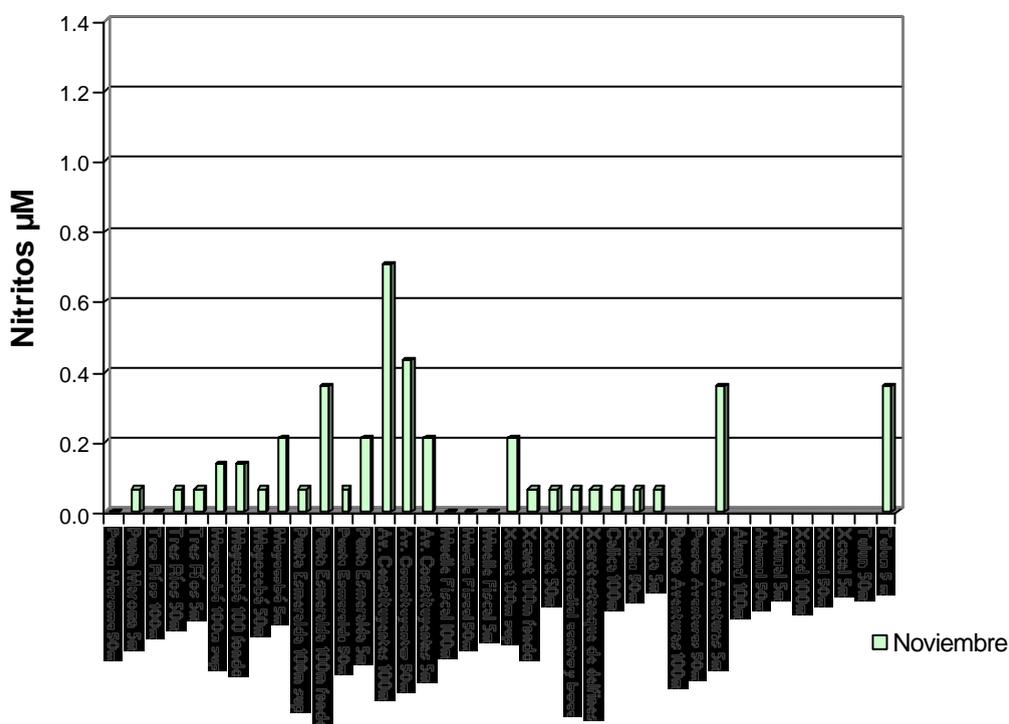


Fig. 103. Amonio por cenote, durante los tres meses de estudio.

Nitritos

Este nutriente en los tres meses de muestreo tanto en el medio marino como en los cenotes fue 0.0 µM a indetectable) y en escasas estaciones >1.0 µM, condición normal en el medio marino y continental (Figs. 104, 105, 106 y 107).



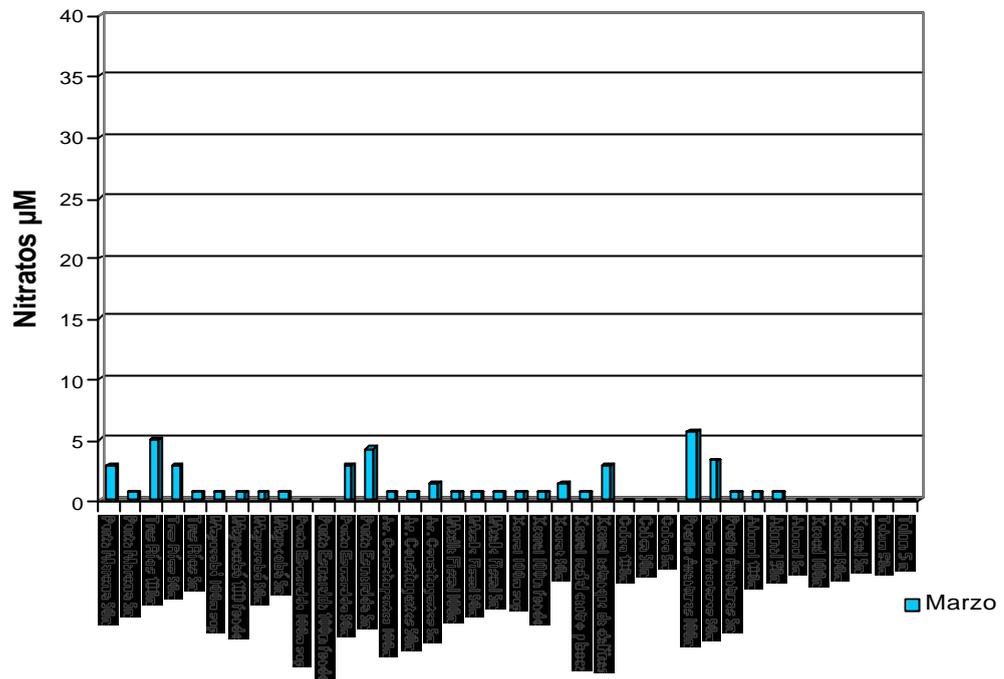


Fig. 109. Nitratos por localidad, marzo del 2005.

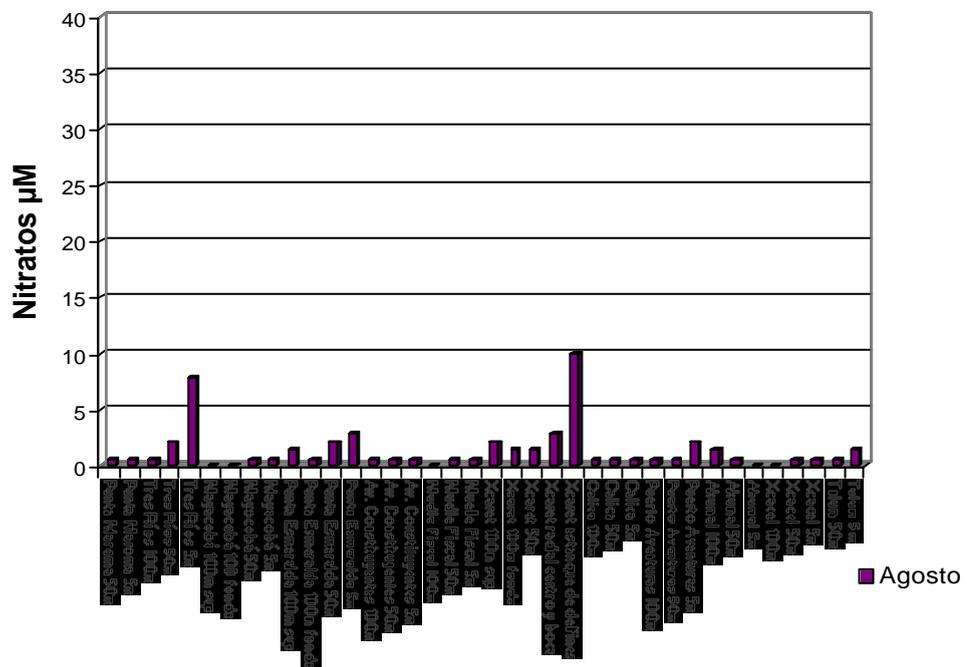


Fig. 110. Nitratos por localidad, agosto del 2005.

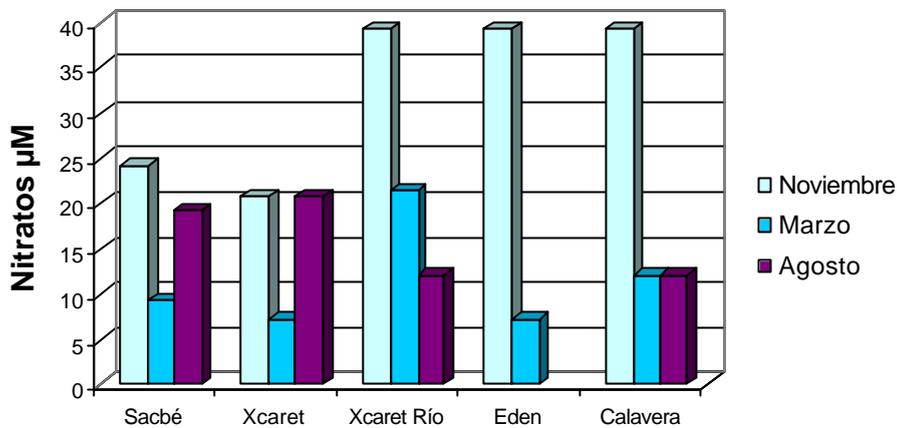


Fig. 111. Nitratos por cenote, durante los tres meses de estudio.

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 de 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 (Figs. 112 y 113).

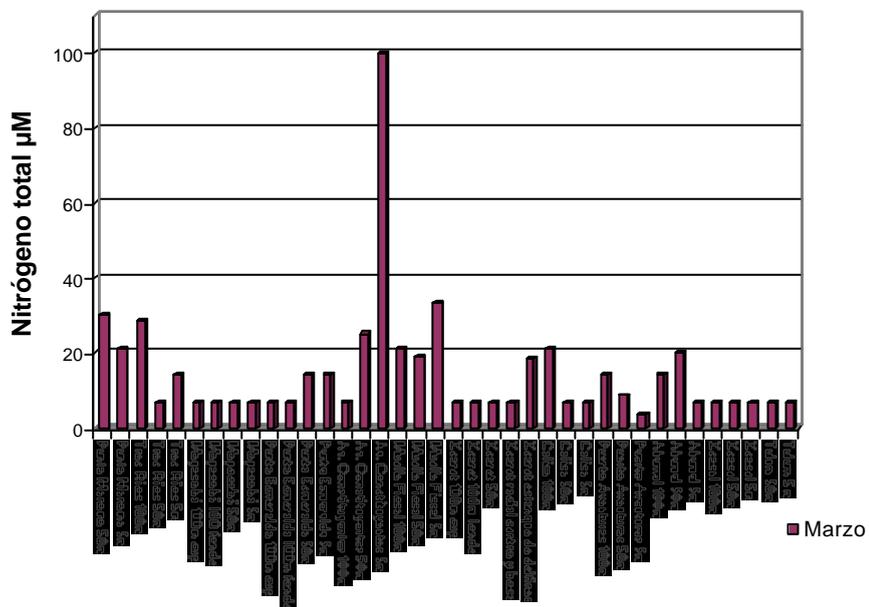


Fig. 112. Nitrógeno total por localidad, marzo del 2005.

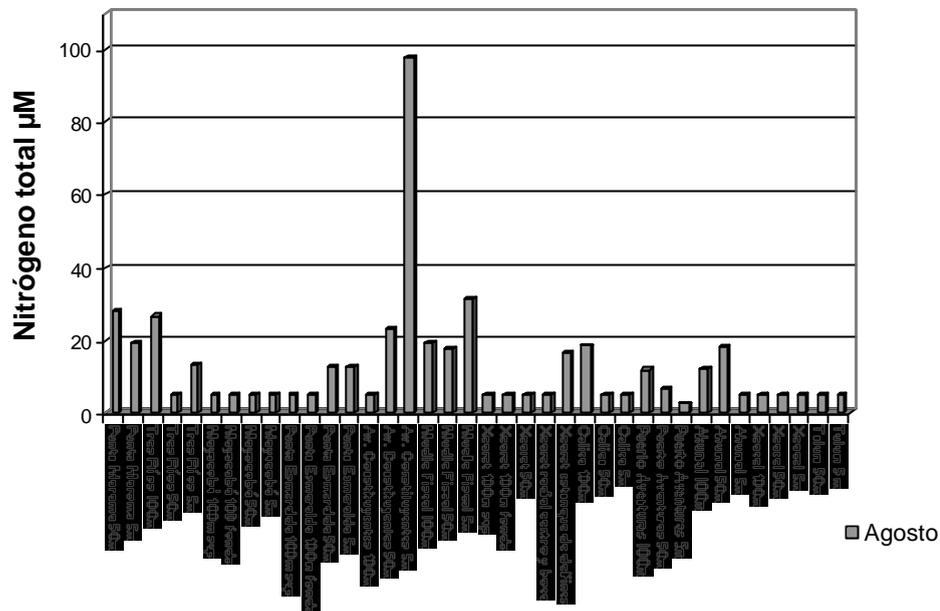


Fig. 113. Nitrogeno total por localidad, agosto del 2005.

En los cenotes los contenidos más altos fueron en noviembre de 2004 destacando El Eden (55.71 µM) Xcaret Río (53.57 µM). En marzo y agosto de 2005 aunque bajaron las concentraciones los niveles más altos correspondieron también a Xcaret Río; este decremento 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. 114).

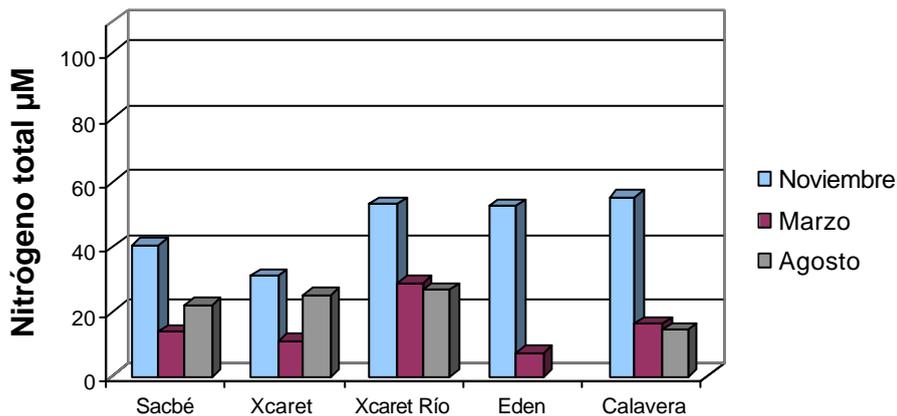


Fig. 114. Nitrogeno total por cenote, durante los tres meses de estudio.

Turbiedad y Sólidos suspendidos

En ambos parámetros los registros fueron ampliamente adecuados tanto en el ambiente marino como en los cenotes a excepciones muy puntuales que pudieron ser debidas a la resuspensión generada al introducir el equipo (Figs.115,116,117,118,119 y 120).

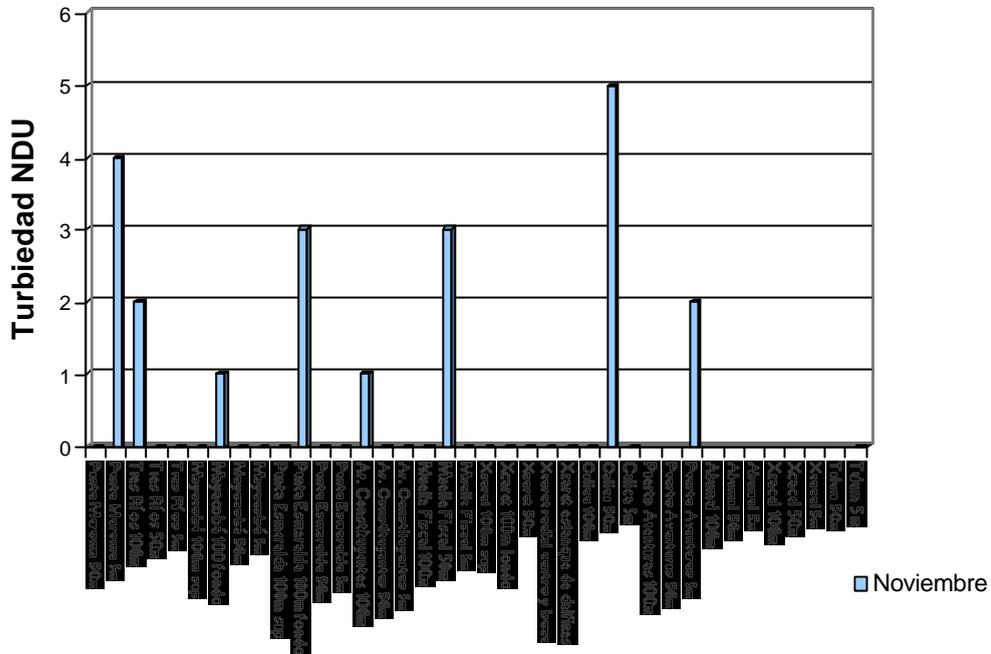


Fig. 115. Turbiedad por localidad, noviembre del 2004.

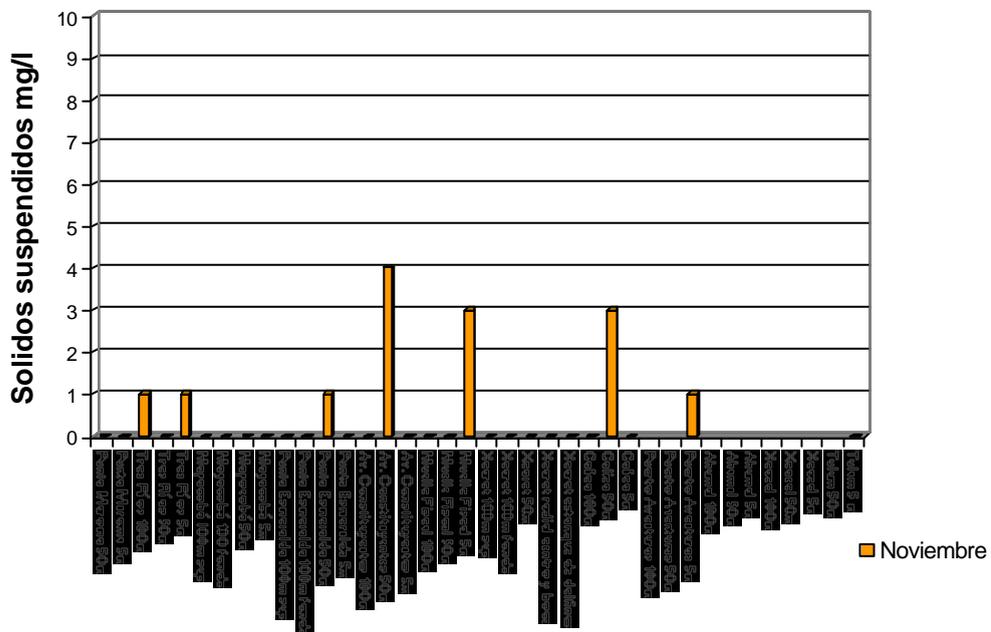


Fig. 116. Sólidos suspendidos por localidad, noviembre del 2004.

Clorofila "a"

Una de las características principales del Caribe es su escasa productividad fitoplanctónica, razón por la cual las cuantificaciones en los tres muestreos dieron como resultado no detectables (ND). La información disponible de otros autores coinciden que los niveles de este pigmento es $<1.0 \mu\text{g/l}$.

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 de 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. 121, 122 y 123). 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 (Fig. 124). Situación semejante en el cenote Sacbe con 386 NMP/100 ml. Cabe hacer la aclaración que es un muestreo puntual en ese mes.

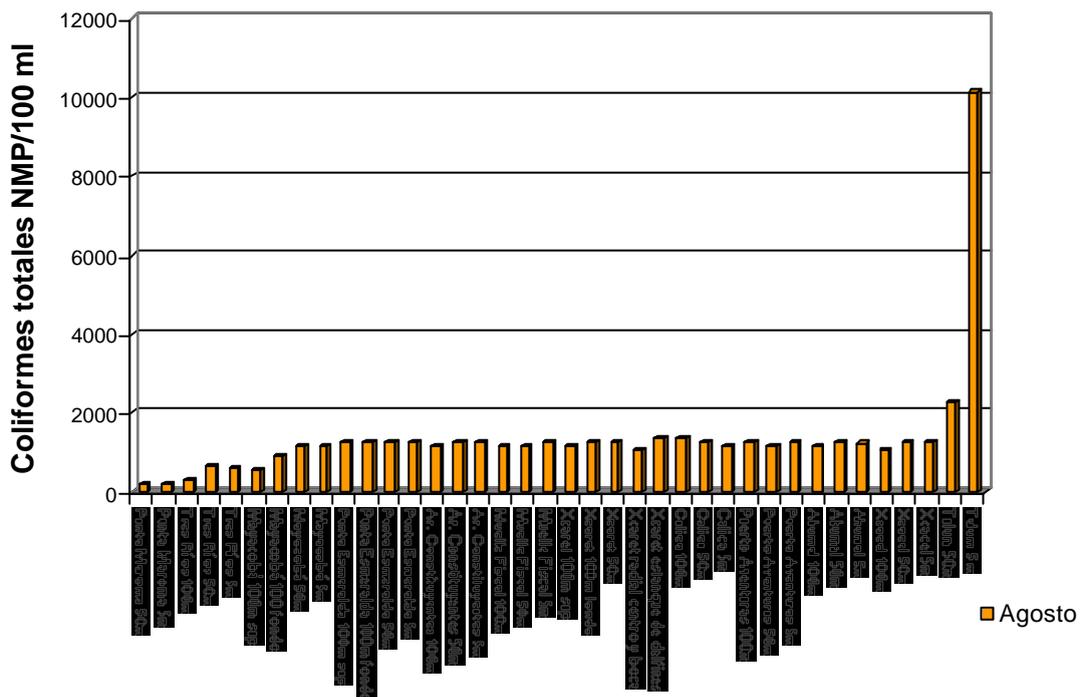


Fig. 121 Coliformes total por localidad, agosto del 2005.

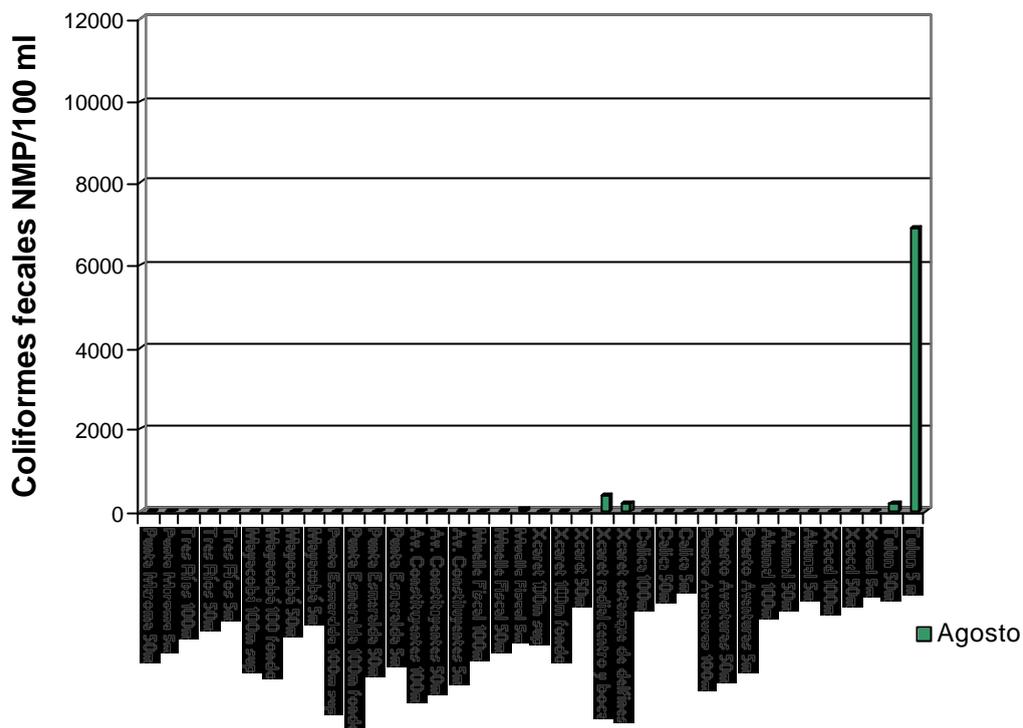


Fig. 122. Coniformes fecales por localidad, agosto del 2005.

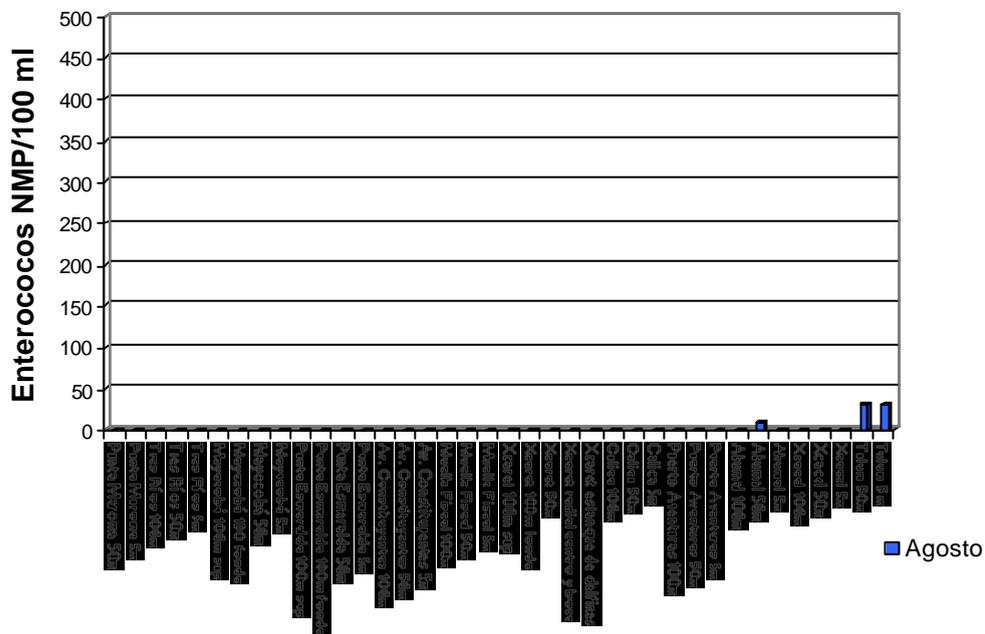


Fig. 123. Enterococos por localidad, agosto del 2005.

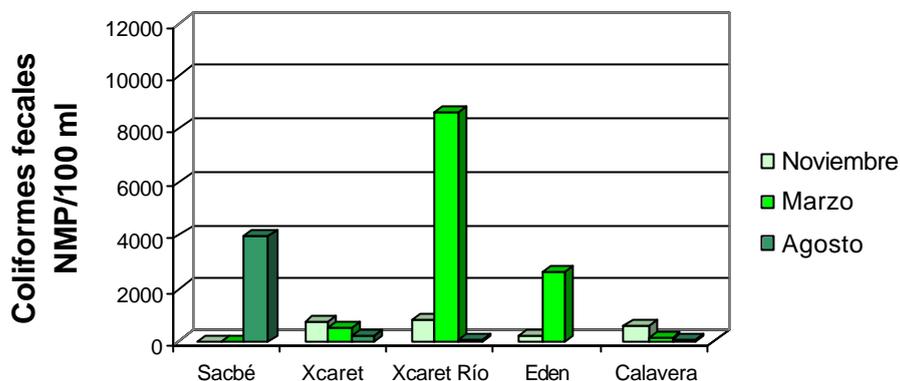


Fig. 124. Coliformes fecales por cenote, durante los tres meses de estudio.

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 (Fig. 125). En Tulum incluso se registró la presencia de enterococos (Fig. 126). 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 (Figs. 124 y 127). Nuevamente cabe aclarar que son muestreos puntuales en el tiempo y los criterios establecen una mayor frecuencia para determinar los máximos permisibles.

En el muestreo de marzo destacaron las estaciones Calica y Puerto Aventuras por rebasar los criterios ecológicos de coliformes fecales (Fig. 128). Dentro de los cenotes los más altos fueron de Xcaret y Xcaret Río así como el de Calavera, con enterococos incluso (Fig. 124). Es importante destacar que estos cenotes presentaron elevados niveles de coniformes totales >24196 NMP/100 ml. 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 caso de los cenotes las actividades turísticas (buceo y natación) pueden ser las responsables de su presencia.

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 sustancias refractarias que no son degradadas a través de la DBO. La DBO 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 (Figs. 131,132,133 y 134).

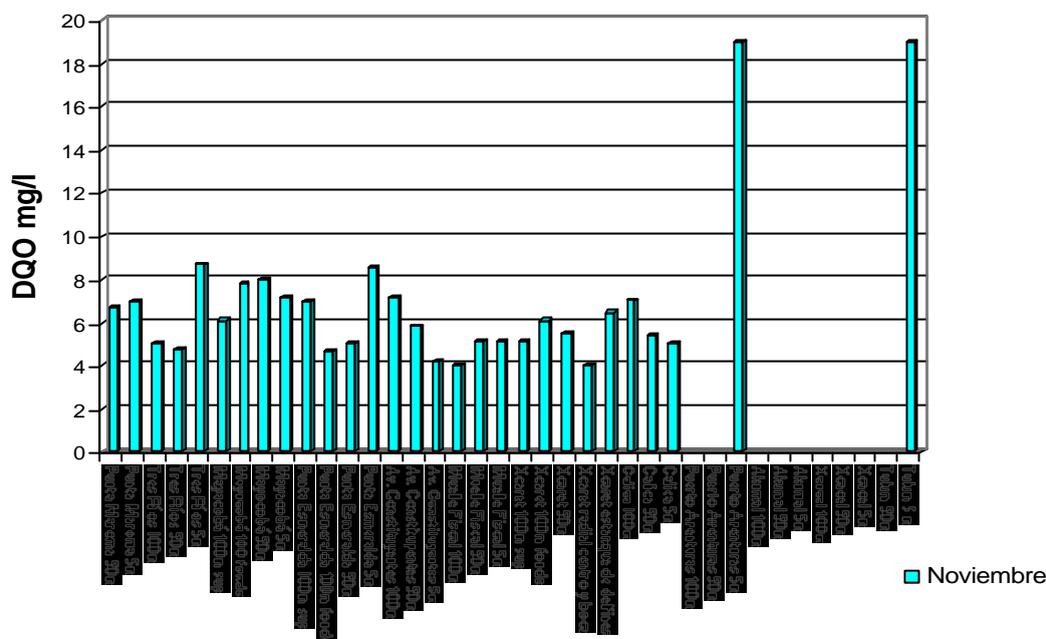


Fig. 129. Demanda química de oxígeno por localidad, noviembre del 2004.

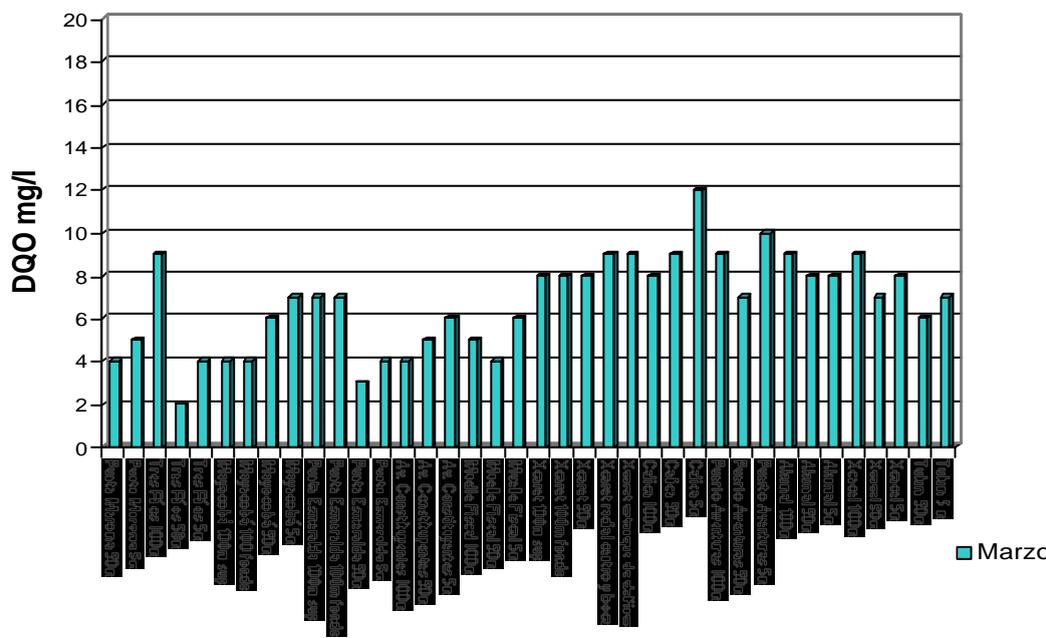


Fig. 130. Demanda química de oxígeno por localidad, marzo del 2005.

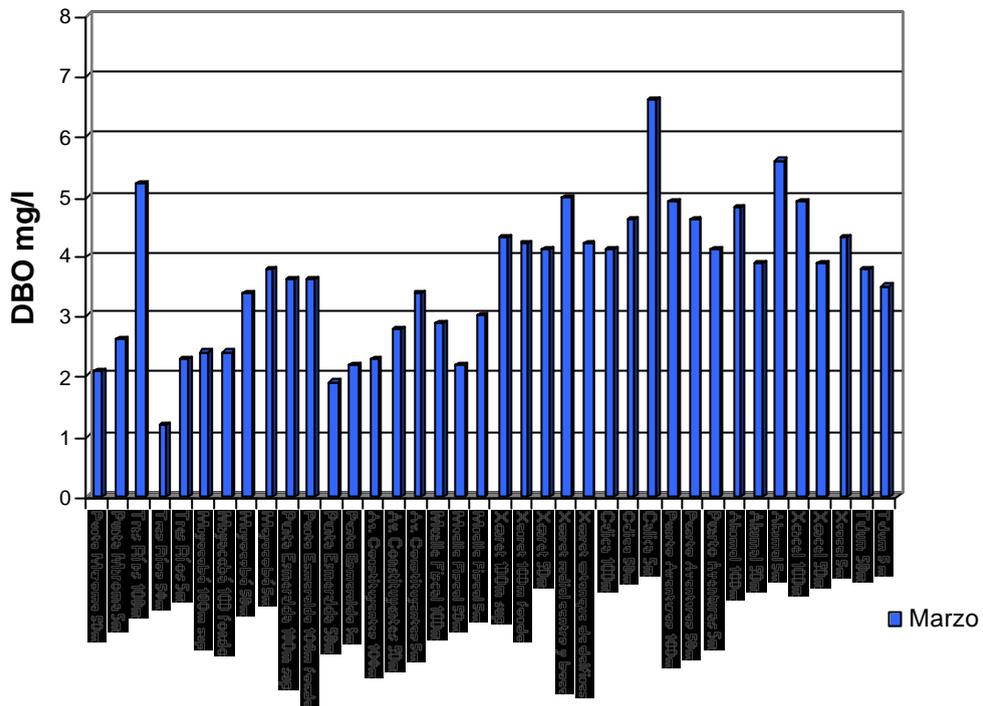


Fig. 133. Demanda biológica de oxígeno por localidad, marzo del 2005.

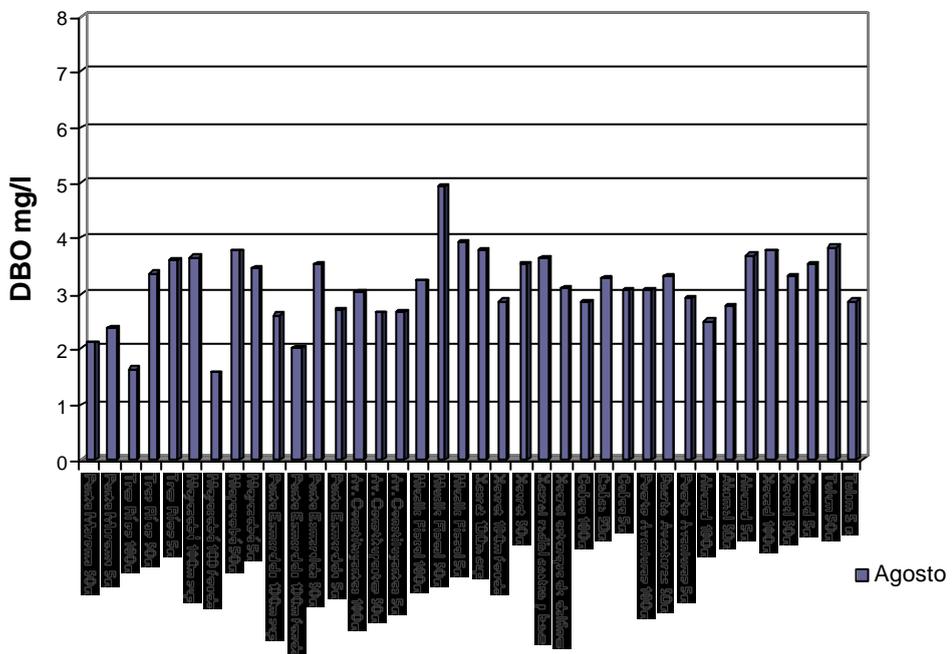


Fig. 134. Demanda biológica de oxígeno por localidad, agosto del 2005.

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 de 2005 Xcaret Río también fueron altos (31.0 y 33.0 mg/l respectivamente) (Fig. 135). La DBO en todos los cenotes estudiados y en los tres meses de muestreo fueron bajos incluso menores que los del ambiente marino (Fig. 136). 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 sustancias refractarias que las degradadas por microorganismos lo que significa que estas sustancias pueden ser introducidas por actividades antropogénicas y lo más cercano es el buceo y natación.

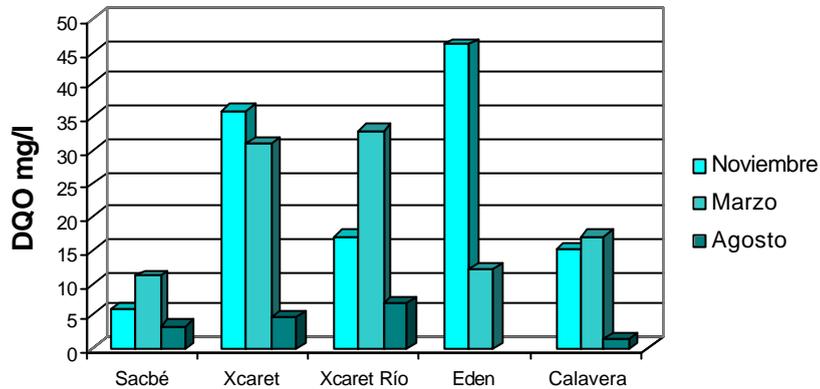


Fig. 135. Demanda química de oxígeno por cenote en los tres meses de muestreo.

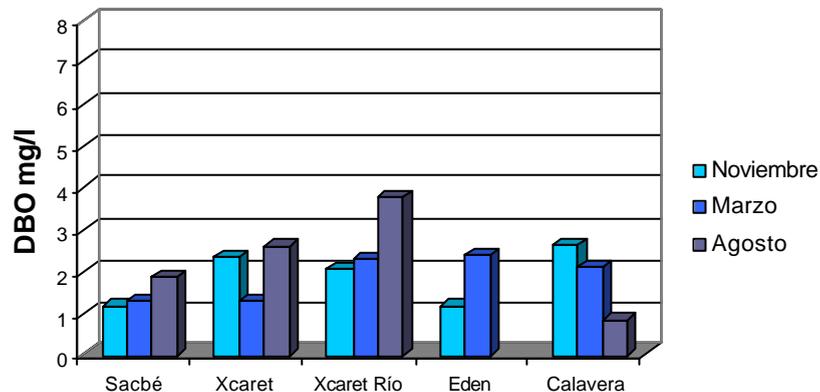


Fig. 136. Demanda biológica de oxígeno por cenote, en los tres meses de muestreo.

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 (Figs. 137,138 y 139); cobre especialmente después del huracán (Figs. 140, 141 y 142); el hierro en todos los muestreos y plomo que fue heterogéneo posiblemente atribuido a la gasolina de las lanchas y cruceros turísticos (Figs. 143,144,145,146,147 y 148). 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.

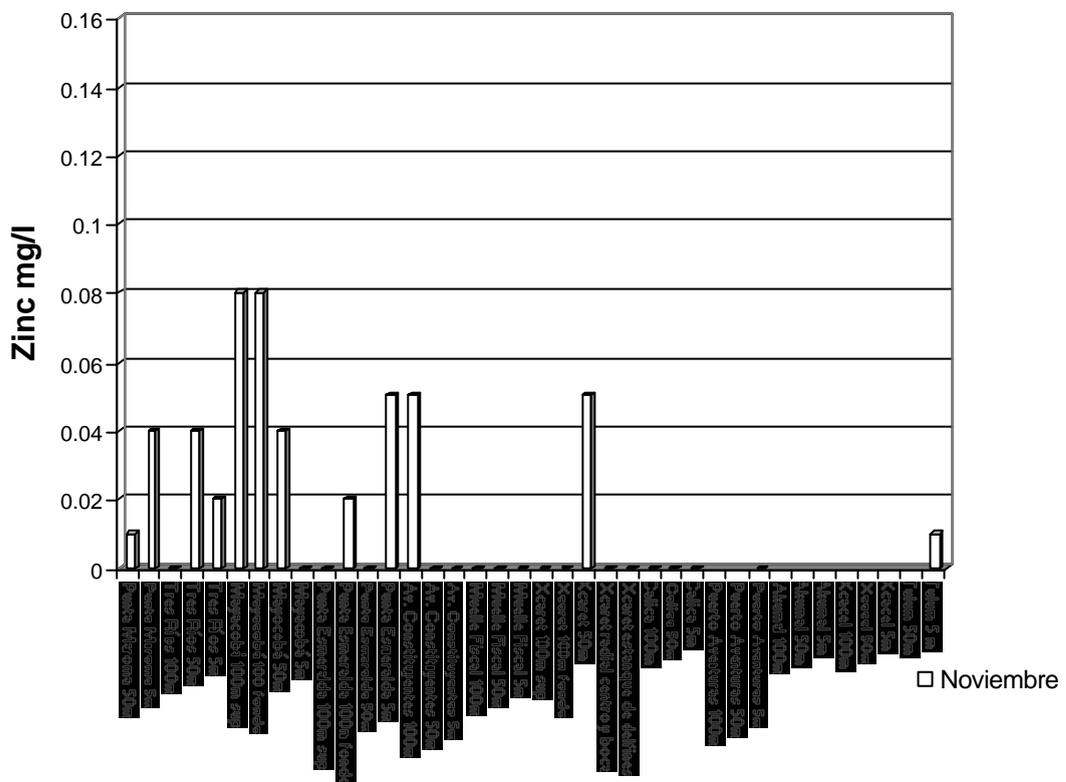


Fig. 137. Zinc por localidad, en noviembre del 2004.

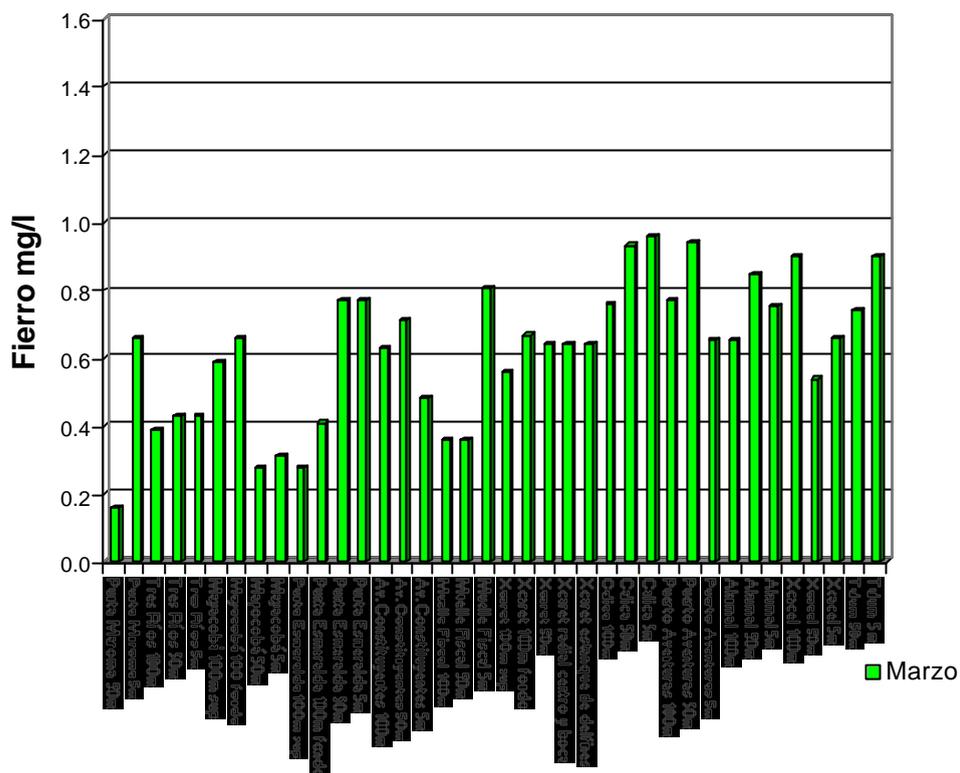


Fig. 144. Concentración de fierro por localidad, en marzo del 2005.

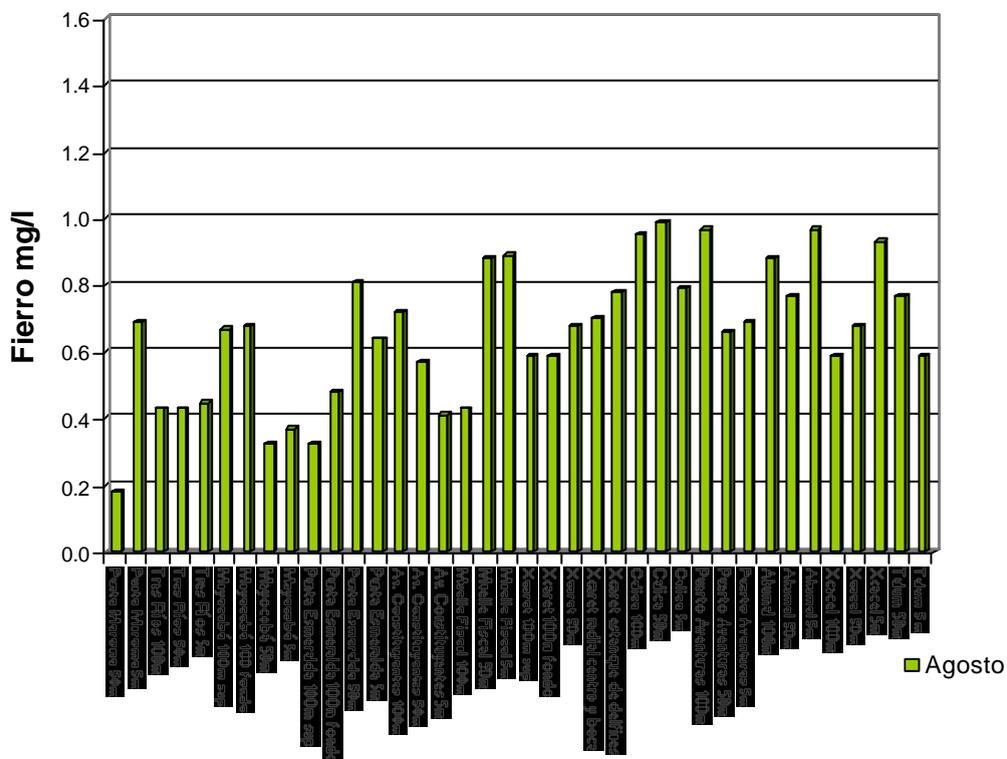


Fig. 145. Concentración de fierro por localidad, en agosto del 2005.

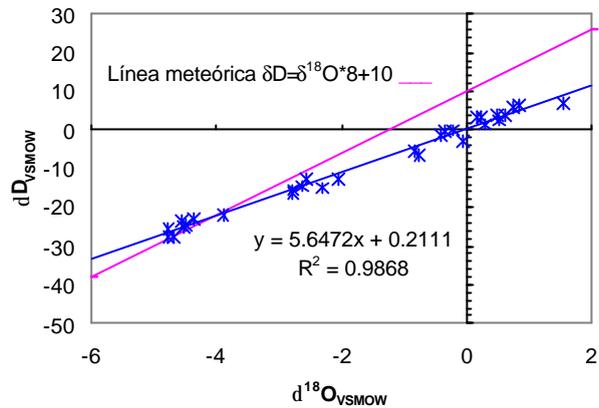


Fig. 151. Trazador isotópico O^{18} para los tres meses de muestreo.

Tabla 65. Trazador isotópico O^{18} para los tres meses de muestreo.

		$d^{18}O_{VSMOW}$	dD_{VSMOW}	d-excess[‰]
Playas	Nov-04			
	Xcaret 100 m	-0.35	-0.58	2.22
	Xcaret 50 m	0.84	6.43	-0.29
	Xcaret estanque de delfines y playa	0.75	5.83	-0.17
	Puerto Aventura 5m	0.27	3.48	1.32
	Tulum 5m	-4.5	-25.19	10.81
Cenotes	Sacbe	-4.74	-27.29	10.63
	Xcaret	-2.77	-16.43	5.73
	Río Xcaret	-2.05	-12.3	4.1
	Eden	1.57	7.11	-5.45
	Calavera	-4.77	-25.74	12.42
Playas	Mar-05			
	Xcaret 100 m	-0.39	-1.27	1.85
	Xcaret 50 m	-0.05	-2.98	-2.58
	Xcaret estanque de delfines y playa	-0.74	-6.43	-0.51
	Puerto Aventura 5m	0.17	3.47	2.11
	Tulum 5m	0.55	2.67	-1.73
Cenotes	Scabe	-4.46	-24.69	10.99
	Xcaret	-2.77	-15.66	6.5
	Río Xcaret	-2.3	-15.04	3.36
	Eden	-4.53	-23.63	12.61
	Calavera	-3.88	-21.85	9.19

Continuación tabla 65		$d^{18}O_{VSMOW}$	dD_{VSMOW}	d-excess[‰]
Playas	Ago-05			
	Xcaret 100m	0.63	3.9	-1.14
	Xcaret 50m	-0.82	-5.5	1.06
	Xcaret estanque de delfines y playa	-0.22	-0.23	1.53
	Puerto Aventura 5m	0.51	4.07	-0.01
	Tulum 5m	0.33	1.34	-1.3
Cenotes				
	Sacbe	-4.34	-23.12	11.6
	Xcaret	-2.61	-14.57	6.31
	Río Xcaret	-2.56	-12.64	7.84
	Eden			
	Calavera	-4.67	-27.54	9.82

Conclusiones

Dentro de lo más destacado como elementos anormales de la química o calidad del agua del medio marino y de los cenotes, se presentan a continuación.

En noviembre de 2004 el contenido fue en general homogéneo oscilando entre 0.32 y 3.55 μM con una concentración puntual de la estación Xcaret tanque de delfines de 8.06 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, o 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.

El contenido de amonio en marzo de 2005, también las concentraciones más altas fueron 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; resultado de la influencia de descargas urbanas terrestres o actividades turísticas. En agosto de 2005 no se registró el amonio en ninguna estación y probablemente haya sido resultado de la gran influencia (dilución) del huracán Emily. El contenido de amonio en los cenotes no denoto influencia antropogénica.

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 de 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 de 2005 aunque bajaron las concentraciones los niveles más altos correspondieron también a Xcaret Río; este decremento 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 de 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 Calavera, con enterococos incluso. Es importante destacar que estos cenotes presentaron elevados niveles de coniformes 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 de 2004, incluso esta última localidad presentó 12.0 mg/l en marzo de 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 Calavera con 36.0 y 46.0 mg/l; en marzo de 2005 Xcaret Río también fueron altos (31.0 y 33.0 mg/l respectivamente).

Con base en los resultados del trazador isotópico δ^{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 fue visible salidas puntuales de agua dulce en el medio marino que aparentan comunicación con cenotes, pero localidades que no fueron muestreadas.

