

65



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
IZTACALA**

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE TRES  
ARRECIFES EN QUINTANA ROO, MÉXICO**

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I O L O G O**

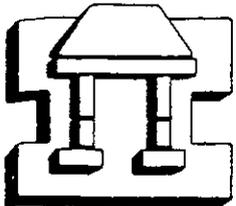
P R E S E N T A :

**ROBERTO CARLOS HERNÁNDEZ LANDA**

DIRECTOR DE TESIS.

**Dr. Ernesto Arias González**

297396



**IZTACALA**

**IZTACALA  
TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO 2001**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Más de cien mentiras

---

Tenemos memoria, tenemos amigos,  
tenemos los trenes, la risa, los bares,  
tenemos la duda y la fe, sumo y sigo,  
tenemos moteles, garitos, altares.

Tenemos urgencia, amores que matan,  
tenemos silencio, tabaco, razones,  
tenemos Venecia, tenemos Manhattan,  
tenemos cenizas de revoluciones.

Tenemos zapatos, orgullo presente,  
tenemos costumbres, pudores, jadeos,  
tenemos la boca, la lengua, los dientes,  
saliva, cinismo, locura, deseo.

Tenemos el sexo y el rock y la droga,  
los pies en el barrio y el grito en cielo,  
tenemos Quintero, León y Quiroga,  
y un bisnes pendiente con Pedro Botero.

Más de cien palabras, más de cien motivos,  
para no cortarse de un tajo las venas,  
más de cien pupilas donde vernos vivos,  
más de cien mentiras que valen la pena.....

"Esta canción de amor surgió con el pretexto  
de convencer a una persona que acariciaba  
la idea del suicidio, de que había una  
infinidad de motivos para  
no hacerlo, y, al mismo  
tiempo, que todos  
eran mentira"  
J. Sabina

*Dedicatorias:*

---

*A Yola Landa R. por el incansable esfuerzo realizado  
para verme consumir mis sueños. Mil gracias  
por tu incomparable amor. A mi padre  
Roberto Hernández González,  
sin duda, tiene mérito.*

*A los mejores cómplices y amigos: Fabián Rivera,  
Fabiola Núñez, Gali Ávila, Vero Rivera, Gilberto  
Acosta. A Israel J. L. y Cuauhtémoc H. L.,  
otros cómplices más.*

*A tantas vidas, mundos y espacio  
que me han dado nuevamente la  
oportunidad de coincidir con  
Noelia Jiménez H.*

*Al Canelix, la Negra y a la  
Toska-bebe que no me han  
olvidado.*

*Al Arrecife de coral y su belleza.  
Al hipernutritivo caldo primigenio,  
la vida carajo!!!*

## Agradecimientos:

Al Dr. Jesús Ernesto Arias-González por brindarme la oportunidad y confianza de participar en su equipo de trabajo y poder realizar esta tesis, además de impulsar mis estudios de posgrado. Gracias.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (FES Iztacala), por darme la ocasión de realizar en ella mi vida académica, es un orgullo ser "puma". También al CINEVESTAV-IPN Unidad Mérida donde fue realizado este trabajo de tesis y al financiamiento económico para el mismo por parte de CONACYT.

Al sínodo revisor y sus acertados comentarios que beneficiaron este trabajo: Director de tesis Dr. J. Ernesto Arias-González por haberme dado su confianza, al M.C. Guillermo Horta-Puga por su amistad y a quién debo el gusto por los arrecifes de coral, a los profesores M.C. Sergio Cházaro y Biol. Asela Rodríguez, muy importantes en mi formación profesional, al Biol. Antonio Cisneros por su amabilidad y apoyo en la revisión final de este trabajo.

A los integrantes del "Caribbean Adventure Team", Laboratorio de Ecología de Ecosistemas de Arrecifes Coralinos: Carlos González, Enrique Núñez, Rodrigo Garza y muy especialmente a Miguel A. Ruiz Zárate quién fue parte importante para que este trabajo se llevara a cabo. A todos ellos mi sincero agradecimiento por su compañerismo y por hacer de las salidas al campo una verdadera aventura. Además quiero agradecer la valiosa y verdadera amistad de otros integrantes del LEEAC: Dr. Carlos Gandara, Biol. Quetzalli Sotelo (Quetita), Biol. Gilberto Acosta (Winny) y M.C. Néstor Membrillo.