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

Estación	Latitud	Longitud	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	
			Temp. °C	Temp. °C	Temp. °C	pH	pH	pH	Prof m	Prof m	Prof m	Secchi m	Secchi m	Secchi m	Conduc. mS/cm	Conduc. mS/cm	Conduc. mS/cm	
Punta Maroma 50m	20°43.720	86°57.756	26.30	25.97	29.88	8.1	7.29	8.04	3.2	2.6	3.0	Total	Total	Total	54.90	56.54	52.33	
Punta Maroma 5m	20°43.720	86°57.766	27.70	25.32	30.55	8.2	7.29	7.93	2.0	1.9	1.0	Total	Total	Total	56.40	56.12	49.20	
Tres Ríos 100m	20°42.276	87°00.409	27.60	24.95	30.64	7.9	7.29	7.96	5.0	2.4	2.4	Total	Total	Total	51.80	44.50	51.25	
Tres Ríos 50m	20°42.174	87°00.341	26.50	25.60	29.50	8.2	7.29	7.47	4.2	1.2	2.0	Total	Total	Total	54.30	51.85	37.80	
Tres Ríos 5m	20°42.069	86°59.265	28.20	26.00	29.38	8.2	7.29	6.89	1.0	0.5	1.0	Total	Total	Total	56.60	24.81	35.00	
Mayacobá 100m superficie	20°39.656	87°01.720	28.30	25.76	29.77	8.2	7.29	8.05	7.3	5.5	1.0	Total	Total	Total	57.00	55.54	52.43	
Mayacobá 100 fondo	20°39.656	87°01.720	28.20	25.81	29.51	8.2	7.29	8.05	11.0	5.5	7.5	Total	Total	Total	57.00	53.23	52.51	
Mayacobá 50m	20°39.810	87°01.816	28.00	25.76	30.56	8.2	7.29	8.06	2.3	2.5	1.5	Total	Total	Total	57.00	54.15	51.48	
Mayacobá 5m	20°39.700	87°01.866	28.00	25.63	31.94	8.2	7.29	8.20	1.0	1.5	1.0	Total	Total	Total	55.00	52.32	51.84	
Punta Esmeralda 100m superficie	20°38.508	87°02.863	28.00	25.66	29.61	8.2	7.29	8.05	13.0	2.6	1.0	Total	Total	Total	57.00	54.54	52.47	
Punta Esmeralda 100m fondo	20°38.508	87°02.863	28.00	25.66	29.68	8.4	7.29	8.05	7.5	2.6	7.5	Total	Total	Total	57.00	54.54	52.48	
Punta Esmeralda 50m	20°38.794	87°03.047	29.00	25.88	30.49	8.3	7.29	8.00	3.0	1.5	2.0	Total	Total	Total	55.00	53.04	51.51	
Punta Esmeralda 5m	20°38.866	87°03.103	28.00	26.77	30.45	8.2	7.29	7.79	5.0	0.4	7.5	Total	Total	Total	53.60	43.80	47.18	
Av. Constituyentes 100m	20°37.492	87°03.938	28.00	25.93	30.03	8.1	7.29	8.04	4.5	4.3	4.5	Total	Total	Total	57.00	54.17	52.33	
Av. Constituyentes 50m	20°38.590	87°04.081	28.00	26.32	30.71	8.0	7.29	8.06	2.0	3.5	2.0	Total	Total	Total	55.80	53.14	51.48	
Av. Constituyentes 5m	20°38.648	88°04.131	28.00	26.32	31.83	8.3	7.29	7.90	1.0	1.0	0.5	Total	Total	Total	54.00	53.14	48.31	
Muelle Fiscal 100m	20°37.210	87°04.220	28.20	26.08	30.42	8.2	7.29	8.09	4.9	3.4	2.4	Total	Total	Total	57.00	54.45	51.97	
Muelle Fiscal 50m	20°37.290	87°04.354	28.50	26.9	30.77	8.0	7.29	8.09	2.0	2.5	2.0	Total	Total	Total	56.20	52.80	51.78	
Muelle Fiscal 5m	20°34.592	87°04.410	27.70	26.10	30.84	8.0	7.29	8.00	1.0	1.5	1.5	Total	Total	Total	55.50	53.51	50.79	
Xcaret 100m sup	20°34.603	87°603.936	29.00	26.55	29.82	8.2	7.29	8.03	13.0	6.5	1.0	Total	Total	Total	56.40	52.30	51.48	
Xcaret 100m fondo	20°34.603	87°603.936	30.00	26.55	29.54	8.2	7.29	8.06	6.5	6.5	12.0	Total	Total	Total	57.00	52.30	52.55	
Xcaret 50m	20°34.603	87°07.029	29.00	26.55	29.64	8.3	7.29	8.16	3.0	6.5	11.0	Total	Total	Total	56.70	52.30	52.65	
Xcaret radial centro y boca	20°34.707	87°07.069	29.50	26.66	28.98	7.9	7.29	7.53	6.0	4.9	5.3	Total	Total	Total	52.50	50.21	39.92	
Xcaret estanque de delfines y playa	20°34.689	87°07.127	28.70	27.00	29.42	8.0	7.29	7.39	1.5	2.8	3.4	Total	Total	Total	50.20	43.24	25.37	
Calica 100m	20°33.724	87°07.209	27.40	27.36	29.92	8.0	7.29	8.60	2.0	1.4	3.5	Total	Total	Total	55.60	55.05	52.45	
Calica 50m	20°33.209	87°08.212	29.60	27.80	30.45	8.2	7.29	8.12	2.5	1.0	2.3	Total	Total	Total	54.80	54.72	52.48	
Calica 5m	20°33.891	87°08.292	27.70	27.80	31.01	8.2	7.29	8.07	1.0	0.5	1.0	Total	Total	Total	55.50	54.72	51.23	
Puerto Aventuras 100m	20°29.840	87°13.633		26.66	30.02		7.29	8.06		1.4	1.3		Total	Total			50.97	51.89
Puerto Aventuras 50m	20°29.893	87°13.661		27.36	30.03		7.29	8.02		1.4	1.3		Total	Total			49.90	51.15
Puerto Aventuras 5m	20°29.923	87°13.679	27.00	27.61	30.73	8.1	7.29	8.04	1.0	0.5	0.5	Total	Total	Total	52.40	49.44	50.68	
Akumal 100m	20°23.647	87°18.791		26.03	29.60		7.29	7.98		2.7	3.7		Total	Total			53.59	51.87
Akumal 50m	20°23.710	87°18.825		25.90	29.83		7.29	8.04		2.0	2.4		Total	Total			51.64	52.01
Akumal 5m	20°23.730	87°18.869		27.16	29.82		7.29	7.99		0.7	1.0		Total	Total			50.82	51.25
Xcaceel 100m	20°20.234	87°20.732		25.90	29.66		7.29	8.01		3.7	4.0		Total	Total			58.38	51.86
Xcaceel 50m	20°20.275	87°20.790		25.93	29.62		7.29	8.00		3.7	3.4		Total	Total			53.23	51.72
Xcaceel 5m	20°20.323	87°20.815		26.11	29.57		7.29	7.97		2.0	1.4		Total	Total			52.69	51.58
Tulum 50m	20°12.058	87°25.239		27.00	29.27		8.20	7.94		1.5	1.8		Total	Total			55.98	51.08
Tulum 5 m	20°12.158	87°25.908	26.00	27.30	29.28	7.9	8.30	7.99	1.0	0.8	0.5	Total	Total	Total	53.46	55.92	50.06	

CENOTES

Sacbé	20°42.051	87°03.711	20.40	24.51	24.50	7.6	8.30	6.95	1.3	1.5	1.0	Total	Total	Total	2.35	2.55	2.37
Xcaret	20°34.792	87°07.151	26.00	26.04	26.09	8.2	8.40	6.90	1.3	0.6	1.0	Total	Total	Total	23.40	23.36	19.92
Xcaret Río	20°34.646	87°07.265	26.80	26.28	26.92	8.4	8.28	6.96	1.5	1.3	2.0	Total	Total	Total	28.90	30.98	25.83
Eden	20°29.501	87°15.483	25.40	25.06		7.8	8.39		4.0	1.5		Total	Total		4.70	6.03	
Calavera	20°13.153	87°27.439	24.70	25.01	26.16	7.7	7.60	6.86	1.5	4.0	4.5	Total	Total	Total	5.80	5.46	4.22

Continuación ANEXO.

Estación	Latitud	Longitud	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto
			STD	STD	STD	Salin.	Salin.	Salin.	Turb.	Turb.	Turb.	Sol. sus. mg/l	Sol. sus. mg/l	Sol. sus. mg/l	Oxig. Dis. mg/l	Oxig. Dis. mg/l	Oxig. Dis. mg/l
			g/l	g/l	g/l	UPS	UPS	UPS	NDU	NDU	NDU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Punta Maroma 50m	20°43.720	86°57.756	34.9	36.75	34.05	35.4	37.6	34.3	0	0	0	0	0	0	8.50	7.75	5.48
Punta Maroma 5m	20°43.720	86°57.766	34.9	36.48	31.94	35.3	37.3	31.9	4	0	0	0	0	0	8.00	7.56	5.77
Tres Ríos 100m	20°42.276	87°00.409	32.1	29.22	33.29	32.2	29.9	33.5	2	0	0	1	0	0	8.00	7.61	6.02
Tres Ríos 50m	20°42.174	87°00.341	34.3	33.21	24.23	34.7	33.9	24.2	0	0	0	0	0	0	7.60	9.14	6.04
Tres Ríos 5m	20°42.069	86°59.265	35.0	16.13	19.00	35.3	15.1	19.0	0	0	0	1	0	0	7.00	6.11	5.71
Mayacobá 100m superficie	20°39.656	87°01.720	34.9	36.09	34.07	35.4	36.8	34.4	0	0	0	0	0	0	7.70	7.48	7.60
Mayacobá 100 fondo	20°39.656	87°01.720	34.9	36.50	34.13	35.4	37.5	34.5	1	0	0	0	0	0	6.90	7.42	6.51
Mayacobá 50m	20°39.810	87°01.816	35.0	37.24	33.42	35.3	36.0	33.5	0	1	2	0	0	0	7.00	8.84	7.75
Mayacobá 5m	20°39.700	87°01.866	34.0	33.89	33.71	36.3	34.2	33.9	0	0	0	0	0	0	7.10	9.48	8.00
Punta Esmeralda 100m superficie	20°38.508	87°02.863	35.0	35.43	34.11	35.5	36.0	34.4	0	0	0	0	3	5	7.50	7.87	7.22
Punta Esmeralda 100m fondo	20°38.508	87°02.863	35.0	35.43	34.11	35.5	36.0	34.4	3	0	0	0	1	3	6.50	7.87	6.40
Punta Esmeralda 50m	20°38.794	87°03.047	34.0	34.45	35.50	35.0	34.9	33.7	0	0	0	1	1	4	7.00	7.42	6.52
Punta Esmeralda 5m	20°38.866	87°03.103	33.0	28.56	30.66	33.2	28.4	30.5	0	0	0	0	0	0	7.10	7.30	7.07
Av. Constituyentes 100m	20°37.492	87°03.938	35.0	35.21	34.02	35.4	35.8	34.3	1	0	0	0	1	3	7.10	7.75	7.28
Av. Constituyentes 50m	20°38.590	87°04.081	34.7	34.56	33.46	35.1	35.1	33.7	0	0	0	4	0	0	7.20	8.44	7.45
Av. Constituyentes 5m	20°38.648	88°04.131	33.2	34.56	31.44	33.3	35.1	31.7	0	0	0	0	6	8	7.20	8.44	7.47
Muelle Fiscal 100m	20°37.210	87°04.220	35.0	35.40	33.78	35.4	36.0	34.0	0	0	0	0	0	0	7.70	7.86	7.79
Muelle Fiscal 50m	20°37.290	87°04.354	34.2	34.27	33.63	34.5	34.7	33.9	3	0	0	0	0	0	7.60	8.15	8.01
Muelle Fiscal 5m	20°34.592	87°04.410	34.2	34.79	33.03	34.5	35.3	33.1	0	0	0	3	0	0	7.00	8.37	7.81
Xcaret 100m sup	20°34.603	87°603.936	34.2	34.05	33.44	34.6	34.5	33.7	0	0	0	0	0	0	7.60	7.71	7.62
Xcaret 100m fondo	20°34.603	87°603.936	34.9	34.05	34.16	35.4	34.5	34.5	0	0	0	0	0	0	7.10	7.71	6.45
Xcaret 50m	20°34.603	87°07.029	33.1	34.05	34.26	33.2	34.5	34.6	0	0	0	0	0	0	7.00	7.71	6.55
Xcaret radial centro y boca	20°34.707	87°07.069	32.1	33.61	25.88	32.4	34.4	25.4	0	0	0	0	0	0	7.50	7.80	6.93
Xcaret estanque de delfines y playa	20°34.689	87°07.127	30.2	28.22	24.80	30.4	28.0	24.8	0	0	0	0	0	0	8.01	7.04	6.21
Calica 100m	20°33.724	87°07.209	34.5	35.79	34.09	35.0	36.4	34.4	0	0	0	0	0	0	7.80	9.12	6.48
Calica 50m	20°33.209	87°08.212	32.8	35.58	34.12	32.7	36.2	34.4	5	0	0	3	0	0	8.60	9.40	7.75
Calica 5m	20°33.891	87°08.292	34.2	35.58	33.30	34.6	36.2	33.5	0	0	0	0	1	2	7.50	9.40	7.39
Puerto Aventuras 100m	20°29.840	87°13.633		33.13	33.73		33.4	34.0		0	0		0	0		8.94	7.22
Puerto Aventuras 50m	20°29.893	87°13.661		32.42	33.25		32.6	33.5		0	0		0	0		9.38	7.21
Puerto Aventuras 5m	20°29.923	87°13.679	32.7	32.13	32.94	33.0	32.3	33.1	2	0	0	1	0	0	7.32	9.11	7.43
Akumal 100m	20°23.647	87°18.791		34.81	33.72		35.3	34.0		0	0		0	0		7.66	6.07
Akumal 50m	20°23.710	87°18.825		33.62	33.79		34.0	34.0		0	0		0	0		7.23	6.53
Akumal 5m	20°23.730	87°18.869		33.00	33.32		33.3	33.6		0	0		0	0		10.56	6.53
Xcachel 100m	20°20.234	87°20.732		35.33	35.71		35.9	34.0		0	0		0	0		7.51	7.26
Xcachel 50m	20°20.275	87°20.790		35.58	33.62		35.1	33.9		0	0		0	0		7.55	7.24
Xcachel 5m	20°20323	87°20.815		34.25	33.53		34.7	33.8		0	0		0	0		7.57	7.05
Tulum 50m	20°12.058	87°25.239		36.38	32.55		37.1	32.7		0	0		0	0		7.65	6.54
Tulum 5 m	20°12.158	87°25.908	34.1	36.35	32.57	34.5	37.1	32.7	0	0	0	0	0	0	7.30	7.34	6.74

CENOTES

Sacbé	20°42.051	87°03.711	1.5	1.65	1.54	1.2	1.3	1.2	1	0	0	4	0	0	2.90	2.90	2.90
Xcaret	20°34.792	87°07.151	14.9	15.18	18.75	13.9	14.1	11.9	0	0	0	0	2	6	4.39	3.89	3.42
Xcaret Río	20°34.646	87°07.265	18.1	20.00	15.80	17.1	18.6	15.7	0	0	0	1	1	8	5.90	4.80	4.48
Eden	20°29.501	87°15.483	3.1	3.92		2.5	3.3		0	0		1	0		4.40	5.22	
Calavera	20°13.153	87°27.439	3.8	3.54	2.74	3.2	2.9	2.2	2	1	3	0	0	0	4.40	4.75	3.92

Continuación ANEXO.

Estación	Laitud	Longitud	Nov. Sat. de Oxig %	Marzo Sat. de Oxig %	Agosto Sat. de Oxig %	Nov. DQO mg/l	Marzo DQO mg/l	Agosto DQO mg/l	Nov. DBO mg/l	Marzo DBO mg/l	Agosto DBO mg/l	Nov. PO ₄ µM	Marzo PO ₄ µM	Agosto PO ₄ µM	Nov. PT µM	Marzo PT µM	Agosto PT µM
Punta Maroma 50m	20°43.720	86°57.756	130	117	88	6.7	4.0	3.87	2.6	2.1	2.1	0.3	7.41	0.00	1.29	11.61	30.64
Punta Maroma 5m	20°43.720	86°57.766	126	111	92	6.9	5.0	4.33	0.1	2.6	2.4	0.6	1.29	0.00	153.22	8.39	76.12
Tres Ríos 100m	20°42.276	87°00.409	123	108	97	5.0	9.0	3.01	3.0	5.2	1.6	3.6	4.83	0.00	21.29	13.23	53.87
Tres Ríos 50m	20°42.174	87°00.341	118	140	94	4.8	2.0	6.16	2.6	1.2	3.4	3.6	3.87	8.71	122.26	10.97	12.90
Tres Ríos 5m	20°42.069	86°59.265	111	82	77	8.7	4.0	6.69	0.6	2.3	3.6	1.6	3.22	19.68	162.58	5.81	32.58
Mayacobá 100m superficie	20°39.656	87°01.720	121	113	120	6.1	4.0	2.84	1.3	2.4	3.7	2.3	1.93	0.00	30.97	4.84	32.90
Mayacobá 100 fondo	20°39.656	87°01.720	109	112	103	7.8	4.0	6.9	0.5	2.4	1.6	1.0	1.93	0.00	30.97	4.84	110.30
Mayocobá 50m	20°39.810	87°01.816	111	133	125	8.0	6.0	6.33	0.2	3.4	3.8	1.3	1.93	1.61	111.29	5.16	10.32
Mayacobá 5m	20°39.700	87°01.866	114	140	131	7.2	7.0	4.77	0.9	3.8	3.5	1.3	1.93	0.00	125.48	5.81	79.35
Punta Esmeralda 100m superficie	20°38.508	87°02.863	119	118	114	6.9	7.0	3.70	1.2	3.6	2.6	2.3	2.25	0.00	7.10	4.84	21.94
Punta Esmeralda 100m fondo	20°38.508	87°02.863	103	118	102	4.6	7.0	6.49	2.4	3.6	2.0	2.3	2.25	2.58	7.10	4.84	30.32
Punta Esmeralda 50m	20°38.794	87°03.047	113	111	104	5.0	3.0	4.99	1.1	1.9	3.5	1.9	1.93	0.00	65.80	5.16	72.26
Punta Esmeralda 5m	20°38.866	87°03.103	111	107	110	8.5	4.0	5.54	2.3	2.2	2.7	1.3	3.54	0.00	177.42	5.81	79.68
Av. Constituyentes 100m	20°37.492	87°03.938	113	117	115	7.2	4.0	4.86	1.7	2.3	3.0	1.6	2.25	0.00	1.61	5.48	27.74
Av. Constituyentes 50m	20°38.590	87°04.081	113	127	119	5.8	5.0	4.9	1.4	2.8	2.7	2.6	2.25	1.29	114.52	5.81	18.71
Av. Constituyentes 5m	20°38.648	88°04.131	112	127	118	4.2	6.0	9.04	1.3	3.4	2.7	1.3	1.61	0.00	168.71	8.06	122.3
Muelle Fiscal 100m	20°37.210	87°04.220	122	119	125	4.0	5.0	7.19	1.9	2.9	3.2	2.3	1.93	0.64	7.10	4.52	41.94
Muelle Fiscal 50m	20°37.290	87°04.354	122	122	129	5.1	4.0	6.95	2.1	2.2	4.9	1.3	2.25	0.00	28.38	6.13	41.94
Muelle Fiscal 5m	20°34.592	87°04.410	110	126	113	5.1	6.0	5.23	1.9	3	3.9	2.9	1.93	0.00	28.38	5.48	41.94
Xcaret 100m sup	20°34.603	87°603.936	122	116	120	5.1	8.0	6.49	1.7	4.3	3.8	1.9	4.51	0.00	8.71	6.13	50.97
Xcaret 100m fondo	20°34.603	87°603.936	116	116	102	6.1	8.0	5.67	2.3	4.2	2.9	1.6	4.51	4.52	8.71	6.13	53.23
Xcaret 50m	20°34.603	87°07.029	112	116	102	5.5	8.0	5.77	1.2	4.1	3.5	2.6	4.51	4.62	19.35	6.13	53.24
Xcaret radial centro y boca	20°34.707	87°07.069	120	117	99	4.0	9.0	5.19	1.9	5.0	3.6	1.6	3.54	4.52	24.84	6.13	159.70
Xcaret estanque de delfines y playa	20°34.689	87°07.127	127	103	93	6.5	9.0	6.02	2.8	4.2	3.1	8.1	3.22	0.97	28.39	7.42	56.45
Calica 100m	20°33.724	87°07.209	121	141	103	7.0	8.0	5.63	1.9	4.1	2.8	2.6	2.58	1.61	24.84	5.81	144.8
Calica 50m	20°33.209	87°08.212	139	147	124	5.4	9.0	5.59	1.7	4.6	3.3	2.3	1.29	0.00	85.81	4.19	21.29
Calica 5m	20°33.891	87°08.292	120	147	113	5.0	12.0	6.09	0.7	6.6	3.1	2.3	1.61	0.00	177.42	4.52	26.45
Puerto Aventuras 100m	20°29.840	87°13.633		135	116		9.0	5.34		4.9	3.1		0.96	0.00		4.19	5.48
Puerto Aventuras 50m	20°29.893	87°13.661		142	115		7.0	4.58		4.6	3.3		0.64	0.00		4.84	9.68
Puerto Aventuras 5m	20°29.923	87°13.679	113	138	119	19.0	10.0	5.08	2.2	4.1	2.9	3.9	1.93	0.00	6.45	3.23	5.16
Akumal 100m	20°23.647	87°18.791		115	96		9.0	6.75		4.8	2.5		2.25	0.00		6.77	38.06
Akumal 50m	20°23.710	87°18.825		108	104		8.0	6.91		3.9	2.8		1.61	1.61		7.74	9.03
Akumal 5m	20°23.730	87°18.869		161	103		8.0	6.09		5.6	3.7		0.96	3.23		8.06	22.58
Xcacel 100m	20°20.234	87°20.732		113	114		9.0	6.49		4.9	3.8		2.25	1.61		8.39	22.58
Xcacel 50m	20°20.275	87°20.790		113	114		7.0	7.04		3.9	3.3		1.93	0.64		7.74	82.26
Xcacel 5m	20°20323	87°20.815		114	110		8.0	5.23		4.3	3.5		3.22	0.64		7.42	25.16
Tulum 50m	20°12.058	87°25.239		118	103		6.0	7.04		3.8	3.8		1.61	2.58		7.42	42.90
Tulum 5 m	20°12.158	87°25.908	114	114	106	19.0	7.0	5.23	2.1	3.5	2.9	3.6	1.93	0.32	7.10	6.13	90.32

CENOTES

Sacbé	20°42.051	87°03.711	33	35	35	6.0	11.0	3.43	1.2	1.3	1.9	9.4	6.45	15.81	111.61	11.61	99.03
Xcaret	20°34.792	87°07.151	60	52	45	36.0	31.0	4.79	2.3	1.3	2.6	7.1	6.45	14.84	143.22	19.68	88.39
Xcaret Río	20°34.646	87°07.265	83	66	61	17.0	33.0	6.91	2.1	2.3	3.8	7.4	9.03	17.74	101.94	11.29	122.60
Eden	20°29.501	87°15.483	56	63		46.0	12.0		1.2	2.4		8.1	6.77		108.39	12.90	
Calavera	20°13.153	87°27.439	55	58	50	15.0	17.0	1.56	2.6	2.1	0.9	16.0	13.90	23.87	80.97	19.35	95.43

Continuación ANEXO.

Estación	Laitud	Longitud	Nov. NH ₄ μM	Marzo NH ₄ μM	Agosto NH ₄ μM	Nov. NO ₂ μM	Marzo NO ₂ μM	Agosto NO ₂ μM	Nov. NO ₃ μM	Marzo NO ₃ μM	Agosto NO ₃ μM	Nov. NT μM	Marzo NT μM	Agosto NT μM	Nov. Clo“a” mg/m ³	Marzo Clo“a” mg/m ³	Agosto Clo“a” mg/m ³
Punta Maroma 50m	20°43.720	86°57.756	6.43	19.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	2.86	0.71	9.29	30.00	28.00			
Punta Maroma 5m	20°43.720	86°57.766	7.86	4.29	0.00	0.07	0.00	0.00	1.43	0.71	0.71	11.43	21.43	19.44	ND	ND	ND
Tres Ríos 100m	20°42.276	87°00.409	6.43	0.71	0.00	0.00	0.00	0.14	1.43	5.00	0.71	10.00	28.57	26.66			
Tres Ríos 50m	20°42.174	87°00.341	5.00	4.29	0.00	0.07	0.00	0.07	2.86	2.86	2.14	10.00	7.14	5.15			
Tres Ríos 5m	20°42.069	86°59.265	7.14	0.00	0.00	0.07	0.00	0.21	1.43	0.71	7.86	10.71	14.29	13.30	ND	ND	ND
Mayacobá 100m superficie	20°39.656	87°01.720	5.71	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	1.43	0.71	0.00	9.29	7.14	5.15			
Mayacobá 100 fondo	20°39.656	87°01.720	7.86	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.71	0.71	0.00	10.71	7.14	5.15			
Mayacobá 50m	20°39.810	87°01.816	6.43	2.14	0.00	0.07	0.00	0.00	1.43	0.71	0.71	10.00	7.14	5.15			
Mayacobá 5m	20°39.700	87°01.866	7.86	11.43	0.00	0.21	0.00	0.07	0.71	0.71	0.71	10.71	7.14	5.15			
Punta Esmeralda 100m superficie	20°38.508	87°02.863	7.86	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	1.43	0.00	1.43	12.14	7.14	5.15			
Punta Esmeralda 100m fondo	20°38.508	87°02.863	7.86	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.71	0.00	0.71	10.71	7.14	5.15			
Punta Esmeralda 50m	20°38.794	87°03.047	7.86	0.71	0.00	0.07	0.00	0.00	1.43	2.86	2.14	10.00	14.29	12.30	ND	ND	ND
Punta Esmeralda 5m	20°38.866	87°03.103	7.29	3.57	0.00	0.21	0.21	0.64	1.50	4.29	2.86	10.71	14.29	12.30			
Av. Constituyentes 100m	20°37.492	87°03.938	8.57	8.57	0.00	0.71	0.00	0.00	0.71	0.71	0.71	10.71	7.14	5.15			
Av. Constituyentes 50m	20°38.590	87°04.081	7.14	20.00	0.00	0.43	0.07	0.00	0.71	0.71	0.71	12.86	25.00	23.00	ND	ND	ND
Av. Constituyentes 5m	20°38.648	88°04.131	9.29	70.43	0.00	0.21	0.00	0.00	0.71	1.43	0.71	7.14	100.00	97.46			
Muelle Fiscal 100m	20°37.210	87°04.220	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.71	0.00	7.86	21.43	19.44	ND	ND	ND
Muelle Fiscal 50m	20°37.290	87°04.354	5.70	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	0.71	0.71	11.43	19.29	17.42	ND	ND	ND
Muelle Fiscal 5m	20°34.592	87°04.410	7.86	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	0.71	0.71	8.57	33.57	31.43			
Xcaret 100m superficie	20°34.603	87°603.936	5.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.71	0.71	2.14	6.43	7.14	5.15			
Xcaret 100m fondo	20°34.603	87°603.936	4.29	0.00	0.00	0.07	0.00	0.93	2.14	0.71	1.43	11.43	7.14	5.15			
Xcaret 50m	20°34.603	87°07.029	7.14	0.00	0.00	0.07	0.00	0.57	5.00	1.43	1.53	13.57	7.14	5.15	ND	ND	ND
Xcaret radial centro y boca	20°34.707	87°07.069	5.71	2.14	0.00	0.07	0.00	0.57	5.00	0.71	2.86	15.00	7.14	5.15			
Xcaret estanque de delfines y playa	20°34.689	87°07.127	7.14	11.43	0.00	0.07	0.00	1.36	0.71	2.86	10.00	7.14	18.57	16.63			
Calica 100m	20°33.724	87°07.209	5.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.71	1.43	0.00	0.71	10.00	21.43	18.54			
Calica 50m	20°33.209	87°08.212	6.43	3.57	0.00	0.07	0.00	0.00	0.71	0.00	0.71	10.00	7.14	5.15			
Calica 5m	20°33.891	87°08.292	7.14	5.00	0.00	0.07	0.00	0.00	27.86	0.00	0.71	42.14	7.14	5.15			
Puerto Aventuras 100m	20°29.840	87°13.633		15.00	0.71		0.00	0.00		5.71	0.71		14.29	11.75			
Puerto Aventuras 50m	20°29.893	87°13.661		3.57	0.00		0.00	0.00		3.29	0.71		8.57	6.47			
Puerto Aventuras 5m	20°29.923	87°13.679	5.71	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	1.43	0.71	2.14	9.29	3.71	2.70			
Akumal 100m	20°23.647	87°18.791		15.00	0.00		0.00	0.71		0.71	1.43		14.29	11.79			
Akumal 50m	20°23.710	87°18.825		3.57	0.00		0.00	0.00		0.71	0.71		20.00	17.75			
Akumal 5m	20°23.730	87°18.869		5.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		7.14	5.15			
Xcacel 100m	20°20.234	87°20.732		1.43	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00		7.14	5.15			
Xcacel 50m	20°20.275	87°20.790		0.00	0.00		0.00	0.07		0.00	0.71		7.14	5.15			
Xcacel 5m	20°20323	87°20.815		0.00	0.00		0.00	0.07		0.00	0.71		7.14	5.15			
Tulum 50m	20°12.058	87°25.239		0.00	0.00		0.00	0.21		0.00	0.71		7.14	5.15			
Tulum 5 m	20°12.158	87°25.908	6.43	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	12.14	0.00	1.43	21.28	7.14	5.15			

CENOTES

Sacbé	20°42.051	87°03.711	5.71	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	24.29	9.29	19.28	40.71	13.57	22.14
Xcaret	20°34.792	87°07.151	7.86	0.00	0.00	0.14	0.00	0.14	20.71	7.14	20.71	30.71	10.71	25.00
Xcaret Río	20°34.646	87°07.265	3.57	0.00	0.00	0.14	0.00	0.29	39.29	21.43	12.14	53.57	28.57	26.57
Eden	20°29.501	87°15.483	4.29	1.43		0.14	0.00		39.29	7.14		52.47	7.14	
Calavera	20°13.153	87°27.439	5.00	4.29	0.00	0.36	0.00	0.07	39.29	12.14	12.14	55.71	16.43	14.43

ND= no detectable

Continuación ANEXO.

Estación	Latitud	Longitud	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto
			Coniformes Totales	Coliformes Totales	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	Coliformes Fecales	Enterococos	Enterococos	Enterococos
			NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml
Punta Maroma 50m	20°43.720	86°57.756	300	0	203	200	0	0	0	0	0
Punta Maroma 5m	20°43.720	86°57.766	0	1298	203	0	42	0	0	0	0
Tres Ríos 100m	20°42.276	87°00.409	400	945	299	200	10	0	10	0	0
Tres Ríos 50m	20°42.174	87°00.341	500	1013	629	0	53	20	0	0	0
Tres Ríos 5m	20°42.069	86°59.265	500	164	598	100	0	10	0	0	0
Mayacobá 100m superficie	20°39.656	87°01.720	200	0	539	100	0	0	31	0	0
Mayacobá 100 fondo	20°39.656	87°01.720	5000	137	931	4500	0	0	0	0	0
Mayacobá 50m	20°39.810	87°01.816	4000	1184	1143	300	0	0	0	10	0
Mayacobá 5m	20°39.700	87°01.866	8000	0	1143	0	63	0	31	31	0
Punta Esmeralda 100m superficie	20°38.508	87°02.863	200	10	1238	200	0	0	0	10	0
Punta Esmeralda 100m fondo	20°38.508	87°02.863	400	63	1238	100	0	0	10	0	0
Punta Esmeralda 50m	20°38.794	87°03.047	300	0	1238	2500	10	0	0	0	0
Punta Esmeralda 5m	20°38.866	87°03.103	2000	0	1238	200	0	0	0	0	0
Av. Constituyentes 100m	20°37.492	87°03.938	500	0	1143	0	0	0	20	0	0
Av. Constituyentes 50m	20°38.590	87°04.081	200	0	1238	1700	0	0	0	0	0
Av. Constituyentes 5m	20°38.648	88°04.131	300	10	1238	2400	0	10	0	0	0
Muelle Fiscal 100m	20°37.210	87°04.220	100	10	1143	100	0	0	0	0	0
Muelle Fiscal 50m	20°37.290	87°04.354	200	31	1143	0	0	0	0	0	0
Muelle Fiscal 5m	20°34.592	87°04.410	200	1445	1238	4000	0	63	0	0	0
Xcaret 100m sup	20°34.603	87°603.936	100	31	1143	300	164	0	0	0	0
Xcaret 100m fondo	20°34.603	87°603.936	200	31	1238	0	164	0	0	0	0
Xcaret 50m	20°34.603	87°07.029	1500	31	1238	1500	164	0	0	0	0
Xcaret radial centro y boca	20°34.707	87°07.069	600	1013	1062	0	164	404	0	0	0
Xcaret estanque de delfines y playa	20°34.689	87°07.127	3000	1013	1330	200	150	203	0	0	0
Calica 100m	20°33.724	87°07.209	2200	2005	1330	400	453	0	0	0	0
Calica 50m	20°33.209	87°08.212	600	2005	1238	400	1091	0	0	0	0
Calica 5m	20°33.891	87°08.292	450	2005	1143	280	1091	10	0	0	0
Puerto Aventuras 100m	20°29.840	87°13.633		2005	1238		384	0		0	0
Puerto Aventuras 50m	20°29.893	87°13.661		2005	1143		782	0		0	0
Puerto Aventuras 5m	20°29.923	87°13.679	200	2005	1238	125	782	0	20	0	0
Akumal 100m	20°23.647	87°18.791		192	1143		0	0		0	0
Akumal 50m	20°23.710	87°18.825		222	1238		42	10		0	10
Akumal 5m	20°23.730	87°18.869		406	1223		99	0		0	0
Xcachel 100m	20°20.234	87°20.732		0	1062		0	0		0	0
Xcachel 50m	20°20.275	87°20.790		0	1238		0	0		0	0
Xcachel 5m	20°20323	87°20.815		10	1238		0	0		0	0
Tulum 50m	20°12.058	87°25.239		337	2281		41	201	53	31	31
Tulum 5 m	20°12.158	87°25.908	6000	717	10111	5000	134	6892		0	31

CENOTES

Sacbé	20°42.051	87°03.711	600	243	10111	0	10	3968	0	0	386
Xcaret	20°34.792	87°07.151	1500	>24196	10111	700	529	196	453	86	31
Xcaret Río	20°34.646	87°07.265	1500	>24196	10111	800	8664	62	87	0	10
Eden	20°29.501	87°15.483	1000	>24196		200	2613			20	
Calavera	20°13.153	87°27.439	1500	3448	10111	600	135	73	0	0	10

Continuación ANEXO.

Estación	Laitud	Longitud	Nov. Alcalini. mgCaCO ₃	Marzo Alcalini. mgCaCO ₃	Agosto Alcalini. mgCaCO ₃	Nov. Mn mg/l	Marzo Mn mg/l	Agosto Mn mg/l	Nov. Zn mg/l	Marzo Zn mg/l	Agosto Zn mg/l	Nov. Cr mg/l	Marzo Cr mg/l	Agosto Cr mg/l	Nov. Cu mg/l	Marzo Cu mg/l	Agosto Cu mg/l
Punta Maroma 50m	20°43.720	86°57.756				0.1	0.1	0.1	0.01	0.08	0.11	0.00	0.01	0.02	0.12	0.09	0.35
Punta Maroma 5m	20°43.720	86°57.766				0.1	0.1	0.1	0.04	0.07	0.09	0.00	0.00	0.01	0.13	0.29	0.10
Tres Ríos 100m	20°42.276	87°00.409				0.1	0.1	0.1	0.00	0.12	0.14	0.00	0.02	0.00	0.10	0.14	0.18
Tres Ríos 50m	20°42.174	87°00.341				0.1	0.2	0.1	0.04	0.09	0.11	0.00	0.01	0.01	0.09	0.14	0.34
Tres Ríos 5m	20°42.069	86°59.265				0.1	0.1	0.2	0.02	0.09	0.12	0.00	0.01	0.02	0.09	0.38	0.15
Mayacobá 100m superficie	20°39.656	87°01.720				0.1	0.1	0.1	0.08	0.09	0.11	0.00	0.00	0.00	0.16	0.18	0.20
Mayacobá 100 fondo	20°39.656	87°01.720				0.1	0.0	0.1	0.08	0.09	0.12	0.00	0.01	0.00	0.16	0.07	0.09
Mayacobá 50m	20°39.810	87°01.816				0.3	0.1	0.1	0.04	0.09	0.11	0.00	0.01	0.01	0.30	0.34	0.43
Mayacobá 5m	20°39.700	87°01.866				0.1	0.1	0.1	0.00	0.08	0.13	0.00	0.01	0.01	0.26	0.57	0.65
Punta Esmeralda 100m superficie	20°38.508	87°02.863				1.0	0.1	0.1	0.00	0.11	0.15	0.00	0.00	0.00	0.19	0.07	0.42
Punta Esmeralda 100m fondo	20°38.508	87°02.863				1.4	0.1	0.1	0.02	0.12	0.11	0.00	0.01	0.01	0.13	0.07	0.11
Punta Esmeralda 50m	20°38.794	87°03.047				0.9	0.1	0.1	0.00	0.09	0.12	0.00	0.00	0.01	0.11	0.23	0.29
Punta Esmeralda 5m	20°38.866	87°03.103				0.9	0.1	0.1	0.05	0.09	0.11	0.00	0.02	0.02	0.33	0.39	0.39
Av. Constituyentes 100m	20°37.492	87°03.938				0.6	0.1	0.1	0.05	0.12	0.09	0.03	0.01	0.00	0.21	0.10	0.18
Av. Constituyentes 50m	20°38.590	87°04.081				0.9	0.1	0.1	0.00	0.10	0.11	0.00	0.00	0.02	0.13	0.20	0.26
Av. Constituyentes 5m	20°38.648	88°04.131				0.8	0.1	0.1	0.00	0.07	0.12	0.00	0.01	0.01	0.20	0.26	0.39
Muelle Fiscal 100m	20°37.210	87°04.220				0.3	0.1	0.1	0.00	0.10	0.09	0.00	0.00	0.01	0.25	0.07	0.39
Muelle Fiscal 50m	20°37.290	87°04.354				0.3	0.1	0.1	0.00	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.63	0.33	0.12
Muelle Fiscal 5m	20°34.592	87°04.410				0.2	0.1	0.1	0.00	0.05	0.10	0.00	0.10	0.01	0.25	0.35	0.20
Xcaret 100m sup	20°34.603	87°603.936				0.1	0.1	0.1	0.00	0.07	0.09	0.00	0.01	0.00	0.31	0.06	0.16
Xcaret 100m fondo	20°34.603	87°603.936				0.2	0.1	0.1	0.00	0.08	0.12	0.00	0.01	0.00	0.25	0.06	0.16
Xcaret 50m	20°34.603	87°07.029				0.3	0.1	0.1	0.05	0.07	0.09	0.00	0.00	0.02	0.16	0.06	0.25
Xcaret radial centro y boca	20°34.707	87°07.069				0.3	0.1	0.1	0.00	0.07	0.10	0.00	0.01	0.01	0.11	0.06	0.27
Xcaret estanque de delfines y playa	20°34.689	87°07.127				0.3	0.1	0.1	0.00	0.07	0.10	0.00	0.01	0.01	0.11	0.06	0.09
Calica 100m	20°33.724	87°07.209				0.4	0.1	0.1	0.00	0.08	0.10	0.00	0.01	0.01	0.16	0.04	0.12
Calica 50m	20°33.209	87°08.212				0.4	0.1	0.1	0.00	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	0.16	0.05	0.09
Calica 5m	20°33.891	87°08.292				0.8	0.1	0.1	0.00	0.08	0.08	0.10	0.00	0.01	0.19	0.07	0.15
Puerto Aventuras 100m	20°29.840	87°13.633					0.1	0.1		0.08	0.12		0.00	0.02		0.08	0.11
Puerto Aventuras 50m	20°29.893	87°13.661					0.1	0.1		0.07	0.11		0.01	0.00		0.08	0.12
Puerto Aventuras 5m	20°29.923	87°13.679				1.3	0.1	0.1	0.00	0.09	0.10	0.03	0.00	0.00	0.05	0.10	0.03
Akumal 100m	20°23.647	87°18.791					0.1	0.1		0.08	0.10		0.00	0.01		0.01	0.07
Akumal 50m	20°23.710	87°18.825					0.1	0.1		0.07	0.08		0.01	0.01		0.03	0.08
Akumal 5m	20°23.730	87°18.869					0.0	0.1		0.06	0.10		0.00	0.01		0.04	0.07
Xcacel 100m	20°20.234	87°20.732					0.1	0.1		0.06	0.10		0.02	0.00		0.01	0.09
Xcacel 50m	20°20.275	87°20.790					0.1	0.1		0.09	0.12		0.01	0.02		0.05	0.03
Xcacel 5m	20°20323	87°20.815					0.1	0.1		0.07	0.12		0.01	0.02		0.07	0.16
Tulum 50m	20°12.058	87°25.239					0.1	0.1		0.07	0.12		0.01	0.02		0.03	0.08
Tulum 5 m	20°12.158	87°25.908				1.0	0.1	0.1	0.01	0.08	0.08	0.00	0.01	0.02	0.04	0.13	0.09

CENOTES

Sacbé	20°42.051	87°03.711	557.44	707.2	807.20	1.4	0.2	0.1	0.00	0.05	0.09	0.01	0.02	0.02	0.07	0.05	0.15
Xcaret	20°34.792	87°07.151	1510.08	1768.00	1869.00	0.8	0.1	0.1	0.00	0.06	0.09	0.00	0.01	0.02	0.08	0.12	0.08
Xcaret Río	20°34.646	87°07.265	927.68	1788.80	1889.82	0.4	0.1	0.1	0.05	0.06	0.10	0.00	0.01	0.02	0.05	0.02	0.09
Eden	20°29.501	87°15.483	823.68	1114.88		0.8	0.2		0.10	0.05		0.01	0.01		0.06	0.08	
Calavera	20°13.153	87°27.439	919.36	1123.20	1223.30	1.2	0.2	0.2	0.00	0.07	0.12	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.11

Continuación ANEXO.

Estación	Laitud	Longitud	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto
			Fe mg/l	Fe mg/l	Fe mg/l	Al mg/l	Al mg/l	Al mg/l	Pb mg/l	Pb mg/l ⁻¹	Pb mg/l ⁻¹	Ni mg/l	Ni mg/l	Ni mg/l	Ar PPB	Ar PPB	Ar PPB
Punta Maroma 50m	20°43.720	86°57.756	0.99	0.16	0.18	0.175	0.014	0.013	0.04	0.00	0.12	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Punta Maroma 5m	20°43.720	86°57.766	1.04	0.66	0.69	0.214	0.110	0.120	0.00	0.00	0.10	0.00	0.000	0.000	5	5	0
Tres Ríos 100m	20°42.276	87°00.409	1.08	0.39	0.43	0.214	0.001	0.003	0.00	0.02	0.09	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Tres Ríos 50m	20°42.174	87°00.341	1.15	0.43	0.43	0.193	0.012	0.020	0.02	0.03	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Tres Ríos 5m	20°42.069	86°59.265	1.06	0.43	0.45	0.182	0.005	0.006	0.05	0.04	0.00	0.00	0.000	0.025	0	0	3
Mayacobá 100m sup	20°39.656	87°01.720	1.28	0.59	0.67	0.207	0.012	0.060	0.05	0.07	0.00	0.00	0.022	0.000	0	0	0
Mayacobá 100 fondo	20°39.656	87°01.720	1.28	0.66	0.68	0.207	0.041	0.137	0.05	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0	0	0
Mayacobá 50m	20°39.810	87°01.816	0.95	0.28	0.33	0.19	0.043	0.145	0.07	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Mayacobá 5m	20°39.700	87°01.866	1.15	0.31	0.37	0.007	0.126	0.014	0.02	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Punta Esmeralda 100m sup	20°38.508	87°02.863	0.59	0.28	0.33	0.023	0.000	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Punta Esmeralda 100m fondo	20°38.508	87°02.863	0.62	0.41	0.48	0.179	0.000	0.030	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Punta Esmeralda 50m	20°38.794	87°03.047	0.51	0.77	0.81	0.000	0.021	0.035	0.03	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Punta Esmeralda 5m	20°38.866	87°03.103	0.55	0.77	0.64	0.000	0.021	0.014	0.05	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Av. Constituyentes 100m	20°37.492	87°03.938	0.55	0.63	0.72	0.004	0.010	0.040	0.05	0.00	0.11	0.00	0.000	0.000	0	0	0
Av. Constituyentes 50m	20°38.590	87°04.081	0.52	0.71	0.57	0.000	0.012	0.009	0.09	0.00	0.09	0.01	0.000	0.000	0	0	0
Av. Constituyentes 5m	20°38.648	88°04.131	0.54	0.48	0.41	0.000	0.039	0.008	0.11	0.00	0.00	0.00	0.003	0.000	5	0	0
Muelle Fiscal 100m	20°37.210	87°04.220	0.52	0.36	0.43	0.006	0.006	0.030	0.13	0.00	0.07	0.00	0.000	0.005	0	0	0
Muelle Fiscal 50m	20°37.290	87°04.354	0.1	0.36	0.88	0.000	0.024	0.128	0.12	0.00	0.06	0.00	0.000	0.000	0	5	3
Muelle Fiscal 5m	20°34.592	87°04.410	0.4	0.81	0.89	0.000	0.123	0.130	0.16	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	10	5	3
Xcaret 100m sup	20°34.603	87°603.936	0.56	0.56	0.59	0.000	0.067	0.168	0.00	0.00	0.16	0.00	0.000	0.000	0	0	0
Xcaret 100m fondo	20°34.603	87°603.936	0.58	0.67	0.59	0.023	0.067	0.070	0.00	0.00	0.21	0.00	0.000	0.000	0	0	10
Xcaret 50m	20°34.603	87°07.029	0.64	0.64	0.68	0.000	0.160	0.175	0.00	0.00	0.17	0.00	0.000	0.000	0	10	0
Xcaret radial centro y boca	20°34.707	87°07.069	0.53	0.64	0.70	0.000	0.670	0.178	0.00	0.00	0.18	0.00	0.000	0.000	0	30	15
Xcaret estanque de delfines y playa	20°34.689	87°07.127	0.53	0.64	0.78	0.000	0.167	0.115	0.00	0.00	0.12	0.00	0.000	0.000	0	0	35
Calica 100m	20°33.724	87°07.209	0.66	0.76	0.95	0.000	0.570	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0	0	0
Calica 50m	20°33.209	87°08.212	0.79	0.93	0.99	0.003	0.111	0.072	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0	5	10
Calica 5m	20°33.891	87°08.292	0.87	0.96	0.79	0.000	0.149	0.111	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	5	0	0
Puerto Aventuras 100m	20°29.840	87°13.633		0.77	0.97	0.032	0.070	0.167		0.00	0.00		0.000	0.000		5	0
Puerto Aventuras 50m	20°29.893	87°13.661		0.94	0.66	0.012	0.107	0.080		0.00	0.00		0.000	0.000		5	10
Puerto Aventuras 5m	20°29.923	87°13.679	1.30	0.65	0.69		0.157	0.082	0.00	0.00	0.00	0.02	0.000	0.000	10	0	10
Akumal 100m	20°23.647	87°18.791		0.65	0.88		0.061	0.095		0.00	0.00		0.000	0.000		5	0
Akumal 50m	20°23.710	87°18.825		0.85	0.77		0.089	0.189		0.00	0.00		0.000	0.000		0	0
Akumal 5m	20°23.730	87°18.869		0.75	0.97		0.139	0.164		0.00	0.00		0.000	0.000		0	0
Xcachel 100m	20°20.234	87°20.732		0.90	0.59		0.034	0.025		0.00	0.00		0.000	0.000		0	0
Xcachel 50m	20°20.275	87°20.790		0.54	0.68		0.055	0.070		0.00	0.00		0.000	0.003		0	0
Xcachel 5m	20°20323	87°20.815		0.66	0.93		0.174	0.123		0.00	0.00		0.002	0.000		0	0
Tulum 50m	20°12.058	87°25.239		0.74	0.77		0.071	0.091		0.00	0.11		0.000	0.000		30	0
Tulum 5 m	20°12.158	87°25.908	0.98	0.90	0.59		0.113	0.085	0.00	0.00	0.05	0.01	0.000	0.000	0	30	35

CENOTES

Sacbé	20°42.051	87°03.711	1.32	0.58	0.61	0.000	0.061	0.138	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000	0.000	10	30	35
Xcaret	20°34.792	87°07.151	0.65	0.55	0.67	0.005	0.117	0.093	0.00	0.00	0.05	0.00	0.000	0.000	0	0	30
Xcaret Río	20°34.646	87°07.265	1.06	0.64	0.63	0.170	0.071	0.067	0.00	0.00	0.13	0.02	0.000	0.000	5	0	0
Eden	20°29.501	87°15.483	0.42	0.51		0.000	0.046		0.00	0.00		0.10	0.000		10	10	
Calavera	20°13.153	87°27.439	0.69	0.58	0.73	0.000	0.075	0.142	0.00	0.00	0.00	0.02	0.000	0.000	5	30	35

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

Introducción

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

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

Metodología

Para el 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 2 ml 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 de acuerdo a Hasle (1978) y Moreno-Ruiz (2003).

Para determinar a los *taxa* microalgales, obtención de datos de su forma de vida y hábitat, se consultaron las obras de: Peragallo y Peragallo (1897-1908), Hustedt (1930a-b, 1957, 1961-1966), Van der Werff y Huls (1957-1974), Desikachary (1959), Prescott (1962, 1978), Wood (1965), Bourrely (1966, 1968, 1970), Patrick y Reimer (1966, 1975), Steidinger y Williams (1970), Foged (1971, 1986a-b, 1993), Campbell (1973), Navarro (1981-1983), Caljon (1983), Rines y Hargraves (1988), Moreno-Ruiz y Carreño (1993), Moreno-Ruiz *et al.* (1993), Figueroa-Torres (1994), Moreno y Licea (1994), Moreno-Ruiz *et al.* (1994), Moreno-Ruiz y Licea (1995), Licea *et al.* (1996), Thronsen (1997), Moreno-Ruiz (2000), Ferrario *et al.* (2002) y Moestrup (2002).

Los *taxa* fitopláncticos se ordenaron por División. Asimismo, con la finalidad de tener un manejo práctico de las especies o categorías inferiores no reconocidas pero que presentaron características distintivas, se catalogaron con el número e iniciales de las estaciones de muestreo.

El análisis cualitativo comprendió la presencia y ausencia de las especies (Foged, 1986a-b; Moreno *et al.* 1997).

Posteriormente se trabajó con un intervalo de confianza aceptable (Round, 1990-1991; Lara-Villa, *et al.* 1996), con el recuento de 100 a 300 células por muestra. Las células

fragmentadas pero con contenido celular se determinaron como completas de acuerdo al criterio de Stoermer *et al.* (1987) y Moreno-Ruiz (2001).

Para determinar la variabilidad espacial, se obtuvo la abundancia relativa que es el porcentaje de las células de cada taxón en todas las estaciones de muestreo (Odum, 1972). La frecuencia corresponde al porcentaje del número de estaciones en las que se presenta un taxón dividido entre el total de estaciones analizadas (Dawes, 1991). La importancia o dominancia se refiere a la suma de la abundancia y frecuencia divididas entre dos (Franco *et al.* 1985). Posteriormente, se consideraron dominantes a las especies que tuvieron valores de 1 a > de 1.

En la determinación de la estructura de las comunidades, se utilizaron los índices:

Número de *taxa* (N0) de acuerdo a Steidinger (1972) y Ludwig y Reynolds (1988), que se define como el número de especies por estación y período de muestreo.

Riqueza de especies de Margalef (1958) con la expresión:

$$D = \frac{S-1}{\ln(n)}$$

Índice de diversidad (H'n) de Shannon y Wiener según Washington (1984) y Lara-Villa *et al.* (1996) con:

$$H'n = - \sum_{i=1}^{s^*} (p_i \log_{10} p_i)$$

Equitatividad (J') de Pielou (1975, 1977) con:

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} = \frac{\ln(N1)}{\ln(N0)}$$

Debido a que es difícil clasificar la salinidad en el agua de los cenotes, marina y de agua dulce, se utilizó el Sistema de Venecia de acuerdo a Caljon (1983).

Resultados y discusión

Composición, abundancia y diversidad

Estaciones de muestreo en los cenotes:

Se determinaron 26 especímenes fitoplácticos totales con: 16 bacilariofitas a una clorofita (Fig. 152A) en noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005. Entre estas algas, sobresalieron 18 estructuradas por: 11 bacilariofitas a una clorofita en noviembre (Tabla 66, Fig. 152B); Así como tres especímenes constituidos por: una dinofita a una bacilariofita en agosto (Fig. 152B). 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, que posiblemente resultó del efecto del huracán Emily previo a ese último muestreo.