Mi gratitud al Biólogo Jorge Novelo y al Dr. Eduardo Batllori por el apoyo desinteresado que de ellos recibí y sobre todo por su amistad.

A mi familia: Yola y Beto grande; y al pintor de las mujeres soles, mi pintor favorito, Cuauhtémoc (mi hermano), por que a pesar de que las circunstancias no han sido fáciles, hemos salido adelante..., o por lo menos lo seguimos intentando.

A don Chuy Jiménez, Javier Estrada, Zorobabel Jiménez, Alex de ambos e Israel (Calo) Jiménez, es chido saber que cuento con ustedes para apoyarme en cualquier momento.

A la autenticidad y sensibilidad de Noelia JH., te agradezco infinitamente haber estado conmigo en los momentos más difíciles, también por la energía que has invertido entendiéndome y por enseñarme la importancia de ser honesto consigo mismo. Gracias por tu magia.

Finalmente quiero reconocer a todos aquellos personajes que le han dado un sentido a mi vida: a Darwin y su "bendita" teoría de evolución, a la siempre enferma Frida Calo. Al hombre nuevo "Chie", "que putas puedo hacer" sin Jaime Sabines o sin la "táctica y estrategia" de Benedetti y también "viceversa"; aunque parezca una falta de respeto y atropello a la razón le agradezco al perro andaluz sin domesticar, Joaquín Sabina que con su música y cuatro copas de alquitrán en la voz me sigue acompañar muchas noches. A la Lacandona y sus hijos encapuchados, por que la dignidad tiene mil caras y, algunas veces usa pasamontañas. A tantos otros que he omitido por falta de memoria y no dejan de ser importantes. A todos aquellos que me comprenden, a los que no me comprenderán jamás y a los que piensan que hoy es aún muy temprano para entendernos. "Perdonadme señores que interrumpa ahora este cuento que les estoy contando y me vaya a vivir para siempre con la gente sencilla", P. Neruda.

<b>ÍNDICE</b>	<i>i</i>
<b>RESÚMEN</b>	<i>ii</i>
<b>Lista de Tablas</b>	<i>iii</i>
<b>Lista de Figuras</b>	<i>iv</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1. Generalidades sobre Arrecifes Coralinos	2
1.2. Actividades humanas que dañan a las comunidades de corales escleractinios	4
<b>2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS SOBRE ARRECIFES CORALINOS DEL GOLFO Y CARIBE MEXICANO</b>	6
<b>3. HIPÓTESIS</b>	9
<b>4. OBJETIVOS</b>	9
4.1. Objetivo general	9
4.2. Objetivos particulares	9
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	11
5.1. Características climáticas y oceanográficas del área de estudio.	11
5.2. Área de Estudio	11
<b>6. MATERIALES Y METODOS</b>	15
6.1. Descripción del Método <i>AGRA</i>	15
6.2. Trabajo de Campo	16
6.3. Análisis de datos	18
<b>7. RESULTADOS</b>	22
7.1. Abundancia	23
7.2. Coeficiente simple de Dominancia (CSD)	25
7.3. Diversidad	25
7.4. Tallas (diámetro y altura)	26
7.5. Mortalidad parcial (antigua y reciente)	29
7.6. Cobertura	32
<b>8. DISCUSIÓN</b>	34
8.1. Condición de los corales	36
<b>9. DIAGNÓSTICO</b>	45
<b>10. CONCLUSIÓN</b>	47
<b>11. BIBLIOGRAFÍA</b>	49
<b>ANEXOS</b>	55