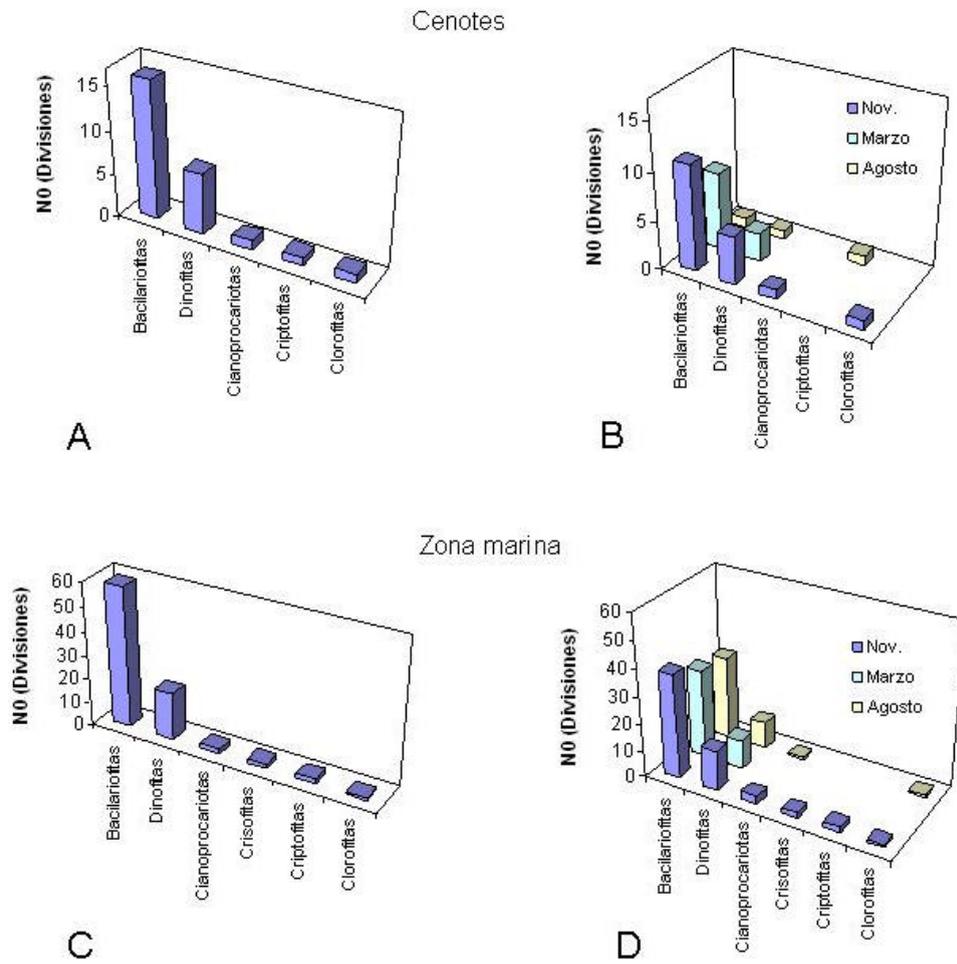


Fig. 152. Riqueza (N0), de taxones en las Divisiones de algas fitopláncticas en los cenotes y zona marina. Total (A y C) y durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005 (B y D).

Las variables cualitativas y cuantitativas se muestran en la figura 153. 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 66, Fig. 153). En los cenotes la riqueza fue menor en comparación con la registrada en el área marina aledaña (43-61).

Tabla 66. Comparación de datos fitoplácticos procedentes de la literatura, las estaciones de la Riviera Maya (<=valor menor, >=valor mayor) y los cenotes.

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					
ESTACIONES DE MUESTREO CON EL MENOR NÚMERO DE TAXA ()					
			Ene-18 Calavera (1)	01-May Sacbe (1)	01-Mar Xcaret, Xcaret Río y El Edén (1)
ESTACIONES DE MUESTREO CON EL MAYOR NÚMERO DE TAXA					
			El Edén (6)	El Edén (5)	Sacbe (3)
CÉLULAS/mL EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO ()					
			Calavera (1), Xcaret Río (14)	Sacbe (1)	Xcaret, Xcaret Río y El Edén (1)
CÉLULAS/mL ENTRE LAS ESPECIES ()					
Bacilariofitas: <i>Synedra ulna</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Synedra acus</i> , <i>Nitzschia closterium</i> , <i>Navicula</i> sp., <i>Scenedesmus</i> y <i>Thalassiosira</i> (1-30,000)			Cianoprocariota <i>Synechocystis aquatilis</i> , dinofita <i>Prorocentrum compressum</i> y la clorofita <i>Pyramimonas</i> cf. <i>micron</i> (6 cada una)	Dinofita <i>Gymnodinium</i> cf. <i>verruculosum</i> la bacilariofita <i>Cyclotella meneghiniana</i> (3 respectivamente)	Dinofita <i>Gymnodinium</i> cf. <i>verruculosum</i> (1)
INDICES DE DIVERSIDAD (H' EN BITS/IND.)					
			NO=1-6 H'=0.811-2.585 J=0.796-1.000	NO=1-5 H'=0.971-2.252 J=0.921-1.000	NO=1-3 H'=1.586 J=1.000
H' ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO					
			<Xcaret; >El Edén		
J' ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO					
			< Xcaret Río; >El Edén	>Calavera	>Sacbe

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 (Fig. 153). Por

su dominancia destacaron las tres especies: *Prorocentrum compressum*, *Synechocystis aquatilis*, y *Pyramimonas* cf. *micron* en noviembre (Fig. 154). 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) en donde, se han calculado densidades fitoplácticas de una célula/mL y la dominancia de *Synedra ulna* y *Aulacoseira granulata*, que fueron especies distintivas de ese lago monomítico 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 (Fig. 153) 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 66, Fig. 153); 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).

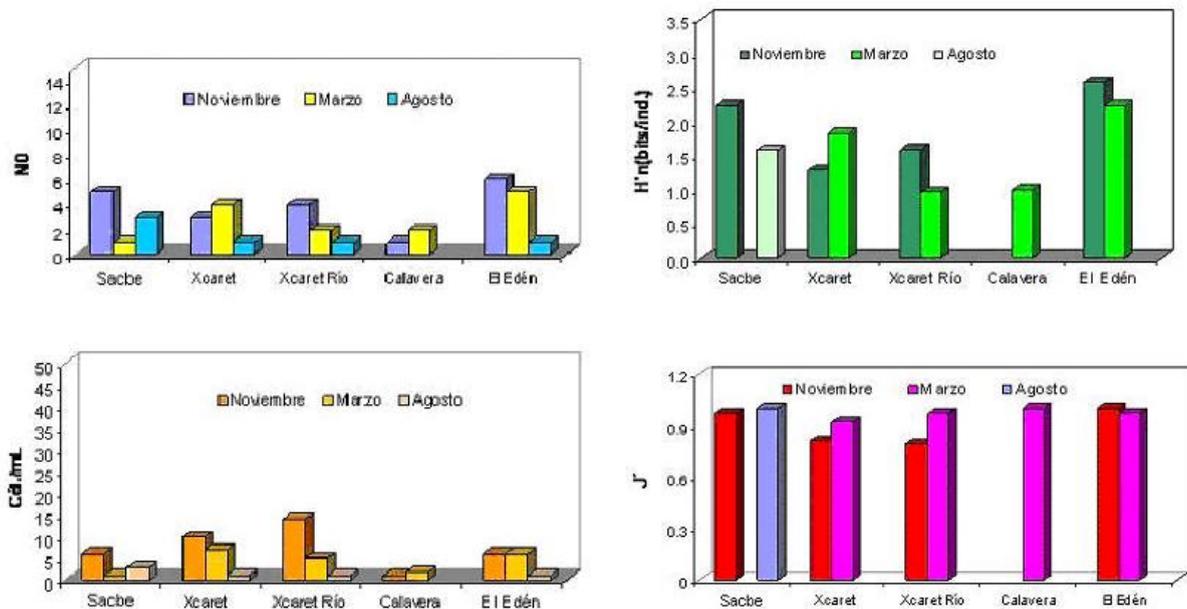


Fig. 153. Riqueza (N0), densidad (Cél/mL), diversidad (Shannon y Wiener en bits/ind) y equitatividad (J' de Pielou) de las algas fitoplácticas en los cenotes durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005.

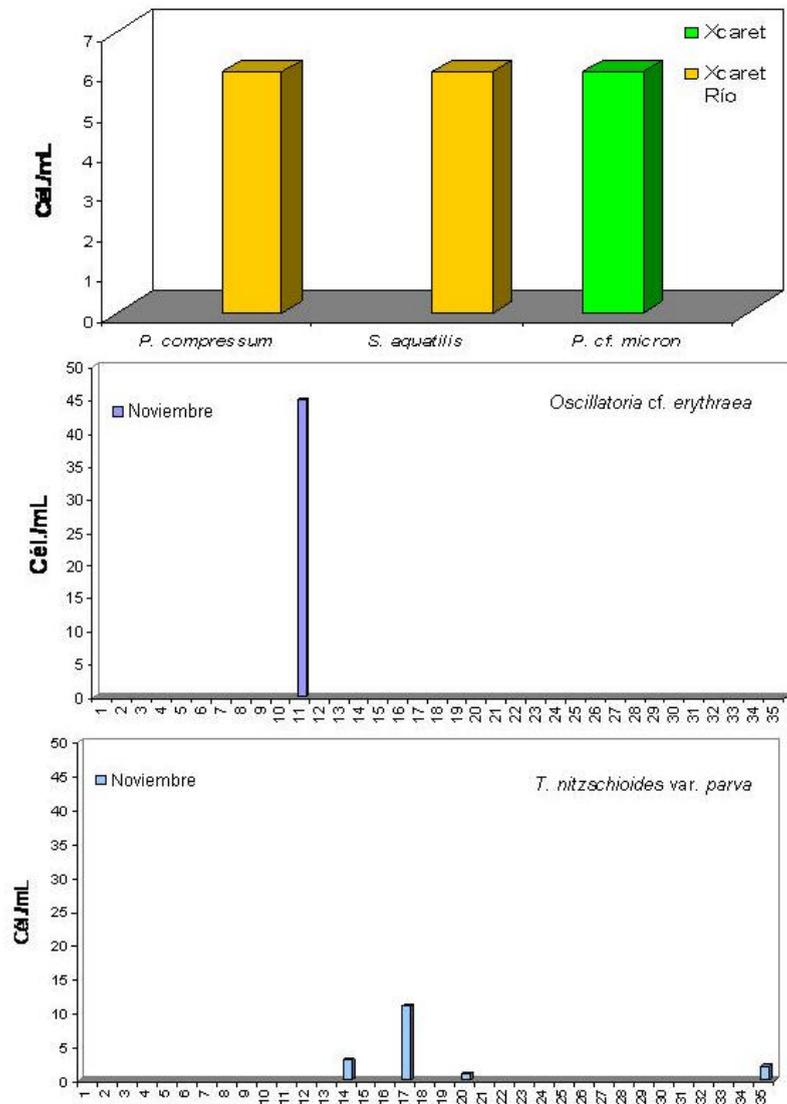


Fig. 154. Densidad (Cél./mL) de las especies fitopláncticas abundantes en los cenotes y en la zona marina (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 152).

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 fitopláncticos (Tabla 67): el primero (Fig. 155), se constituyó por cuatro taxones comunes en agua dulce que resistieron condiciones “oligohalinas” (*Cyclotella meneghiniana*-*Cyclotella cf. stelligera*, Fig. 155). 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 de las cinco estaciones de muestreo (Figs. 155 y 156).

El tercer grupo (Fig. 155), estuvo integrado por la especie “oligohalina”: *Pyramimonas* cf. *micron*, la que mostró muy baja distribución (6.7% en noviembre) y quien resistió condiciones marinas (Fig. 155).

El cuarto grupo (Fig. 156), tuvo la mayor riqueza de taxones (19), se estructuró con especies marinas que toleraron condiciones mesohalinas (Tabla 2); entre estas algas fitopláncticas destacaron los tres especímenes: *Thalassionema nitzschioides* var. *claviformis*, *Thalassionema nitzschioides* var. *nitzschioides* y *Thalassionema bacillaris* (Fig. 155) que tuvieron alta distribución (26.7-13.3%, respectivamente). De manera opuesta, con menor distribución (6.7%) 16 especímenes representados por: *Prorocentrum compressum* - *Thalassionema frauenfeldii* (Tabla 67).

De acuerdo con los componentes fitopláncticos registrados en los cenotes, se detectaron condiciones mesohalinas de los mismos, 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 en prensa). Sin embargo los muestreos de marzo y agosto no tuvieron especies oligohalinas (Tabla 67).

En Yucatán existen varios tipos de cenotes, entre los cuales, resaltan los que se ubican cerca del mar, en los que por abajo del agua dulce se encuentra el agua salada (Schmitter-Soto *et al.* 2002). Así, resultó trascendental la presencia de los 19 taxones marinos *Thalassionema nitzschioides* var. *claviformis*, *Thalassionema frauenfeldii* (Tabla 67). Por lo que sobresalen los cenotes analizados como ambientes especiales para el desarrollo de especies invasoras (Guillard y Kilham 1977), mismas que pudieron arribar 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.

Tabla 67. Datos cualitativos y cuantitativos de las algas fitopláncticas en los cenotes de la Rivera Maya, en los tres muestreos (noviembre 2004, marzo 2005 y agosto 2005). No.=clave del taxón, FREC=frecuencia, AMBIENTE=ambiente acuático, 1=agua dulce, 2=oligohalino, 3=masohalino, 4=marino; N0=riqueza.

No.	Taxa	FREC	FREC	FREC	FREC	AMBIENTE	No.
	DIVISIÓN: CYANOPROKARYOTA	nov-04	mar05	ag05	TOTAL		
A3	<i>Synechocystis aquatilis</i>	20.0			6.7	1, 2	3
	DIVISIÓN: DINOPHYTA						4
A5	<i>Dinophysis</i> cf. <i>doriphora</i>		20.0		6.7	4, 3	5
A6	<i>Goniodoma polyedricum</i>	20.0			6.7	4, 3	6
A7	<i>Gonyaulax polygramma</i>	20.0			6.7	4, 3	8
A10	<i>Gymnodinium</i> cf. <i>verruculosum</i>	20.0	40.0	80.0	46.7	2, 3	9
A15	<i>Prorocentrum compressum</i>	20.0			6.7	4, 3	10
A21	<i>Prorocentrum rostratum</i>		20.0		6.7	4, 3	13
A23	<i>Protoperidinium</i> cf. <i>conicum</i>	20.0			6.7	4, 3	15
	DIVISIÓN: CRYPTOPHYTA						18
A30	<i>Cryptomonas</i> cf. <i>ovata</i> var. <i>ovata</i>			20.0	6.7	1, 2	24
	DIVISIÓN: BACILLARIOPHYTA						26
A31	<i>Asterionellopsis glacialis</i>		20.0		6.7	4, 3	27
A45	<i>Chaetoceros diversus</i> morfotipo <i>diversus</i>	20.0			6.7	4, 3	35
A57	<i>Cyclotella litoralis</i>	20.0			6.7	4, 3	36
A58	<i>Cyclotella meneghiniana</i>		40.0		13.3	1, 2	37
A59	<i>Cyclotella</i> cf. <i>stelligera</i>	20.0			6.7	1, 2	39
A60	<i>Cyclotella</i> af. <i>stelligera</i>		20.0		6.7		40
A61	<i>Cyclotella striata</i>	20.0			6.7	4, 3	41
A63	<i>Dactyliosolen mediterraneus</i>	20.0			6.7	4, 3	42
A64	<i>Guinardia flaccida</i>	20.0			6.7	4, 3	43
A68	<i>Leptocylindrus danicus</i>	20.0			6.7	4, 3	44
A79	<i>Skeletonema costatum</i>		20.0		6.7	4, 3	45
A82	<i>Thalassionema bacillaris</i>	20.0	20.0		13.3	4, 3	46
A83	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	20.0			6.7	4, 3	47
A85	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>claviformis</i>	20.0	40.0	20.0	26.7	4, 3	48
A88	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>nitzschioides</i>	40.0	20.0		20.0	4, 3	49
A90	<i>Thalassiosira</i> cf. <i>minima</i>		20.0		6.7	4, 3	50
	DIVISIÓN: CHLOROPHYTA						51
A95	<i>Pyramimonas</i> cf. <i>micron</i>	20.0			6.7	2	52
23	N0	18	11	3	26	25	32

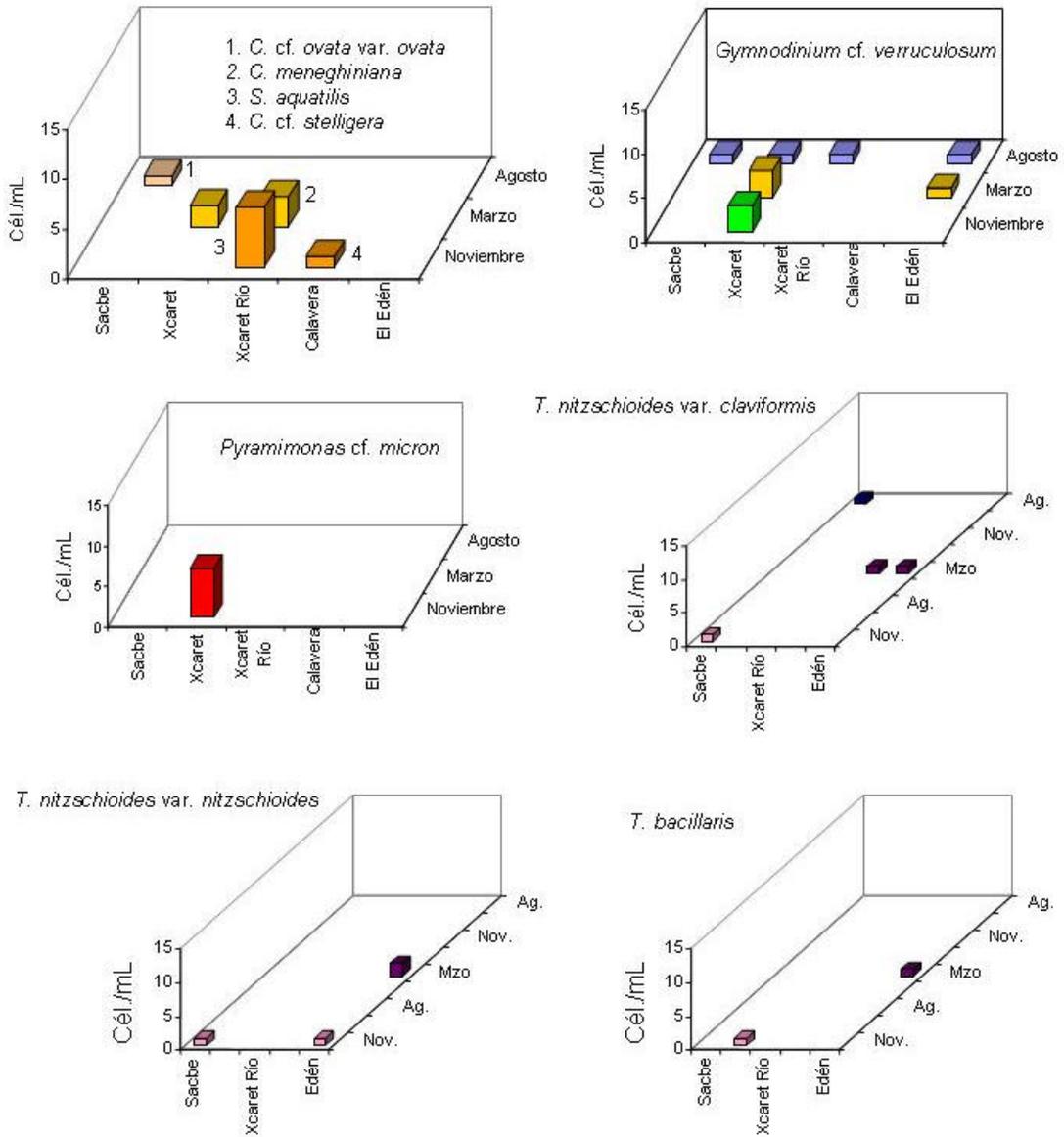


Fig. 155. Abundancia (Cél./mL) y distribución de especies fitopláncticas en los cenotes.

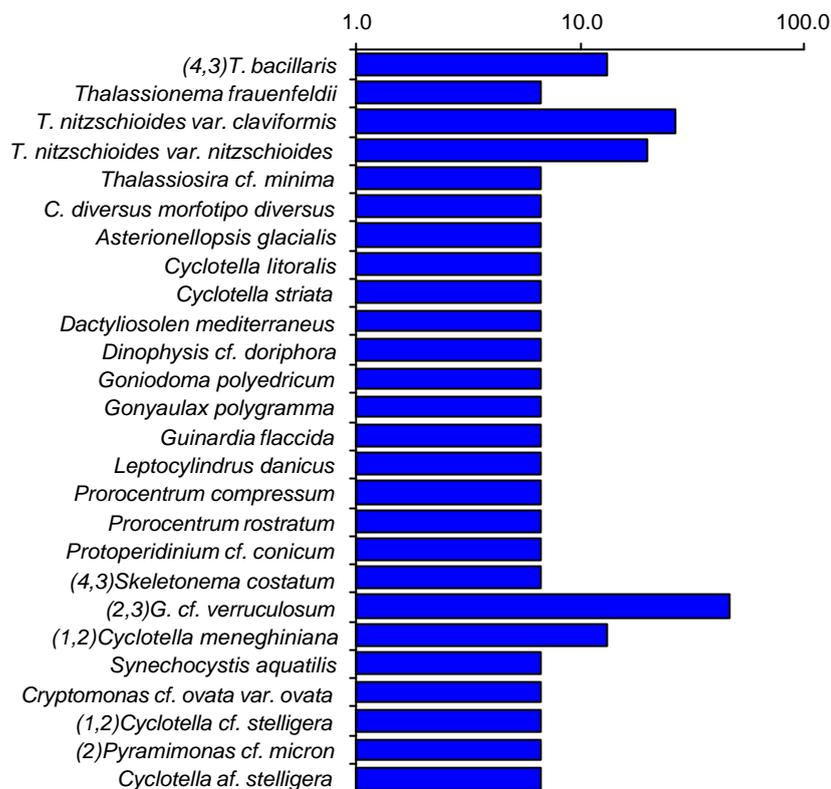


Fig. 156. Frecuencia (46.7-6.7%) de las algas fitopláncticas marinas que toleran condiciones mesohalinas (4,3), oligohalinas que toleran condiciones mesohalinas (2,3), agua dulce que toleran condiciones oligohalinas (1,2) y oligohalinas (2) en los cenotes durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005.

Estaciones de muestreo en el ambiente marino:

En el área marina, sobresalieron 86 especímenes fitopláncticos totales, con: 59 bacilariofitas, una clorofita (Fig. 153C). Resaltaron 61 especímenes fitopláncticos, con 39 bacilariofitas a una clorofita en noviembre (Tabla 68, Fig. 153D); así como 43 especímenes con: 31 bacilariofitas a una clorofita en agosto (Tabla 68, Fig. 153D). Lo que reveló parte de la sucesión de algas microscópicas que se presentaron en el área de estudio, en 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 pláncticas.

Las variables cualitativas y cuantitativas se muestran en las figuras 157, 158 159 y 160. El menor número de taxones (uno) se presentó en las estaciones: Punta Maroma 50 m y Tres Ríos 5 m (Tabla 66, Fig. 157) 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) se registró en la estación Tres Ríos 100 m (Tabla 68, Fig. 157) en noviembre.

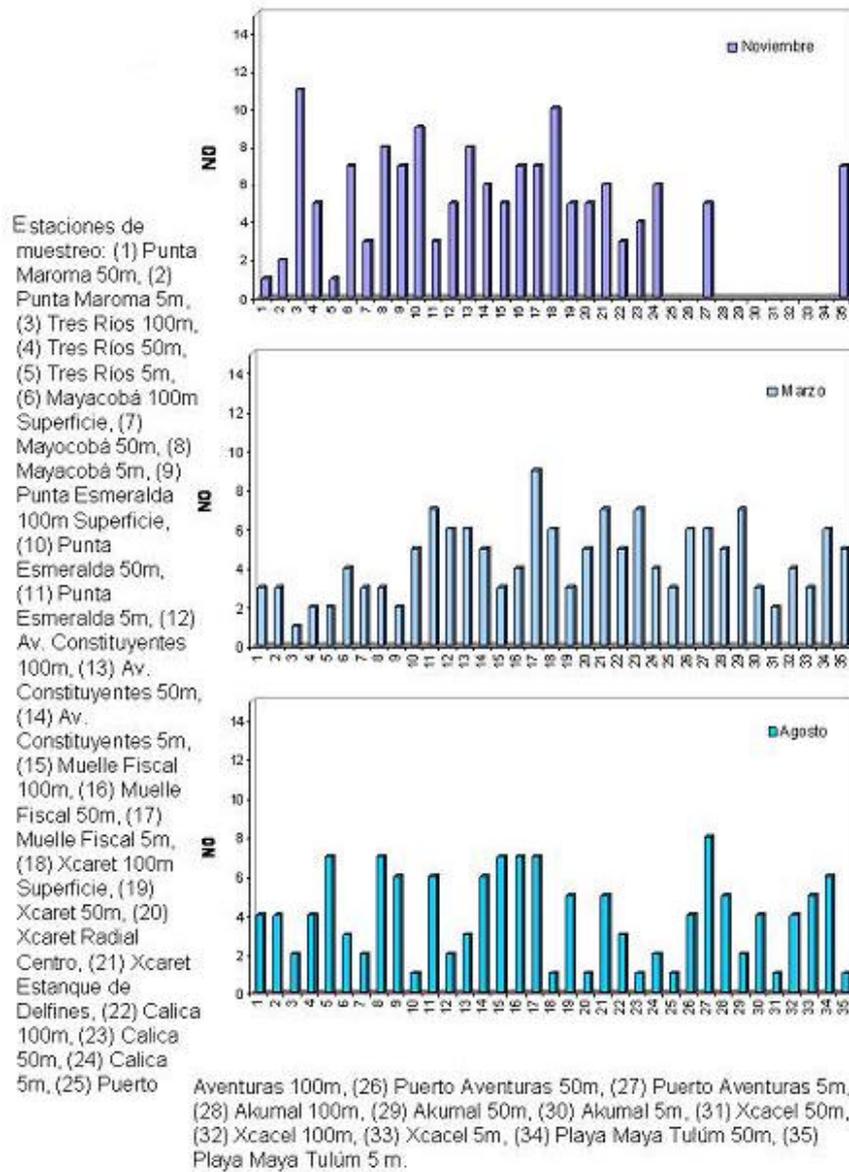


Fig. 157. Riqueza (NO) de algas fitoplanctónicas en la zona marina durante los muestreos de noviembre, marzo y agosto de 2005.

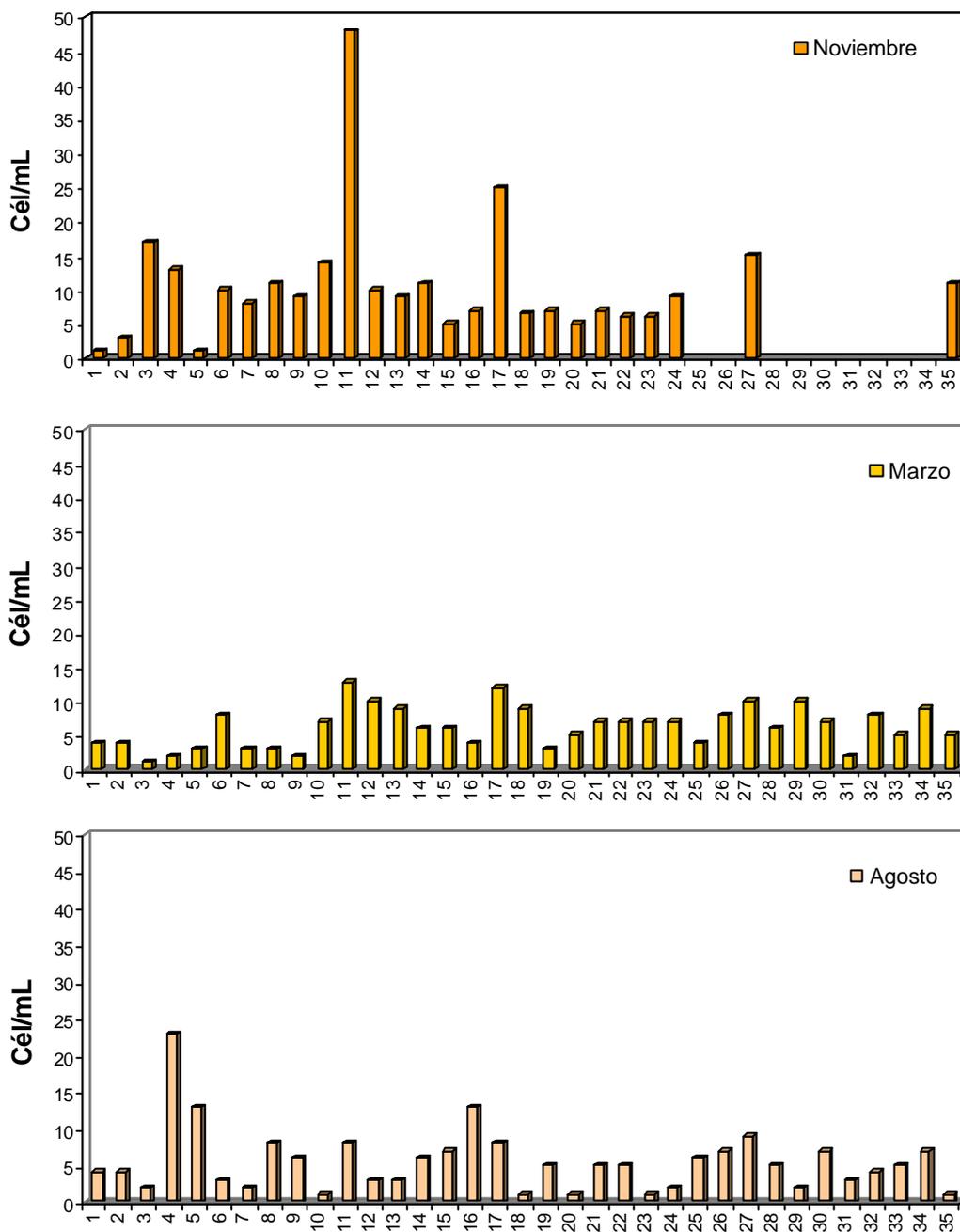


Fig. 158. Densidad (Cél/mL) de las algas fitoplanctónicas en la zona marina durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005 (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).

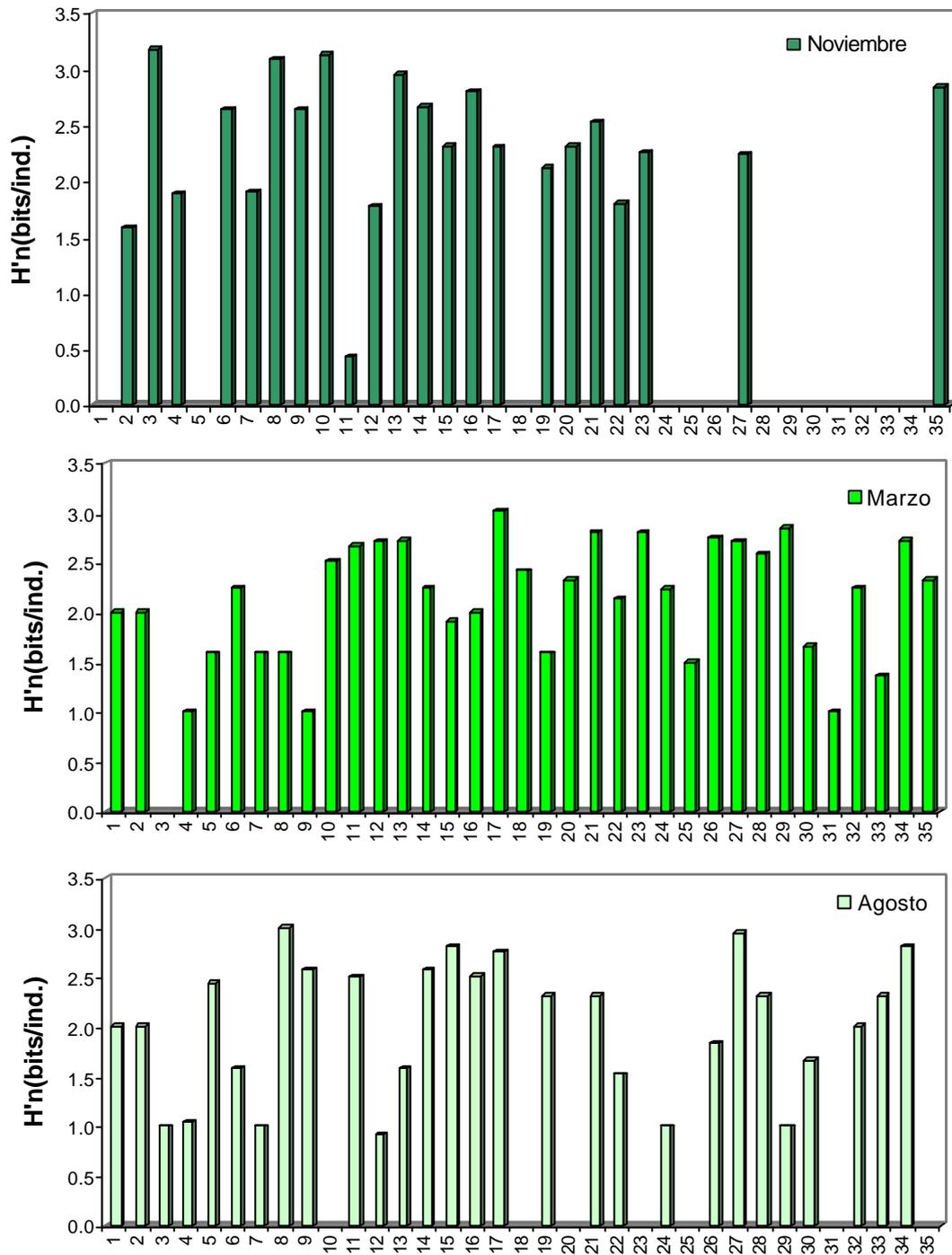


Fig. 159. Diversidad (Shannon y Wiener en bits/ind.) de las algas fitopláncticas en la Zona marina durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005 (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).

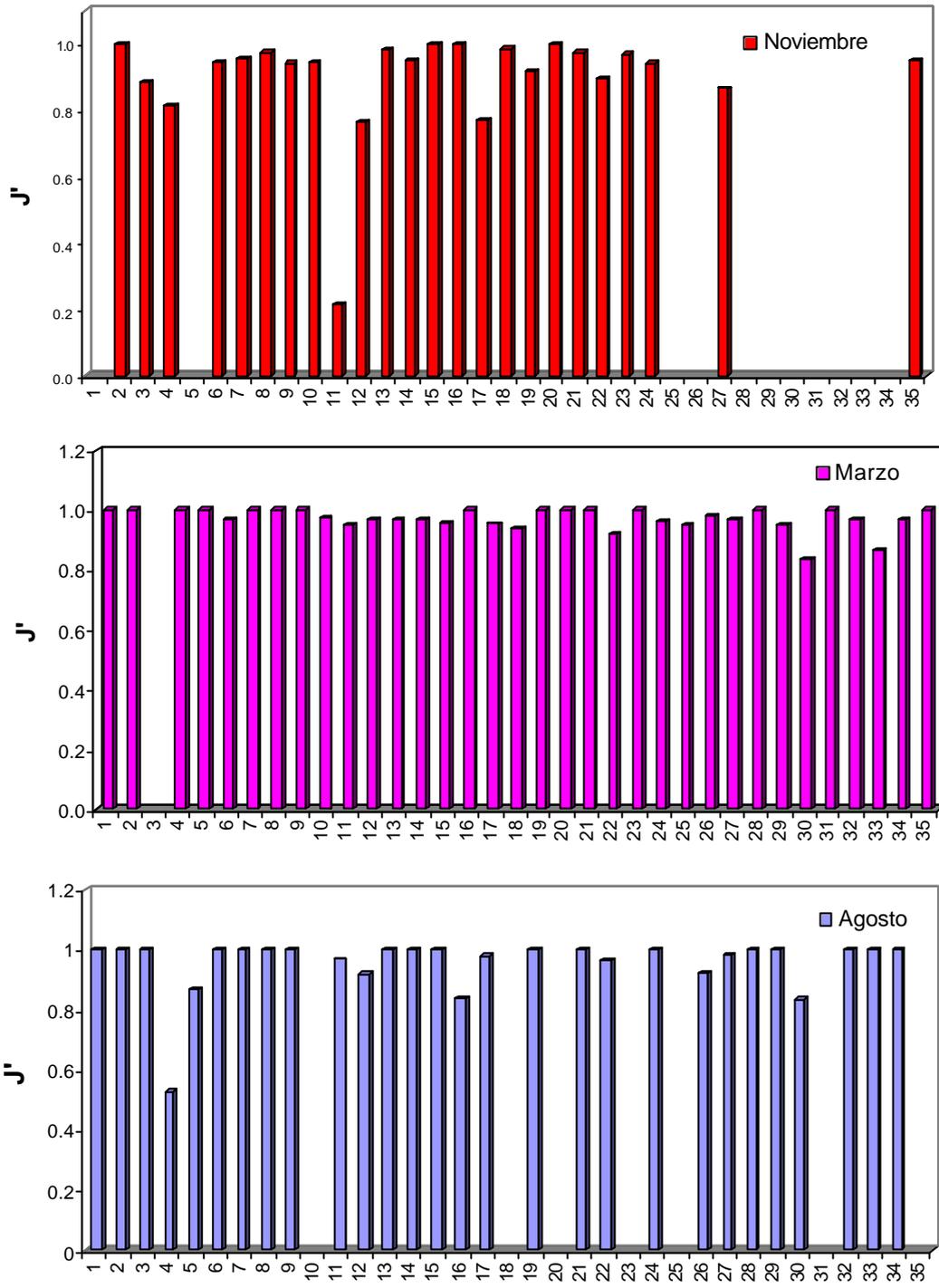


Fig. 160. Equitatividad (J' de Pielou) de las algas fitopláncticas en la zona marina durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005 (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).

Tabla 68. Comparación de datos fitoplácticos procedentes de la literatura, estaciones de la Riviera Maya (<=valor menor, >=valor mayor) y zona costera.

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
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 TOTALES		
	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 Tulum 5 m
	ESTACIONES DE MUESTREO CON EL MAYOR NÚMERO DE TAXA		
	Tres Ríos 100m (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)	Punta Esmeralda, Xcaret 100 m superficie, Xcaret Radial Centro, Calica Sur 50 m, Puerto Aventuras 100 m y Playa Maya Tulum 5 m (1)
	CÉLULAS/mL ENTRE LAS ESPECIES ()		
Dinofitas: <i>Pyrodinium bahamense</i> , <i>Prorocentrum lima</i> ; bacilariofitas: <i>Chaetoceros compressus</i> , <i>Nitzschia longissima</i> y <i>Licmophora</i> sp. (969-7,260)	<i>Oscillatoria</i> cf. <i>erythraea</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i> , <i>Oxyrrhis marina</i> , <i>Guinardia flaccida</i> , <i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> , <i>Thalassionema bacillaris</i> , <i>Pyramimonas</i> cf. <i>micron</i> (6-45)	<i>Leptocylindrus minimus</i> , <i>Gymnodinium</i> cf. <i>verruculosum</i> , <i>Cyclophora tenuis</i> , <i>Skeletonema pseudocostatum</i> , <i>Thalassionema frauenfeldii</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>capitulata</i> y <i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>claviformes</i> (3-4)	<i>Oscillatoria</i> cf. <i>erythraea</i> , <i>Chaetoceros socialis</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> f. <i>angustissima</i> y <i>Gymnodinium</i> cf. <i>verruculosum</i> (3-18)
	INDICES 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, Xcachel 50 m y Playa Maya Tulum 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, Xcachel 100 m, Xcachel 5 m y Playa Maya Tulum 50 m

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 68, Fig. 158). 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* (Fig. 161), quien tuvo la mayor importancia o dominancia (6.1), en contraste con las seis especies: *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* (11 células/mL, dominancia 3.6) a *Oxyrrhis marina* (seis células/mL, dominancia 0.5) también en noviembre (Figs. 161 y 162), *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 a 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 indeseables, ya que 138/células mL en ambientes costeros y marinos proporcionan indicios de eutroficación (Licea y Santoyo 1991).

Las fluctuaciones de 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 68, Fig. 159) 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 68, Fig. 160). 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 (valores de la relación Nt:Pt fueron mayores en el mar 0.41-2.29 en contraste con los de los cenotes de 0.22-1.13).

Con base en su hábitat, resaltaron cuatro grupos fitoplácticos (Tabla 69, Figs. 167, 168 y 169): el primero, se integró por seis taxones de agua dulce que resistieron condiciones oligohalinas y que pudieron ser transportadas 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 (Fig. 167).

Resaltó el segundo grupo, integrado por las dos especies "oligohalinas mesohalinas" que resistieron condiciones marinas: *Gymnodinium* cf. *verruculosum* y *Oxyrrhis marina* (Figs. 163 y 168), 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%).

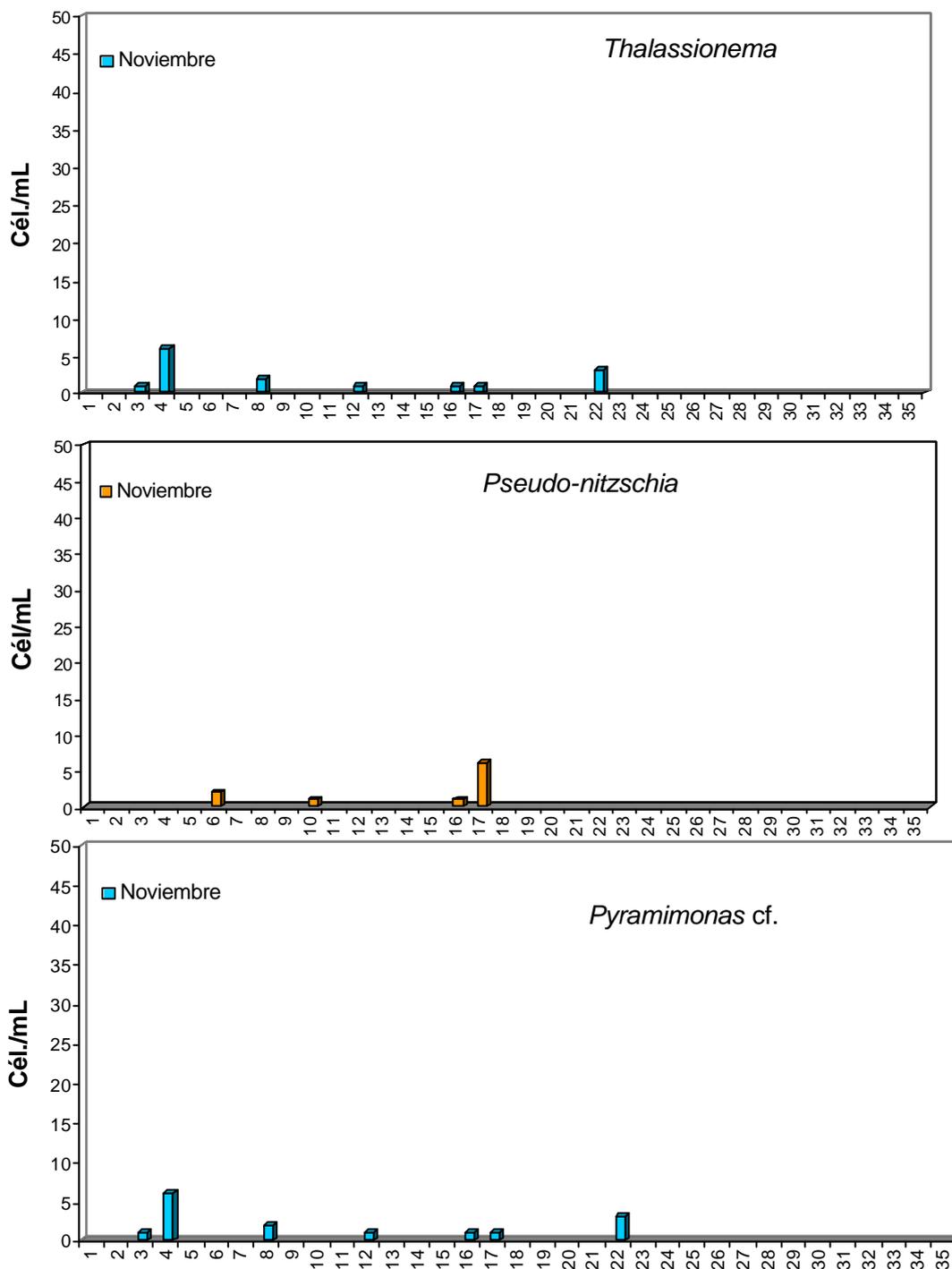


Fig. 161. Densidad (Cél./mL) de las especies fitopláncticas abundantes en la zona marina (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).

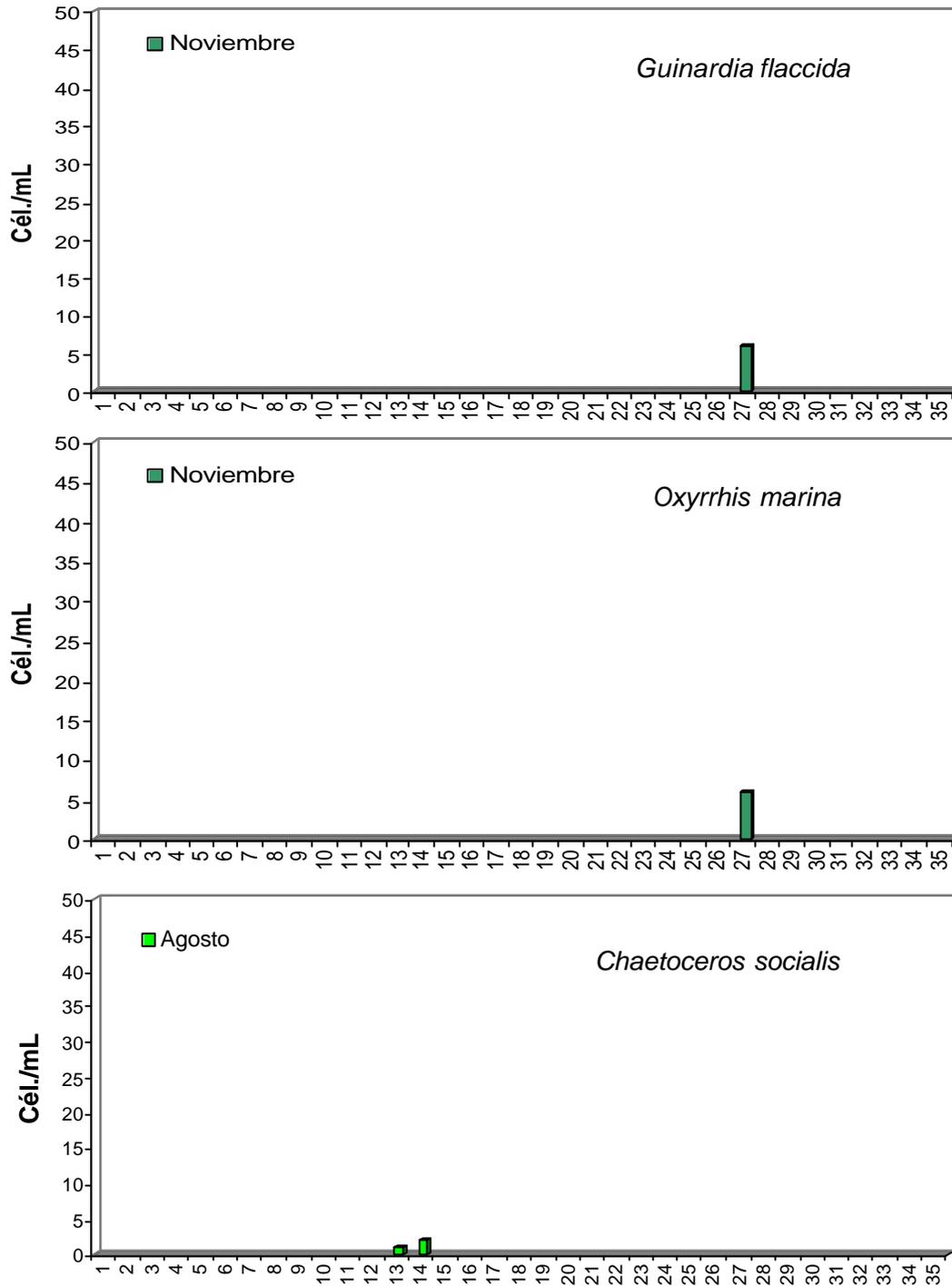


Fig. 162. Densidad (Cél./mL) de las especies fitopláncticas abundantes en la zona marina (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).

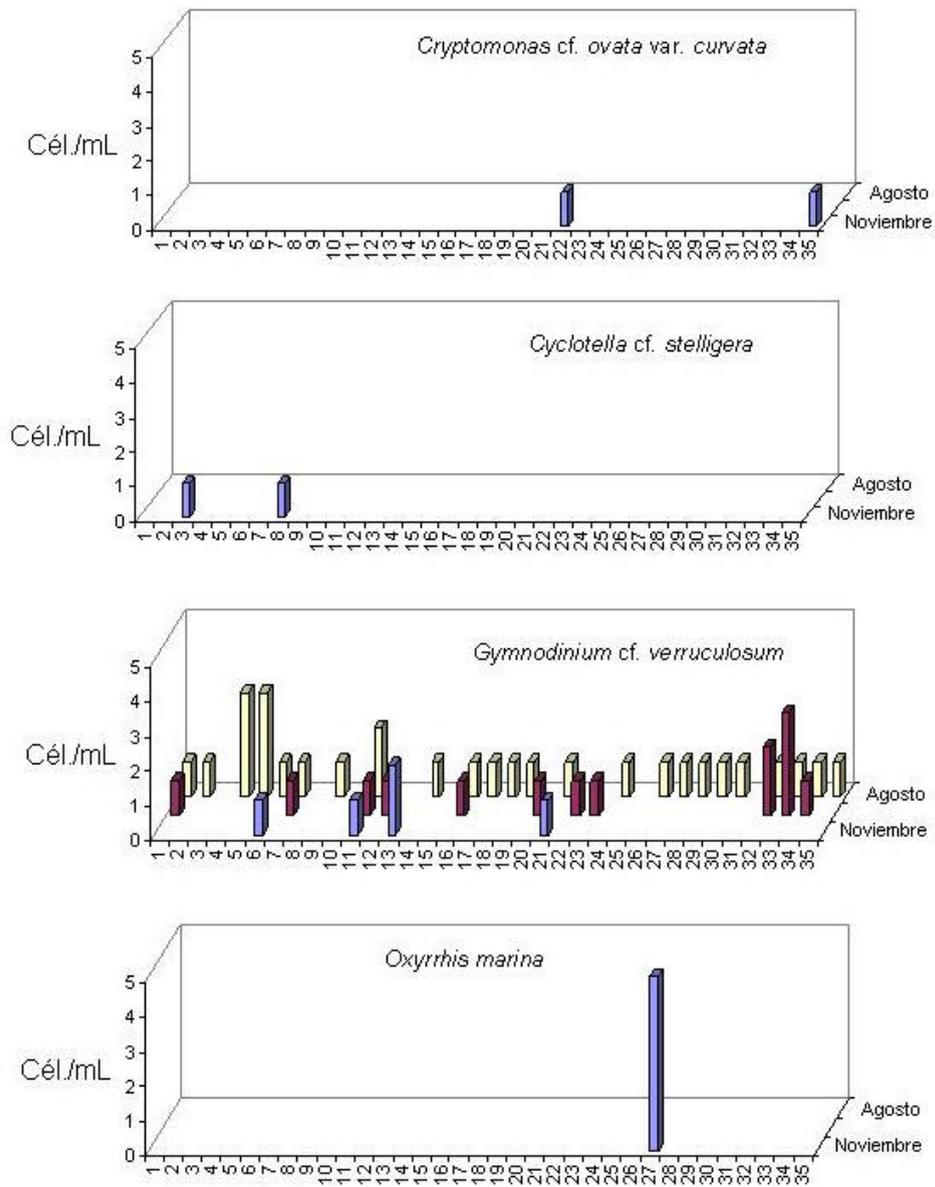


Fig. 163. Abundancia (Cél./mL) y distribución de especies fitopláncticas en la zona marina (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).

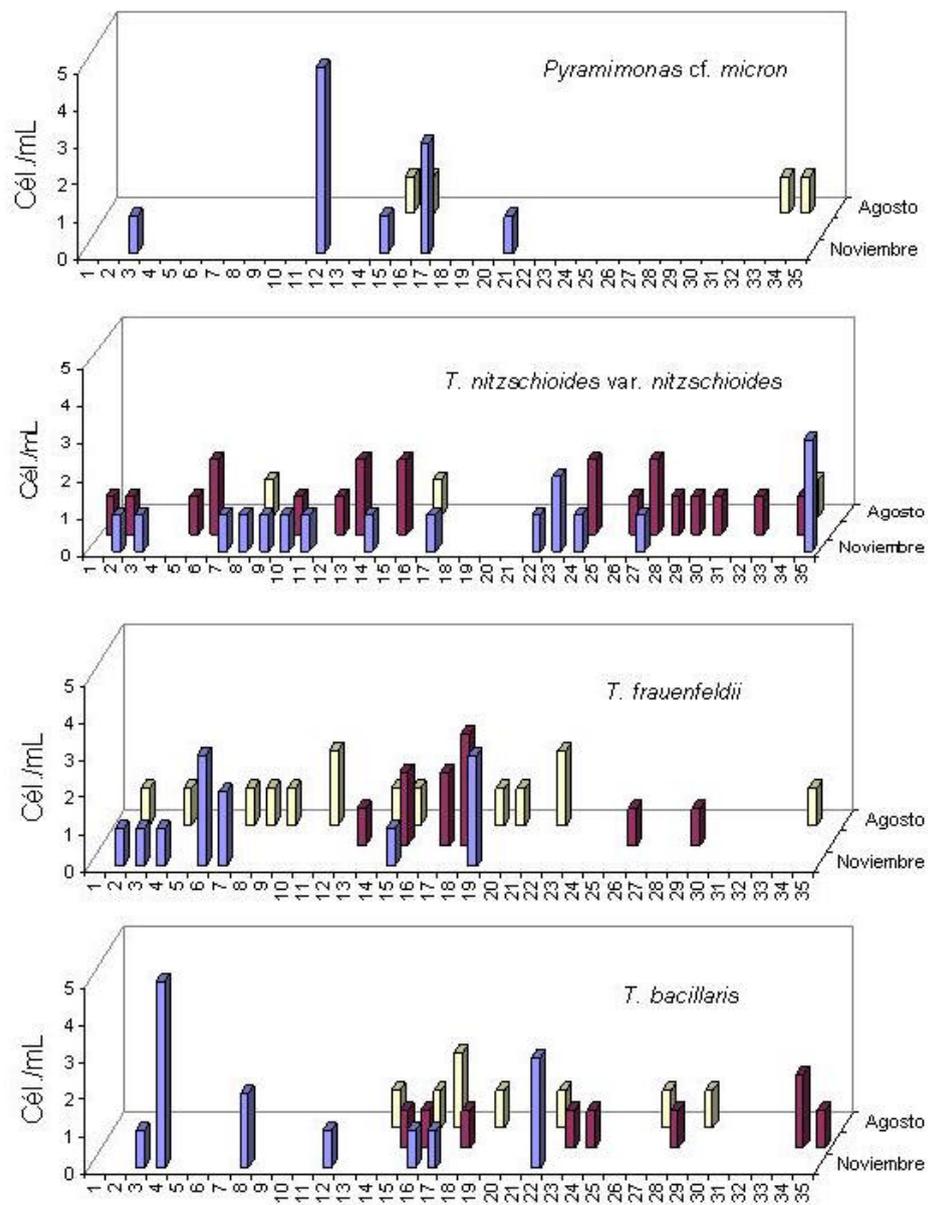


Fig. 164. Abundancia (Cél./mL) y distribución de especies fitopláncticas en la zona marina (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).

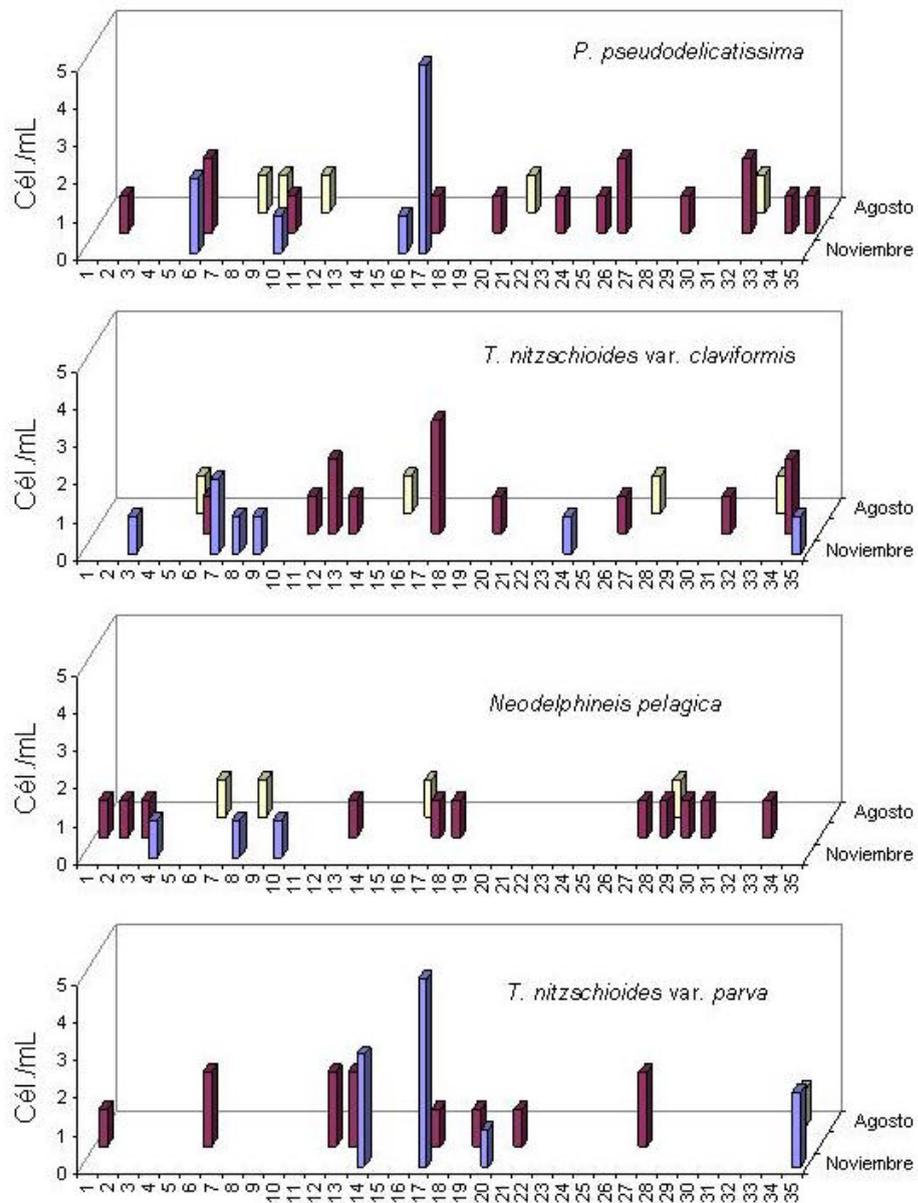


Fig. 165. Abundancia (Cél./mL) y distribución de especies fitopláncticas en la zona marina (la abreviatura de las estaciones de muestreo se explica en la Fig. 153).



Fig. 166. Frecuencia (34.4-1.0 %) de las algas fitopláncticas marinas que toleran condiciones mesohalinas (4,3) en la zona costera adyacente durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005.

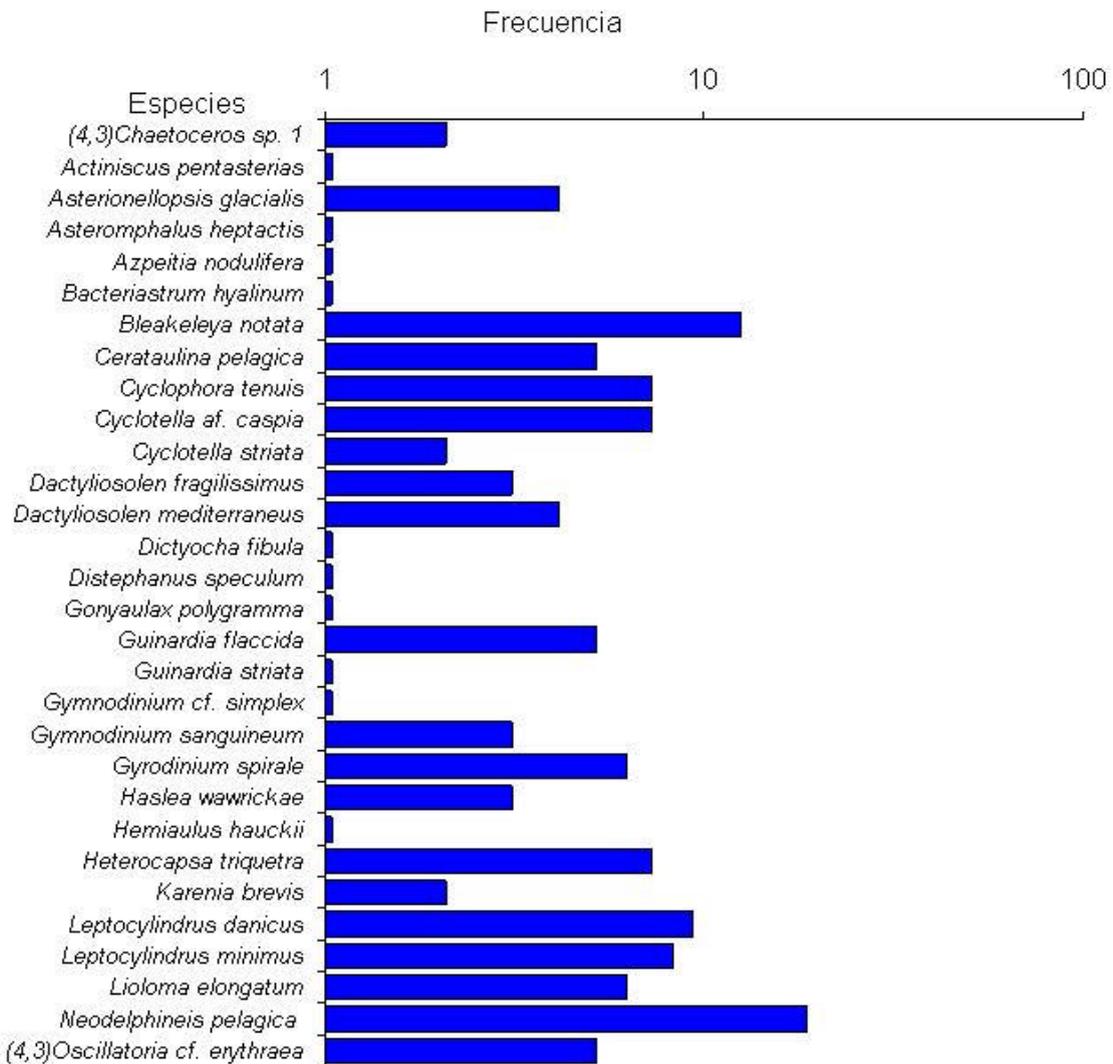


Fig. 167. Frecuencia (18.8-1.0%) de las algas fitopláncticas marinas que toleran condiciones mesohalinas (4, 3) en la zona costera adyacente durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005.

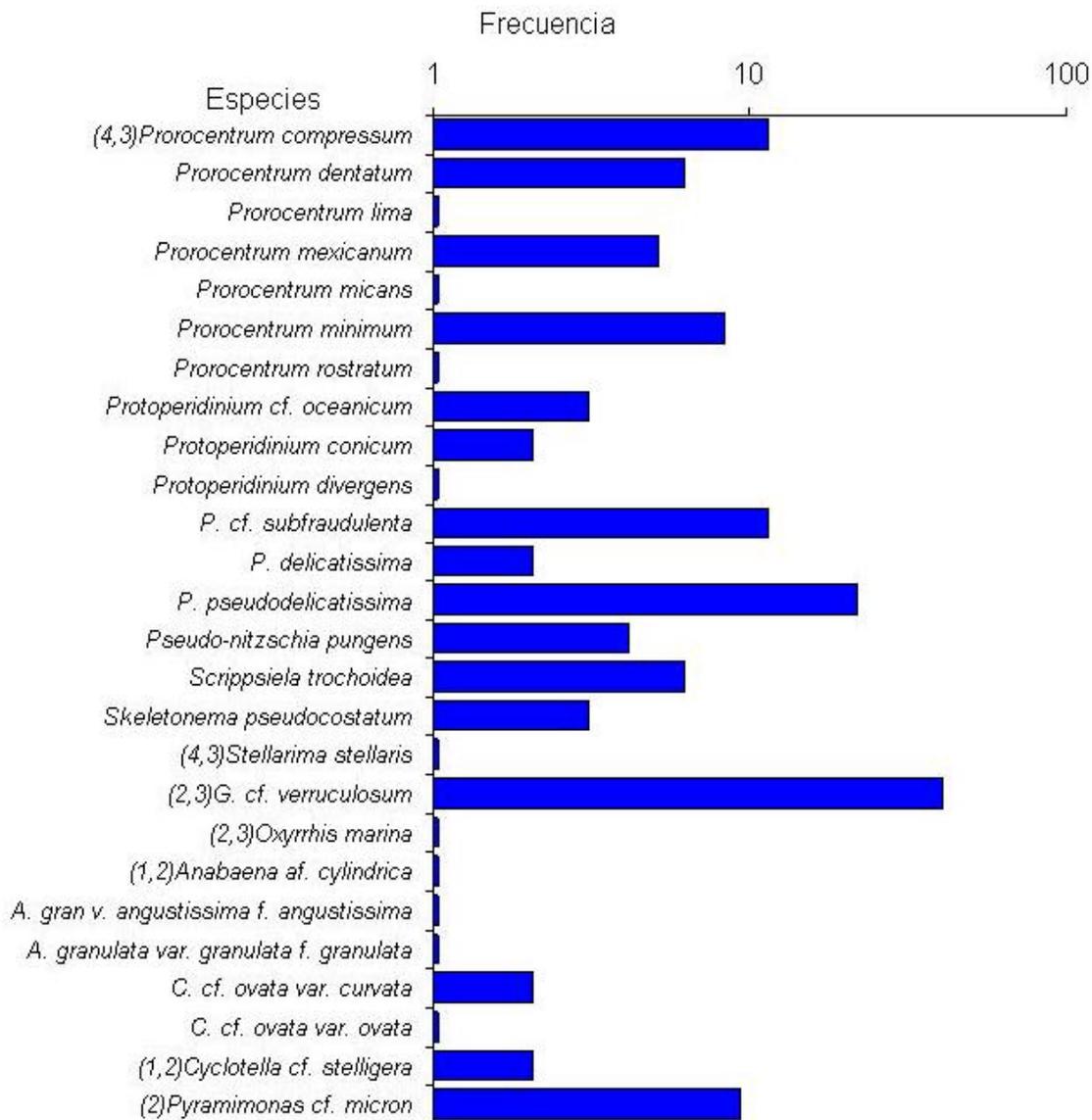


Fig. 168. Frecuencia (40.6-1.0%) de las algas fitopláncticas marinas que toleran condiciones mesohalinas (4,3), oligohalinas que toleran condiciones mesohalinas (2,3), agua dulce que toleran condiciones oligohalinas (1,2) y oligohalinas (2) en la zona costera adyacente durante los muestreos de noviembre de 2004, marzo y agosto de 200.

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 (Figs. 164 y 168).

El cuarto grupo, tuvo la mayor riqueza de especímenes (77), se formó con especies marinas que resistieron condiciones mesohalinas (Tabla 69); entre estas algas microscópicas sobresalió *Thalassionema nitzschioides var. nitzschioides* quien tuvo la mayor distribución (34.4%). Con descenso en su distribución (26.0-1.0%) los 76 taxa

representados por: *Thalassionema frauenfeldii*- *Thalassionema nitzschioides* var. *parva*, registradas entre las estaciones Punta Maroma 50 m a Playa Maya Tulúm 5 m (Figs. 165,166,167 y 168).

Tabla 69. Datos cualitativos y cuantitativos de las algas fitopláncticas en las estaciones marinas de la Riviera Maya en los tres muestreos (noviembre 2004, marzo 2005 y agosto 2005). No.=clave del taxón, FREC=frecuencia, AMBIENTE=ambiente acuático, 1=agua dulce, 2=oligohalino, 3=masohalino, 4=marino; N0=riqueza.

No.	Taxa	FREC	FREC	FREC	FREC	No.
	DIVISIÓN: CYANOPROKARYOTA					
		nov04	mar05	ago05	TOTAL	AMBIENTE
A1	<i>Anabaena</i> af. <i>cylindrica</i>	3.8			1.0	1, 2
A2	<i>Oscillatoria</i> cf. <i>erythraea</i>	3.8		11.4	5.2	4, 3
						4
	DIVISIÓN: DINOPHYTA					5
						6
A4	<i>Actiniscus</i> <i>pentasterias</i>	3.8			1.0	4, 3
A7	<i>Gonyaulax</i> <i>polygramma</i>			2.9	1.0	4, 3
A8	<i>Gymnodinium</i> <i>sanguineum</i>		2.9	5.7	3.1	4, 3
A9	<i>Gymnodinium</i> cf. <i>simplex</i>	3.8			1.0	4, 3
A10	<i>Gymnodinium</i> cf. <i>verruculosum</i>	15.4	31.4	68.6	40.6	2, 3
A11	<i>Gyrodinium</i> <i>spirale</i>		8.6	8.6	6.3	4, 3
A12	<i>Heterocapsa</i> <i>triquetra</i>	7.7	5.7	8.6	7.3	4, 3
A13	<i>Karenia</i> <i>brevis</i>	3.8	2.9		2.1	4, 3
A14	<i>Oxyrrhis</i> <i>marina</i>	3.8			1.0	2, 3
A15	<i>Prorocentrum</i> <i>compressum</i>	23.1	2.9	11.4	11.5	4, 3
A16	<i>Prorocentrum</i> <i>dentatum</i>	15.4		5.7	6.3	4, 3
A17	<i>Prorocentrum</i> <i>lima</i>	3.8			1.0	4, 3
A18	<i>Prorocentrum</i> <i>mexicanum</i>	15.4	2.9		5.2	4, 3
A19	<i>Prorocentrum</i> <i>micans</i>		2.9		1.0	4, 3
A20	<i>Prorocentrum</i> <i>minimum</i>	7.7	11.4	5.7	8.3	4, 3

Continuación tabla 69

A21	<i>Prorocentrum rostratum</i>			2.9	1.0	4, 3	24	
A22	<i>Protoperidinium conicum</i>	7.7			2.1	4, 3	25	
A24	<i>Protoperidinium divergens</i>	3.8			1.0	4, 3	27	
A25	<i>Protoperidinium cf. oceanicum</i>	3.8	2.9	2.9	3.1	4, 3	28	
A26	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	15.4	5.7		6.3	4, 3	29	
							30	
	DIVISIÓN: CHRYSOPHYTA							31
							32	
A27	<i>Dictyocha fibula</i>	3.8			1.0	4, 3	33	
A28	<i>Distephanus speculum</i>	3.8			1.0	4, 3	34	
	Continua (Tabla 69)						35	
	DIVISIÓN: CRYPTOPHYTA							36
							37	
A29	<i>Cryptomonas cf. ovata</i> var. <i>curvata</i>	7.7			2.1	1, 2	38	
A30	<i>Cryptomonas cf. ovata</i> var. <i>ovata</i>	3.8			1.0	1, 2	39	
							40	
	DIVISIÓN: BACILLARIOPHYTA							41
							42	
A31	<i>Asterionellopsis glacialis</i>		8.6	2.9	4.2	4, 3	43	
A32	<i>Asteromphalus heptactis</i>			2.9	1.0	4, 3	44	
A33	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>granulata</i> f. <i>granulata</i>	3.8			1.0	1, 2	45	
A34	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> f. <i>angustissima</i>			2.9	1.0	1, 2	46	
A35	<i>Azpeitia nodulifera</i>	3.8			1.0	4, 3	47	
A36	<i>Bacteriastrum hyalinum</i>			2.9	1.0	4, 3	48	
A37	<i>Bleakeleya notata</i>	11.5	25.7		12.5	4, 3	49	
A38	<i>Cerataulina pelagica</i>	11.5	2.9	2.9	5.2	4, 3	50	
A39	<i>Chaetoceros affinis</i>		5.7	5.7	4.2	4, 3	51	
A40	<i>Chaetoceros atlanticus</i>	3.8			1.0	4, 3	52	
A41	<i>Chaetoceros brevis</i>		2.9	2.9	2.1	4, 3	53	

Continuación tabla 69

A42	<i>Chaetoceros coarctatus</i>	3.8			1.0	4, 3	54
A43	<i>Chaetoceros curvisetus</i>			2.9	1.0	4, 3	55
A44	<i>Chaetoceros debilis</i>	3.8			1.0	4, 3	56
A45	<i>Chaetoceros diversus</i> morfotipo <i>diversus</i>	11.5		2.9	4.2	4, 3	57
A46	<i>Chaetoceros gracilis</i>		8.6	2.9	4.2	4, 3	58
A47	<i>Chaetoceros pelagicus</i>	7.7			2.1	4, 3	59
A49	<i>Chaetoceros peruvianus</i> f. <i>peruvianus</i>	7.7			2.1	4, 3	61
A50	<i>Chaetoceros seiracanthus</i>	7.7			2.1	4, 3	62
A51	<i>Chaetoceros socialis</i>	7.7		17.1	8.3	4, 3	63
A52	<i>Chaetoceros</i> sp. 1	7.7			2.1	4, 3	64
A53	<i>Coscinodiscus granii</i>			2.9	1.0	4, 3	65
A54	<i>Coscinodiscus wailesii</i>	3.8	2.9		2.1	4, 3	66
A55	<i>Cyclophora tenuis</i>		20.0		7.3	4, 3	67
A56	<i>Cyclotella</i> af. <i>caspia</i>		11.4	8.6	7.3	4, 3	68
A59	<i>Cyclotella</i> cf. <i>stelligera</i>	7.7			2.1	1, 2	71
A61	<i>Cyclotella striata</i>		5.7		2.1	4, 3	73
A62	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	7.7	2.9		3.1	4, 3	74
A63	<i>Dactyliosolen mediterraneus</i>	11.5	2.9		4.2	4, 3	75
A64	<i>Guinardia flaccida</i>	19.2			5.2	4, 3	76
A65	<i>Guinardia striata</i>		2.9		1.0	4, 3	77
A66	<i>Haslea wawrickae</i>	3.8	2.9	2.9	3.1	4, 3	78
A67	<i>Hemiaulus hauckii</i>			2.9	1.0	4, 3	79
A68	<i>Leptocylindrus danicus</i>	3.8	2.9	20.0	9.4	4, 3	80
A69	<i>Leptocylindrus minimus</i>		8.6	14.3	8.3	4, 3	81
A70	<i>Lioloma elongatum</i>	7.7	5.7	5.7	6.3	4, 3	82
A71	<i>Neodelphineis pelagica</i>	11.5	31.4	11.4	18.8	4, 3	83
A72	<i>Proboscia alata</i> f. <i>gracillima</i>	7.7		11.4	6.3	4, 3	84

Continuación tabla 69

A73	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	7.7			2.1	4, 3	85
A74	<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	15.4	34.3	14.3	21.9	4, 3	86
A75	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	7.7		5.7	4.2	4, 3	87
A76	<i>Pseudo-nitzschia cf. subfraudulenta</i>		14.3	17.1	11.5	4, 3	88
A77	<i>Rhizosolenia clevei</i> var. <i>comunis</i>	7.7			2.1	4, 3	89
A78	<i>Rhizosolenia pungens</i>	23.1			6.3	4, 3	90
A80	<i>Skeletonema pseudocostatum</i>		8.6		3.1	4, 3	92
A81	<i>Stellarima stellaris</i>	3.8			1.0	4, 3	93
A82	<i>Thalassionema bacillaris</i>	26.9	22.9	20.0	22.9	4, 3	94
A83	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	26.9	17.1	34.3	26.0	4, 3	95
A84	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>capitulata</i>	15.4	11.4	5.7	10.4	4, 3	96
A85	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>claviformis</i>	23.1	25.7	11.4	19.8	4, 3	97
A86	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>inflata</i>		2.9	2.9	2.1	4, 3	98
A87	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>lanceolata</i>		17.1	2.9	7.3	4, 3	99
A88	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>nitzschioides</i>	53.8	45.7	8.6	34.4	4, 3	100
A89	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>	15.4	22.9	2.9	13.5	4, 3	101
A90	<i>Thalassiosira cf. minima</i>	15.4	5.7		6.3	4, 3	102
A91	<i>Thalassiosira decipiens</i>	3.8	2.9		2.1	4, 3	103
A92	<i>Thalassiosira cf. eccentrica</i>		8.6		3.1	4, 3	104
A93	<i>Thalassiosira subtilis</i>	3.8			1.0	4, 3	105
A94	<i>Thalassiosira</i> TRM-1	3.8	14.3		6.3	4, 3	106
							107
	DIVISIÓN: CHLOROPHYTA						108
							109
A95	<i>Pyramimonas cf. micron</i>	19.2		11.4	9.4	2	110
86	N0	61	44	43	86	86	101

Destacaron las especies: *Thalassiosira* TRM-1 y *Cyclotella* af. *caspia* (Tabla 69, Figs. 166 y 167) ambas con muy 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.

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 (Moreno-Ruiz y Carreño 1993, 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 (Tabla 69), en el área marina de estudio (Figs. 164 y 165) pudieran 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%, Figs. 159 y 164), *Prorocentrum minimum* (8.3%), *Prorocentrum mexicanum* (5.2%), *Karenia brevis* (2.1%, Fig. 165), *Pseudo-nitzschia delicatissima* (2.1%) y *Prorocentrum lima* (1.0%); que pueden bajo ciertas características físicas y químicas ser productoras de mareas rojas (Moreno-Ruiz 2000, Ferrario 2002, Moreno 2003), lo que expuso la existencia de áreas factibles para el desarrollo de estas algas.

DESCRIPCIÓN Y MONITOREO AMBIENTAL DE LOS ARRECIFES CORALINOS DEL MUNICIPIO DE SOLIDARIDAD, QUINTANA ROO, MÉXICO

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 tal fin.

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.

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. De esta manera se podrán 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 los tres muestreos que se realizaron dentro del proyecto, un análisis de los cambios en los parámetros de la comunidad arrecifal, para corales escleractineos, gorgonaceos, algas, peces y equinodermos. Además un análisis general de coberturas obtenidas a través de videotransectos.

Antecedentes

Fauna bentónica

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 la zona de Majahual se han registrado 12 especies de corales hermatípicos con la redescrición de *Meandrina meandrites* como un nuevo registro para el caribe mexicano.(Carricart-Canivet y Horta-Puga, 1990). Bastida-Zavala *et al.* (2000) evaluaron el estado de los parches arrecifales después de los efectos indirectos del huracán Mitch.

En Puerto Morelos, Padilla y Lara (1996) analizaron la importancia del tipo de crecimiento en el tamaño de la colonia de *Acropora palmata*. Además se ha estudiado el significado de los arrecifes de coral como ecosistema y su interacción con pastos marinos, manglares y humedales (Ruiz-Renteria *et al.*, 1998).

Muñoz-Chagin y de la Cruz-Agüero (1993) caracterizaron los arrecifes de Akumal, registrando 33 especies de corales, con *Montastrea annularis* como especie 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 y García-Saez 1993; Gutiérrez-Carbonell *et al.*, 1993a; Gutiérrez-Carbonell *et al.*, 1993b; Jordán-Dahlgren *et al.*, 1994; García-Beltrán *et al.*, 1995; Loreto-Viruel y García-Beltrán, 1996, 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, 1988b); 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).

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).

Dentro de otros temas, se ha estudiado la fotoadaptación de la especie *Plexaura homomalla* (Iglesias, 1984), un análisis poblacional en la costa noreste de la península de Yucatán (Jordán y Nugent, 1978); además, de su ecología y potencial como recurso (Jordán, 1977). El efecto de las características del sustrato en el crecimiento de las formaciones arrecifales (Jordán-Dahlgren, 1989). Se han hecho estudios donde se analizan aspectos biogeográficos de los corales hermatípicos (Cortés, 1986). 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 Ortiz, 1999).

Los trabajos particulares del grupo de los equinodermos en Quintana Roo han sido escasos; destacan los registros de las diferentes especies (Caso, 1974; 1990; 1995a, b, c) de la Fuente *et al.* (2001) analizan 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.

Macroalgas

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. Wynne (1986) presenta una lista de verificación de las especies de algas bentónicas del Atlántico Occidental tropical y subtropical en la que incluye un total de 1050 especies haciendo énfasis en las nuevas combinaciones y cambios nomenclaturales subsecuentes al trabajo de Taylor (1960) y presenta además una lista actualizada de las publicaciones sobre la flora marina de la región. Comba-Barrera (1996) midió las características morfo-anatómicas de las especies algales en algunas localidades del Caribe mexicano y de la plataforma noroccidental cubana. En este trabajo se determinaron un total de 13 especies en México y Cuba, de éstas, 12 se encontraron en el Caribe Mexicano, con 6 registros nuevos y 5 son reportes nuevos para Cuba. Suárez *et al.* (1996) analizaron las listas de especies, registradas en la literatura del fitobentos del Caribe de México y Cuba. Realizaron un análisis comparativo de la flora registrada en la literatura y de las especies dominantes observadas en el estudio.

En la costa de Quintana Roo los trabajos ficológicos son relativamente recientes y cubren aspectos de distribución de especies, entre ellos destacan 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. Taylor (1960) cita un total de 80 especies en su trabajo sobre las algas colectadas durante la expedición Smithsonian-Bredin de 1960 en las costas de Quintana Roo desde Cabo Catoche hasta la Bahía del Espíritu Santo; vuelve a la zona de Quintana Roo en 1972 enriqueciendo con una lista de especies. Garza-Barrientos (1975) enlistó 139 especies de algas colectadas durante dos cruceros oceanográficos con muestreos en Isla Contoy, Isla Mujeres, Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, XelHa y Punta Piedras; Huerta y Garza-Barrientos (1980) presentan una lista de 200 especies, incluyendo cianofíceas, en su trabajo sobre la flora marina de la región de Chetumal, Xcalak y Banco Chinchorro; León-Tejera (1980) presentó un estudio sobre la flora marina del arrecife de Puerto Morelos con aspectos de distribución, composición y abundancia relativa; Mateo-Cid (1986) muestra la distribución espacio-temporal de las algas del litoral de Isla Cozumel, registrando un total de 389 especies de algas e incluye aspectos de su reproducción y hábitat; Serviere (1986) realizó un estudio florístico-ecológico estacional en la Laguna de Bojórquez en la que se elaboró una caracterización ficológica general del área con base en el análisis de ambientes. Huerta (1958) y Huerta y Garza Barrientos (1966) efectuaron estudios sobre la flora de litoral en Campeche, Cozumel, Isla Mujeres e Isla Chinchorro. Mateo-Cid y Mendoza-González (1991) presentaron los resultados del estudio de algas marinas bénticas en aguas caribeñas de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México; la lista florística se acompañó de datos sobre la distribución de las especies, el estado reproductivo, el nivel de marea, las facies, el modo y el epifitismo. Mendoza-González y Mateo-Cid (1992) estudiaron las algas marinas bénticas en aguas caribeñas de Isla Mujeres, Quintana Roo, México; la lista florística se acompañó de datos sobre la distribución de las especies, el estado reproductivo, el nivel de marea, las facies, el modo y el epifitismo. Díaz-Martín *et al.* (1998) enlistaron las algas marinas bénticas de la Reserva Yum Balam, Quintana Roo, México y se identificaron un total de 122 taxa. Ruiz-Zárte *et al.* (2000) estudiaron la relación, distribución y abundancia de *Manicina areolata*, *Thalassia testudinum* y *Neogoniolithon* sp en la laguna arrecifal de Xahuayxol, Quintana Roo; como resultado se encontró que la distribución de *Neogoniolithon* sp. explicó la distribución de *Manicina areolata* en lugar de la alta correlación inversamente proporcional entre la densidad de *Thalassia testudinum* y el coral. Van Tussenbroek y Collado-Vides (2000) estudiaron la comunidad algal de la laguna de Chankanaab en el Caribe Mexicano; las algas filamentosas constituyeron la vegetación dominante del sitio.

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. Aguilar-Rosas *et al.* (1989) determinaron la sistemática y diversidad de las macroalgas bentónicas de la bahía de la Ascensión en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo; Los resultados mostraron un total de 106 especies; observaron durante la investigación una mayor diversidad de especies hacia el exterior de la bahía.

El primer trabajo realizado en el sistema lagunar de Nichupté (Jordán *et al.*, 1978), incluyó un pequeño inventario de las algas. Mendoza y Mateo-Cid (1987) registraron a *Murrayella pericladus*, entre las especies poco comunes de las costas mexicanas, es la

única descripción específica para el Sistema Lagunar de Nichupté. En estudios posteriores realizados en la Laguna de Bojórquez, el número de especies reportadas fue incrementado (Serviere-Zaragosa *et al.*, 1992; Collado-Vides 1992). Serviere-Zaragosa *et al.* (1992), analizaron la forma en que se agrupa la ficoflora, reportada para la laguna de Bojórquez, en relación a ciertos factores ambientales. En la misma área de estudio, Collado-Vides *et al.* (1994), analizaron la dinámica de las masas flotantes originadas por el desprendimiento de las algas bénticas de la laguna Bojórquez; encontrando diferencias en la composición específica en cada una de ellas. Collado-Vides (1992) listó e hizo un análisis espacial de las especies de algas presentes en el Sistema Lagunar de Nichupté. Las especies reportadas correspondieron con lo que se ha considerado como flora típica caribeña (Díaz-Piferrer 1969; Littler *et al.*, 1990); las especies de la división Rhodophyta tuvieron mayor representación que las especies de las otras divisiones, con un total de 48 especies. Le siguieron las especies de la división Chlorophyta con un total de 42 especies, ocho especies de la división Cyanophyta y cinco especies de la división Phaeophyta. Las especies se distribuyeron con relación al sustrato disponible; las diferencias fueron dadas por fondos arenosos y raíces del manglar (Collado-Vides 1992). Collado-Vides y González-González (1993) presentaron una lista florística de las algas del sistema lagunar de Nichupté y realizaron un análisis de la flora, su distribución dentro del sistema y las diferencias florísticas existentes; proponen además que se utilicen las algas como indicadores de alteraciones ambientales. Collado-Vides (1986) realizó un estudio florístico-ecológico de las masas de algas flotantes de la Laguna de Bojórquez, Cancún. Collado-Vides *et al.* (1995) realizaron un estudio sobre las algas y su distribución en el sistema lagunar de Nichupté; encontraron 77 especies en todo el sistema lagunar. Gutiérrez *et al.* (1993) registraron en Sian Ka'an, 61 especies de macroalgas, que incluyen 40 géneros. Registraron que las algas café predominaron en las zonas más profundas. Para el sistema arrecifal correspondiente al Corredor Cancún-Tulum, reportaron 72 especies de algas, con una cobertura que oscila entre 16.9% y 46.7 %, con una riqueza específica baja en las zonas profundas, incrementándose hacia las zonas someras (Gutiérrez *et al.*, 1995). En la zona arrecifal de Costa maya, las algas tienen una cobertura elevada en todas las subzonas y regiones, con un valor de 30%-60%.

La zona sur de Banco Chinchorro, correspondiente a la localidad Cayo Lobos, cuenta con 70 especies de algas. La diversidad de las algas aumenta en zonas profundas del Sotavento, disminuyendo hacia las zonas profundas del Barlovento. Su cobertura en la laguna arrecifal es de 36%, similar a la cobertura máxima del Barlovento (35%) (García y Loreto, 1997).]Los arrecifes de Cozumel, cuentan con una cobertura y diversidad algal mayor en las zonas profundas, en comparación con las zonas someras. En este estudio incluyen 45 géneros y 98 especies.

Aguilar-Rosas, M. (1990), estudiaron la ocurrencia y distribución de especies de algas en la Reserva de la biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo; describió el ambiente y presentó una lista florística de la localidad.

Para la zona de Puerto Morelos se realizaron estudios acerca de la abundancia, distribución y riqueza específica para la comunidad de macroalgas en la zona posterior del arrecife (León-Tejera, 1980). Torres (1991) hizo aportaciones sobre las especies de

algas del arrecife coralino. Rodríguez-Almazán (1997) estudió algunos aspectos de la distribución de los manchones del alga *Lobophora variegata* en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, a partir de la distribución de los manchones de *L. variegata*; analizó la biomasa y los cambios temporales en la cantidad de volumen desplazado por el alga en tres ambientes de la laguna arrecifal. Los resultados obtenidos indicaron que: *L. variegata* se distribuyó en la laguna arrecifal con mayor frecuencia a una profundidad de dos a tres metros y no se registró variación en la biomasa a través del tiempo. Gómez Pedroso en 1987, realizó un análisis taxonómico y de variaciones en la distribución espacio-temporal para la comunidad algal-arrecifal. Torres-Mejía (1991) estudió la zonación de macroalgas bentónicas. Castillo-Arenas y Dreckmann (1995) estudiaron las arribazones algales de Cancún y Puerto Morelos, con la identificación de 40 especies de macroalgas presentes en dichas arribazones. Collado-Vides *et al.* (sometida 1997) realizaron una recopilación de todos los trabajos ficológicos efectuados en arrecife de Puerto Morelos, para el cual se encontraron 113 especies y un total de 263 especies registradas por 9 autores. Aguilar-Rosas *et al.* (1992) determinaron 21 especies y una variedad de algas marinas bentónicas como nuevos registros para el Caribe Mexicano en las costas de Puerto Morelos y Bahía de la Ascensión. Collado-Vides *et al.* (1998) encontraron un total de 113 especies en el sistema arrecifal de Puerto Morelos, se obtuvieron diferencias significativas en la composición específica de las comunidades algales entre el arrecife frontal y el trasero.

Ortegón-Aznar y González-González (2000) realizaron un estudio comparativo de comunidades algales de tres lagunas de la Península de Yucatán: Celestún, Río Lagartos y Nichupté. Analizaron además parámetros de distribución y composición específica en los diferentes hábitats junto a la relación con los diferentes factores ambientales; se encontraron un total de 110 especies en dicho estudio.

Peces

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 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.*, Almada-Villela *et al.*, 2002 2000; González-Salas *et al.*, 2003; Nuñez-Lara *et al.*, 2003; Mumby *et al.*, 2004).

Metodología

Sitios de muestreo

El trabajo de arrecifes coralinos se llevó a cabo en dos etapas: Recopilación de información previa y Muestreo intensivo durante siete días en cada campaña de estudio (noviembre de 2004, marzo y agosto de 2005).

La recopilación de información consistió en una revisión bibliográfica de los trabajos de caracterización y monitoreo que se han llevado a cabo en el área de estudio, principalmente los que han llevado a cabo por instituciones de la región como Amigos de Sian Ka'an A. C., la UNAM, el CINVESTAV, ECOSUR y las Áreas Naturales Protegidas. De manera complementaria se realizó una revisión cartográfica y de fotografías aéreas de los sitios de mayor interés para la ubicación de las principales formaciones coralinas. Inicialmente se hicieron recorridos con snorkel y con scuba, mediante arrastres con una tabla deslizadora para la ubicación de los sitios de muestreo y los estratos del arrecife a considerar, de acuerdo a los métodos descritos por Done *et al.* (1982) y English *et al.* (1997).

La caracterización de la comunidad arrecifal 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), 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 Reef Check (2001), AGRRA (2000) y PMS (Almada-Villela *et al.*, 2003).

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

Se realizaron tres muestros, 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 Tulum. En cada sitio el muestreo se realizó a diferentes profundidades para abarcar las diferentes subzonas estructurales del arrecife. El muestreo se llevó a cabo en ocho sitios, realizando un total de 17 inmersiones, logrando recabar 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.

El tercer muestreo se llevó a cabo del 17 al 20 de agosto del 2005. En esta ocasión se revisaron las estaciones de monitoreo que se establecieron en la salida de campo anterior. De este modo se trabajó en 12 estaciones de monitoreo, repartidas en 6 diferentes localidades, que representan las diferentes subzonas que se encuentran en los arrecifes de cada localidad. La referencia geográfica de las estaciones de monitoreo se encuentra en la (Tabla 70).

Tabla 70. Ubicación de estaciones para estudio de la comunidad arrecifal.

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

Técnicas de muestreo

El muestreo se realizó mediante los siguientes metodos:

- Transectos para estimar parámetros comunitarios al nivel de especie.
- Videotransectos para determinar abundancia de morfotipos.

Transectos

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 m². 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) de cinco taxones de organismos arrecifales: corales escleractinios, gorgonáceos, equinodermos, algas y peces. También se evaluó la condición de los organismos para detectar enfermedades (escleractinios y gorgonáceos), estructura de tallas para evaluar cambios en la composición de las poblaciones (escleractinios, peces y gorgonáceos), formas de crecimiento (escleractinios) grupos taxonómicos y/o funcionales (algas) y grupos tróficos (peces).

El muestreo fue realizado por un experto de cada taxón, que realizó las identificaciones "*in situ*", utilizando claves de identificación específicas para cada uno, de la siguiente manera: 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 Littler 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, para lo cual se utilizaron los formatos del Anexo I:

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 m². 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 transecto 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 transecto 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 m². 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 m². 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

Se llevó a cabo una estimación de abundancia para todos los taxa de organismos arrecifales considerados en este estudio. En el caso de los escleractinios, las esponjas y las algas se obtuvo una estimación de la cobertura de cada uno de estos taxa, expresada como el porcentaje de tejido vivo que cada uno ocupó en el transecto. En el caso de los gorgonaceos 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 incluye 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-Wiener (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 gorgonaceos 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 gorgonaceos 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 definieron para agrupar los peces arrecifales de acuerdo a sus hábitos alimenticios se definieron de la siguiente manera:

- Planctófago: 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.

Cambios en la comunidad arrecifal

Se presenta una comparación de los resultados obtenidos en los tres muestreos que se llevaron a cabo dentro del proyecto. Se muestran las variaciones en los parámetros de la comunidad de organismos arrecifales, analizando los cambios en la riqueza específica, abundancia (densidad o cobertura, según el taxa) y diversidad de cada taxa. Posteriormente se analizan las variaciones temporales en la estructura de tallas para corales, gorgonaceos y peces, en las formas de crecimiento para corales, en las condiciones de los organismos para corales y gorgonaceos y finalmente en la composición de grupos funcionales para macroalgas y peces.

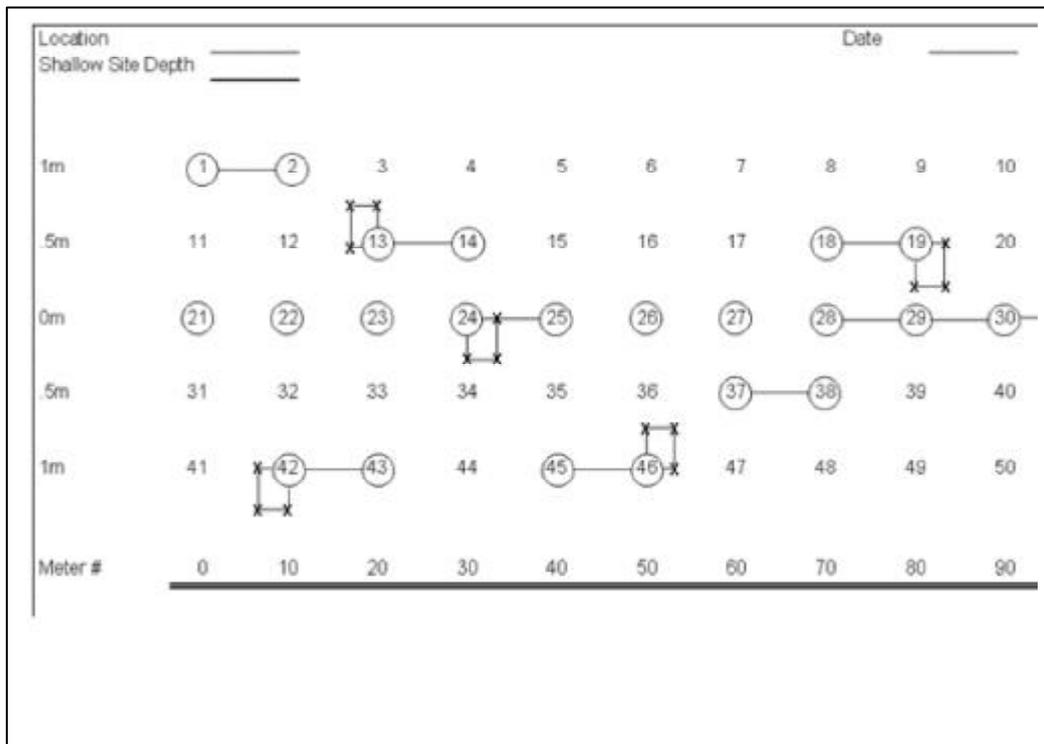
Videotransectos

En los sitios que fueron identificados de mayor interés para obtener la certificación de "Bandera Azul" se establecieron estaciones de monitoreo, que se evaluaron mediante el uso de videotransectos y fotocuadrantes para estimar las riquezas y abundancias de los morfotipos que componen el sustrato (corales, algas, esponjas, sustrato rocoso, otros), además de los cambios de cobertura de los mismos. Según Bhonsack (1995) y Brown *et al.*, (1999), la integración de este método representa ventajas como: replicación de distintos métodos en los transectos, número de transectos por cuadro y número de puntos por cuadro en el análisis del video digital estadísticamente válidos,

aleatorización en la disposición de los transectos, acervo histórico de las condiciones de las colonias, reducción de costos, buen diseño de muestreo.

Según la metodología propuesta por Brown *et al.* (1999) y Miller (1999), en una distancia de 100 m se genera una retícula (Fig. 169), donde se marcan de forma permanente las áreas que corresponderán a los transectos y fotocuadrantes. Las colonias y los transectos que van a ser monitoreados son constantes durante todo el programa de monitoreo. En cada transecto de 10 m se escogen aleatoriamente colonias de coral (el número de estas se decidió en la primera salida) considerando como único criterio no sobrelapar.

Fig. 169. Distribución de fotocuadrantes y videotransectos. (Tomado de: http://cramp.wcc.hawaii.edu/Overview/3._Methods/3._Site_Survey_Protocol/Benthic_Monitoring/)



Para los videotransectos en cada una de las colonias elegidas un buzo en superficie ubica las marcas para cada transecto, determinando el número de transecto y su referencia con un GPS. El buzo va al fondo y a partir de la marca filma 360 grados registrando los transectos en la dirección establecida de 10 m (avanzando despacio durante 4 minutos por transecto a una distancia de 0.5 m del sustrato).

Posteriormente, los transectos se analizan en un monitor de buena resolución con una malla de cuadros donde se toman puntos aleatorios para el análisis de cobertura y características y componentes del sustrato mediante el uso de un software para análisis de video transectos (conjunto de software de análisis de imágenes digitales Image-Pro Plus).

Para los fotocuadrantes se montan marcos cuadrados que permiten que la cámara fotográfica capte un área de 1m², a una distancia de 0.5 m. En este caso se evalúan las abundancias y coberturas de cada componente, el cuadro completo.

El análisis estadístico consistió en hacer medidas repetidas de ANOVA en transectos anidados en submuestras de la misma profundidad, a lo largo de un transecto. De igual manera, los cuadrantes fueron evaluados mediante el uso de ANOVA, determinado las variaciones de cada parámetro en cada toma de muestras (Underwood 1993, 1997).

Leyenda

□ = fotocuadrante

— = videotransecto

Análisis de datos

A la información obtenida en los muestreos se les realizó un análisis estadístico paramétrico o no paramétrico dependiendo del tipo de datos.

Se desplegó además los datos obtenidos en forma de mapa, con elementos cartográficos de lenguaje y diseño que permitieron una mayor certidumbre en el análisis de la distribución espacial del resultado de los muestreos. Estos mapas se realizaron en el sistema de información geográfico ArcView, el cual permitió además generar una base de los datos.

En las estaciones de monitoreo que se establecieron se tomaron dos videotransectos, para determinar los parámetros comunitarios a nivel de morfotipos.

Los videotransectos se llevaron a cabo haciendo una modificación de la metodología propuesta por Brown *et al.* (1999, 2004). En cada sitio de muestreo se colocaron dos cadenas de 20 m de longitud, paralelas entre sí, con eslabones de 3.3 cm y marcadas cada medio metro. Las cadenas sirvieron de guía para hacer dos videotransectos de 20 m lineales cada uno. La grabación se hizo sobre la cadena para tener la referencia del área grabada y para facilitar la localización de la toma dentro del transecto (Fig. 170).

La grabación se realizó a 50 cm del fondo, procurando mantener esa distancia constante. El lente de la cámara se mantuvo paralelo al sustrato para lograr una perspectiva de la superficie (ver anexo fotográfico). La velocidad de filmación fue de aproximadamente 4 minutos por cada 10 m lineales de filmación. En cada sitio de muestreo, antes de iniciar los recorridos, se hizo una filmación del fondo a 360° para ubicar las características generales del sustrato.

Análisis de los videotransectos

Para la obtención y análisis de los transectos de video se siguió el método CRAMP de Hawai (Brown *et al.*, 2004).

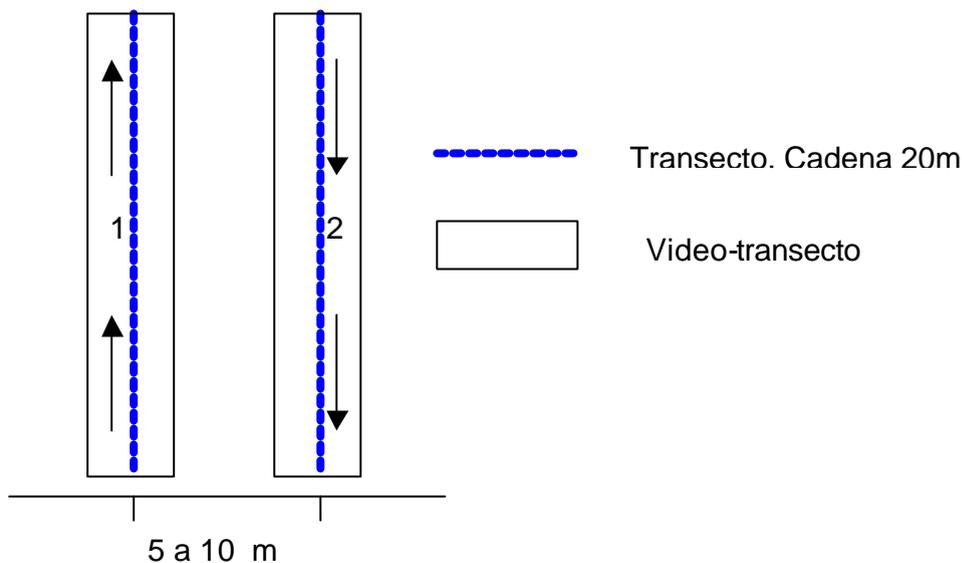


Fig. 170. Disposición de los videotransectos.

Se obtuvieron 40 cuadros correspondientes a cada 0.5 m de los transectos de 20 m lineales. Para su análisis cada cuadro se dividió en cuadrícula de 10 x 10 con el objeto de determinar la cobertura porcentual de cada uno de los morfotipos previamente establecidos para ser identificados.

Se presentan las coberturas promedio generales de cada uno de los morfotipos para reconocer las coberturas principales. Se realizó un análisis exploratorio de la cobertura de los diferentes morfotipos a través de una estrategia de análisis multivariado, utilizando el software PRIMER versión 5 (Clarke y Warwick, 2001). Se construyeron matrices de similitud con las coberturas promedio de cada uno de los morfotipos analizados, transformando los datos con $\sqrt[4]{}$ con la finalidad de disminuir el efecto de los valores extremos. La similitud se determinó aplicando el índice de Bray-Curtis, para interpretar de forma gráfica los resultados se realizó un MDS (escalamiento métrico no dimensional).

Se consideraron las sugerencias metodológicas para el análisis de datos de videotransectos en arrecifes coralinos de Aronson y Swanson (1997), donde se recomienda la utilización de análisis exploratorio de datos con estrategia de análisis multivariado para evaluar las diferentes coberturas del arrecife para manejadores y tomadores de decisiones.

Resultados

Descripción del area de estudio y sitios de muestreo

Generalidades:

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 abarca de Punta Maroma a Punta Bete, que incluye los sitios de muestreo de Punta Maroma y Mayakobá, presenta arrecifes poco estructurados. El sitio en donde el arrecife se encuentra mejor desarrollado es frente a Punta Maroma, en donde la Cresta Arrecifal está bien formada, y presenta una alta variedad de organismos arrecifales; la corriente en este lugar es fuerte, sobretodo en las partes profundas, y se refleja en el crecimiento de los organismos como las esponjas. La laguna arrecifal es amplia y profunda al norte de Punta Maroma, con numerosos parches de arrecife. El arrecife posterior es diverso y la Transición Barlovento está formada por macizos coralinos de *Acropora palmata* muerta. El Arrecife Frontal está poco estructurado en toda esta área. La zona es muy escasa en corales escleractinios, y la comunidad dominante está compuesta de algas, briozorios y esponjas. En la parte profunda, Arrecife Frontal Exterior (AFE), se forma un desnivel de aproximadamente 1 metro denominado "escalón", en donde se encuentra mayor abundancia de organismos arrecifales, mientras que el Arrecife Frontal Interior (AFI) consiste solamente de una pendiente poco pronunciada en donde se encuentran los jardines de gorgonáceos. En Mayakobá, el escalón del AFE es discontinuo y con poco desnivel, se encuentra un pequeño parche de jardín de gorgonáceos en el AFI, mientras que toda el área somera consiste de un arenal desprovisto de organismos arrecifales; se forma una Cresta Arrecifal incipiente hacia Punta Bete.

El área Central, que corresponde a los lugares aledaños a Playa del Carmen, e incluye los sitios de muestreo Moxché, Chuzubul y Jardines. Está formada por una amplia plataforma arenosa que inicia en la playa y termina entre los 21 y 30 m de profundidad. La corriente suele ser fuerte esta área, sobre todo en las partes profundas. Las estructuras arrecifales que existen se forman sobre una cordillera poco profunda (10-15 m), que presenta una pendiente poco pronunciada y un pequeño desnivel de aproximadamente 1 metro, la cual es discontinua a lo largo del área. En estos sitios los organismos más comunes son los gorgonáceos, y se encuentra una cobertura de corales muy baja. La visibilidad fue muy mala cuando se hicieron los muestreos, ya que el agua estaba muy turbia. El sitio con mayor variedad de organismos fue el sitio denominado "Jardines".

El área Sur comprende de Puerto Aventuras a Tulum, e incluye los sitios de muestreo de Xaac, Kantenah y Tulum. En estos sitios la laguna arrecifal es muy reducida, y consiste de una franja muy estrecha pegada a la costa. La Cresta Arrecifal también es incipiente, y solo se encuentra bien desarrollada enfrente de Kantenah, en donde se forma un arrecife posterior pequeño. La Transición Barlovento está bien definida en casi toda el área. El Arrecife Frontal está bien desarrollado en toda el área y se forman macizos de coral bien definidos separados por canales de arena. Los macizos alcanzan hasta 4 metros de altura en las partes más profundas y la diversidad de organismos arrecifales es alta. Se observó mucho blanqueamiento de corales. En el Arrecife Frontal Interior los macizos también están bien formados, pero son de menor altura que los de las partes profundas, y los gorgonáceos son los organismos que presentan mayor abundancia.

En las estaciones de monitoreo, las subzona de Arrecife Frontal Interior fue la de mayor profundidad y fue donde se presentaron las mayores diferencias en el relieve, principalmente en la localidad de Xaac y Tulum, lo cual refleja una mayor complejidad en el sustrato; mientras que en la localidad de Punta Maroma las diferencias de relieve fueron mínimas. (Fig. 171).

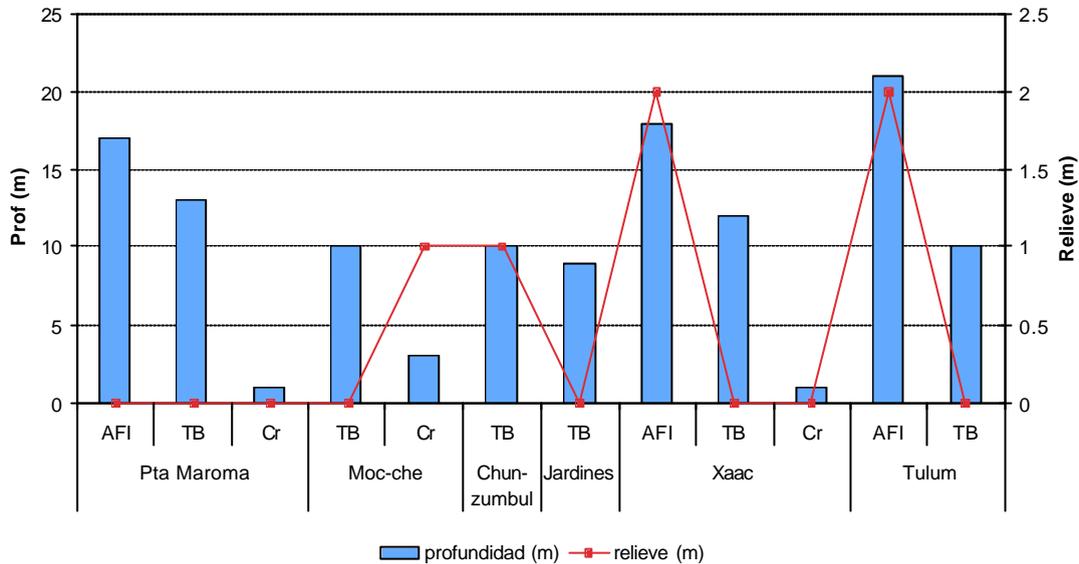


Fig. 171. Profundidad y relieve de las estaciones de monitoreo en el Municipio de Solidaridad. AFI= Arrecife Frontal Interior; TB= Transición Barlovento; Cr= Cresta Arrecifal.

Comunidad de organismos arrecifales

Corales escleractineos

Durante los tres muestreos se registraron 30 especies de corales escleractineos agrupados en 16 géneros y 10 familias (Tabla 71). 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.

En todas las localidades los crecimientos arrecifales se encontraron agrupados en parches cercanos o sobre formaciones rocosas. Solo 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 (Tabla 72 y Fig. 172)

Tabla 71. Listado de especies de corales escleractineos registrados en los tres muestreos.

Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
Anthozoa	Scleractinia	Acroporidae	<i>Acropora</i>	<i>cervicornis</i>
			<i>Acropora</i>	<i>palmata</i>
			<i>Acropora</i>	<i>prolifera</i>
		Agariciidae	<i>Agaricia</i>	<i>agaricites</i>
			<i>Agaricia</i>	<i>fragilis</i>
			<i>Agaricia</i>	<i>humilis</i>

Continua tabla 71

			<i>Agaricia</i>	<i>tenuifolia</i>
			<i>Leptoseris</i>	<i>cucullata</i>
		Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia</i>	<i>micHELINI</i>
		Faviidae	<i>Colpophyllia</i>	<i>natans</i>
			<i>Diploria</i>	<i>clivosa</i>
			<i>Diploria</i>	<i>labyrinthiformis</i>
			<i>Diploria</i>	<i>strigosa</i>
			<i>Montastraea</i>	<i>annularis</i>
			<i>Montastraea</i>	<i>cavernosa</i>
		Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesi</i>
			<i>Meandrina</i>	<i>meandrites</i>
		Mussidae	<i>Isophyllia</i>	<i>sinuosa</i>
			<i>Isophyllastrea</i>	<i>rigida</i>
			<i>Scolymia</i>	<i>lacera</i>
		Pocilloporidae	<i>Madracis</i>	<i>decactis</i>
		Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>
			<i>Porites</i>	<i>branneri</i>
			<i>Porites</i>	<i>divaricata</i>
			<i>Porites</i>	<i>furcata</i>
			<i>Porites</i>	<i>porites</i>
		Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>
			<i>Siderastrea</i>	<i>siderea</i>
Hydrozoa	Capitata	Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>
			<i>Millepora</i>	<i>palmeta</i>

Tabla 72. Número de especies de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

Localidad	Subzona	Numero de especies		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 2005
Punta Maroma	AFI	3	3	0
	TB	6	9	4
	Cr	8	4	6
Moc-che	TB	4	4	4
	Cr	7	3	5
Chun-zumbul	TB	5	3	1
	Jardines	5	2	4
Xaac	AFI	8	8	12
	TB	14	10	5
	Cr	7	8	10
Tulum	AFI	8	9	7
	TB	12	9	9

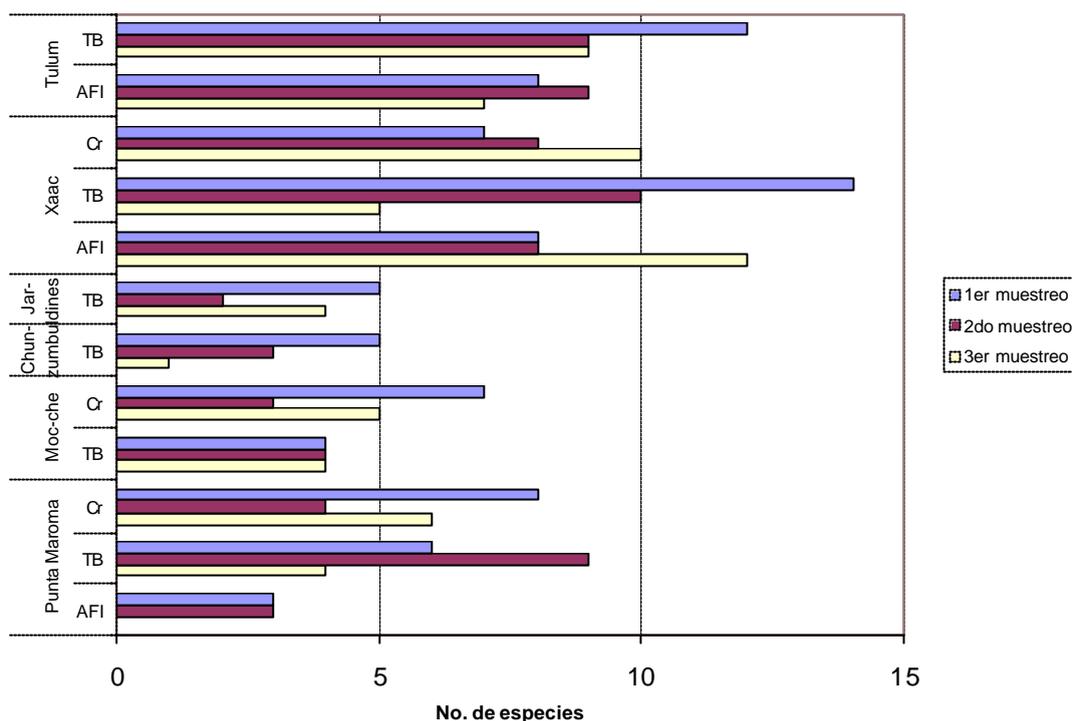


Fig. 171. Número de especies de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

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*, esta última anteriormente era considerada una de las especies más abundantes, aproximadamente hace 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, 2000).

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 gorgonaceos y zoantideos (Tabla 73 y Figura 173).

Tabla 73. Cobertura porcentual de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

LOCALIDAD	SUBZONA	COBERTURA		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 2005
Punta Maroma	AFI	9.6	2.2	0.0
	TB	6.5	4.5	8.3
	Cr	15.3	18.5	23.5
Moc-che	TB	7.6	3.3	11.8
	Cr	19.5	4.5	9.7
Chun-zumbul	TB	9.5	2.8	3.2
	Jardines	9.8	1.7	5.7
Xaac	AFI	22.3	11.8	27.3
	TB	25.1	12.2	15.3
	Cr	23	18.8	33.3
Tulum	AFI	33.8	18.0	19.2
	TB	35.3	18.7	24.3

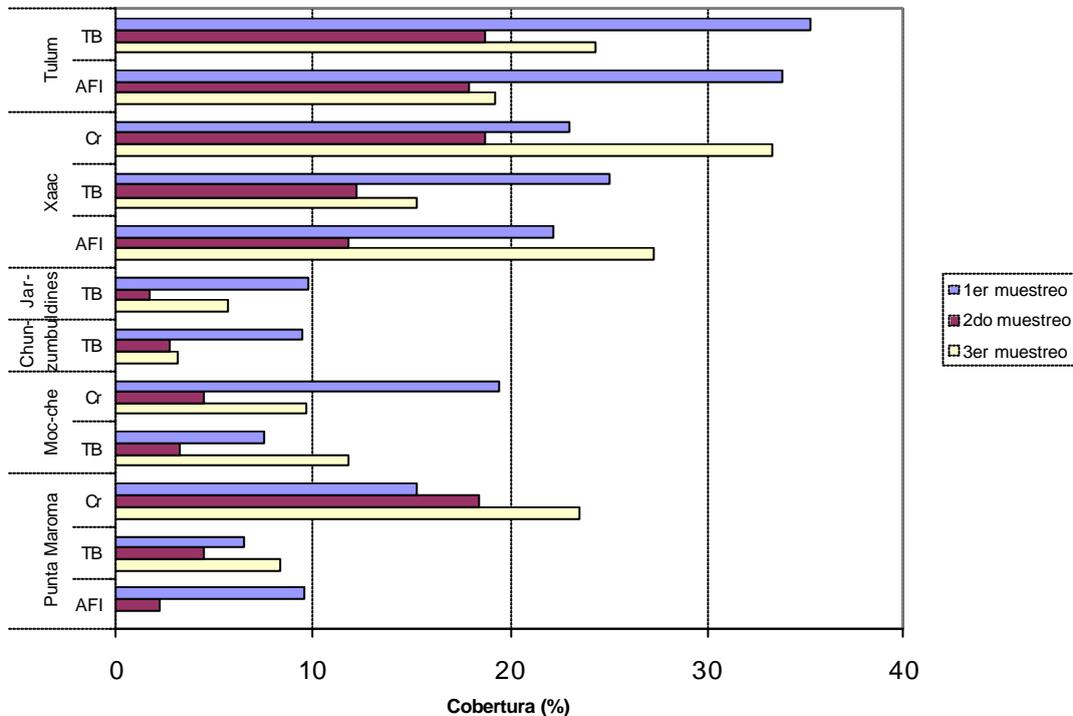


Figura 173. Cobertura porcentual de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

Los valores más altos en el índice 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 74 y Fig. 174).

Tabla 74. Índice de diversidad de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

LOCALIDAD	SUBZONA	INDICE DIVERSIDAD (H')		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 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
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

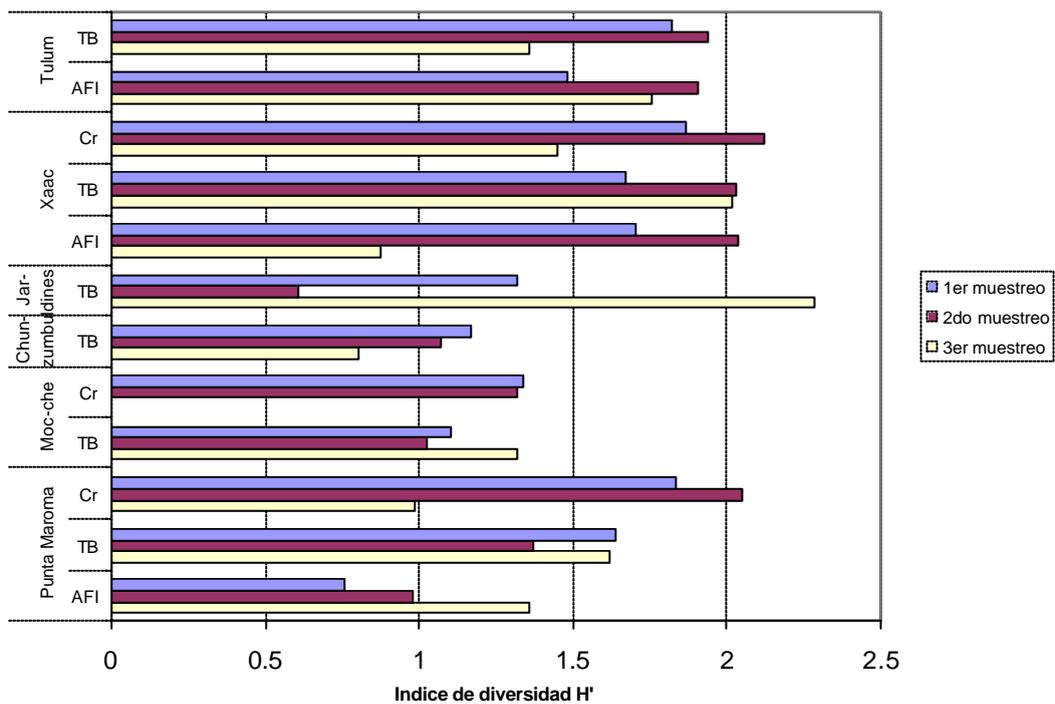


Figura 174. Índice de diversidad de corales escleractineos por localidad, subzona y muestreo.

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 de 45% (Fig. 175). 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.

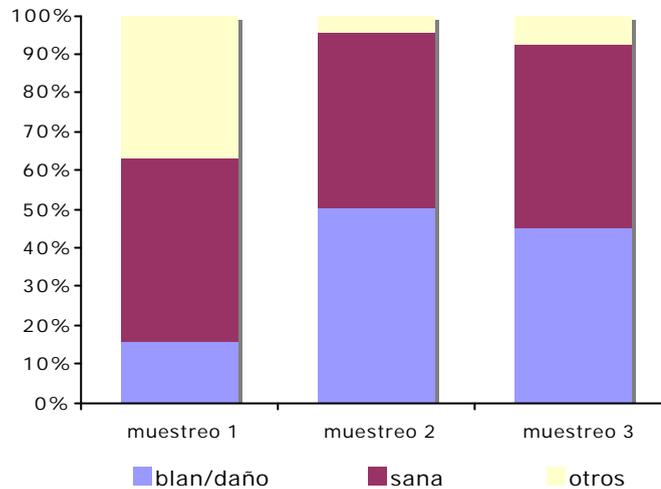


Fig. 175. Porcentaje de colonias sanas, con blanqueamiento o daño y otros, como epibiontes, en los tres muestreos.

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.

Gorgonaceos

Los gorgonaceos fueron un elemento importante del paisaje en los arrecifes coralinos. La mayor abundancia de organismos de este taxón se encontró en las subzonas de profundidad intermedia del Arrecife Frontal Interior y Transición Barlovento, en donde fue común encontrar sitios llamados “jardines de gorgonaceos”, como fue el caso de Punta Maroma, Mayakoba, Xaac y Tulum. En la parte central del área de estudio, frente a Playa del Carmen, la cordillera que se forma presentó una abundancia intermedia de gorgonaceos, 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 gorgonaceos fue baja.

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 encontró un alto porcentaje de colonias dañadas, sobre todo en Punta Maroma y en Mayakoba.

En los tres muestreos se registró un total de 32 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 12 géneros y 4 familias del Orden Octocorallia, de la Clase Anthozoa, del Phylum Cnidaria, del Reino Animalia (Tabla 75).

Tabla 75. Listado de especies de gorgonáceos en los tres muestreos.

Clase	Orden	Familia	Genero	Especie	
Anthozoa	Octocorallia	Anthothelidae	<i>Erythropodium</i>	<i>polyanthes</i>	
			<i>Iciligorgia</i>	<i>schrammi</i>	
			<i>Briareum</i>	<i>asbestinum</i>	
				<i>Gorgonia</i>	<i>flabellum</i>
			Gorgoniidae	<i>marie</i>	
				<i>ventalina</i>	
				<i>Pseudopterogorgia</i>	<i>acerosa</i>
					<i>americana</i>
				<i>Pterogorgia</i>	<i>bipinnata</i>
					<i>elisabethae</i>
		<i>anceps</i>			
		<i>citrina</i>			
		Plexauridae		<i>Eunicea</i>	<i>calyculata</i>
					<i>fusca</i>
			<i>grandiflora</i>		
			<i>laxispica</i>		
			<i>mamosa</i>		
			<i>palmeri</i>		
			<i>Muricea</i>	<i>succinea</i>	
				<i>tourneforti</i>	
				<i>atlantica</i>	
				<i>laxa</i>	
				<i>muricata</i>	
				<i>flavida</i>	
		<i>Muriceopsis</i>	<i>flexuosa</i>		
			<i>homomalla</i>		
		<i>Plexaurella</i>	<i>dichotoma</i>		
			<i>grisea</i>		
			<i>nutans</i>		
			<i>flagellosa</i>		
		<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>		
			<i>wagnaari</i>		

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 *Eirithropodium polyanthes* mostraron un menor área de distribución.

El número de especies varió entre 4 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 76 y Fig. 176), siendo esta zona del arrecife en donde se forman los jardines de gorgonaceos y en 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 de especies. 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 76. Número de especies en las localidades por zona y por muestreo.

Localidad	Subzona	Numero de especies		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 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 Jardines	TB	18	17	16
	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 gorgonaceos 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 gorgonaceos 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 77 y Fig. 177). 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.

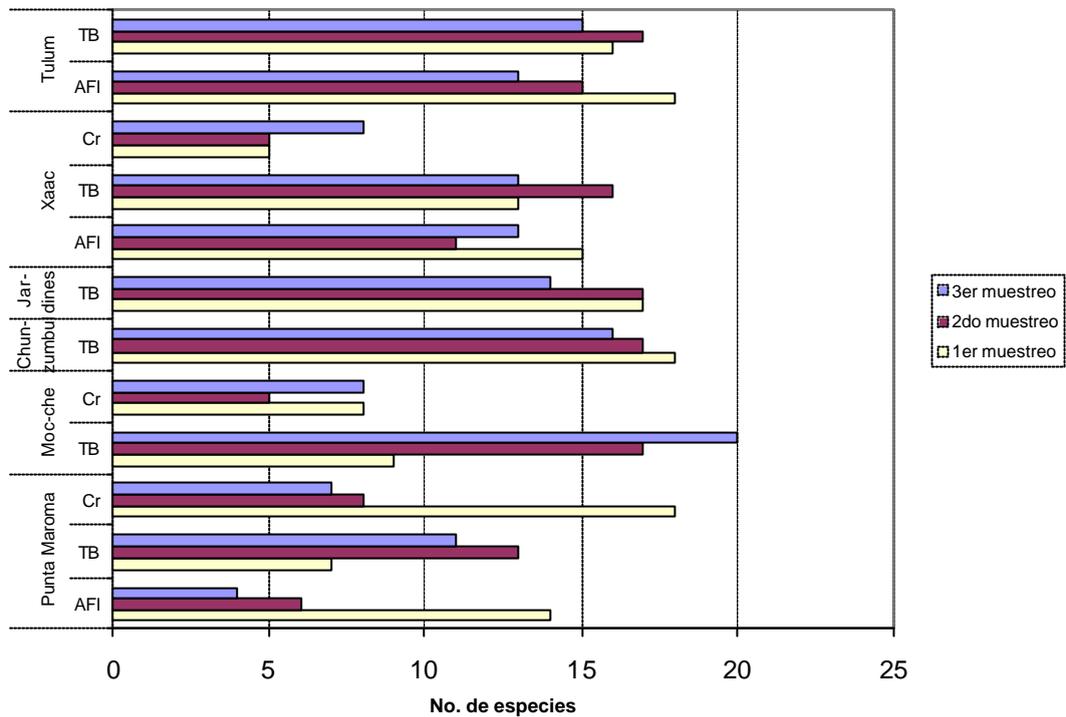


Fig. 176 Número de especies en las localidades por zona y por muestreo.

Tabla 77. Densidad de gorgonaceos en las localidades por zona y por muestreo.

Localidad	Subzona	Densidad (ind/m ²)		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 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
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

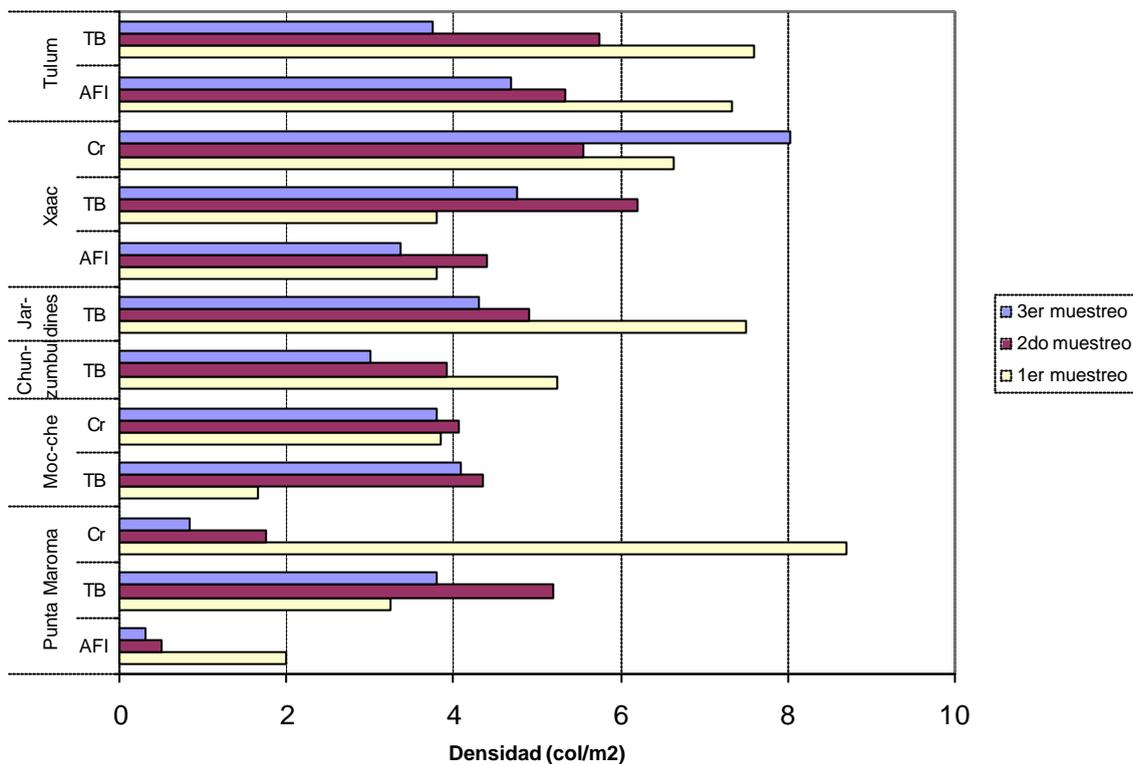


Fig. 177. Densidad de gorgonaceos en las localidades por zona y por muestreo.

El índice de diversidad (H') estimado para la comunidad de gorgonaceos 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 78 y Fig. 178). 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 78. Índice de diversidad de gorgonaceos en las localidades por subzona y por muestreo.

LOCALIDAD	SUBZONA	INDICE DIVERSIDAD (H')		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 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 Jardines	TB	2.14	2.44	2.51
	TB	2.22	2.26	2.09
Xaac	AFI	2.26	1.68	2.29
	TB	2.11	2.29	2.18
Tulum	Cr	0.81	1.22	1.39
	AFI	2.28	2.13	2.13
	TB	1.99	2.04	2.15

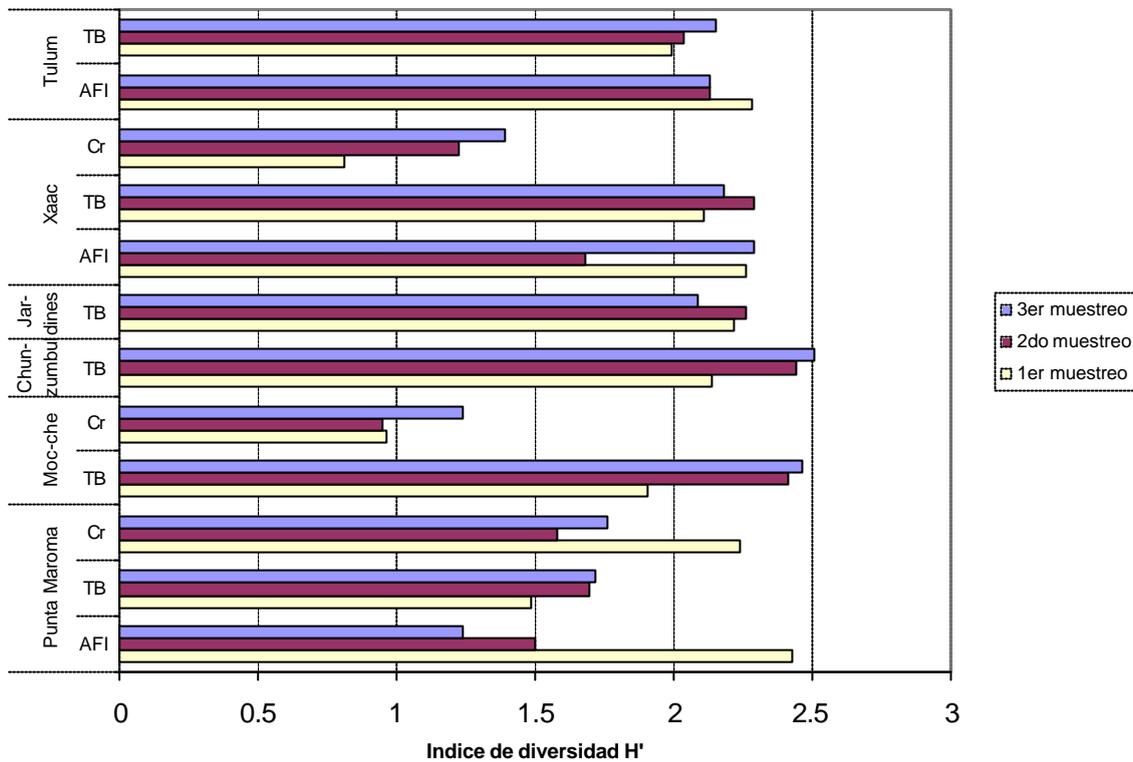


Figura 178. Índice de diversidad de gorgonáceos en las localidades por zona y por muestreo.

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) encontrando pocos organismos pequeños (I) y de tamaño grande (IV) (Fig. 179).

En referencia al análisis de la condición de los organismos, se observó una similitud en los muestreos, en 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. 180).

Macroalgas

En los tres muestreos las especies de la división Rhodophyta fueron las mejores representadas, seguidos de las especies de la división Chlorophyta y las menos representadas correspondieron a las algas pardas. Cada división presentó un número similar de especies en los tres meses estudiados.

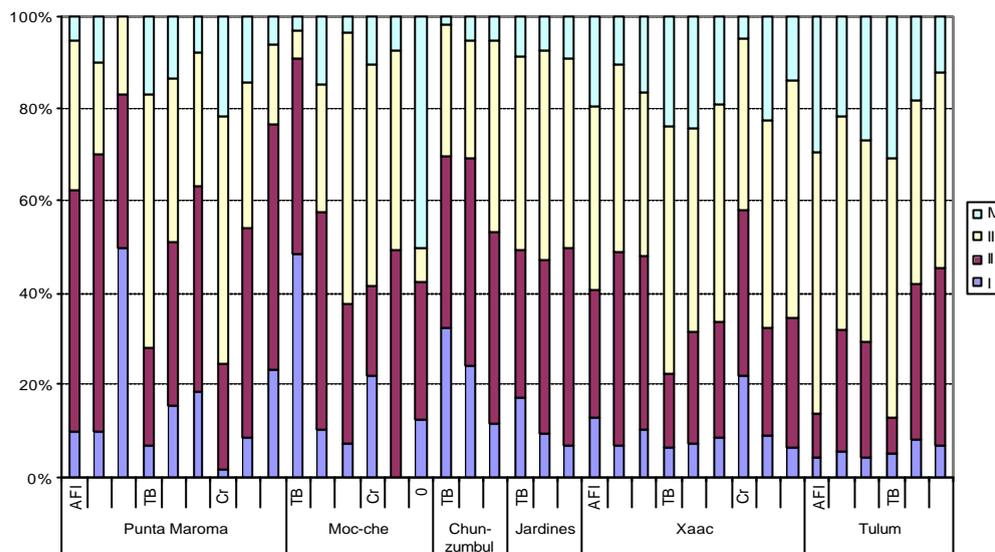


Fig. 179. Estructura de tallas porcentual de gorgonaceos por localidad, subzona y muestreo.

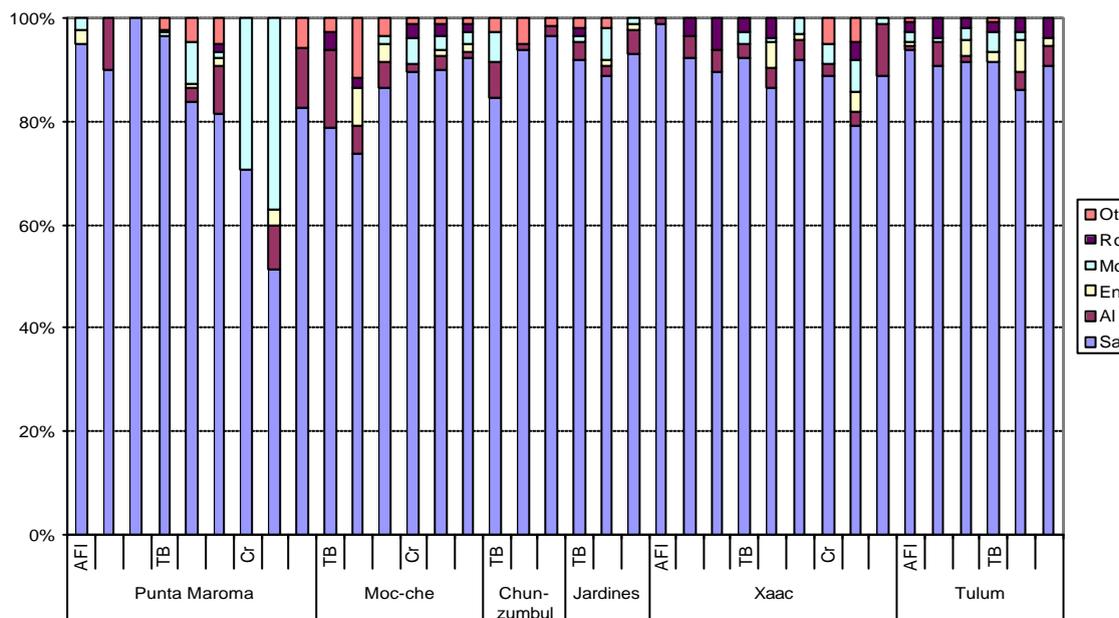


Fig. 180. Condición porcentual de gorgonaceos por localidad, subzona y muestreo.

El phylum Chlorophyta estuvo mejor representado en Moxché y Punta Maroma para los meses de noviembre y agosto. Para el mes de marzo se observó un mayor número de algas verdes en Jardines.

El phylum Phaeophyta estuvo mejor representado en Tulum y Xaac para los meses de noviembre y agosto. Para el mes de marzo se registró un mayor número de algas pardas en Xaac.

El phylum Rhodophyta presentó el mayor número en Moxché y Jardines para el mes de noviembre; en agosto en Xaac y Jardines, y para el mes de marzo en el phylum Rhodophyta el mayor número fue en Chun-zumbul.

Los géneros *Caulerpa*, *Dictyota* y *Halimeda* tuvieron el mayor número de especies en las tres salidas, como en el mes de noviembre (51) con el mayor número de géneros (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.

Once especies presentaron una amplia distribución en los sitios de muestreo para el mes de noviembre, 5 para el mes de agosto y 12 para el mes de marzo (Tabla 79).

Tabla 79. Presencia-ausencia de especies con amplia distribución en los tres meses estudiados.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Especie	Nov.	Agos.	Marzo
Chlorophyta	Chlorophyceae	Bryopsidales	Udoteaceae	<i>Udotea</i>			x
				<i>conglutinata</i>			
				<i>Penicillus</i>	x		
				<i>capitatus</i>			
				<i>Rhipocephalus</i>	x	x	x
				<i>oblongus</i>			
				<i>Rhipocephalus</i>	x		x
				<i>phoenix</i>			
				<i>Halimeda</i>	x		
				<i>opuntia</i>			
				<i>Halimeda</i>	x		x
				<i>discoidea</i>			
				<i>Halimeda</i>		x	x
				<i>incrassata</i>			
Rhodophyta	Rhodophyceae	Corallinales	Corallinaceae	<i>Jania</i>			x
				<i>adhaerens</i>			
				<i>Peyssonnelia</i>	x		
				<i>crispata</i>			
				<i>Mesophyllum</i>		x	x
				<i>mesomorphum</i>			
				<i>Neogonioliton</i>			
				<i>spectabile</i>			
				<i>Hydrolithon</i>		x	x
				<i>boergesenii</i>			
				<i>Ceramium</i>			x
				<i>nitens</i>			
				<i>Dasya</i>			x
				<i>baillouviana</i>			
<i>Laurencia</i>							
<i>gemmifera</i>							
<i>Laurencia</i>			x				
<i>poiteaui</i>							
Phaeophyta	Phaeophyceae	Dictyotales	Dictyotaceae	<i>Dictyota</i>	x		x
				<i>cervicornis</i>			

Uno de los parámetros fundamentales a tomar en cuenta para realizar el diagnóstico de los arrecifes estudiados fueron los grupos morfofuncionales. La hipótesis acerca de que

las adaptaciones morfológicas, fisiológicas y ecológicas de 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 y Littler, 1980 y 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), 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 la F) evidencia un aumento creciente 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).

A continuación se resumen los resultados obtenidos de cada parámetro medido en los tres meses de estudio.

Punta Maroma, AFE

La preferencia al sustrato por las algas varió: en el mes de noviembre se observó la preferencia del sustrato esponja, con elevados porcentajes de cubrimiento algal (60 %); así como se observaron bajos porcentajes sobre sustrato rocoarenoso (30 %). Los valores de canopia algal fueron moderados (oscilaron entre 3 y 9 cm) y se calcularon valores bajos de cobertura algal (7.17 %), diversidad moderada (2.11) y de equitatividad muy alta (0.9); la riqueza específica fue moderada con valores de 10. Se observó un elevado porcentaje de algas correosas (52 %) y porcentajes bajos de calcáreas articuladas, corticadas y filamentosas (de alrededor del 20 %) (Tabla 80).

Tabla 80. Parámetros medidos en Punta Maroma.

Parámetro	AFE		Cresta		AFI			TB		
	Nov.	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto
Tipos de sustrato (%)										
areno-rocoso					21.6					
arenoso										
coral		30	100	79.86	2				100	100
esponja	60				13	14.28				
roca						85.71				
rocoarenoso	30	60		20.93	63		100	100		
rocoso		13								
Canopia(cm)	3-9	2-7	1 -3.5	2 -7	1-8.5	1-8.5	1-8.5	1-7	1-7	1-7
Cobertura(%)	7.17	3.14-5.57	3.14-5.57	3.14-5.57	3.14-5.57	16.43	3.14-5.57	6.29-9	6.29-9	6.29-9
Parámetros comunitarios										
Diversidad	2.11	1.66	2.18	1.96	1.5	1.87	1.79	2.18	2.06	1.06
Equitatividad	0.9	0.85-0.94	0.85-0.94	0.85-0.94	0.77	0.81-0.86	0.81-0.86	0.83-0.99	0.83-0.99	0.83-0.99
Riqueza	10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	8-11	8-11	8-11
Morfotipo algal (%)										
Calcárea articulada	7	6	49	6		6		52.9	4	4
Correosa	52	6	3	6	9	6	60	9	4	4
corticada	7	43	10		0.8	42	9	0.8	4	
costrosa					9			9		4
filamentosa	7		10	6	61	6	9		4	4
Foliosa		6	3	6	0.8	4.76		0.8	4	4
globosa										

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que existe la predominancia de las correosas (indicadoras de ambientes estables) y bajos porcentajes de algas filamentosas, que los valores de diversidad y riqueza específica registrados fueron moderados; se puede señalar que en la subzona de arrecife frontal externo de Punta Maroma no hay influencias externas significativas.

Punta Maroma, Cresta

La preferencia al sustrato por las algas varió: en noviembre se observó una preferencia al sustrato rocoarenoso (60 %) y un bajo porcentaje de cobertura algal sobre coral (30 %) y rocoso (13 %). En el mes de agosto se observó la preferencia al sustrato de coral (79.86 %) y un bajo porcentaje sobre rocoarenoso (20.93 %). 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 (oscilaron entre 2 y 7 cm) y en el mes de marzo fueron pequeños (entre 1 y 3.5 cm). Se determinaron valores bajos de cobertura algal en los tres meses (entre 3.14-5.57 %); valores bajos de diversidad en los meses de noviembre (1.66) y agosto (1.96). En el mes de marzo fueron moderados (2.18). Los valores de equitatividad fueron muy altos en los tres meses (entre 0.85-

0.94); la riqueza específica fue moderada (entre 7-10). En noviembre se observó un elevado porcentaje de algas corticadas (43 %) y porcentajes bajos (de alrededor del 17 %) de calcáreas articuladas, correosas y foliosas. En agosto se registraron porcentajes bajos (de alrededor del 23 %) de calcáreas articuladas, correosas, filamentosas y foliosas y porcentajes muy bajos de costrosas (4.6 %). En marzo se presentó un elevado porcentaje de calcáreas articuladas (49 %) y porcentajes bajos (de alrededor del 20 %) de corticadas y filamentosas. Se observaron porcentajes muy bajos de correosas y foliosas (7 %) (Tabla 80).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fue de moderada a pequeña, que existió la predominancia de algas corticadas y calcáreas articuladas (indicadoras de ambientes estables), y bajos porcentajes de foliosas y filamentosas (indicadoras de disturbio ambiental), los valores de diversidad oscilaron de moderados a bajos, y la riqueza específica para las especies de algas fue moderada, se puede plantear que en la subzona de cresta de Punta Maroma no hay influencias externas significativas.

Punta Maroma, 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 (63 %) y un bajo porcentaje sobre sustrato arenoso (21.6 %), esponja (13 %) y coral (2 %). En agosto el roco-arenoso presentó valores del 100%, y en marzo el porcentaje de alga sobre roca fue elevado (85.71 %) y bajo porcentaje sobre esponja (14.28 %). Los valores de canopia algal fueron moderados (entre 1-8.5 cm) en los tres meses. Se determinaron valores bajos de cobertura algal en los meses de noviembre y agosto (entre 3.14-5.57 %). En marzo la cobertura fue moderada (16.43 %). Los valores bajos de diversidad en los tres meses fueron: noviembre (1.5), agosto (1.79) y marzo (1.87). La equitatividad fue muy alta en los meses de agosto y marzo (entre 0.81-0.86) y en el mes de noviembre fue de 0.77. La riqueza específica fue moderada en los tres meses (entre 7-10). En noviembre se calculó un elevado porcentaje de filamentosas (61 %) y porcentajes bajos de correosas y costrosas (de alrededor del 18 %); además porcentajes muy bajos de corticadas y foliosas (1.6 %). En el mes de agosto se observó un elevado porcentaje de correosas (60 %) y porcentajes bajos de filamentosas y corticadas (de alrededor del 17 %); en Marzo un elevado porcentaje de corticadas (42 %) y porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas y filamentosas (de alrededor del 19 %); asimismo porcentajes muy bajos de foliosas (4.76 %) (Tabla 80).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron moderados, que se registró la predominancia de algas foliosas (indicadoras de disturbio ambiental) en el mes de noviembre y de correosas y corticadas (indicadoras de ambientes estables) en los otros dos meses de estudio y bajos porcentajes de calcáreas articuladas, correosas y foliosas, valores de diversidad bajos y la riqueza específica moderada, se puede considerar que en la subzona arrecife frontal interno de Punta Maroma aunque predominaron las algas filamentosas dentro de los grupos morfofuncionales presentes en el mes de noviembre con porcentajes bajos no hay influencias externas significativas en este arrecife.

Punta Maroma, 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 (entre 1-7 cm). Se determinaron valores bajos de cobertura algal en los tres meses (entre 6.29-9 %) y se registraron valores moderados de diversidad en los meses de noviembre (2.18) y marzo (2.06) y en el mes de agosto bajos (1.84). Los valores de equitatividad muy altos en los tres meses que oscilaron entre 0.83-0.99. La riqueza específica fue moderada en los tres meses (entre 8-11). En noviembre se observó un elevado porcentaje de calcáreas articuladas (52.94 %) y porcentajes bajos de correosas y costrosas (de alrededor del 18 %); además porcentajes muy bajos de corticadas y foliosas (1.6 %) y en Agosto porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, filamentosas y foliosas (de alrededor del 22 %). En el mes de marzo se registraron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, foliosas y filamentosas (de alrededor del 18 %) (Tabla 80).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron moderados, que existió predominancia de algas calcáreas articuladas, y bajos porcentajes de foliosas, correosas, costrosas y filamentosas, valores de diversidad moderados y la riqueza específica fue moderada, se puede señalar que en la subzona de transición barlovento de Punta Maroma no hay influencias externas significativas

Playa del Carmen

Moc-che, Frontal Cordillera:

La preferencia al sustrato arenoso por las algas fue del 100 % en el mes de noviembre. Los valores de canopia algal fueron moderados (oscilaron entre 1 y 6 cm); con valores muy bajos de cobertura algal del 0.86 %; baja diversidad (1.37) y alta equitatividad (0.99). La riqueza específica fue baja (4). Además se estimó un 100 % de calcáreas articuladas y correosas (Tabla 81).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue muy baja, que la canopia algal fue moderada, que existió la predominancia de algas calcáreas articuladas y correosas (indicadoras de ambientes estables), que los valores de diversidad fueron muy bajos y la riqueza específica registrada para las especies de algas fue baja, se puede plantear que en la subzona de cordillera frontal de Moc-che no hay influencias externas significativas.

Tabla 81. Parámetros medidos en Playa del Carmen.

Parametro	Moc-che CF		Moc-che Cresta		Chun-zumbul			Moc-che TB		Jardines		
	Nov.	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto
Tipos de sustrato (%)												
areno-rocoso	100											
arenoso		86.59	43.75	100								
coral												
esponja												
roca			56.25			100	100	100	100			100
rocoarenoso		13.4			100					100	100	
rocoso												
Canopia(cm)	01-Jun	01-Jul	01-Abr	01-Jul	01-Jul	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-Mar	01-May	01-May	01-May
Cobertura(%)	0.86	5.98	3.13	12.68	1.97-5.37	1.97-5.37	1.97-5.37	1.53	8.83	4.38-10.08	4.38-10.08	4.38-10.08
Parametros comunitarios												
Diversidad	1.37	1.4	1.71	1.9	2.14	0.68	1.54	1.46	1.06	1.51	1.43	2.35
Equitatividad	0.99	0.61	0.91-0.95	0.91-0.95	0.93-0.98	0.93-0.98	0.93-0.98	0.97-1.05	0.97-1.05	0.84-0.94	0.5	0.84-0.94
Riqueza	4	06-Oct	06-Oct	06-Oct	7	4	3	03-Abr	03-Abr	06-Dic	06-Dic	06-Dic
Morfotipo algal (%)												
Calcárea articulada	50	8	8	4	3.13			7			7	5
Correosa	50	2	43.75	4	18		7	59.57	23	10	55.5	6
corticada					6		7			43.66	3	5
costrosa		51.54	8	4			7			10		5
filamentosa		8	8	44	18	100	7	6.3	76		7	5
Foliosa		2		4	6			7		8.12	3	
globosa												

Moc-che, cresta

La preferencia al sustrato por las algas fue elevado sobre coral (86.59 %) en el mes de noviembre y se observó un bajo porcentaje sobre sustrato rocoarenoso (13.40 %). En el mes de agosto se registró una preferencia del 100 % sobre coral. En el mes de marzo el porcentaje de alga fue elevado sobre roca (56.25 %) y se presentó un bajo porcentaje sobre coral (43.75 %). Los valores de canopia algal fueron moderados para agosto y noviembre (oscilaron entre 1 y 7 cm); en el mes de marzo se registraron valores muy pequeños (oscilaron entre 1 y 4 cm). Valores bajos de cobertura algal en los meses de noviembre (5.98 %) y marzo (3.13 %) y en agosto moderados del 12.68 %. Los valores de diversidad fueron bajos en los meses de agosto (1.9) y marzo (1.71) así como en noviembre fueron muy bajos (1.4). La equitatividad fue muy alta en los meses de agosto y marzo (entre 0.91-0.95) y en noviembre baja (0.61). La riqueza específica presentó valores moderados en los tres meses (entre 6-10). Se registró un porcentaje elevado de costrosas (51.54 %) en noviembre, con porcentajes bajos de filamentosas y calcárea articuladas (de alrededor del 16 %) y porcentajes muy bajos de correosas y foliosas (4 %). En agosto se determinó un elevado porcentaje de filamentosas (44 %) y bajo de calcáreas articuladas, correosas, costrosas y foliosas (de alrededor del 15 %); en marzo fue un elevado porcentaje de correosas (43.75 %) y porcentajes bajos (de alrededor del 25 %) de costrosas, filamentosas y calcáreas articuladas (Tabla 81).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron moderados, que existió la predominancia de algas costrosas en el mes de noviembre, la predominancia de filamentosas en agosto (indicadoras de ambientes con disturbio) y la predominancia de correosas (indicadoras de ambientes estables) en marzo, que los valores de diversidad fueron bajos, y la riqueza específica fue moderada, se puede estimar que la subzona cresta de Moc-che pudo estar sujeta a la acción de alguna influencia externa significativa en el mes de noviembre y marzo (como el aumento del herbivorismo) provocando la predominancia de algas costrosas y filamentosas respectivamente, aunque en porcentajes de cobertura bajos.

Moc-che, TB

La preferencia al sustrato rocoso por las algas fue del 100 % en el mes de agosto y marzo. Los valores de canopia algal fueron bajos en los dos meses (oscilaron entre 1 y 3 cm). Los valores de cobertura algal en el mes de agosto fueron moderados (8.83 %) y en el mes de marzo fueron muy bajos (1.53 %). Los valores de diversidad en el mes de agosto fueron muy bajos (1.06) y en el mes de marzo bajos también (1.46). La equitatividad fue muy alta en los dos meses (0.97-1.05) y la riqueza específica baja (entre 3 y 4). En el mes de agosto se presentó un elevado porcentaje de filamentosas (76 %) y porcentajes bajos de correosas (de alrededor del 23 %) y en marzo un elevado porcentaje de correosas (59.57 %) así como bajos de foliosas y calcáreas articuladas (de alrededor del 15 %). Se presentaron además porcentajes muy bajos de filamentosas (6.3 %) (Tabla 81).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron moderados, que existe la predominancia de algas filamentosas en el mes de agosto y de correosas (indicadoras de ambientes estables) en marzo, que los valores de diversidad fueron muy bajos y la riqueza específica fue baja, se puede considerar

que en la subzona de transición barlovento de Moc-che no hay influencias externas significativas aunque se registró la predominancia de algas filamentosas, pero en porcentajes de cobertura bajos.

Chun-zumbul, comunidad de gorgonáceos

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 (1-3 cm) y moderados en el mes de noviembre (1-7 cm). La cobertura algal fue baja en los tres meses (entre 1.97 y 5.37 %). En el mes de noviembre la diversidad fue moderada (2.14), en el mes de agosto fue baja (1.54) y muy baja en marzo (0.68). Los valores de equitatividad fueron muy altos (entre 0.93-0.98) y la riqueza específica fue baja en agosto (3) y marzo (4) y moderada en noviembre (7). Un elevado porcentaje de correosas y filamentosas (35 %) en el mes de noviembre y bajo en corticadas y foliosas (de alrededor del 12 %); además se registraron porcentajes muy bajos de calcáreas articuladas (3.12 %). En agosto se registraron porcentajes bajos de correosas, costrosas, corticadas y filamentosas (de alrededor del 28 %) y en marzo un 100 % de algas filamentosas (Tabla 81).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron pequeños, que existió la predominancia de algas correosas y filamentosas, que los valores de diversidad fueron moderados, y la riqueza específica fue baja, se considera que en la subzona de comunidad de gorgonáceos de Chun-zumbul con un elevado porcentaje de algas filamentosas y correosas, pero en porcentajes bajos, no hay influencias externas significativas.

Jardines, comunidad de gorgonáceos

La preferencia al sustrato rocoarenoso por las algas fue del 100 % en noviembre y marzo. En agosto la preferencia al sustrato rocoso fue del 100 %. Los valores de canopia algal fueron bajos en los tres meses (oscilaron entre 1 y 5 cm) al igual que los de cobertura algal (entre 4.38 y 10.08 %). Los valores de diversidad fueron bajos en el mes de noviembre (1.51), moderados en agosto (2.35) y muy bajos en marzo (1.43). La equitatividad fue muy alta en noviembre y agosto (entre 0.84 y 0.94) y alta (0.50) en marzo. La riqueza específica presentó valores moderados (6-12). En noviembre se calculó un elevado porcentaje de corticadas (43.66 %) y bajo de costrosas y correosas (de alrededor del 20 %). Se registraron además porcentajes muy bajos de foliosas (8.12 %). En agosto se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, filamentosas, corticadas y costrosas (de alrededor del 20 %); además porcentajes muy bajos de correosas (6 %). En marzo se calculó un elevado porcentaje de correosas (55.5 %) y bajo de filamentosas y calcáreas articuladas (de alrededor del 15 %). Las corticadas y foliosas tuvieron porcentajes muy bajos de (5 %) (Tabla 81).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron bajos, que existió la predominancia de algas corticadas y correosas (indicadoras de ambientes estables), que los valores de diversidad fueron muy bajos, y la riqueza específica fue moderada, se puede señalar que en la subzona de comunidad de gorgonáceos en Jardines no hay influencias externas significativas.

xaac**Xaac, AFE**

La preferencia al sustrato sobre coral por las algas fue del 100 % en noviembre. Los valores de canopia algal fueron moderados (oscilaron entre 1 y 10 cm); los de cobertura algal fueron moderados (10.17 %), los de diversidad fueron altos (de 2.57) y muy altos los de equitatividad (0.88), la riqueza específica fue alta (18). Se registraron además porcentajes bajos de foliosas, costrosas y calcáreas articuladas (de alrededor del 23 %). Se registraron además porcentajes muy bajos de correosas, corticadas y filamentosas (6 %) (Tabla 82).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal presentó valores moderados, que la canopia algal fue moderada, que la diversidad fue alta, y la riqueza específica fue alta, se puede plantear que en la subzona de arrecife frontal externo de Xaac no hay influencias externas significativas.

Xaac, AFI

La preferencia al sustrato sobre coral por las algas fue bajo del 34.6 %, roca del 29.33 y rocoarenosa 36 % en el mes de noviembre. En agosto y marzo el 100 % fue sobre sustrato de coral. Los valores de canopia algal fueron moderados en los tres meses de estudio (oscilaron entre 1 y 10). La cobertura algal fue baja en noviembre y agosto (oscilaron entre 7.49 y 9.25 %) y en el mes de marzo fueron moderados (16.24 %). Los valores de diversidad fueron altos (de 2.63) en noviembre, moderados en agosto (2.11) y bajos en marzo (1.83). La equitatividad fue muy alta en los tres meses (osciló entre 0.88 y 0.95), La riqueza específica fue alta en noviembre (16) y moderada en agosto y marzo (8-10). En noviembre se determinó un elevado porcentaje de calcáreas articuladas (40 %) y porcentajes bajos de costrosas, correosas, foliosas y corticadas (de alrededor del 13 %); además porcentajes muy bajos de filamentosas (4 %). En agosto se presentaron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, foliosas, filamentosas y costrosas (de alrededor del 18 %). En marzo se calcularon porcentajes bajos (de alrededor del 20 %) de calcáreas articuladas, costrosas, correosas y foliosas; así como muy bajos de corticadas y filamentosas (5 %) (Tabla 82).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron moderados, que existió la predominancia de algas calcáreas articuladas (indicadoras de ambientes estables), que los valores de diversidad oscilaron de moderados a altos y la riqueza específica fue moderada, se estima que en la subzona de arrecife frontal interno de Xaac no hay influencias externas significativas.

Tabla 82. Parámetros medidos en Xaac.

Parametro	Xaac AFE	Xaac Cresta	AFI			TB			Cantenah cresta	
	Nov.	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo
Tipos de sustrato (%)										
areno-rocoso										
arenoso										
coral	100	100	34.6	100	100	100	100	100	57.1	100
esponja										
roca			29.33						42.58	
rocoarenoso			36							
rocoso										
Canopia(cm)	1-10	2-5	1-10	1-10	1-10	1-9	1-9	1-9	1-10	1-10
Cobertura(%)	10.17	7.78	7.49-9.25	16.24	7.49-9.25	7.72-10.42	7.72-10.42	7.72-10.42	16.43	8.61
Parametros comunitarios										
Diversidad	2.57	2.11	2.63	1.83	2.11	2.11-2.33	1.84	2.11-2.33	2.79	2.28
Equitatividad	0.88	0.9	0.88-0.95	0.88-0.95	0.88-0.95	0.84-0.9	0.84-0.9	0.84-0.9	0.91-0.92	0.91-0.92
Riqueza	18	10	16	8-10	8-10	16	8-10	8-10	12-21	12-21
Morfotipo algal (%)										
Calcárea articulada	7	4	40	5	4	7	4	5	4	6
Correosa	2	7.4	4	5	4	7	4	9	1.5	2.5
corticada	2	4	4	2		4.7	4		4	2.5
costrosa	7	4	4	5	4	7	4	5	4	6
filamentosa	2	4	4	2	4			5	4	6
Foliosa	7	4	4	5	4	7	4	5	4	6
globosa									1.5	

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 fueron bajos (oscilaron entre 1 y 9 cm) y los valores de cobertura algal fueron bajos (7.72 y 10.48 %). Los valores de diversidad fueron moderados en noviembre y agosto (oscilaron entre 2.11 y 2.33) y bajos en el mes de marzo (de 1.84). La equitatividad fue muy altos (oscilaron entre 0.84 y 0.9) y la riqueza específica fue alta en noviembre (16) y moderada en agosto y marzo (8-10). En noviembre los porcentajes fueron bajos de algas costrosas, correosas, foliosas y calcáreas articuladas (de alrededor del 28 %); además porcentajes muy bajos de corticadas (4.7 %). En agosto porcentajes bajos fueron de calcáreas articuladas, costrosas, foliosas y filamentosas (de alrededor del 20 %); se registraron también porcentajes muy bajos de correosas (9 %). En marzo se presentaron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, foliosas y filamentosas (de alrededor del 20 %) (Tabla 82).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron bajos, que los porcentajes de grupos morfofuncionales fueron bajos sin predominancia de ninguno, que los valores de diversidad fueron de moderados a bajos, y que la riqueza específica fue moderada, se puede decir que en la subzona de transición barlovento de Xaac no hay influencias externas significativas.

Cantenah, cresta

La preferencia al sustrato sobre coral (57.1 %) y roca (42.58 %) por las algas fue elevado en el mes de noviembre. En el mes de marzo la preferencia de las algas sobre sustrato de coral fue del 100 %. Los valores de canopia algal fueron moderados (oscilaron entre 1 y 10 cm). La cobertura algal fue moderada en noviembre (16.43 %) y baja en marzo (8.61 %). Los valores de diversidad fueron altos en noviembre (de 2.79) y moderados en marzo (de 2.28). La equitatividad fue de valores muy altos (oscilaron los valores entre 0.91 y 0.92) y la riqueza específica fue alta en estos dos meses (entre 12 y 21). En noviembre se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas, corticadas, filamentosas y foliosas (de alrededor del 20 %); se registraron además porcentajes muy bajos de correosas y globosas (3 %). En marzo fueron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas, filamentosas y foliosas (de alrededor del 25 %); se registraron porcentajes muy bajos de corticadas y correosas (5 %) (Tabla 82).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue de moderada a baja, que los valores de canopia algal fueron moderados, que los porcentajes de grupos morfofuncionales fueron bajos sin predominancia de ninguno, que existió la predominancia de algas calcáreas articuladas y correosas (indicadoras de ambientes estables), que los valores de diversidad fueron de moderados a bajos, y la riqueza específica fue alta, se estima que en la subzona de cresta de Cantenah no hay influencias externas significativas.

Xaac, cresta

La preferencia al sustrato de coral en agosto por las algas fue del 100 %. Los valores de canopia algal fueron bajos (oscilaron entre 2 y 5 cm), los de cobertura fueron bajos (7.78 %). Los valores de diversidad fueron moderados (de 2.11) y los de equitatividad

muy altos (0.9). La riqueza específica fue alta (10). Se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, corticadas, foliosas, filamentosas y costrosas (de alrededor del 17 %); además porcentajes muy bajos de correosas (7.4 %) (Tabla 82).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron bajos, que los porcentajes de grupos morfofuncionales fueron bajos sin predominancia de ninguno, que los valores de diversidad fueron moderados, y la riqueza específica fue alta, se considera que en la subzona de cresta de Xaac no hay influencias externas significativas.

Tulum

Tulum, AFI

La preferencia al sustrato de coral en agosto y marzo por las algas fue del 100 % sobre sustrato. En noviembre el porcentaje de alga sobre coral fue elevado (99.15 %) y un bajo porcentaje sobre roca (0.85 %). Los valores de canopia algal fueron bajos (oscilaron entre 1 y 7 cm). La cobertura fue baja en noviembre (7.21 %) y moderada en agosto y marzo (osciló entre 14.79 y 15.65 %). Los valores de diversidad fueron moderados (entre 2.01 y 2.24) para los meses de noviembre y agosto; en marzo fueron bajos (1.74). La equitatividad presentó valores muy altos (oscilaron los valores entre 0.87 y 0.97) y la riqueza específica fue alta en el mes de noviembre (13) y moderada en los meses de agosto y marzo (7-8). En el mes de noviembre se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas, correosas, foliosas (de alrededor del 18 %); además porcentajes muy bajos de corticadas (10 %). En agosto fueron porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, costrosas, foliosas y filamentosas (de alrededor del 22 %). En marzo se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, correosas, filamentosas y foliosas (de alrededor del 18 %); además porcentajes muy bajos de costrosas (7 %) (Tabla 83).

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue de moderada a baja, que los valores de canopia algal fueron bajos, que los porcentajes de grupos morfofuncionales fueron bajos sin predominancia de ninguno, que los valores de diversidad fueron moderados, y la riqueza específica fue alta, se puede señalar que en la subzona de arrecife frontal interno de Tulum no hay influencias externas significativas.

Tulum, TB

La preferencia al sustrato de coral en los tres meses de estudio fue del 100 %. Los valores de canopia algal fueron bajos (oscilaron entre 2 y 7cm) y la cobertura algal presentó valores bajos también (oscilaron los valores entre 6.04 y 10.37 %). La diversidad fue baja en agosto y marzo (1.78-1.84) y para el mes de noviembre fue moderada (2.12). La equitatividad fue muy alta en los tres meses (osciló entre 0.92-0.99) y la riqueza específica fue moderada también (6-10). En el mes de noviembre se determinaron porcentajes bajos de calcáreas articuladas y foliosas (de alrededor del 35 %); se registraron además porcentajes muy bajos de corticadas y costrosas (14 %). En el mes de agosto los porcentajes fueron bajos de calcáreas articuladas, corticadas, costrosas, foliosas y filamentosas (de alrededor del 22 %). En marzo se calcularon porcentajes bajos de calcáreas articuladas, costrosas y foliosas (de alrededor del 25 %); además porcentajes muy bajos de correosas y filamentosas (6 %) (Tabla 83).

Tabla 83. Parámetros medidos en Tulum.

Tulum	AFI			TB		
	Nov.	Marzo	Agosto	Nov.	Marzo	Agosto
Parametro						
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
Parametros 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						

Teniendo en cuenta que: la cobertura algal fue baja, que los valores de canopia algal fueron bajos, que los porcentajes de grupos morfofuncionales fueron bajos sin predominancia de ninguno, que los valores de diversidad fueron moderados, y la riqueza específica fue moderada, se plantea que en la subzona de transición barlovento de Tulum no hay influencias externas significativas.

Finalmente y a modo de conclusión:

Se presenta a modo de resumen en el Anexo (Tabla 84 y Fig. 181), el comportamiento de la riqueza de especies en los tres muestreos realizados en las diferentes localidades. Los valores oscilaron entre 7 y 16 especies en los tres muestreos, con excepción de Xaac cresta que presentó valores más elevados (21 especies) en el primer muestreo. Se presenta además un resumen en el Anexo (Tabla 85 y Fig. 182) del comportamiento del Índice de diversidad en los tres muestreos realizados en las diferentes localidades. Los valores oscilaron entre 1.50 y 2.80 para los tres muestreos, destacando a Xaac cresta y Xaac TB que presentaron valores elevados en los tres muestreos.

Tabla 84. Resumen del comportamiento de la riqueza de especies en los tres muestreos en las diferentes localidades.

LOCALIDAD	SUBZONA	NUMERO DE ESPECIES		
		1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
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	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

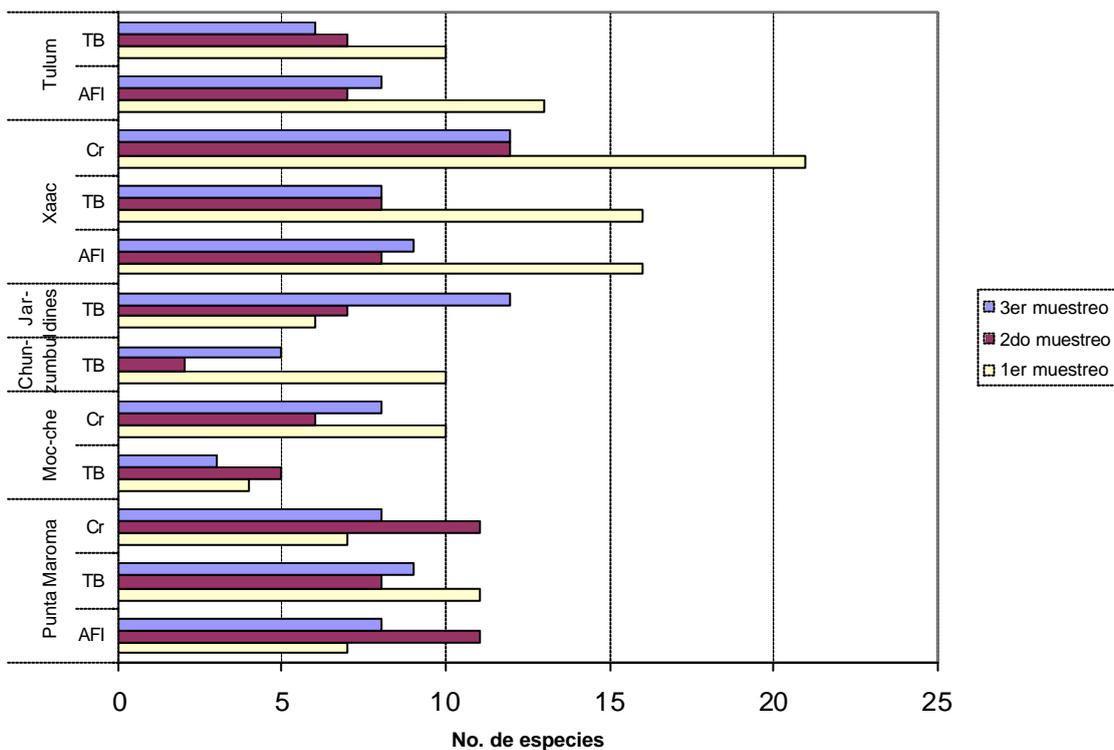


Fig. 181. Resumen del comportamiento de la riqueza de especies en los tres muestreos en las diferentes localidades.

Tabla 85. Resumen del comportamiento del Índice de Diversidad en los tres muestreos en las diferentes localidades.

LOCALIDAD	SUBZONA	INDICE DIVERSIDAD (H')		
		1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
Punta Maroma	AFI	1.50	1.81	1.79
	TB	2.19	1.86	1.84
	Cr	1.66	1.99	1.96
Moc-che	TB	1.38	1.46	1.07
	Cr	1.41	1.72	1.91
Chun-zumbul	TB	2.14	0.68	1.54
	Jardines	TB	1.51	1.43
Xaac	AFI	2.64	1.83	1.96
	TB	2.33	1.84	1.97
	Cr	2.80	2.29	2.17
Tulum	AFI	2.25	1.74	2.02
	TB	2.12	1.85	1.78

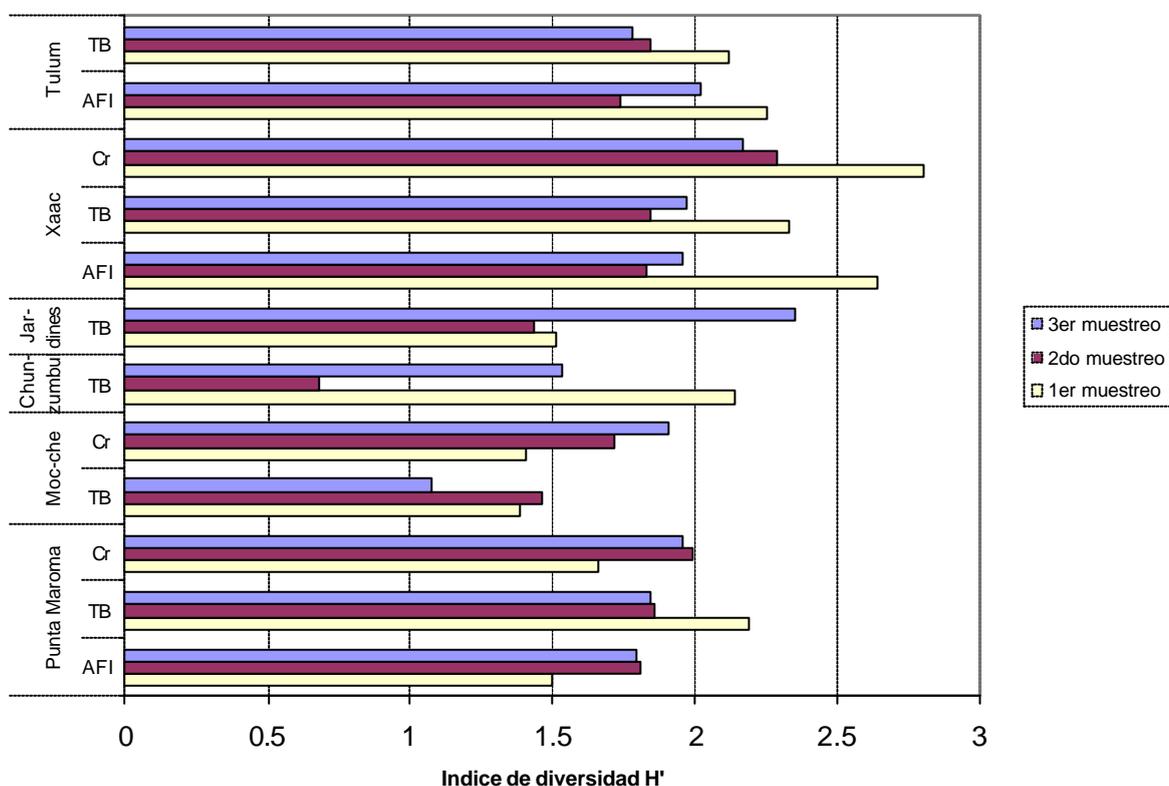


Fig. 182. Resumen del comportamiento de la riqueza de especies en los tres muestreos en las diferentes localidades.

Se debe resaltar que 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).

Peces arrecifales

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 86). La familia con más especies identificadas fue Haemulidae (roncos y chachíes) con 10 especies, seguida de la familia Labridae y Pomacentridae con 9.

Tabla 86. Listado de especies de peces arrecifales registrados durante los tres muestreos.

Clase	Superorden	Familia	Genero	Especie	
Osteichthyes	Acanthopterygii	Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>bahianus</i>	
				<i>chirurgus</i>	
				<i>coeruleus</i>	
		Apogonidae	<i>Apogon</i>	<i>maculatus</i>	
				<i>townsendii</i>	
		Aulostomidae	<i>Aulostomus</i>	<i>maculatus</i>	
		Balistidae	<i>Aleuterus</i>	<i>scriptus</i>	
				<i>Melichthys</i>	<i>niger</i>
				<i>Xanthichthys</i>	<i>ringens</i>
		Blenniidae	<i>Ophioblennius</i>	<i>atlanticus</i>	
		Carangidae	<i>Selar</i>	<i>crumenophthalmus</i>	
				<i>Caranx</i>	<i>ruber</i>
		Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>aculeatus</i>	
				<i>capistratus</i>	
				<i>ocelatus</i>	
				<i>striatus</i>	
				<i>pinos</i>	
		Cirrhitidae	<i>Amblicirrhitus</i>	<i>pinos</i>	
		Clinidae	<i>Malacoctenus</i>	<i>sp</i>	
				<i>triangulatus</i>	
		Diodontidae	<i>Diodon</i>	<i>holocanthus</i>	
		ENGRAULIDAE	<i>Engraulidae</i>	<i>spp</i>	
		Gobidae	<i>Coryphopterus</i>	<i>dicrus</i>	
				<i>personatus</i>	
				<i>Gobiosoma</i>	<i>genie</i>
				<i>horsti</i>	
				<i>loreto</i>	
Grammatidae	<i>Gramma</i>	<i>surinamensis</i>			
Haemulidae	<i>Anisotremus</i>	<i>virginicus</i>			
		<i>Haemulon</i>	<i>aurolineatum</i>		
		<i>carbonarium</i>			
		<i>crysargireum</i>			

Continua tabla 86

		<i>flavolineatum</i>
		<i>parra</i>
		<i>plumieri</i>
		<i>sciurus</i>
		<i>striatum</i>
Holocentridae	<i>Holocentrus</i>	<i>adscencionis</i>
		<i>marianus</i>
		<i>rufus</i>
Kyphosidae	<i>Kyphosus</i>	<i>sextatrix</i>
Labridae	<i>Bodianus</i>	<i>rufus</i>
	<i>Clepticus</i>	<i>parrae</i>
	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>
		<i>garnoti</i>
		<i>maculipina</i>
		<i>radiatus</i>
		<i>garnoti</i>
	<i>Lachnolaimus</i>	<i>maximus</i>
	<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>
Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	<i>analis</i>
		<i>griseus</i>
		<i>mahogoni</i>
		<i>synagris</i>
	<i>Oscyurus</i>	<i>chrysurus</i>
Malacanthidae	<i>Malacanthus</i>	<i>plumieri</i>
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>
Muraenidae	<i>Echidna</i>	<i>catenata</i>
	<i>Gymnotorax</i>	<i>funnebris</i>
		<i>miliaris</i>
		<i>moringa</i>
Ostraciidae	<i>Lactophris</i>	<i>bicaudalis</i>
Pempheridae	<i>Pempheris</i>	<i>schomburgki</i>
Pomacanthidae	<i>Holacanthus</i>	<i>ciliaris</i>
		<i>tricolor</i>
		<i>bermudensis</i>
	<i>Pomacanthus</i>	<i>arcuatus</i>
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	<i>saxatilis</i>
	<i>Chromis</i>	<i>cyanea</i>
	<i>Microsphaetodon</i>	<i>chrysurus</i>
	<i>Stegastes</i>	<i>diencaeus</i>
		<i>fuscus</i>
		<i>leucostictus</i>
		<i>partitus</i>
		<i>planifrons</i>

Continua tabla 86

		Scaridae	<i>Scarus</i>	<i>variabilis</i> <i>croicensis</i> <i>crysopterum</i> <i>taeniopterus</i>
			<i>Sparisoma</i>	<i>atomarium</i> <i>aurofrenatum</i> <i>chrysopterum</i> <i>rubripinne</i> <i>viridae</i>
		Sciaenidae	<i>Equetus</i>	<i>acuminatus</i>
		Scorpaenidae	<i>Scorpaena</i>	<i>plumieri</i>
		Serranidae	<i>Epinephelus</i>	<i>adscensionis</i> <i>cruentatus</i> <i>fulvus</i> <i>guttatus</i>
			<i>Hypoplectrus</i>	<i>nigricans</i> <i>puella</i>
			<i>Rypticus</i>	<i>saponaceus</i>
			<i>Serranus</i>	<i>tabacarius</i> <i>tiginus</i>
		Sphyraenidae	<i>Sphyraena</i>	<i>barracuda</i>
		Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>
			<i>Sphoeroides</i>	<i>spengleri</i>
Chondrichthyes	Rajiformes	Urolophidae	<i>Urolophus</i>	<i>jamaicensis</i>

Los resultados obtenidos a lo largo de los tres muestreos realizados no tienen un comportamiento definido en ninguna de las variables y en ninguna de las localidades, la inclusión de una línea de tendencia a las gráficas no sería de mucha ayuda dado que solo se tienen 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 87 y Fig. 183). Lo mismo se observó en la densidad (Tabla 88 y Fig. 184), 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 89 y Fig. 185).

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 88 y Fig. 184).

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 88 y Fig. 184).

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 89 y Fig. 185).

Tabla 87. Numero de especies de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo

Localidad	Subzona	Numero de especies		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 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	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

Punta Maroma

En esta localidad se realizaron trabajos de campo en cuatro subzonas arrecifales, pero sólo se dió 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 88 y Fig. 184).

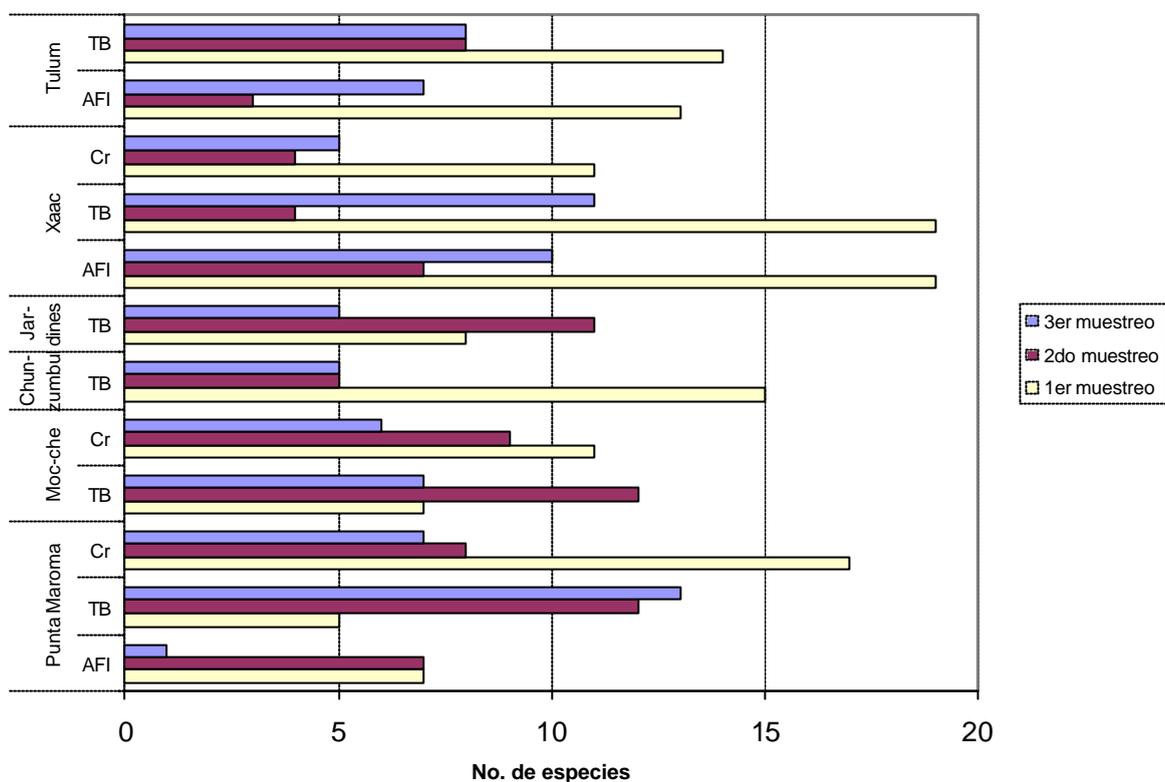


Fig. 183. Numero de especies de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

Tabla 88. Densidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

Localidad	Subzona	Densidad (ind/m ²)		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 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
	AFI	3.45	0.35	0.93
Xaac	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

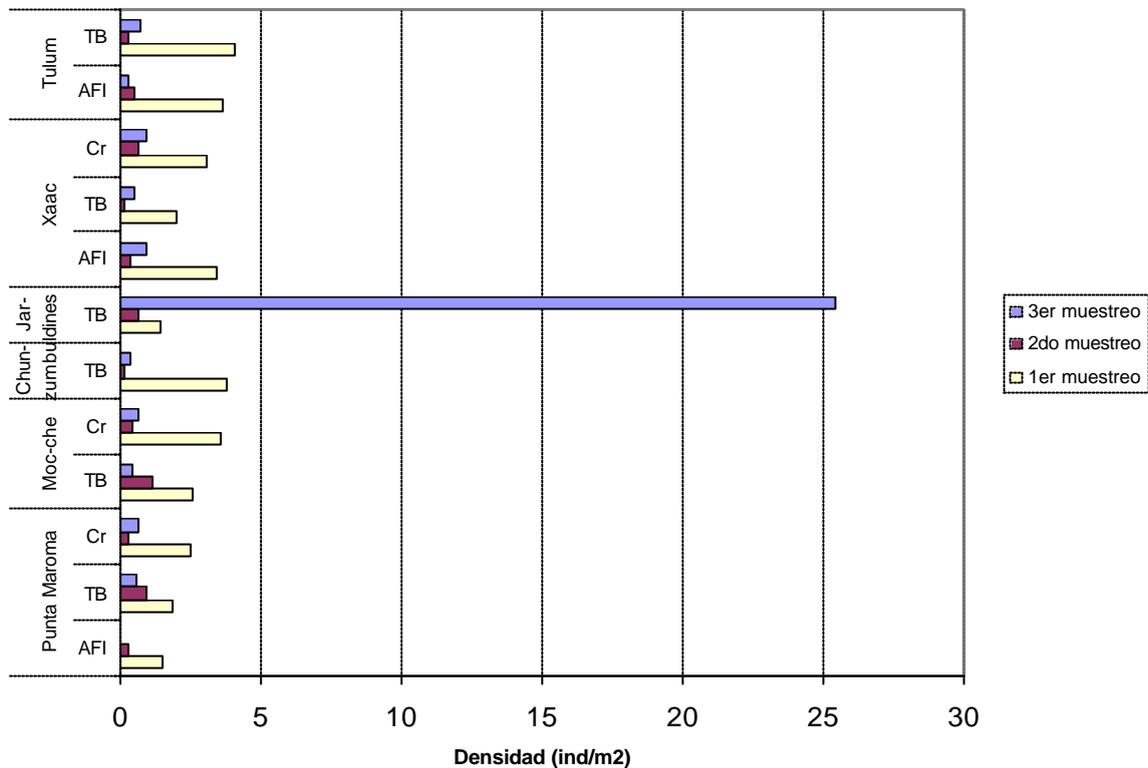


Fig. 184. Densidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

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 88 y Fig. 184).

En la Cresta Arrecifal la riqueza específica y la diversidad se comportan 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. 184).

Tulum

En el Arrecife Frontal Interior, todos los parámetros fueron mayores en el muestreo 3, a excepción de la densidad, donde fue de 0.5 ind/m² en el segundo muestreo y de 0.325 en el tercer muestreo (Tabla 88 y Fig. 184).

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 89 y Fig. 185).

Tabla 89. Índice de diversidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

LOCALIDAD	SUBZONA	INDICE DIVERSIDAD (H')		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 2005
Punta Maroma	AFI	1.50	1.73	
	TB	0.58	2.21	2.46
Moc-che	Cr	2.50	1.95	1.69
	TB	0.95	1.44	1.35
Chun-zumbul	Cr	1.70	2.06	1.32
	TB	1.86	1.56	1.38
Jardines	TB	1.71	2.13	0.11
	AFI	2.52	1.73	1.81
Xaac	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

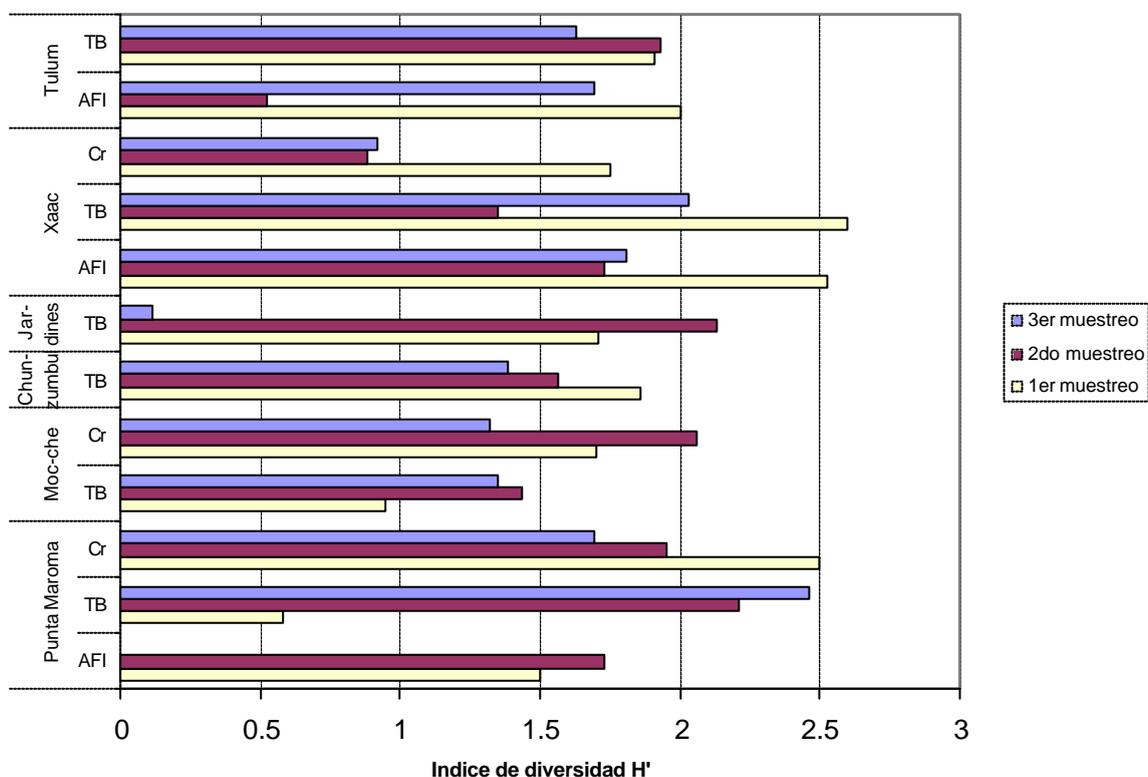


Figura 185. Índice de diversidad de peces arrecifales por localidad, subzona y muestreo.

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 89 y Fig. 185).

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 88 y Fig. 184).

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 88 y Fig. 184).

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 90).

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 crumenoptalmus*, 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. 186).

Tabla 90. 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
<i>Abudefduf saxatilis</i>	2	1	8			
<i>Acanthurus bahianus</i>		4	2	2		
<i>Acanthurus chirurgus</i>		2	21	18		
<i>Acanthurus coeruleus</i>	6	4	9	7		
<i>Aleuterus scriptus</i>			1			
<i>Amblycirrhitus pinos</i>	1	2				
<i>Anisotremus virginicus</i>				1		
<i>Apogon maculatus</i>		1				
<i>Apogon townsendii</i>		1				
<i>Bodianus rufus</i>			2	1		
<i>Canthigaster rostrata</i>	3	1				
<i>Caranx ruber</i>				1		
<i>Chaetodon aculeatus</i>			1			
<i>Chaetodon capistratus</i>		9	6			
<i>Chaetodon ocelatus</i>	1	2	2			

Continuación tabla 90

<i>Chaetodon striatus</i>		2	2			
<i>Chromis cyanea</i>	22	53	6			
<i>Clepticus parrae</i>			18	1		
<i>Coryphopterus dicrus</i>	1					
<i>Coryphopterus personatus</i>	20					
<i>Diodon holocanthus</i>					1	
<i>Epinephelus adscensionis</i>			1	1		
Continua (Tabla 90)						
ESPECIE	<5	6 a 10	11 a 20	21 a 30	31 a 40	>40
<i>Epinephelus cruentatus</i>			2			
<i>Epinephelus fulvus</i>		1		1		
<i>Epinephelus guttatus</i>			1		1	
<i>Gobiosoma horsti</i>	1					
<i>Gramma loreto</i>		3				
<i>Gymnotorax funebris</i>						1
<i>Gymnotorax miliaris</i>				1		
<i>Gymnotorax moringa</i>						1
<i>Haemulon aurolineatum</i>				30		
<i>Haemulon carbonarium</i>			2	2		
<i>Haemulon flavolineatum</i>			8	10		
<i>Haemulon parrai</i>				1		
<i>Haemulon plumieri</i>			2	4		
<i>Haemulon sciurus</i>			5	3		
<i>Haemulon striatum</i>				1		
<i>Halichoeres bivittatus</i>		2	3			
<i>Halichoeres garnoti</i>	19	19	19	1		
<i>Halichoeres maculipinna</i>		1				
<i>Halichoeres radiatus</i>		1	1			
<i>Hipoplectrus nigricans</i>		1				
<i>Holocentrus ciliaris</i>				1		
<i>Holocanthus bermudensis</i>			1			
<i>Holocanthus tricolor</i>				1		
<i>Holocentrus adscencionis</i>			2	1	1	
<i>Holocentrus rufus</i>				4		
<i>Hypoplectrus guttavarius</i>			1			
<i>Hypoplectrus puella</i>		1				
<i>Kyphosus sextatrix</i>			1			
<i>Lactophris bicaudalis</i>						1
<i>Lutjanus analis</i>						1
<i>Lutjanus mahogoni</i>						6
<i>Malacanthus plumieri</i>						1
<i>Malacoctenus sp</i>	1	1				
<i>Malacoctenus triangulates</i>	1					
<i>Melichthys niger</i>						2

Continuación tabla 90

<i>Microspatodon chrysurus</i>	4	5	3	1		
<i>Oscyurus chrysurus</i>				1	4	
<i>Pomacanthus arcuatus</i>					2	
<i>Pseudopeneus maculatus</i>				5	4	
<i>Rypticus saponaceus</i>						1
<i>Scarus croicensis</i>	4			2	2	
<i>Scarus taeniopterus</i>	2	15	7			1
Continua (Tabla 90)						
ESPECIE	<5	6 a 10	11 a 20	21 a 30	31 a 40	>40
<i>Scorpaena plumieri</i>						1
<i>Selar crumenophthalmus</i>				1000		
<i>Serranus tabacarius</i>	1					
<i>Serranus tigrinus</i>	2	7	5			
<i>Sparisoma atomarium</i>	1	2			1	
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>	3	11	13	3		
<i>Sparisoma chrysopterus</i>			1			1
<i>Sparisoma rubripinne</i>		1	1			1
<i>Sparisoma viridae</i>	9	8	12	2		1
<i>Sphoeroides spengleri</i>	4	5	1			
<i>Stegastes diencaeus</i>	12	5				
<i>Stegastes fuscus</i>		28	33			
<i>Stegastes leucostictus</i>	7	11	6			
<i>Stegastes partitus</i>	90	61	12			
<i>Stegastes planifrons</i>	6	19	9			
<i>Stegastes variabilis</i>	3					
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	223	139	50			
<i>Urolophus jamaicensis</i>						1
Total general	449	429	288	1113	20	2

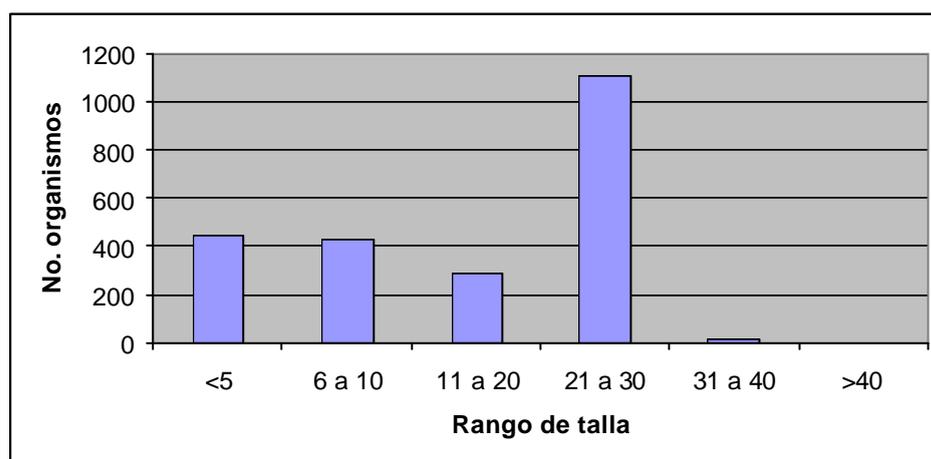


Figura 186. Numero de organismos de peces arrecifales por intervalo de talla en los tres muestreos.

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 91).

Tabla 91. Grupo trófico por especie identificada en los tres muestreos.

Especie	B	H	I	O	P	PI
<i>Abudefduf saxatilis</i>	X					
<i>Acanthurus bahianus</i>		X				
<i>Acanthurus chirurgus</i>		X				
<i>Acanthurus coeruleus</i>		X				
<i>Aleuterus scriptus</i>				X		
<i>Amblicirrhitis pinus</i>					X	
<i>Anisotremus virginicus</i>	X					
<i>Apogon maculatus</i>					X	
<i>Apogon townsendii</i>					X	
<i>Bodianus rufus</i>	X					
<i>Canthigaster rostrata</i>				X		
<i>Caranx ruber</i>			X			
<i>Chaetodon aculeatus</i>	X					
<i>Chaetodon capistratus</i>	X					
<i>Chaetodon ocelatus</i>	X					
<i>Chaetodon striatus</i>	X					
<i>Chromis cyanea</i>					X	
<i>Clepticus parrae</i>					X	
<i>Coryphopterus dicrus</i>				X		
<i>Coryphopterus personatus</i>				X		
<i>Cromys cyanea</i>					X	
<i>Diodon holocanthus</i>	X					
<i>Epinephelus adscensionis</i>	X					
<i>Epinephelus cruentatus</i>						X
<i>Epinephelus fulvus</i>						X
<i>Epinephelus guttatus</i>						X
<i>Gobiosoma horsti</i>	X					
<i>Gramma loreto</i>					X	
<i>Gymnotorax funebris</i>			X			
<i>Gymnotorax miliaris</i>			X			
<i>Gymnotorax moringa</i>			X			
<i>Haemulon aurolineatum</i>	X					
Continua (Tabla 91)						
Especie	B	H	I	O	P	PI
<i>Haemulon carbonarium</i>	X					
<i>Haemulon flavolineatum</i>	X					

Continuación tabla 91

<i>Haemulon parrai</i>	X					
<i>Haemulon plumieri</i>	X					
<i>Haemulon sciurus</i>	X					
<i>Haemulon striatum</i>					X	
<i>Halichoeres bivittatus</i>	X					
<i>Halichoeres garnoti</i>	X					
<i>Halichoeres maculipinna</i>	X					
<i>Halichoeres radiatus</i>	X					
<i>Hipoplectrus nigricans</i>						X
<i>Holocanthus bermudensis</i>	X					
<i>Holocanthus ciliaris</i>	X					
<i>Holocanthus tricolor</i>	X					
<i>Holocentrus adscensionis</i>	X					
<i>Holocentrus rufus</i>	X					
<i>Hypoplectrus guttavarius</i>						X
<i>Hypoplectrus puella</i>						X
<i>Kyphosus sextatrix</i>		X				
<i>Lactophrys bicaudalis</i>	X					
<i>Lutjanus analis</i>						X
<i>Lutjanus mahogoni</i>			X			
<i>Malacanthus plumieri</i>	X					
<i>Malacoctenus sp</i>					X	
<i>Malacoctenus triangulatus</i>					X	
<i>Melichthys niger</i>		X				
<i>Microsphotodon chrysurus</i>		X				
<i>Oscyurus chrysurus</i>						X
<i>Pomacanthus arcuatus</i>	X					
<i>Pseudopeneus maculatus</i>	X					
<i>Rypticus saponaceus</i>						X
<i>Scarus croiscensis</i>		X				
<i>Scarus taeniopterus</i>		X				
<i>Scorpaena plumieri</i>	X					
<i>Selar crumenophthalmus</i>					X	
<i>Serranus tabacarius</i>			X			
<i>Serranus tigrinus</i>	X					
<i>Sparisoma atomarium</i>		X				
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>		X				
Especie	B	H	I	O	P	PI
<i>Sparisoma chrysopterus</i>		X				
<i>Sparisoma rubripinne</i>		X				
<i>Sparisoma viridae</i>		X				
<i>Sphoeroides spengleri</i>	X					

Continuación tabla 91

<i>Stegastes diencaeus</i>					X		
<i>Stegastes fuscus</i>					X		
<i>Stegastes leucostictus</i>					X		
<i>Stegastes partitus</i>					X		
<i>Stegastes planifrons</i>					X		
<i>Stegastes variabilis</i>					X		
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	X						
<i>Urolophus jamaicensis</i>	X						
83	34	13	6	12	9	9	

B=bentófagos, H=herbívoros, I=ictiófagos, O=omnívoros, P=piscívoros estrictas, PI=depredadores de peces e invertebrados.

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.

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 92 y Fig. 187).

Tabla 92. 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

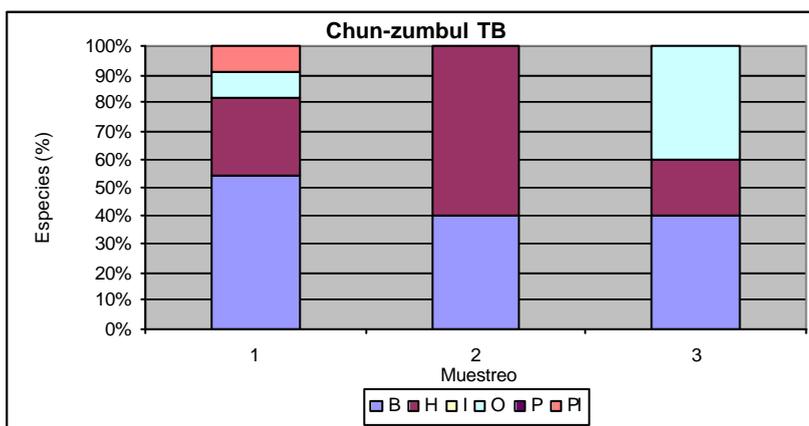


Fig. 187. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Chun-zumbul.

Jardines

Al igual que en Chun-zumbul, las especies bentófagas fueron más abundantes en el primer muestreo, sin embargo fueron aumentando las herbívoras 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 93 y Fig. 188).

Tabla 93. Numero 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	2	0	1	1	0

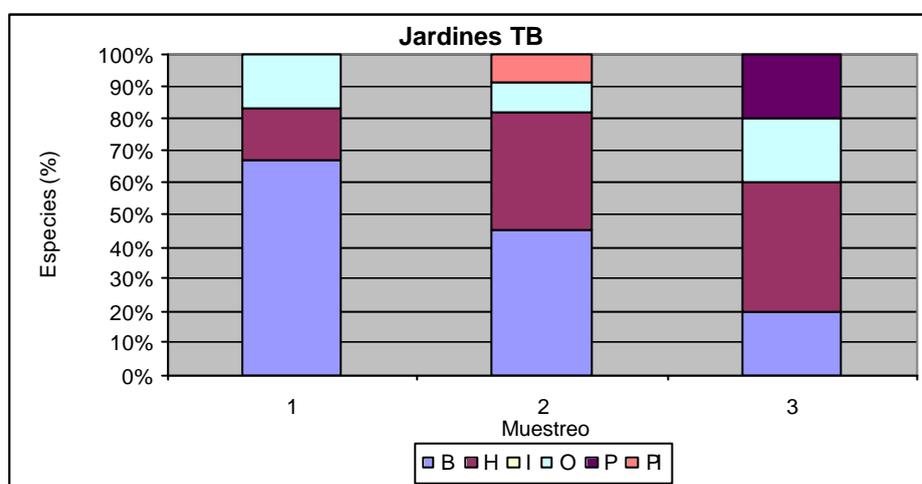


Fig. 188. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Jardines.

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 94). En términos de porcentaje, los omnívoros fueron importantes en todos los muestreos, aunque en el tercero estuvieron superados por las especies herbívoras (Fig. 189).

Tabla 94. Numero 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

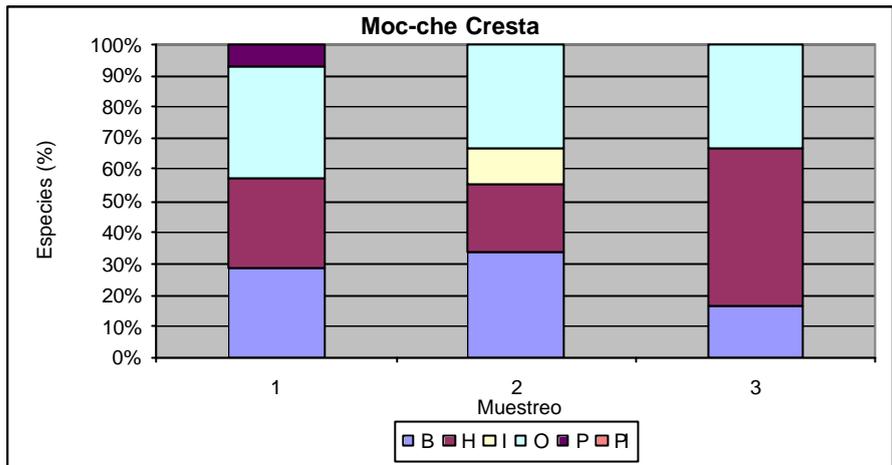


Fig. 189. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Moc-che cresta.

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 95). En general estos tres grupos tróficos fueron los más representados en esta localidad y subzona arrecifal (Fig. 190).

Tabla 95. 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

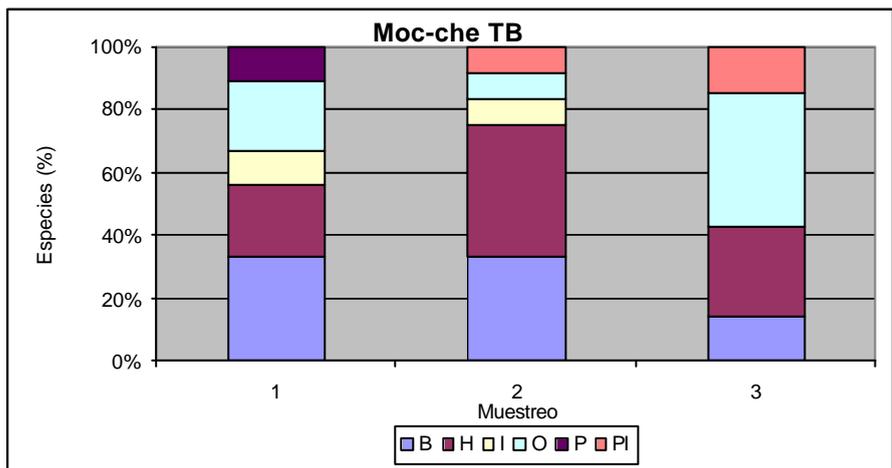


Fig. 190. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Moc-che Transición Barlovento.

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 96 y Fig. 190).

Tabla 96. Numero 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

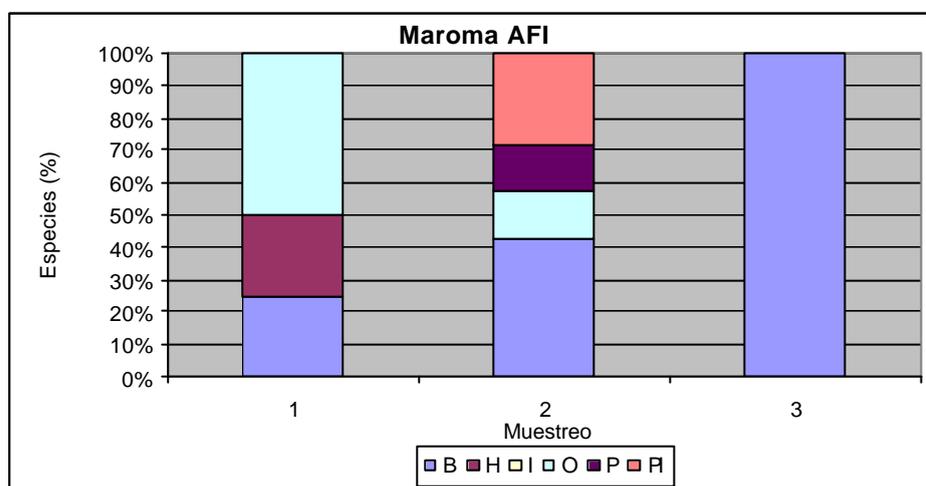


Figura 191. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Maroma AFI.

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 97 y Fig. 192), aunque existió buena representación de omnívoros y herbívoros. Fue notoria la falta de especies depredadoras mayores como meros, pargos o barracudas.

Tabla 97. 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

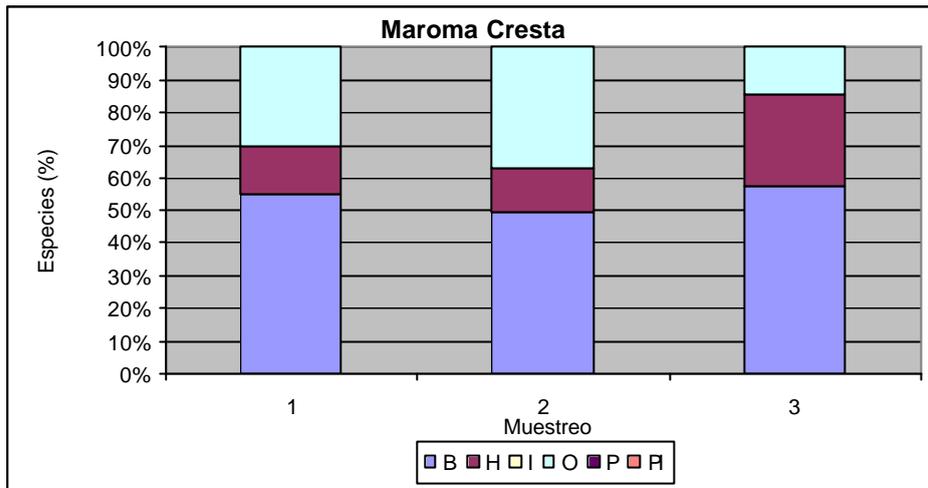


Figura 192. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Punta Maroma Cresta.

En la Transición Barlovento se observaron especies piscívoras, aunque en poca proporción (Tabla 98 y Fig. 193). Los grupos tróficos dominantes fueron los bentófagos, hervíboros y omnívoros.

Tabla 98. 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

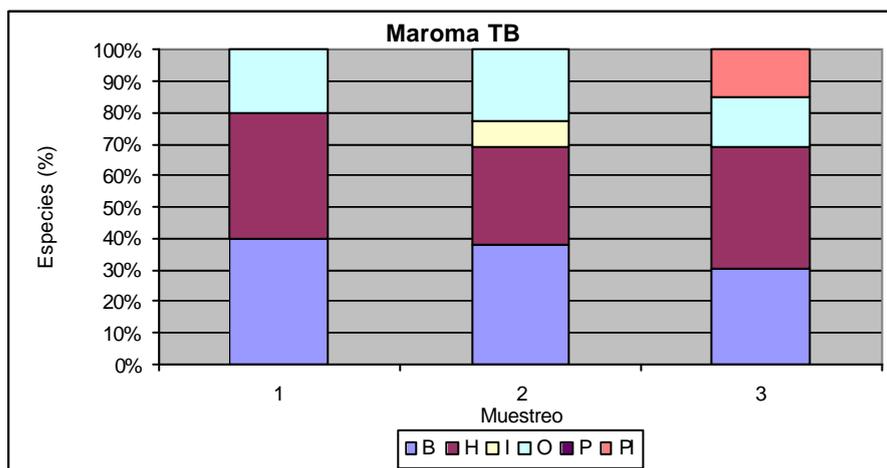


Fig. 193. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Punta Maroma TB.

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 99 y Fig. 194).

Tabla 99. 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

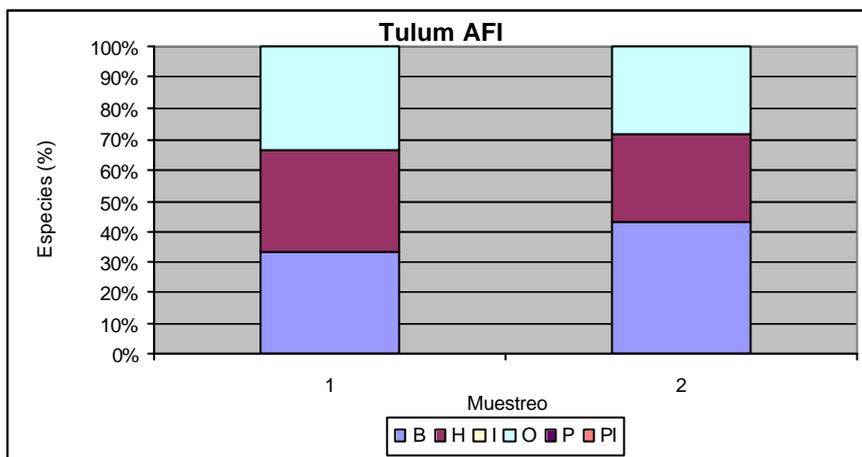


Fig. 194. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Tulum Arrecife Frontal Interior.

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 100 y Fig. 195). 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 100. 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

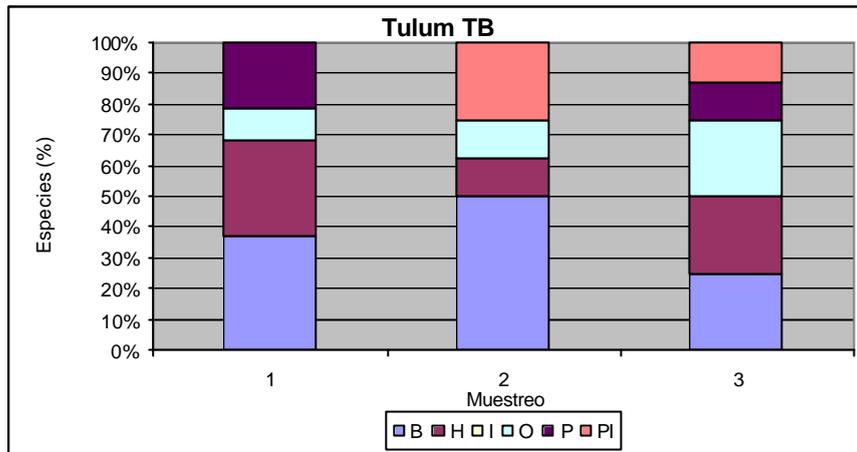


Fig. 195. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Tulum TB.

Xaac

Esta localidad presentó al igual que Tulum una alta riqueza de especies en las zonas profundas, incluyendo algunas depredadoras como las barracudas y los 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 101 y Fig. 196).

Tabla 101. Numero 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

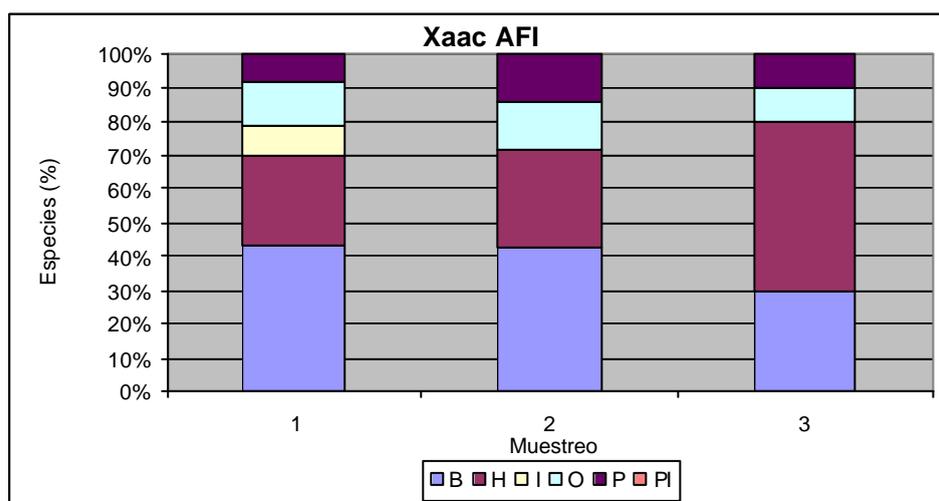


Fig. 196. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Xaac AFI.

En el primer muestreo de esta localidad se registró una elevada cantidad de especies, aunque éstas disminuyeron en los muestreos subsecuentes (Tabla 92 y Fig. 197). 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 102. Número de organismos por grupo trófico en la localidad de Xaac Transición Barlovento.

Muestreo	B	H	I	O	P	PI
1	11	5	1	5	2	1
2	1	1	0	1	1	0
3	3	4	0	2	0	2

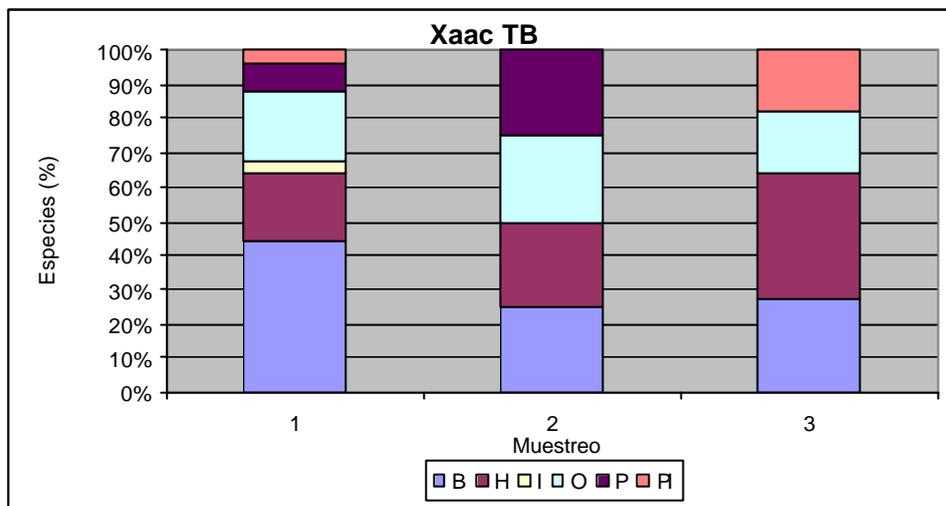


Fig. 197. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Xaac Transición Barlovento.

En la Cresta Arrecifal dominaron, omnívoros y herbívoros; fue notable la ausencia de especies piscívoras (Tabla 103 y Fig. 198).

Tabla 103. 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	1
2	1	1	0	1	1	0
3	1	2	0	2	0	0

Equinodermos

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 104). 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 fototactismo negativo por lo que se protegen escondiéndose bajo rocas o enterrándose en la arena (Hendler *et al.*, 1995). En este caso solamente se registraron los equinodermos visibles en el área de los transectos ya que el objetivo principal fue detectar las densidades del erizo *Diadema antillarum*.

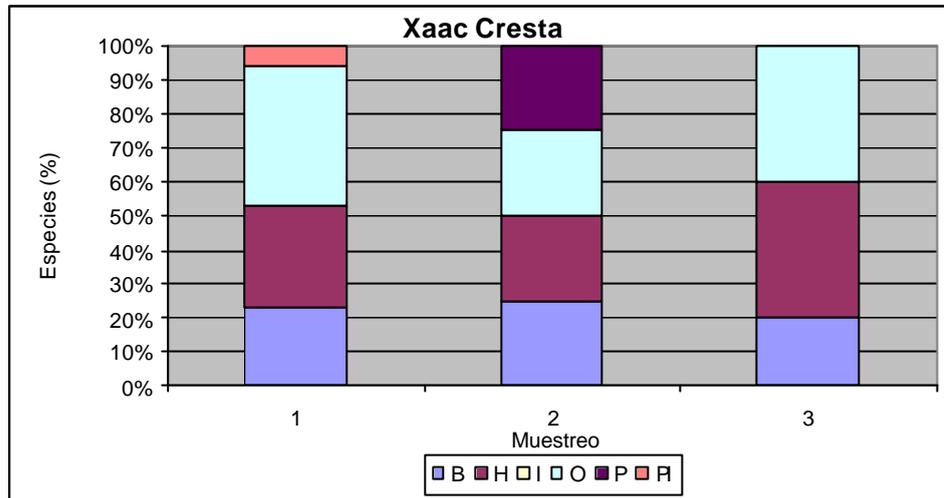


Fig. 198. Porcentaje de especies por grupo trófico en la localidad Xaac Cresta.

Tabla 104. Listado de especies de equinodermos registrados en los tres muestreos.

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

Durante 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. En general la mayoría de las subzonas en las diferentes localidades presentaron pocas especies de equinodermos; sin embargo, se observó una disminución de la riqueza de especies en los muestreos subsecuentes (Tabla 105 y Fig. 199).

Tabla 105. Número de especies de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

LOCALIDAD	SUBZONA	NUMERO DE ESPECIES		
		1er muestreo noviembre 2004	2do muestreo marzo 2005	3er muestreo agosto 2005
Punta Maroma	AFI	2	1	0
	TB	5	0	1
	Cr	3	2	1
Moc-che	TB	0	3	1
	Cr	2	0	1
Chun-zumbul Jardines	TB	2	2	2
	TB	1	1	1
Xaac	AFI	2	0	1
	TB	0	1	2
	Cr	4	1	0
Tulum	AFI	1	0	0
	TB	0	1	1

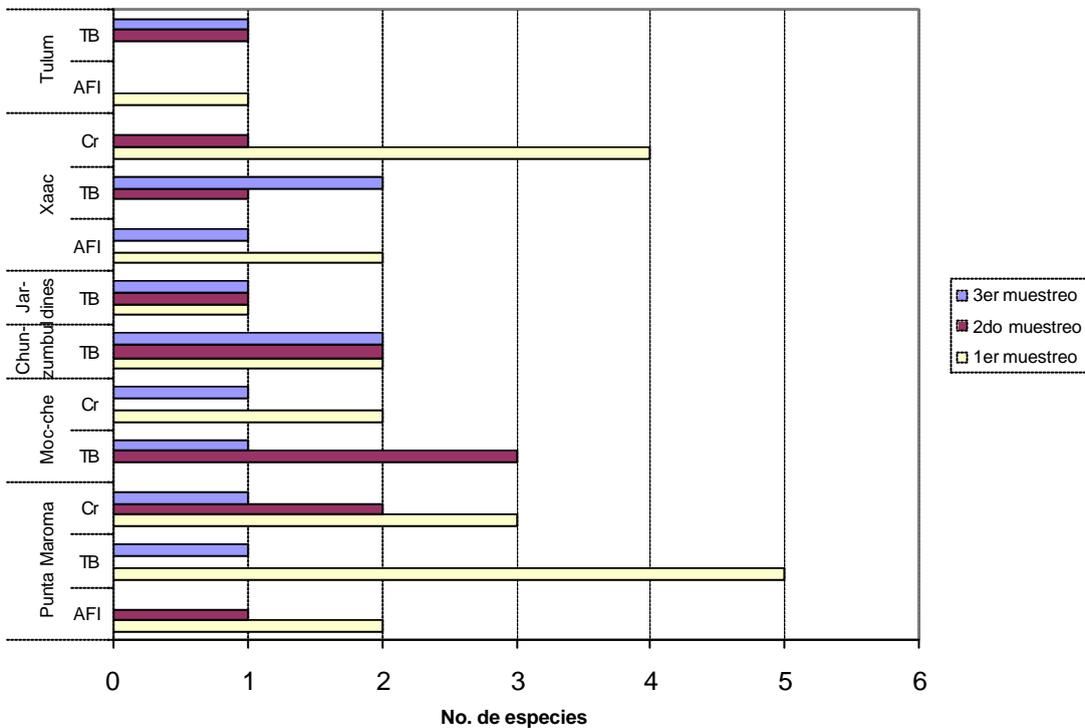


Fig. 199. Número de especies de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

Durante el primer muestreo se registró la mayor densidad de equinodermos; solo de la especie *D. antillarum* se contaron 105 organismos, durante el segundo muestreo las densidades disminuyeron; sin embargo, también fue la especie más abundante, con solo 15 individuos. Durante 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 (Tabla 106 y Fig. 200). En general, en la Cresta Arrecifal fue donde se

encontraron las más altas densidades ya que las formaciones rocosas constituyen cavidades habitadas por equinodermos.

Tabla 106. Densidad de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

LOCALIDAD	SUBZONA	DENSIDAD (ind/m ²)		
		1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
Punta Maroma	AFI	0.15	0	0
	TB	0.5	0	0.05
	Cr	0.25	0.15	0.10
Moc-che	TB		0.15	0.10
	Cr	3	0	0.25
Chun-zumbul	TB	0	0.15	0.65
	Jardines		0	0.15
Xaac	AFI	0.15	0	0.05
	TB		0	0.15
Tulum	Cr	3.25	0.60	0
	AFI	0.05	0	0
	TB		0.05	0.15

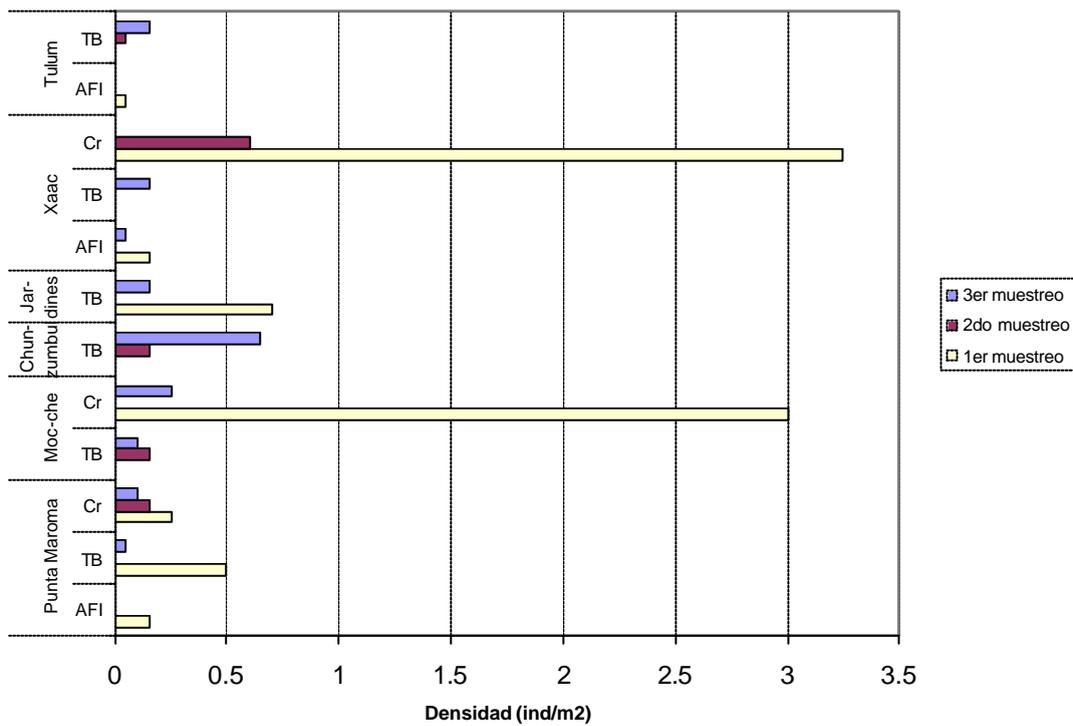


Fig. 200. Densidad de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

Punta Maroma en la subzona Transición Barlovento y Cresta Arrecifal presento la mayor diversidad de equinodermos en el primer muestreo, en el segundo muestreo Moc-che Transición Barlovento presentó el valor más alto, mientras que en el tercer muestreo los valores fueron menores (Tabla 107 y Fig. 201). En las zonas arrecifales de Transición Barlovento donde se encuentran elevadas densidades de gorgonaceos es

frecuente el ophiuro *Astrophytum muricatum* que habitan sobre gorgonaceos y se mantienen contraídos durante el día (Humann, 1993b). 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.

Tabla 107. Índice de diversidad de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

Localidad	Subzona	Índice diversidad (H')		
		1er muestreo	2do muestreo	3er muestreo
Punta Maroma	AFI	0.64		
	TB	1.42	0.64	
	Cr	0.95		
Moc-che	TB		1.10	
	Cr	0.48		
Chun-zumbul Jardines	TB		0.64	0.27
	TB	0		
Xaac	AFI	0.64		
	TB			0.63
Tulum	Cr	0.58		
	AFI	0		
	TB			

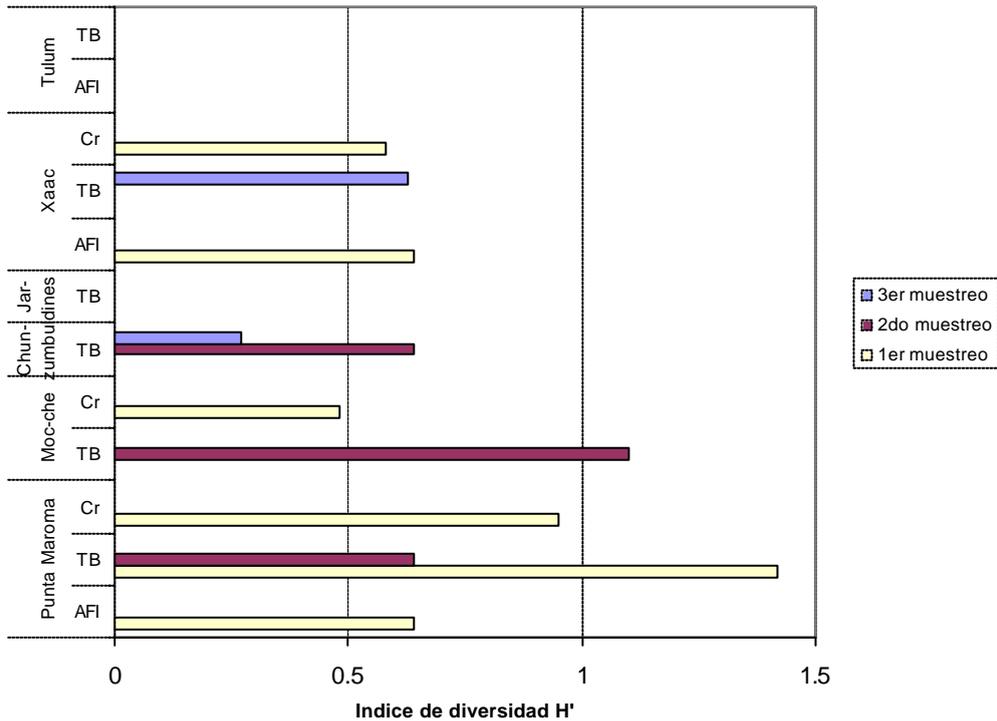


Fig. 201. Índice de diversidad de equinodermos por localidad, subzona y muestreo.

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 observar 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 2004) se registraron nuevos reclutas u organismos de tallas menores (categorías I y II); mientras que en los siguientes muestreos solo se observaron organismos de talla mayor (Fig. 202). 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).

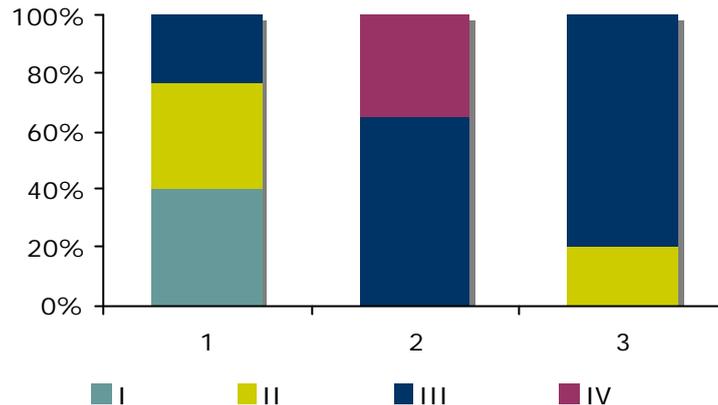


Fig. 202. Frecuencia por categoría de tamaño del erizo *Diadema antillarum* (I = < 5 cm, II = 5 – 10 cm, III = 10 – 20 cm, IV = > 20 cm).

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 solo de la abundancia en la que se encuentre este erizo ya que las relaciones son indirectas y complejas. Además, durante todos los muestreos se registra 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 habitats crípticos. Cabe destacar que apenas unas semanas antes en el área de estudio, antes del tercer muestreo, se registró el huracán Emily (julio 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).

Distribución de morfotipos

De manera general en el análisis de la frecuencia de morfotipos las coberturas promedio que se registraron en todos los cuadros analizados en los tres muestreos s e presentan en la Tabla 108.

En general el morfotipo más abundante fueron las algas, debido a que en algunas zonas se presentaron coberturas de más del 60%, además de ser un componente frecuente en todos los videotransectos; cabe señalar que la cobertura algal evaluada en los videotransectos corresponde a una escala espacial mayor respecto a los valores

particulares de cada uno de los taxones evaluados de macroalgas en una escala espacial menor (cuadranes 25 cm² cada 5 m), así que pueden presentar distintas tendencias en cuanto a los valores que describen su estructura comunitaria; sin embargo, se ha documentado que en la zona arrecifal de Costa Maya, las algas tienen una cobertura elevada en todas las subzonas y regiones, con un valor de 30%-60% (Gutiérrez-Carbonell *et al.*, 1995).

Tabla 108. Cobertura porcentual de los morfotipos analizados en los videotransectos.

Morfotipos	%
Algas	27
Arena	22
Roca	17
Gorgonaceos	15
Corales	9
Espojas	7
Zooantidos	3

Los componentes del sustrato: arena y roca también fueron abundantes; la arena en las subzonas arrecifales de Transición Barlovento en las diferentes localidades, alcanzó coberturas superiores al 70% sobre todo durante el tercer muestreo, y disminuyó la cobertura algal (esto puede deberse al paso de huracanes que entre otros procesos desplazan la arena presente en las costas). El sustrato rocoso fue un componente abundante particularmente en la Cresta Arrecifal, que se caracterizó por ser zonas con mayor energía que limitó el establecimiento de los organismos. Los gorgonáceos también fueron abundantes en la subzona de Transición Barlovento que en el área de estudio se caracterizó por conformar parches denominados “jardines de gorgonáceos”. Los corales escleractíneos tuvieron una cobertura promedio baja; sin embargo, en las localidades de Xaac y Tulum presentaron una proporción cercana al 30%. Las esponjas presentaron su mayor cobertura en las zonas del Arrecife Frontal (profundo) donde se registraron organismos de gran tamaño. Los zoantidos conformaron un morfotipo de baja frecuencia, presente en la zona de Transición Barlovento principalmente (Fig. 203).

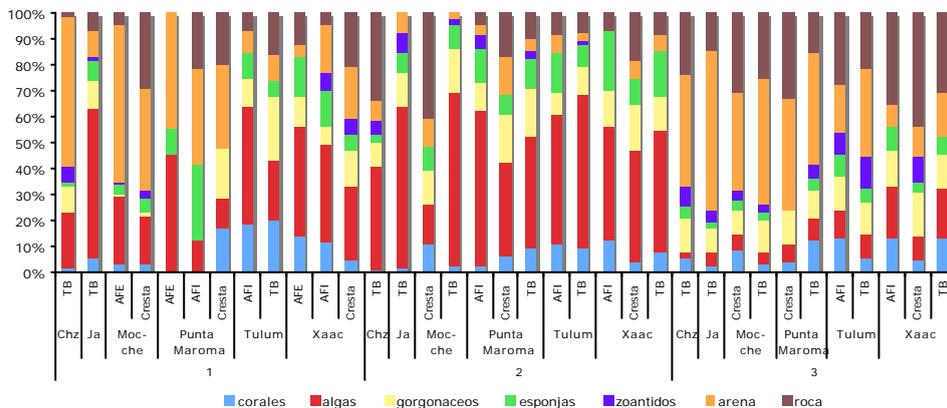


Fig. 203. Cobertura porcentual de cada uno de los morfotipos por localidad, subzona y muestreo.

En el MDS obtenido a partir del primer muestreo (noviembre, 2004) se pudo observar que se agruparon las diferentes zonas arrecifales de Xaac con Jardines transición barlovento debido a que presentaron una predominancia de algas (alrededor del 50%); sin embargo, los corales escleractineos conformaron desde el 7% hasta más del 15%. Moc-che Arrecife Frontal Interior y Cresta Arrecifal presentaron todos los componentes con predominancia de arena y sustrato rocoso. Chun-zumbul Transición Barlovento también con elevadas coberturas de arena; sin embargo, las algas representaron un 20% de cobertura. Las localidades de Punta Maroma registraron bajas coberturas de corales escleractineos y predominancia heterogénea del resto de los componentes analizados (Fig. 204).

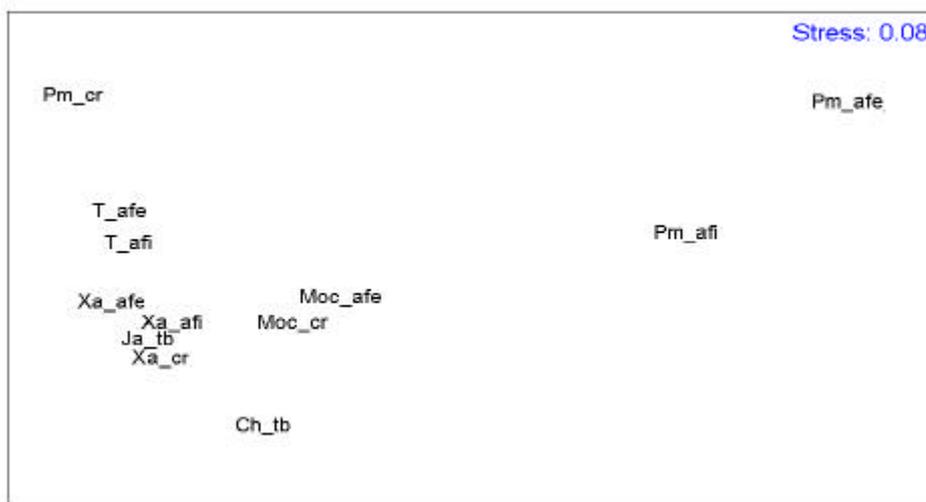


Fig. 204. Escamio métrico no dimensional MDS de las coberturas obtenidas a través de los videotranssectos durante el primer muestreo (Ch= Chunzumbul, Ja= Jardines, Moc= Moc-che, Pm= Punta Maroma, T= Tulum, Xa= Xaac; afe= arrecife frontal exterior, afi= arrecife frontal interior, tb= transición barlovento y cr= cresta arrecifal).

En los datos obtenidos durante el segundo muestreo no se observó un patrón definido de agrupación, debido a que se presentaron valores variados entre las diversas coberturas de los morfotipos. Se mantuvieron alejadas las estaciones con componentes predominantes; en Jardines y Moc-che Transición Barlovento la cobertura de algas excedió el 70%. También en Chun-zumbul Transición Barlovento y en Xaac Arrecife Frontal Interior la cobertura de algas fue elevada (más del 50%); sin embargo, en la primera estación la cobertura de los corales escleractineos fue baja (2%), mientras que en la segunda fue mayor al 15%. En Moc-che Cresta Arrecifal también se presentó un componente predominante, el sustrato rocoso (alrededor del 50%) (Fig. 205).

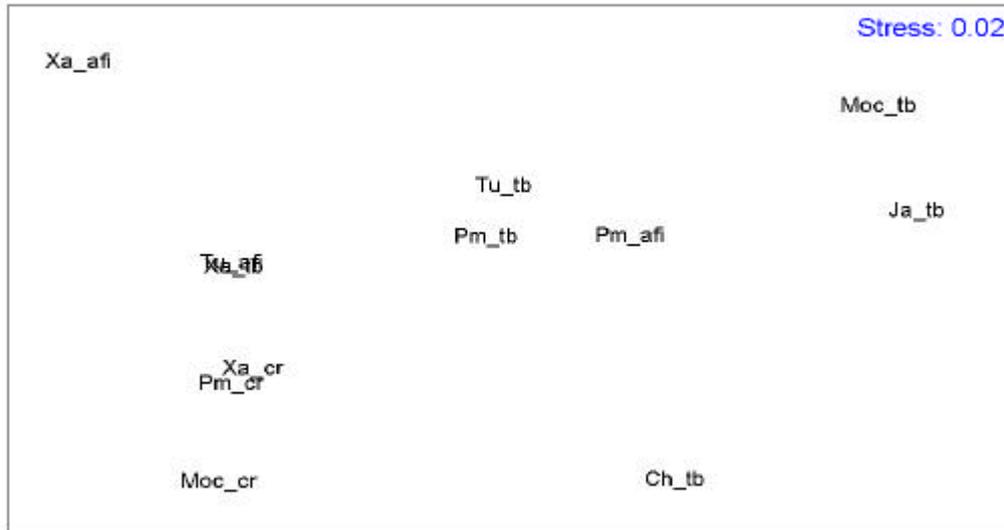


Fig. 205. Escamio métrico no dimensional MDS de las coberturas obtenidas a través de los videotransectos durante el segundo muestreo (Ch= Chunzumbul, Ja= Jardines, Moc= Moc-che, Pm= Punta Maroma, T= Tulum, Xa= Xaac; afe= Arrecife Frontal Exterior, afi= Arrecife Frontal Interior, tb= Transición Barlovento y cr= Cresta Arrecifal).

En el tercer muestreo se agruparon por su cobertura de corales y algas (16 y 20% respectivamente) las zonas arrecifales de transición barlovento y frontal interior de la localidad de Xaac. Punta Maroma Cresta Arrecifal se mantuvo separado debido a que presentó un porcentaje alto de sustrato rocoso (alrededor del 50%). Las demás localidades con las diferentes zonas arrecifales mantuvieron proporciones variadas pero con todos los morfotipos (Fig. 206).

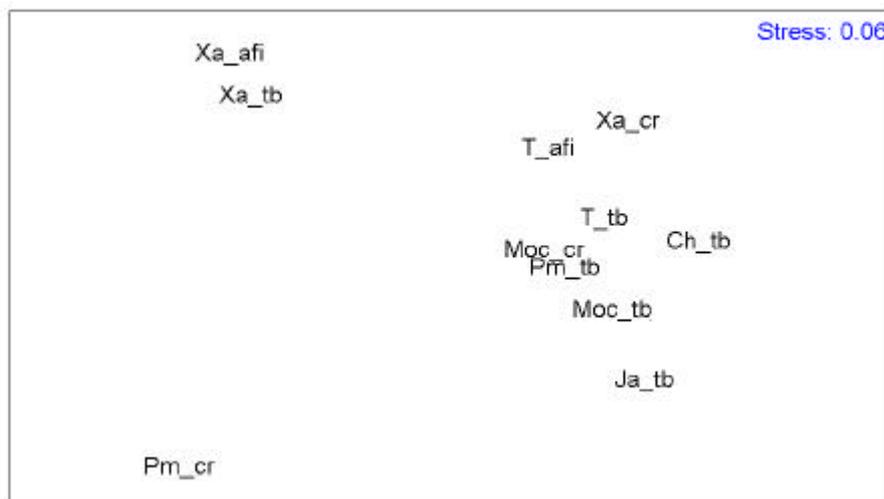


Fig. 206. Escamio métrico no dimensional MDS de las coberturas obtenidas a través de los videotransectos durante el tercer muestreo (Ch= Chunzumbul, Ja= Jardines, Moc= Moc-che, Pm= Punta Maroma, T= Tulum, Xa= Xaac; afe= Arrecife Frontal Exterior, afi= Arrecife Frontal Interior, tb= Transición Barlovento y cr= Cresta Arrecifal).

En la integración de todos los datos obtenidos mediante los videotransectos cabe destacar que en el MDS se observaron tres agrupaciones, una donde predominaron las algas, con una cobertura de corales y gorgonaceos de al menos el 10%. En la otra agrupación además de los componentes anteriores también el sustrato rocoso presentó una cobertura considerable. En la última agrupación se registró la arena como componente predominante. Las localidades que se mantuvieron separadas fueron las que no presentaron alguno de los diferentes morfotipos; por ejemplo en Punta Maroma Cresta Arrecifal no se detectaron zoantidos ni esponjas (Fig. 207).

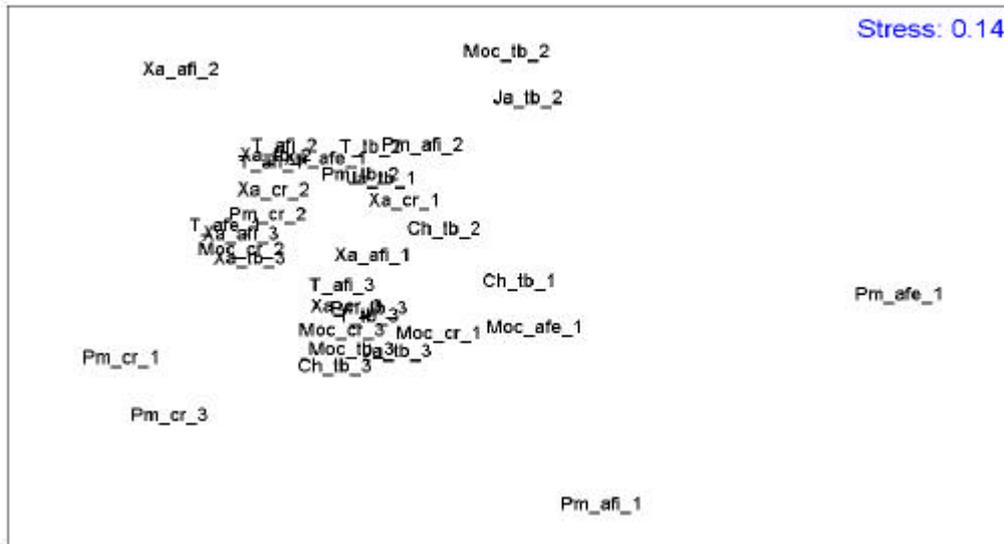


Fig. 207. Escamio métrico no dimensional MDS de las coberturas obtenidas a través de los videotransectos durante los tres muestreos (Ch= Chunzumbul, Ja= Jardines, Moc= Moc-che, Pm= Punta Maroma, T= Tulum, Xa= Xaac; afe= Arrecife Frontal Exterior, afi= Arrecife Frontal Interior, tb= Transición Barlovento, cr= Cresta Arrecifal; 1= primer muestreo, 2= segundo muestreo y 3= tercer muestreo).

De manera general, también se puede detectar que además de agruparse por localidades otro elemento determinante fue la zona arrecifal. Así por ejemplo, en las localidades de Xaac y Tulum se determinaron coberturas más homogéneas sin que dominara algún elemento con coberturas muy elevadas; sin embargo, en la zona de Transición Barlovento se encontraron proporciones más elevadas de algas, gorgonaceos y arena; mientras que en la zona de Xaac Cresta Arrecifal una mayor proporción de algas, rocas y arena.

Conclusiones

El arrecife que existe en el Municipio 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, gorgonaceos, 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 escleractinios que están sujetos a un régimen 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, en 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 gorgonaceos 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 al predio.

Como última consideración se comenta que el Programa de Monitoreo del Sistema Arrecifal que se estableció en los arrecifes del Municipio de Solidaridad requieren de 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 sólo 20 m². Dada la gran superficie del arrecife, así como la motilidad de los peces, un área de 20 m² 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.

ANEXO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. *Montastraea* sp. con crecimientos algales y blanqueamiento



Fotografía 2. Transecto, gorgonáceos y algas



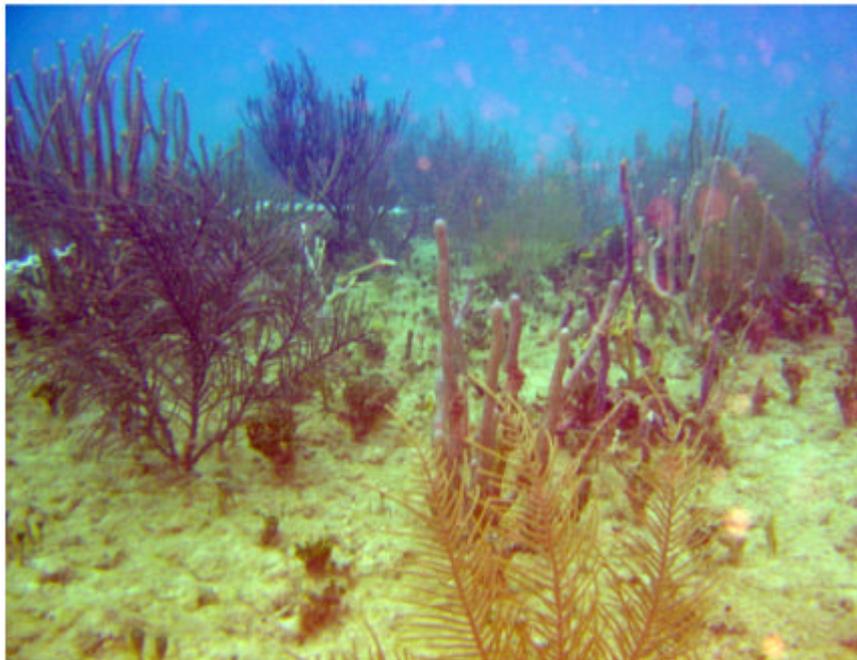
Fotografía 3. Jardín de gorgonaceos



Fotografía 4. Colocación de boya en estación de monitoreo



Fotografía 5. Transecto sobre gorgonaceos



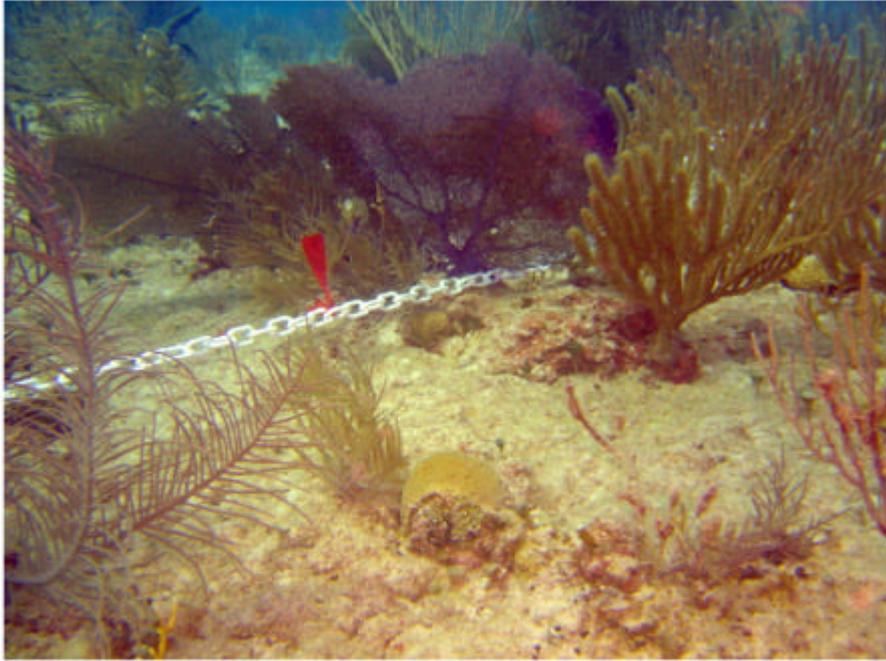
Fotografía 6. Transecto sobre gorgonaceos



Fotografía 7. Parche con gorgonáceos y corales escleractíneos



Fotografía 8. Grabación de videotransectos



Fotografía 9. Transecto, gorgonaceos y colonia pequeña de coral escleractineo



Fotografía 10. Jardín de gorgonaceos con boya para marcar estación de monitoreo



Fotografía 11. Colocación de transecto en estación de monitoreo indicada con boya en la Cresta Arrecifal



Fotografía 12. Transecto sobre formación rocosa con gorgonaceos



Fotografía 13. Marca de inicio de estación de monitoreo con gorgonaceos



Fotografía 14. Sección intermedia de transecto sobre gorgonaceos y corales escleractíneos



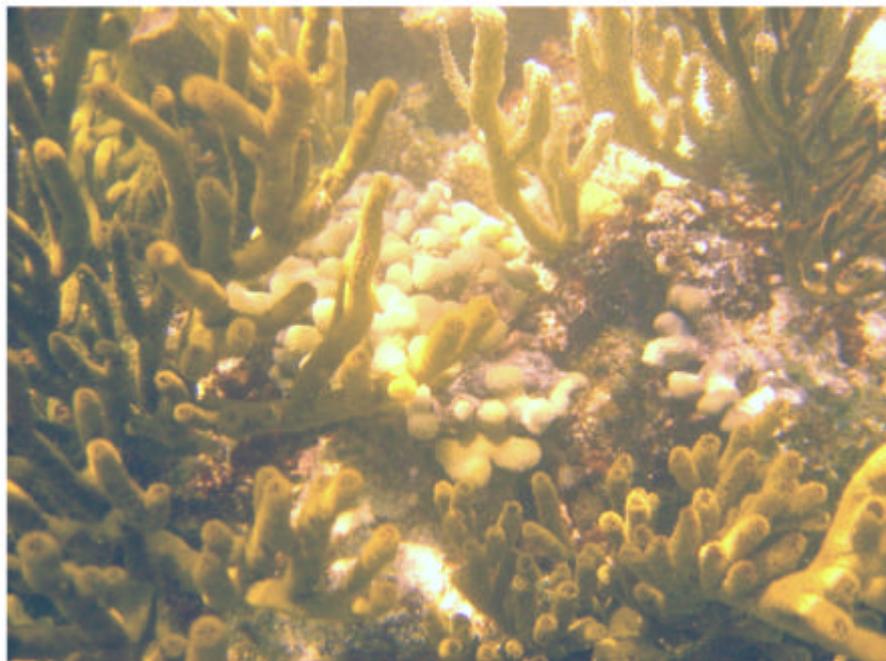
Fotografía 15. Colocación de boya en estación de monitoreo



Fotografía 16. *Montastraea* sp. y *Nemaster* sp. (Crinoidea, Echinodermata)



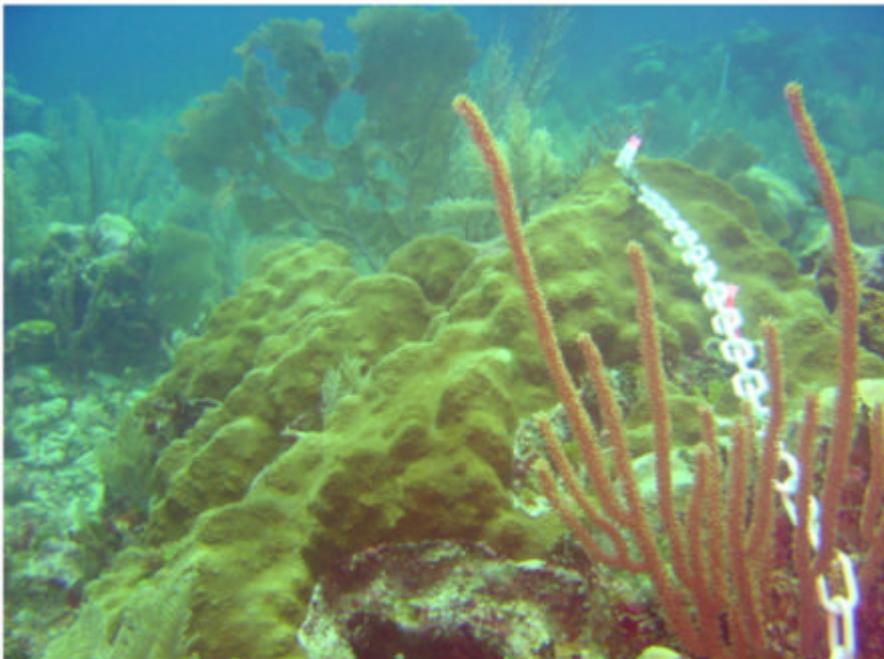
Fotografía 17. Transecto, *Gorgonia* sp. y *Plexaura homomalla*



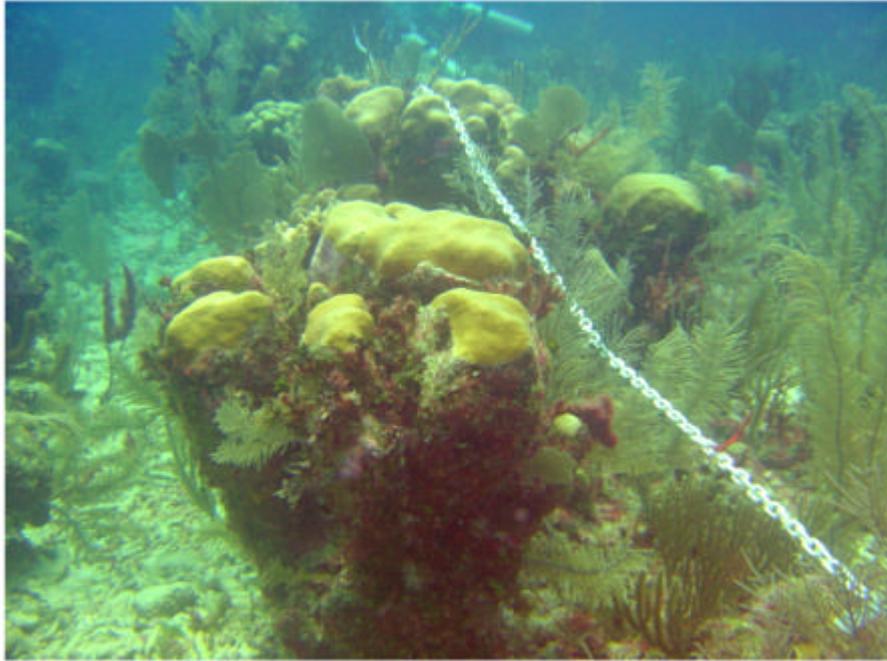
Fotografía 18. *Porites porites* y gorgonaceos



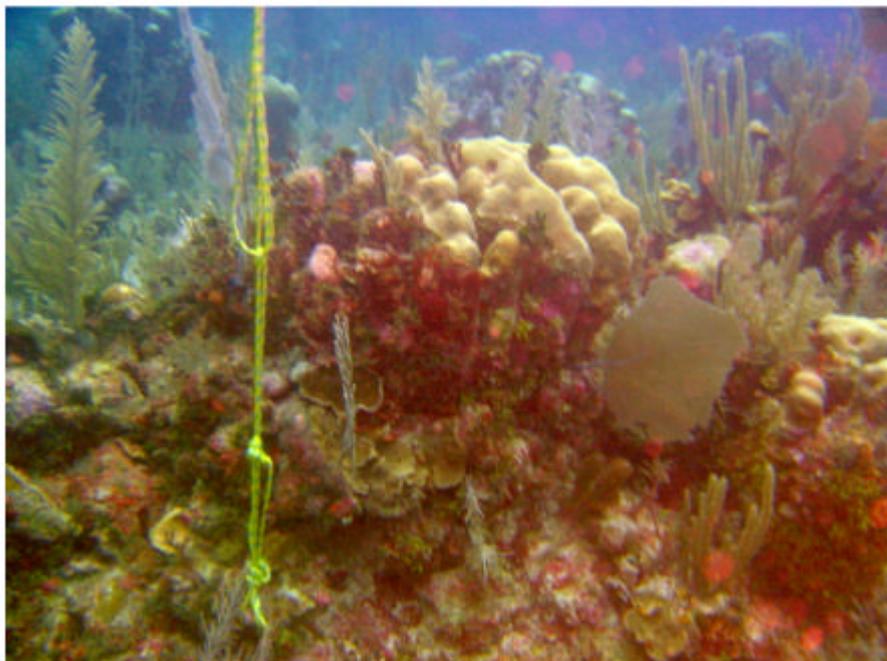
Fotografía 19. Gorgonaceos en la Cresta Arrecifal



Fotografía 20. Transecto sobre *Porites asteroides*



Fotografía 21. Transecto sobre *Montastraea* sp.



Fotografía 22. Inicio de transecto en estación de monitoreo sobre colonia de *Montastraea* sp.



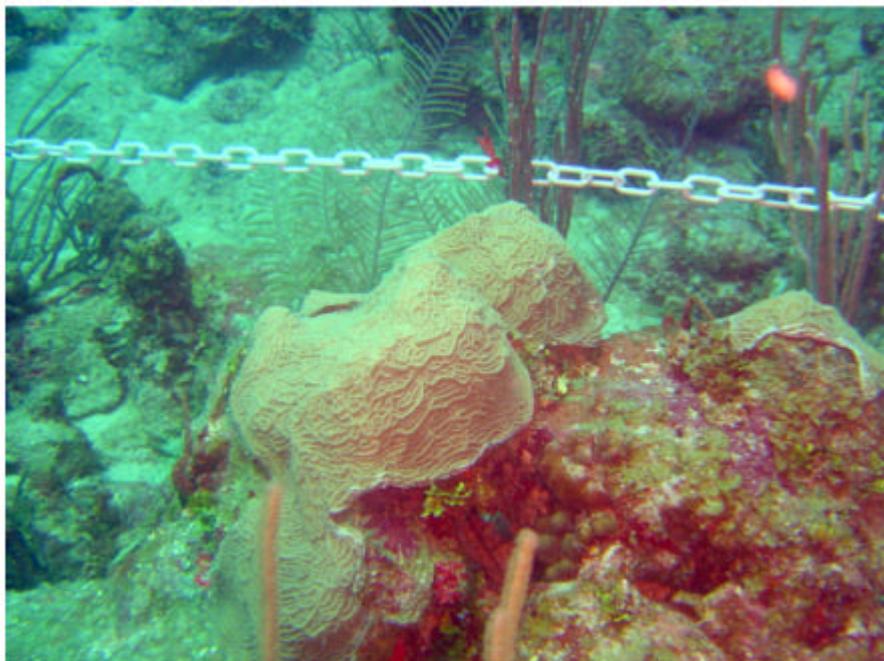
Fotografía 23. Toma de datos sobre transecto



Fotografía 24. *Diploria labyrinthiformis*



Fotografía 25. *Gorgonia* sp



Fotografía 26. Transecto sobre *Diploria clivosa* y gorgonaceos



Fotografía 27. Transecto sobre *Montastraea cavernosa* con blanqueamiento



Fotografía 28. Transecto sobre gorgonáceos

Relación de las fotografías presentadas en el anexo.

Foto #	Descripción	Localidad	Fecha	Autor
1	<i>Montastraea</i> sp. con crecimientos algales y blanqueamiento	Punta Maroma transición barlovento	18/VIII/05	Claudia Padilla
2	Transecto, gorgonaceos y algas	Chun-zumbul transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
3	Jardín de gorgonaceos	Chun-zumbul transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
4	Colocación de boya en estación de monitoreo	Jardines transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
5	Transecto sobre gorgonaceos	Chun-zumbul transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
6	Transecto sobre gorgonaceos	Chun-zumbul transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
7	Parche con gorgonaceos y corales escleractineos	Jardines transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
8	Grabación de videotransectos	Moc-che cresta arrecifal Jardines	20/VIII/05	Claudia Padilla
9	Transecto, gorgonaceos y colonia pequeña de coral escleractineo	transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
10	Jardín de gorgonaceos con boya para marcar estación de monitoreo	Moc-che transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
11	Colocación de transecto en estación de monitoreo indicada con boya en la cresta arrecifal	Moc-che cresta arrecifal	20/VIII/05	Claudia Padilla
12	Transecto sobre formación rocosa con gorgonaceos	Moc-che cresta arrecifal	20/VIII/05	Claudia Padilla
13	Marca de inicio de estación de monitoreo con gorgonaceos	Moc-che transición barlovento	20/VIII/05	Claudia Padilla
14	Sección intermedia de transecto sobre gorgonaceos y corales escleractineos	Tulum transición barlovento	19/VIII/05	Claudia Padilla
15	Colocación de boya en estación de monitoreo	Punta Maroma arrecife frontal interior	18/VIII/05	Claudia Padilla
16	<i>Montastraea</i> sp. y <i>Nemaster</i> sp. (Crinoidea, Echinodermata)	Tulum arrecife frontal interior	19/VIII/05	Claudia Padilla
17	Transecto, <i>Gorgonia</i> sp. y <i>Plexaura homomalla</i>	Punta Maroma cresta arrecifal	18/VIII/05	Claudia Padilla
18	<i>Porites porites</i> y gorgonaceos	Punta Maroma cresta arrecifal	18/VIII/05	Claudia Padilla
19	Gorgonaceos en la cresta arrecifal	Punta Maroma cresta arrecifal	18/VIII/05	Claudia Padilla
20	Transecto sobre <i>Porites astreoides</i> y gorgonaceo	Punta Maroma transición barlovento	18/VIII/05	Claudia Padilla

21	Transecto sobre <i>Montastraea</i> sp. Inicio de transecto en estación de monitoreo sobre colonia de	Punta Maroma transición barlovento Punta Maroma transición barlovento	18/VIII/05	Claudia Padilla
22	<i>Montastraea</i> sp.	Tulum Arrecife frontal interior	18/VIII/05	Claudia Padilla
23	Toma de datos sobre transecto	Tulum Arrecife frontal interior	19/VIII/05	Claudia Padilla
24	<i>Diploria labyrinthiformis</i>	Tulum Arrecife frontal interior	19/VIII/05	Claudia Padilla
25	<i>Gorgonia</i> sp. Transecto sobre <i>Diploria clivosa</i> y	Tulum Arrecife frontal interior	19/VIII/05	Claudia Padilla
26	gorgonaceos Transecto sobre <i>Montastraea</i>	Tulum Arrecife frontal interior	19/VIII/05	Claudia Padilla
27	<i>cavernosa</i> blanqueada	Tulum transición barlovento	19/VIII/05	Claudia Padilla
28	Transecto sobre gorgonaceos	Tulum transición barlovento	19/VIII/05	Claudia Padilla

CAPACITACIÓN

Los cursos que se impartieron en el marco del proyecto, incluyeron aspectos teóricos y prácticos. Comprendieron un sistema de observación y control de las condiciones ambientales, relacionadas con la calidad del agua; planeamiento ambiental estratégico del binomio turismo-conservación en áreas ecológicamente sensibles y enfermedades comunes en los arrecifes coralinos y la planificación-evaluación estratégica para proyectos de desarrollo.

Este último tuvo como objetivo introducir a los participantes en los conceptos y herramientas de planificación, organización y evaluación estratégica de proyectos de desarrollo, que les permita formular líneas de acción para un desarrollo integral y sustentable.

Así mismo permitirá que el equipo que lleva a cabo el presente proyecto realice evaluaciones periódicas, lo cual será de gran ayuda para identificar a tiempo problemas que podrían afectar el desarrollo de dicho proyecto, en su eficiencia, pertinencia, aplicación y viabilidad.

Además, está encaminado a familiarizar tanto a las autoridades municipales como a la sociedad civil, con las técnicas más usuales en las diversas etapas del ciclo del proyecto y en la aplicación del enfoque del marco lógico (IUDC, 2002). Se tomarán como ejemplo los propios lineamientos y funcionamiento del presente proyecto, por lo que constituirá un ejercicio práctico de interacción entre los agentes tanto municipal, civiles, como de la institución a cargo del proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Noruega para la Cooperación y el Desarrollo (ANCD), 1997. El Enfoque del Marco Lógico. Madrid, 115 p.
- Agrra. 2000. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA). The AGRRA Rapid Assessment Protocol.
- Aguilar-Perera, A. y Aguilar-Dávila, W. 1993. Banco Chinchorro: Arrecife Coralino en el Caribe. Pp. 807-816 En: Salazar-Vallejo, S. I. y González, N. E. (Ed). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D.F.
- Aguilar-Rosas, L.E., Aguilar-Rosas, M.A; Pedroso-Cedillo, A.G y Fernández-Prieto, J.A. 1992. Adiciones a la flora marina del Caribe Mexicano. Acta Botánica Mexicana 19:77-84.
- Aguilar-Rosas, M. 1990. Algas marinas bentónicas de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an Quintana Roo, México. En: Diversidad Biológica en la reserva de la biosfera de Sian Ka'an Quintana Roo, México. Navarro, D.L. y J. G. Robinson (eds.). Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo, México. 471 p.
- Aguilar-Rosas, M.A., Aguilar-Rosas, L.E y Fernández-Prieto, J.A. 1989. Algas marinas bentónicas de la bahía de la Ascensión, Quintana Roo, México. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente, 28 (1 & 2): 67-75.
- Alcolado, P.M., Bone, D., Bush, P., Cortes, J., Garzon-Ferreira, J., Laydoo, R., Oxenford, H.A., Rian, J., Singh, J., Tschirky, J., Ruiz, F., White, S. y Woodley J. 1993. Status and recent history of coral reefs at the Caricomp network of Caribbean Marine Laboratories. Pp. 73-79 in Smith, S.R. y Ogden, J.C. (Ed). Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs, Health, Hazards and History. University of Miami. Rosenthal School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Florida, USA.
- Almada-Villela, P.C.; Sale, P.F.; Gold-Bouchot, G. y Kjerfve, B. 2003. Manual de Métodos para el Programa de Monitoreo Sinóptico 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>
- Almada-Villela, P., McField, M., Kramer, P., Kramer, P.R., Arias-González, J.E. 2002. Status of coral reefs of Mesoamerica-Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and El Salvador. En: Wilkinson, C. (ed). Status of Coral Reefs of the World: 2002. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia (2002).
- Arias-González J.E., Garza-Pérez, J.R., González-Salas, C.F, González-Gándara, C., Hernández-Landa, R.C., Membrillo-Venegas, N., Nuñez-Lara, E., Pérez, E., y Ruíz-Zaráte, M. A. 2000. Coral reef ecosystem research: towards integrated coastal management on the Yucatan Peninsula, Mexico. In. Done T and Lloyd D. (eds.). 39-50. Information

management and decision support for marine biodiversity protection and human welfare: coral reefs. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.

Aronson R.B. y Swanson D.W. 1997. Video surveys of coral reefs: uni and multivariated applications. *Procc. 8th. Int. Coral Ref. Symp.* 2:1441-1446.

Bacon P, Jordán E, Kjerve B, Woodley J, y Ziemann J. 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. Petersburg Florida, USA, 67 pp.

Baker J.L. 2000. Evaluación del Impacto de los Proyectos de Desarrollo en la Pobreza. Manual para Profesionales, Banco Mundial, Washington, D. C.

Banderas-Tarabay A. 1997. Phycoflora of the tropical high-mountain lake El Sol, Central Mexico, and some biogeographical relationships. *Hydrobiologia*, 354: 17-40.

Bastida-Zavala J.R, Beltrán-Torres A.U, Gutiérrez-Aguirre M.A, de la Fuente -Betancourt G. 2000. Fast assessment of the patch reefs from Majahual, Quintana Roo, Mexico. *Revista de Biología Tropical*. 48(1):137-143.

Battjes J.A., Janssen J.P. 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves, *Proc. 16 Int Conf. Coastal Engineering*, ASCE 569-587.

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

Bayer F.M, Grasshoff M y Verseveldt J. (Eds). 1983. Illustrated trilingual glossary of morphological and anatomical terms applied to octocorallia. E.J. Brill/Dr. W. Backhuys. Leiden. 75 pp.

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

Bohnsack J.A. 1995. Two Visually Based Methods for Monitoring Coral Reef Fishes. En: Crosby, M.P., G.R. Gibson, and K.W. Potts (eds). 1996. A Coral Reef Symposium on Practical, Reliable, Low Cost Monitoring Methods for Assessing the Biota and Habitat Conditions of Coral Reefs, January 26-27, 1995. Office of Ocean and Coastal Resource Management, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.

Booij N, Haagsma IJ G, Holthijzen H.L, Kieftenburg A.M, Ris R.C, Westhuysen A, Zijlema M. 2004. SWAN Cycle III version 40.41 User Manual. DELFT, Netherlands. pp 130.

BOURRELY P., 1966. Les algues d'eau douce: initiation á la systématique. 1. Les algues vertes, Boubée N. (ed.). París, 1-511.

Bourrely, P., 1968. Les algues d'eau douce: initiation á la systématique. 2. Les algues bleus et rouges: les eugléniens, peridiniens et cryptomonadiens, Boubée N. (ed.). París, 1-512.

- Bourrely, P., 1970. Les algues d'eau douce: initiation á la sistematique. 3. Les algues vertes, Boubée N. (ed.). París, 1-511.
- Bravo-Tzompantzi D., Solís-Marín F.A, Laguarda-Figueras A, Abreu-Pérez M y Durán-González A. 1999. Equinoideos (Echinodermata : Echinoidea) del Caribe Mexicano : Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Avicennia* 10/11 :43-72.
- Brown, E., Cox, E., Tissot, B., Rodgers, K. y Smith, W. 1999. Evaluation of benthic sampling methods considered for the Coral Reef Assessment and Monitoring Program (CRAMP) in Hawaii. International Conference on Scientific Aspects of Coral Reef Assessment, Monitoring and Restoration. April 14-16, Ft. Lauderdale, FL.
- Bruckner, A. y Bruckner, R. 1998. Disease and predation on western Atlantic: Atlantic and Gulf Ref. Assesment.
- Bruke L. y Maidens J 2004. Reefs at risk in the Caribbean World Resources Institute. Washington D.C., 80pp.
- Burke, L., Dirk, B., McManus, J.W. y Spalding, M. 2001. Reefs at Risk: A map-based indicator of threats to the world's coral reefs Word resources Institute.57pp.
- Cairns, S. 1977. Guide to the commoner shallow-water gorgonians (Sea whips, sea feathers and sea fans) of Florida, The Gulf of Mexico and the Caribbean Region. Sea Grant Field Guide Series number 6. University of Miami. Sea Grant Program. 74pp.
- CALJON, A., 1983. Brackish-water phytoplankton of the Flemish lowland. *Developments in Hidrobiology*, 18: 1-272.
- CAMPBELL, P.H., 1973. Studies on brachish water phytoplankton. 279-359. Sea Grant, North Carolina.
- Capurro, A.L., Chávez, E.A., Zlatarski, V., Hidalgo, E., Huerta, L., Torruco, D., Garduño, M., Rodriguez, A. y Bonfil, A. 1984. Atlas de los corales escleractinios de la península de Yucatán. Informe Técnico. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Yucatán, México.
- Carricart-Canivet, J.P. y Horta-Puga, G. 1990. Some stony corals (Scleractinia, Milleporidae) of Majahual, Quintana Roo, Mexico. *Revista de zoología (ENEPI-UNAM)*. 2:26-29.
- Carricart-Ganivet, J. P. y Horta-Puga, G. 1993. Arrecifes de coral en Mexico. Pp. 81-92. in Salazar-Vallejo, S.I. y González, N. E. (Ed). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO/CIQRO, México, D.F.
- Caso, M.E. 1974. Contribución al estudio de los equinoideos de México. El género, *Tripneustes* Agassiz. Morfología y ecología de *Tripneustes ventricosus* (Lamarck). *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(1): 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).
- Caso, M.E. 1995b. IV: Asteroideos del Caribe mexicano, colectados en las campanas oceanográficas PROIBE III-III-IV-V a bordo del B/O "Justo Sierra". *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM
- 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(1):1-25.
- Castañares, L. y Soto, L. 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.
- Castillo-Arenas, G.C. y Dreckmann K.M. 1995. Composición taxonómica de las arribazones algales en el Caribe mexicano. *Cryptogamie, Algol.* 16 (2): 115-123.
- Chaplin, Ch.C.G. 1972. *Fishwatchers guide to west-Atlantic coral reefs*. Harrowood Books, Pennsylvania. 65 pp.
- Chávez, E.A. y Hidalgo E. 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., Sowinski, N.A., Arcila-González, G.I. y Alling, A. 1991. North East coral reef community population survey with reference to the collection of coral species for Biosphere 2. *Space Biosphere Ventures*, 1-6.
- Clarke, K.R. y Warwick R.M. 2001. *Change in Marine Communities: An Approach to statistical analysis an interpretation*. 2a ed. PRIMERE LTD Plymouth Marine Laboratory UK.
- Coastal Engineering Manual, Long Shore Sediment Transport—US Army Corps of Engineers, Cap III-2.
- Colin, P.I. 1988. *Marine invertebrates and plants of the living reef*. T.F.H. Publications, Inc. Ltd. 512 pp.

Collado-Vides, C.M.L. (1986). Estudio ecológico de las algas filamentosas como un grupo funcional de la laguna de Bojórquez, Cancún. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 102 pp.

Collado-Vides, L. 1992. Estudio arquitectónico-fisionómico de las algas del Sistema Lagunar de Nichupté, Q. Roo, México. Tes. Doct., Fac. Cienc., UNAM, 74pp.

Collado-Vides, L. y González-González J. 1993. Macroalgas del sistema Lagunar de Nichupte, Quintana Roo. pp 752-760 In: Biodiversidad Marina y Costera de México. S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 pp.

Collado-Vides, L., Ortigón-Aznar I., Comba-Barrera L, Senties Granados A y González-González J. 1998. Macroalgae of Puerto Morelos reef. System, Mexican Caribbean. *Hidrobiológica* 8(2): 133-143.

Collado-Vides, L., González-González J y Ezcurra E.1995. Patrones de distribución ficoflorística en el Sistema Lagunar de Nichupté, Quintana Roo, México. *Acta Botánica Mexicana* 31:19-32.

Collado-Vides, L., González-González J y Gold-Morgan M. 1994. A descriptive approach to the floating masses of algae of a Mexican Caribbean coastal lagoon. *Bot. Mar.* 37: 391-396.

Comba-Barrera, L. (1996). Estudio morfo-anatómico del género *Udotea* (Lamoroux) en algunas localidades del Caribe mexicano y la plataforma noroccidental cubana. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 72 pp.

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

Cortés, N.J. 1986. Biogeografía de corales hermatípicos: El istmo centro americano. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM. 13:297-304.

Dawes, C., 1991. *Botánica Marina*. Limusa. 1-673. México.

De la Fuente-Betancourt, M.G., de Jesús-Navarrete, A., Sosa-Cordero, E., Herrero-Perezrul, M. D. 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.

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.

De Lara-Isassi, G. y Álvarez-Hernández S. 1998. Evaluación de la actividad aglutinante de extractos de macroalgas presentes en las costas del Atlántico Mexicano. *Hidrobiológica* 8(1): 67-72.

Departamento de Hidrobiología, 2003. Sistema de información urbano ambiental costero para normar el uso y aprovechamiento de la zona federal marítimo terrestre del Municipio Solidaridad, Quintana Roo, México (FASE I). Informe final. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM-Iztapalapa. 48 p.

Desikachary, T.V., 1959. Cyanophyta. Bot. Dept. Univ. Med. Ind. Couns. Agric. Res. New Delhi, 2: 1-686.

Diario Oficial de la República. 1998. Norma Oficial Mexicana de Calidad del Agua. USO: Protección de la Vida Acuática, Zonas Costeras y Estuarios. Segunda Edición, México, 1998.

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

Díaz-ARCE, V., Herrera-Silveira, J.A. y Trejo-Peña, J., 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 (1999).

Díaz-Martín, M.A., Torres-Mejía E y Espinosa-Avalos J. 1998. Lista de algas del Área de protección Yum Balam, Quintana Roo, México. Rev. Biol. Trop., 46(3): 487-492.

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., Kenchington, R. A y Zell, L.D. 1982. Rapid, large area, reef resource surveys using a manta board. Proc. Fourth Int. Coral Reef Symp, Mania. 2:597-600.

EL-Sayed, S.Z., Sackett, W.M., Jeffrey, L.M., Fredericks, A.D., Saunders, R.P., Conger, P.S., Fryxell, G.A., Steidinger, K.A. y Earle, S.A., 1972. Serial atlas of the marine environment, chemistry, primary productivity and benthic algae of the Gulf of Mexico. Amer. Geogr. Soc., 22-26.

English, S., Wilkinson, C. y Baker, V. (Eds.). 1997. Survey manual for tropical marine resources. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia, 2a. Ed.

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

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

Figuroa-Torres, M.G., 1994. Florecimiento de *Trichodesmium erithraeum* Ehr. ex Gomont, en las lagunas Inferior y Oriental, Oaxaca. Serie Grandes Temas de la Hidrobiología: Los Sistemas Litorales. UAMI, UNAM., (2): 15-21.

- Foged, N., 1971. Freshwater diatoms in Thailand. *Nova Hedwigia*, 32 (1-2): 267-368.
- Foged, N., 1986a. Diatoms in Gambia. *Bibliotheca Diatomologica*, 12: 1-153.
- Foged, N., 1986b. Diatoms in the Volo Bay, Greese. *Bibliotheca Diatomologica*, 12: 1-67.
- Foged, N., 1993. Some diatoms from Siberia especially from Lake Baikal. *Diatom Research*, 8 (2): 231-279.
- Folk, R.L. 1973. *Petrología de rocas sedimentarias*. Hemphill Publisher. 373p.
- Folk, R.L., 1974. *Sedimentary petrology*, 3 ed. Hemphill publ. 220 p.
- Franco, J., DE LA Cruz, G., Cruz, A., Rocha, A., Navarrete, N., Flores, G., Kato, E., Sánchez, S., Abarca, L.G. y Bedia, C.M., 1985. *Manual de Ecología*. Trillas. 1-266. México.
- García, G. y Loreto R.M. 1996a. Arrecifes Coralinos de Cozumel. Caracterización y Recomendaciones de Manejo. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A. C.
- García, G. y Loreto R.M. 1996b. Caracterización de los Arrecifes de la Poza de Xcalak. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A. C .
- García, G. y Loreto R.M. 1997. Caracterización de arrecifes de Isla Cozumel. Am. de Sian Ka'an, A.C. Rep. Int.
- García, G. y Loreto R.M. 1997. Caracterización de arrecifes de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro. Am. de Sian Ka'an, A.C. Rep. Prelim.
- García, G., Loreto, R. y Lara, M. 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.
- García-Beltrán, G. y Loreto-Viruel, R.M. 1996. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo, efectos del huracán Roxana en la comunidad arrecifal. Quinto Informe. Amigos de Sian Ka'an.
- García-Beltrán, G., Lara-Pérez-Soto, M. y Loreto-Viruel, R.M. 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 pp.
- García-Beltrán, G., Loreto-Viruel, R.M., Gutiérrez-Carbonell, D. e Ibarra-Navarro, E.R. 1995. Monitoreo de arrecifes de Quintana Roo. Cuarto Informe. Amigos de Sian Ka'an. Biocenosis. 44 pp.

Garza-Barrientos, M. 1975. Primeras consideraciones referentes sobre la flora marina del Sureste de la República Mexicana. Memorias del II Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica. Vol. 1: 7-25. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

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 IPN, Unidad Mérida, Sección de Recursos del Mar. 64pp.

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

Gómez, P., y Green G. 1984. Sistemática de las esponjas marinas de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Ann. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 11(1):65-90.

González-Salas, C., Nuñez-Lara, E., Ruiz-Zarate, M.A., Hernández-Landa, R., Arias-González, J.E. 2003. Condition of coral reef ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico (Part 3: juvenile reef fishes). pp. 598-608. En 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 496.

Greenberg, J. y Greenberg I. 1977. *Guide to corals and fishes of Florida. The Bahamas and The Caribbean*. Seahawk Press. Miami. Florida, 64 pp.

Guillard, R.R.L. y Kilham, P., 1977. The ecology of marine planktonic diatoms. In: Werner, D. (ed.), *The Biology of Diatoms*. Botanical Monographs, 13: 373-469.

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

Gutiérrez D, García-Sáez C, Lara M, Padilla C, Pizaña J y Macías R.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 D, Camarena T, García-Beltrán G y Bezaury-Creel J. E. 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.

Gutiérrez D, García G, Loreto R.M y Camarena T.1995. Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor Cancún-Tulum, Quintana Roo, México. In: *Sian Ka'an, Ser. Doc. Am. de Sian Ka'an, A.C. (Ed.)*. Dic. (4): 3-39.

Gutiérrez D, García C, Lara M y Padilla C. 1993. Comparación de Arrecifes Coralinos: Veracruz y Quintana Roo. 787-806p. En: *Biodiversidad Marina y Costera de México*. S. I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds). *Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO*. 865pp.

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

- Gutiérrez D, García -Saez C, Lara M y Padilla C. 1993. Comparación de arrecifes coralinos: Veracruz y Quintana Roo. Pp. 787-806 in Salazar-Vallejo, S. I. y González, N.E. (Ed). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D.F.
- Gutiérrez D, García -Saez C, Lara M, Padilla C, Pizaña J y Macías R. 1994. Caracterización de Arrecifes de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Q. Roo. Sian K'an Serie Documentos No.1. 1-47pp.
- Gutiérrez D, Lara M. y Padilla C. 1991. Los Arrecifes Coralinos de Sian Ka'an. Boletín Amigos de Sian Ka'an No.9. 12-13pp.
- Gutiérrez, D., Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., García, G., y Loreto, R. M. 1995. Los Arrecifes Coralinos del Corredor Cancún-Tulum. Sian Ka'an. Serie de Documentos. No.4. 1-44pp.
- Gutiérrez-Carbonell, D. y Bezaury-Creel, J. E. 1993. Manejo del sistema arrecifal de Sian Ka'an. Pp. 772-786 in Salazar-Vallejo, S. I. y González, N. E. (Ed). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D.F.
- Gutiérrez-Carbonell, D. y García -Saez, C. 1993. Arrecifes Coralinos de Sian Ka'an. Informe final: Caracterización y propuesta de Manejo. Biocenosis, UNAM, Amigos de Sian Ka'an, A.C. 120 pp.
- Gutiérrez-Carbonell, D., García-Saez, C. y Bezaury-Creel, J.E. 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. 78 pp.
- Gutiérrez-Carbonell, D., García-Saez, C., Lara-Pérez-Soto, M. Padilla-Souza, C. y Pizaña-Alonso, F. J. 1993b. Monitoreo de arrecifes. Primer Informe. Amigos de Sian Ka'an. UNAM. Biocenosis. 57 pp.
- Gutiérrez-Carbonell, D., García -Saez, C., Lara-Pérez-Soto, M. Padilla-Souza, C., Pizaña-Alonso, F. J. y Macías-Ordóñez, R. 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., Lara-Pérez-Soto, M., Padilla-Souza, C., Pizaña-Alonso, F.J., García-Beltrán, G., Loreto-Viruel, R.M. y Camarena-Luhrs, T. 1995. Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor "Cancún-Tulum", Quintana Roo, México. Sian Ka'an Serie de Documentos 4:3-34.
- Gutiérrez-Estrada & Montaña-Ley, Yovani, 1987, "Control de perfiles de playa en el área de Mazatlán, Sinaloa, México.
- Hanson, H., and Kraus, N. C. 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.

- Hasle, G.R., 1978. Using the inverted microscope. In: Sournia, A. (ed.), *Phytoplankton Manual*: 191-196. UNESCO, Paris.
- Hasselmann K., Collins J.I. (1968) Spectral dissipation of finite-depth gravity waves due to turbulent bottom friction, *J. Mar Res.*, 26,1-12.
- Hendler G, Miller J. E, Pawson D L y Kier P. M. 1995. *Sea stars, sea urchins, and allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean*. Smiths. Inst. Press. Washington and London. 300 p.
- Herrera-Silveira, J.A. Martin, M., Diaz Arce V, y Comin, F., 1998b. Contribución al conocimiento del fitoplancton de las lagunas del Estado de Yucatán (SE, México). II Reunión Internacional de Planctología y IX Reunión Nacional de la SOMPAC. Mérida, Yuc., México (1998).
- Herrera-Silveira, J.A., Diaz Arce, V. y Comin, F., 1998a. Características físicas, clorofila-a y fitoplancton de los cenotes Ixin-Há e X'laka, Yucatán. II Reunión Internacional de Planctología y IX Reunión Nacional de la SOMPAC. Mérida, Yuc., México (1998).
- Horta-Puga, G. y Carricart-Ganivet, J.P. 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. Pp. 64-78 in Salazar-Vallejo, S.I. y González, N.E. (Ed). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO/CIQRO, México, D.F.
- Huerta, L. y Garza Barrientos M.A. 1966. Algas marinas del litoral del Estado de Campeche. *Ciencias* 24(5-6) 193-200.
- 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.
- Huerta, M.L. y Garza-Barrientos M. 1980. Contribución al conocimiento de la flora marina de la parte Sur del litoral de Quintana Roo, México. *An Esc. Nac. Cienc. Biol., Méx.* 23: 25-44.
- Humann, P. 1993a. Reef coral identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla 239pp.
- Humann, P. 1993b. Reef creature identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 320pp.
- Humann, P. 1994. Reef Fish Identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 2ª. Ed. 396pp.
- Humman, P. 1989. Reef fish identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 267 pp.
- Humman, P. 1993a. Reef coral identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla 239 pp.

Humman, P. 1993b. Reef creature identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 320 pp.

Hustedt, F. 1930b. Die Kieselalgen Deutschlands österreichts und der Schweiz und der Berücksichtigung der übrigen Länder Europas Sowie der Angrenzenden Meeresgebiete. In: Rabenhorst, L. (ed.), Die Kryptogamenflora Von Deutschland österreich und der Schweiz, 7 (1): 1-920. Akad. Verlag., Leipzig.

Hustedt, F. 1961-1966. Die Kieselalgen Deutschlands Osterreich und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. In: Die Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz (L. Rabenhorst, ed.), 7 (3). 1-816. Acad. Verlag., Leipzig.

Hustedt, F., 1930a. Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas. In: Pascher, A. (ed.), Bacillariophyta (Diatomeae). 1-466. Fisher, G. Germany.

Hustedt, F., 1957. Die Diatomeenflora des Flusssystemes der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. Abh. Naturw. Ver. Bremen., 34 (3): 18-140.

Iglesias, R. 1984. Photoadaptation in the gorgonian *Plexaura homomalla*. in Ginsburg, R. (ed). Advances in Reef Science, ISRS., Miami, Florida. USA.

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 10pp.

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

Instituto Universitario de Desarrollo y Cooperación (IUDC), 2002. Evaluación de Proyectos de Ayuda al Desarrollo. Revista Española de Desarrollo y Cooperación Otoño/Invierno, Madrid. 140pp.

ITESM-Guaymas, CECARENA (1993), Taller para el manejo de humedales costeros en el noroeste de México, Memorias, 7-11 de diciembre, p. 8.

Jordán, E. 1977. Ecología y evaluación de las poblaciones de *Plexaura homomalla* y su explotación racional con el fin de preservar el recurso. Informe técnico a CONACyT. 53 pp.

Jordan, E., Argot M. y de la Torre R., 1978. Prospección biológica de la Laguna de Nichupté, Cancún, Q. Roo, México, An. Centro Cienc. Mar Limnol. UNAM 5(1): 179-188.

Jordán, E. y Nugent, R. S. 1978. Evaluación poblacional de *Plexaura homomalla* (ESPER) en la Costa Noreste de la Península de Yucatán. (OCTOCORALLIA). Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 5:189-200.

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. y Martín, E. 1987. Chinchorro: Morphology and composition of a Caribbean atoll. *Atoll Research Bulletin.* 310:1-33.

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

Jordán, E. 1988b. Arrecifes profundos en la Isla de Cozumel, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 15:195-208.

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. Pp. 127-130 in Navarro, D. y Robinson, J.G. (Ed). *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-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. 1989. Efecto de la morfología del sustrato en el desarrollo de la comunidad coralina. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.* 16:105-118.

Jordán-Dahlgren, E., Martín-Chávez, E., Sánchez-Segura, M., y González-de la Parra, A. 1990a. Consideraciones generales. Arrecifes del Corredor. Pp. 78-85 in 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., Martín-Chávez, E., Sánchez-Segura, M., y González-de la Parra, A. 1990b. Medio Marino. Arrecifes Coralinos. Pp. 45-73 in 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. 1993b. El ecosistema arrecifal coralino del Atlántico Mexicano. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 44(Diversidad Biológica de México):157-175.

- Jordán-Dahlgren, E., Martín-Chávez, E., Sánchez-Segura, M., y González-de la Parra, A. 1994. The Sian Ka'an Biosphere Reserve Coral Reef System, Yucatan Peninsula, Mexico. *Atoll Research Bulletin*. 423:1-19.
- Jordán-Dahlgren, E. 2003 Status of Acroporids in the Mexican Atlantic. *Acropora Proceedings* 156-159.
- King, C.A.M., 1972, *Beaches and Coasts*, 2nd ed., St. Martin press, New York, 570 pp.
- Komar, P.D., 1976. *Beach process and sedimentation*. Prentice Hall. Englewoods Cliffs, NJ, 429 pp
- Kramer, P.A. y Kramer, P.R. *Ecoregional conservation planning for the Mesoamerican Caribbean Reef*. Washintong, D.C., Worl Wildlife Fund. 140pp.
- Kramer, P., Kramer, P.R., Arias-González, J.E., McField, M. 2000. Status of coral reefs of Northern Central America: Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and El Salvador. En: Wilkinson, C. (ed). *Status of Coral Reefs of the World: 2000*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia (2000). 363 p.
- Krumbein, W.C. y Loss, L.C., 1963. *Stratigraphy and Sedimentation*, W.H. Freeman company, San Francisco, 660p.
- Kuo-Ping, C., Fuh-Kwo, S. y Gwo-Ching, G., 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.
- Lara, M. Padilla, C. y Muñoz, R. 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 Padilla, C. 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., Padilla, C., Espejel, J. J. y García, C. 1994. Coral Reefs of Veracruz, Mexico. I. Zonation and community structure. *Proceedings of the VII International Coral Reef Symposium*. Mangilao, GUAM. 1:535-544.
- Lara, M., Padilla, C., Loreto, R. M. y Loreto, A. 1998. Propuesta de ordenamiento ecológico, pesquero y turístico para los arrecifes del Centro de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Reporte técnico.
- Lara-Villa, M.A., Moreno-Ruiz, J.L. y Amaro-Mauricio, E.J. 1996. *Fitoplancton: Conceptos básicos y técnicas de laboratorio*, México, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. 1-127.

León-Tejera, H.P. 1980. Abundancia y distribución de algunas macroalgas arrecifales del Caribe Mexicano. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 50 pp.

Licea, S. y Santoyo, H. 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.

Licea, S., Moreno, J.L., Santoyo, H. y Figueroa, G. 1996. Dinoflageladas del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur, SEP-FOMES/PROMARCO. 1-165.

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

Littler M.M y. Littler D.S. 2000. Caribbean Reef Plants. An Identification Guide to the Reef Plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of México. Offshore. Graphic Inn, Washington, D. C. USA 542pp.

Littler, D., Littler M., Bucher K. y Norris J. 1989. Marine Plants of the Caribbean. A field guide from Florida to Brazil. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C. 263 pp.

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

Littler, M.M. y Littler D.S. 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 Littler D.S. 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., 1980. Morphological form and photosynthetic performances of marine macroalgae: test of a functional/form hypothesis. Bot. Mar., Vol. 22, pp.161-165.

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.

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

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

Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. Mar. Biol. 13:100-23

Ludwig, J.A. y Reynolds, J.E., 1988. *Statistical ecology, a primer on methods and computing*. 1-337. Wiley, New York.

Maldonado-Gasca, A. 1998. Estructura del paisaje arrecifal bentónico de Mahahual, Quintana Roo. Tesis de maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Sección de Recursos del Mar. 96pp.

Manzano, O. 1989. Estudio geomorfológico para la zonificación de las áreas de manejo de la reserva de la Biósfera los pantanos de Centla, Tabasco. Bsc thesis, Colegio de Geografía UNAM, México.

MARGALEF, R., 1958. Information theory in ecology. *General Systematics*, 3: 36-71.

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, 11 pp.

MASON, C.F., 1993. *Biology of Freshwater Pollution*. 1-351. Longman Scientific & Technical, Great Britain.

Mateo-Cid, L. E. 1986. Estudio florístico de las algas marinas bentónicas de Isla Cozumel, Quintana Roo, México. Tesis Profesional Instituto Politécnico Nacional, 116 p., 22 fotografías.

Mateo-Cid, L.E. y Mendoza-González A.C. 1991. Algas marinas bénticas de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México. *Acta Botánica Mexicana* 16: 57-8.

McCormick, P.V. y Cairns Jr. J., 1994. Algae as indicators of environmental change. *Journal of Applied Phycology*, 6: 509-526.

Membrillo-Venegas, N. 1999. Descripción de los paisajes arrecifales en la laguna del Arrecife Alacranes, Yucatán, México. Tesis de maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Sección de Recursos del Mar. 100pp.

Mendoza-González A.C. y Mateo-Cid L. E. 1987. Algas marinas poco comunes de la flora mexicana (IV). *Phytologia* 62(1):13-16.

Mendoza-González, A.C. y Mateo-Cid L.E. 1992. Algas marinas Bentónicas de Isla Mujeres, Quintana Roo, México. *Acta Botánica Mexicana* 19:37-61.

Miller, R. J. 1999. The video method for measuring benthic cover on coral reefs: an overview. Document prepared for CPACC. March2001. (www.cpacc.org).

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

Moreno, J.L., Licea, S. y Santoyo, H. 1997. Diatomeas del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur, SEP-FOMES/PROMARCO. 1-273

Moreno, L. y Licea, S., 1994. Morphology of three related *Coscinodiscus* Ehrenberg taxa from the southern Gulf of Mexico and coastal north Pacific of Mexico. In: *Memoirs of the California Academy of Sciences* (17), Proceedings of the Eleventh International Diatom Symposium. 113-127.

Moreno-Ruiz, J. L., 2000. Fitoplancton. In: *Organismos Indicadores De La Calidad Del Agua y De La Contaminación* (G. De La Lanza Espino, S. Hernández-Pulido, y J.L. Carbajal-Pérez, eds.), 43-108. SEMARNAP, CNA, UNAM, INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM, PLAZA Y VALDEZ EDITORES.

Moreno-Ruiz, J.L. y Carreño, A.L., 1993. Morfología de *Thalassionema nitzschioides* var. *Claviformis* (Schrader) Moreno-Ruiz nov. comb. In: *Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile, Serie Ocasional*, 2, 141-148.

Moreno-Ruiz, J.L. y Licea, S. 1995. Observations on the valve morphology of *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Hustedt. In: *Proceedings of the 13th International Diatom Symposium Acquafredda di Maratea (PZ), Italy, 1994*. 393-413.

Moreno-Ruiz, J.L., 2001. Fitoplancton. In: *Guía para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de calidad del agua: Manual de Bioindicadores de la Calidad del Agua* (I.C. Escalante, coord.), 10-38. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. México.

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

Moreno-Ruiz, J.L., en prensa. Fitoplancton. In: *Biodiversidad del Estado de Tabasco* (J.S. Bueno, ed.). CONABIO -INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM, México.

Moreno-Ruiz, J.L., Licea, S. y Alvarez-Rubio, M., 1994. Contenido fitopláctico en el tubo digestivo de *Crassostrea virginica* Gmelin, en la laguna de Tamiahua (diciembre 1985-noviembre 1986). *Serie Grandes Temas de la Hidrobiología: Los Sistemas Litorales*. UAMI, UNAM., (2): 1-14.

Moreno-Ruiz, J.L., Soto, P.J., Zamudio, M.E., Hernández-Becerril, D.U. y Licea, S., 1993. Morphology and taxonomy of *Chaetoceros diversus* (Bacillariophyceae) based on material from the southern Gulf of Mexico. *Diatom Research*, 8, 419-428.

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

- Municipio de Solidaridad, 2001. Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Quintana Roo. Talleres Gráficos de la Nación.
- Muñoz-Chagín, R.F. y de la Cruz-Aguero, G. 1993. Corales del arrecife de Akumal, Quintana Roo. Pp. 761-771 in Salazar-Vallejo, S.I. y González, N.E. (Ed). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO, México, D.F.
- Navarro, J.N. 1981. A survey of the marine diatoms of Puerto Rico II. Suborder Biddulphineae: Families Biddulphiaceae, Lithodesmiaceae and Eupodisceae. *Botanica Marina*, 24, 615-630.
- Navarro, J.N. 1982a. A survey of the marine diatoms of Puerto Rico III. Suborder Biddulphineae: Family Chaetoceraceae. *Botanica Marina*, 25, 305-319.
- Navarro, J.N. 1982b. Marine diatoms associated with mangrove prop roots in the Indian river, Florida, U.S.A. *Bibliotheca Phycologica*, 61, 1-151.
- Navarro, J.N. 1982c. A survey of the marine diatoms of Puerto Rico V. Suborder Rhipidinea: Families Achnanthaceae and Naviculaceae (Excluding Navicula and Mastogloia). *Botanica Marina*, 25, 321-338.
- Navarro, J.N. 1983. A survey of the marine diatoms of Puerto Rico VII. Suborder Rhipidinea: Families Auriculaceae, Epithemiaceae, Nitzschiaceae and Surirellaceae. *Botanica Marina*, 25, 305-319.
- Nortek AS. 2002, Aquadop Current Profiler, User Manual. Norway, pp 52.
- Núñez-Lara, E., González-Salas, C., Ruíz-Zárte, M.A., Hernández-Landa, R.C., Arias-González, J. E. 2003. Condition of coral reef ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico (Part 2: reef fishes). pp. 318-337. En: 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 496.
- ODUM, E.P., 1972. *Ecología*. Interamericana. 1-546. México.
- Ortegón-Aznar, J. y J. González-González. 2000. Macroalgal communities in coastal lagoons of the Yucatán Peninsula, México. *Aquatic Ecosystems of the Mexico: Status and Scope* 283-301.
- Ortiz-Pérez, MA. 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltáico del río San Pedro, Campeche, Tabasco. *Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, 25, 7-24
- Padilla, C. y Lara, M. 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., García, M. 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 pp.
- Padilla, C., Gutiérrez, D., Lara, M. y García C. 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., Gutiérrez, D., Lara, M. y García, C. 1992. Coral Reefs of The Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Proc. 7th. Int. Coral Reef Symp, Guam. Vol. 2 p 986-992.
- Patrick, R. y Reimer, C.W., 1966. The diatoms of the United States. Acad. Nat. Sci. Philadelphia, 1 (13): 1-688.
- Patrick, R. y Reimer, C.W., 1975. The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 2(13): 1-213.
- PEMEX-UNAM, 2003. Evaluación Prospectiva para el Programa de Monitoreo Continuo del Efecto Ambiental de la Actividad Petrolera en el Golfo de México. Reporte Final de la Campaña SGM6. Adolfo Gracia Gasca (Resp.), Felipe Vázquez y David Salas (Coords.).
- Peragallo, H. y Peragallo, M.H., 1897-1908. Diatomées marines de France, et des districts maritimes voisins. 1-493. Grez sur Loing.
- Pielou, E.C., 1975. Ecological Diversity. 1-122. Wiley, New York.
- Pielou, E.C., 1977. Mathematical Ecology. 1-286. Wiley, New York.
- Porter, J.W. 1972. Patterns of species diversity in Caribbean reef corals. Ecology. 53:745-748.
- PRESCOTT, G.W. 1962. Freshwater algae. 1-977. Brown, Dubuque.
- Prescott, G.W. 1978. How to know the freshwater algae. 1-293. Brown, Dubuque.
- Reef Check. 2001. Reef Check Survey Instruction Manual. <http://www.reefcheck.org/methods.htm>
- Reyes-Castro, J., Saenz-Morales, R. y Horta-Puga, G. 1989. Corales pétreos de Isla Contoy y arrecife del Cabezo, Q. Roo, México. Revista de zoología ENEPI/UNAM). 1(1):1-9.
- Rines, J.E.B. y Hargraves, P.E., 1988. The Chaetoceros Ehrenberg (Bacillariophyceae) flora of Narragansett Bay, Rhode Island, U.S.A. Bibliotheca Phycologica, 79: 1-196.

- Rodríguez-Almazán, C. 1997. Evaluación de la dinámica de los manchones de *Lobophora variegata* (Dictyotales, Phaeophyta) en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM, México. 59 pp.
- Rodríguez-Martínez, R. y Ortiz, L.M. 1999. Coral reef education in schools of Quintana Roo, México. *Ocean Coast. Manage.* 42(12):1061-1068.
- Romero, O., Boeckel, B., Donner, B., Lavik, G. Fischer, G. y Wefer, G., 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.
- Round, F.E., 1990. The effect of liming on the benthic diatom populations in three upland Welsh lakes. *Diatom Research*, 5 (1): 129-140.
- Round, F.E., 1991. Epilithic diatoms in acid water streams flowing into the reservoir Llyn Brianne. *Diatom Research*, 6 (1): 137-145.
- Ruiz-Rentería, F., Van Tussenbroek, B.I. y Jordan-Dahlgren, E. 1998. Puerto Morelos, Quintana Roo, México. UNESCO, Paris (France) CARICOMP -Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites-. No. 3, pp. 57-66. [CSI series Coastal region and small island papers].
- Ruiz-Zárte, M.A., Espinoza-Avalos J., Carricart-Ganivet J.P y Fragoso D. 2000. Relationships between *Manicina areolata* (Cnidaria: Scleractínea), *Thalassia testudinum* (Anthophyta) and *Neogoniolithon* sp. (Rhodophyta). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 206: 135-146.
- Salazar-Murguía, R. González-Salas, C., Arias-González, J.E. 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.
- Salazar-Vallejo, S.I., 1998 Calentamiento global y efectos costeros. *Ava. Cient.* 25:10-20.
- Schmitter-Soto, J.J., Comín, F.A., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L.E. y Steinich, B., 2002. Hydrogeochemical and biological characteristics of cenotes in the Yucatan Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467(1-3): 215-228.
- Serviere, Z.E. 1986. Ficoflora de la laguna de Bojórquez, Quintana Roo. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 253 p.
- Serviere-Zaragosa E., Collado-Vides L y González-González J. 1992. Caracterización ficológica de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, México. *Caribb. J. Sci.* 28(3-4): 126-133.
- Sloane, H. 1707-1725. Submarine plants, Vol. 1:49-64. En: *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.

Smith, F.G. 1972. Atlantic reef corals. A handbook of common reef and shallow-water corals of Bermuda, The Bahamas, Florida, The West Indies and Brazil. University of Miami Press. 14pp.

Steidinger, K.A. y Williams, J., 1970. Dinoflagellates. *Memoirs of Hourglass Cruises*, 2: 1-251.

Steidinger, K.A., 1972. Dinoflagellate distribution. In: *Serial Atlas of the Marine Environment* (V.C. Bushnell, ed.). American Geographical Society., 14-15.

Stoermer, E.F. y Smol, J.P., 2000. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press. New York. p.1-469.

Stoermer, E.F., Kocielek, J.P., Schelske, C.L. y Conley, D.J., 1987. Quantitative analysis of siliceous microfossils in the sediments of lake Erie's central basin. *Diatom Research*, 2 (1): 113-134.

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

Strickland, J.D. y Parsons T.R. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Bull. 167. Fish. Res. Board, Canada, Ottawa. 310pp.

Suárez, A.M., L. Collado-Vides y J. González-González .1996. Estudio comparativo de la fitoflora del Caribe de México y Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 17(1).

Sylvatica S.C., 2003 a , "MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Modalidad Particular Tomo L PROYECTO INTEGRAL DE RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE PLAYAS CON EPC-KANAAB Litoral Norte, Punta Cancún , Quintana Roo", 252 pp.

Sylvatica, S.C., 2003 b, "CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL COSTA NORTE DE PUNTA CANCÚN Sección A, Zona Hotelera de Cancún, Municipio Benito Juárez, Quintana Roo", 92 pp.

Tapia-García, M., 1997. Estructura e interacciones ecológicas de las comunidades de peces de la plataforma continental y la laguna del Mar Muerto, en el Golfo de Tehuantepec al sur del Pacífico mexicano. Tesis Doctorado, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1-135.

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

- Thronsdon, J., 1997. The planktonic marine flagellates. In: Identifying marine phytoplankton (C.R. Tomas, ed.). Academic Press, San Diego, California. 591-831.
- Tilstone, G.H., Míguez, B.M., Figueiras, F.G. y Fermín, G., 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-Mejía, E. 1991. Zonación de macroalgas bentónicas en el arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo. Tes. Lic., Fa. Cienc., UNAM. 64 pp.
- Torres-orocho, B.R.E. y Estrada-Hernández, M., 1997. Patrones de migración vertical en el plankton de un lago tropical. *Hidrobiologica*, 7: 33-40.
- Troccoli-Chinaglia, L. y Herrera-Silveira, J.A., 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 (1999).
- Tunnell, J.W., Rodríguez, A.A., Lehman, R.L. y Beaver, C.R. 1993. An ecological characterization of the southern Quintana Roo Coral Reef System. Center for Coastal Studies Texas A & M University, Corpus Christi, Texas.
- Underwood, A.J., 1993. The mechanics of spatial replicated sampling programs to detect environmental impacts in a variable world. *Australian journal of science* 18:99-116.
- Underwood, A.J., 1997. *Experiments in Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge. 504pp.
- UNEP/IUCN. 1988. UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies. Volume 1: Atlantic and Eastern Pacific. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, U.K./UNEP, Nairobi, Kenia. Page Bros., Norwich, U.K.
- Universidad Autónoma Metropolitana–Unidad Iztapalapa (UAMI), 2003. Diagnóstico Ambiental de las playas del Municipio Solidaridad, Estado de Quintana Roo,
- Van Der Werff, A. y Huls, H. (1957-1974). *Diatomeënflora van Nederland*. 1-142. Koeltz, Koenigstein.
- Van Tussenbroek, B.I. y Collado-Vides L. 2000. Filamentous algae dominated a tropical reef community in the Mexican Caribbean: an Unexpected Organisation of reef vegetation. *Botánica Marina* Vol. 43: 547-557.
- Vega, A. y Loreto, R. M., 2001. Monitoreo de Arrecifes Coralinos de Xcalak, Quintana Roo, México. Informe Interno Amigos de Sian Ka'an. A. C.

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

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 Dorris, T.C., 1968. Biological parameters for water quality criteria. *BioScience*, 18: 477-481.

Wilkinson, S. y Baker, V. 1997. Survey Manual for Tropical Marine Resources, 2nd Edition. Published by Australian Institute of Marine Science, Townsville.

Wood, F., 1965. Dinoflagellates of the Caribbean Sea and Adjacent Areas. University of Miami Press. 1-143.

Woodley, J. D. 1995. Coral Reef Monitoring: A Caribbean View. En: Crosby, M.P., Gibson, G.R. y Potts K.W. (eds). 1996. Coral Reef Symp. Practical, Reliable, Low Co. Monitoring Methods Asses. Biota Habitat Conditions Coral Reefs, January 26-27, 1995. Office of Ocean and Coastal Resource Management, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.

Woodley, J.D., 1999. Establishment of Coastal Ecosystem Monitoring Programs: Lessons Learned by CARICOMP. In: I. Dight, R. Kenchington and J. Baldwin (eds). Proc. Int. Tropical Mar. Ecosystems Management Symp. (ITMEMS) November 1998, Townsville Australia.

Wynne, M.J. 1986. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic. *Canadian Journal of Botany*, 64: 2239-2281.

Zárate-Lomelí, D., Lara-Pérez-Soto, M., Padilla-Souza, C., Sánchez-Chávez, J., Pizaña-Alonso, F.J., Urquiza-García, R. y Nava-Honc, R. 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. 56 pp.

Zea, S. 1987. Esponjas del Caribe Colombiano. Catálogo Científico. Colombia, 283 p.

Zlatarski, V.N. y Martínez N. 1982. Les Scléactiniaires de Cuba avec des donnés sur les organismes associés. Académie Bulgare des Sciences. Sofia. 472 pp.

Zlatarsky, V.N. y Martinez, N. 1982. Les Scléactiniaires de Cuba avec des donnés sur les organismes associés. Académie Bulgare des Sciences. Sofia. 472pp.