## RESUMEN

---

México cuenta con arrecifes coralinos en diferentes regiones de las costas del océano Atlántico y el Pacífico. El mayor desarrollo arrecifal se localiza en la región del Caribe formando parte del segundo complejo arrecifal más grande del mundo, conocido como el Arrecife Mesoamericano (Arias-González, 1998). Sin embargo, existen pocos estudios sobre la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas, dando como resultado un pobre conocimiento de los recursos biológicos y económicos que proveen los arrecifes de coral. Por lo tanto, es vital desarrollar investigaciones científicas orientadas hacia el conocimiento de la salud y desarrollo actual de los arrecifes coralinos. Esto nos permitiría ajustar adecuadamente los planes de manejo ya existentes e incrementar nuevas estrategias de conservación en los arrecifes del país. El propósito de este trabajo fue diagnosticar el estado de salud en tres arrecifes; evaluando diferentes descriptores de condición en la comunidad de corales escleractinios, consideradas en la metodología de valoración rápida de *AGRRA* (*Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment*, Stenek y Lang, 1997, Ginsburg *et al.*, 1998). El área de estudio fue la porción sur del Caribe mexicano, frente a las localidades de Mahahual, Xahuayxol y Xcalak (Figura 1). Este estudio se realizó durante 1999. Los arrecifes estudiados son equidistantes entre sí (25 a 30 Km aproximadamente). La zona de cordilleras y canales de la pendiente arrecifal, a la profundidad de 10 m, fue elegida para realizar el muestreo. Se tendió una línea-transecto de 10 m de longitud con dirección paralela a la línea de costa, sobre la estructura arrecifal. Se registró la siguiente información *in situ* de las colonias coralinas: profundidad de la colonia, identificación de la especie, altura y diámetro máximo, mortalidad parcial y cobertura coralina. A nivel de arrecife, se realizó una comparación a partir de los descriptores de condición antes mencionados. Cuando fue necesario y para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad de la estadística paramétrica, los datos fueron transformados. Se aplicaron análisis de varianza de una vía. Sólo la mortalidad antigua no cumplió con estos supuestos, por lo cual fué tratada con el ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis (Zar, 1996, Sokal y Rohlf, 1997). Se realizaron un total de 116 transectos y se registraron 6 familias y 18 especies de corales escleractinios. A nivel de arrecife las abundancia no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). El valor más alto del índice Shannon-Wiener y de la Equidad de Pielou, se encontró en Xcalak (3.55 bits y 0.91 respectivamente). El ANOVA indicó que no hubo diferencias significativas en diversidad ( $p > 0.05$ ). Respecto a las tallas coloniales, el ANOVA señaló que los diámetros no tuvieron variación significativa ( $p > 0.05$ ). Por el contrario ANOVA aplicado a las alturas máximas mostró significancia ( $p < 0.05$ , con 95% de confianza, MDS de Fisher) en Mahahual donde se presentó el mayor promedio en las tallas coloniales. El ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis indicó variación significativa ( $p < 0.05$ ) en la mortalidad antigua y en el caso de la mortalidad reciente, sí se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ , con 95% de confianza, MDS de Fisher), entre Mahahual y Xcalak, cuyos arrecifes poseen el mayor y menor valor en esta variable, respectivamente. Finalmente la cobertura coralina

también mostró significancia ( $p < 0.05$ , con 95% de confianza, MDS de Fisher) entre los tres arrecifes. Los resultados obtenidos de esta evaluación fueron importantes para conocer que influencia tienen en ellos las perturbaciones de origen humano y/o natural. Además, la información pudo ser comparada con otras evaluaciones de condición realizadas en el Atlántico Oeste donde también fue empleada la metodología *AGRRA* (Stenek y Lang, 1997; Kramer y Gisburg, 1998; Peckol *et al.*, 1998; Alcolado y Claro, 1999; Arias-González *et al.*, 1999; Pattengill y Shyka, 1999; Deschamps y Desrochers, 1999; García *et al.*, 1999, Horta-Puga y Barba-Santa, 1999, Kramer y De Meyer, 1999; Klomp *et al.*, 1999; Manfrino y Riegl, 1999; Peckol *et al.*, 1999, Villimizar y Posada, 1999; en página Web, NOAA, 1999. [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html)). Siendo los principales agentes perturbadores de los corales escleractinios en esta región del Caribe, diferentes fenómenos naturales como huracanes y eventos masivos de blanqueamiento coralino, así como la constante perturbación debido a diversas actividades y desarrollo humano aledañas a las zonas costeras (Daltabuit-Godás, 1999). El diagnóstico de salud para los arrecifes de Mahahual, Xahuayxol y Xcalak fue catalogado en este estudio como “bueno”. Sin embargo, estos arrecifes se encuentran en peligro de ser degradados rápidamente, ya que son constantemente impactados por diversos agentes estresantes como los antes mencionados. Por lo tanto es indispensable realizar monitoreos constantes e implementar programas de manejo sustentable en los arrecifes encontrados con un grado de perturbación alta y promoverlos como candidatos a áreas protegidas y reservas.

## LISTA DE TABLAS

	Páginas
<b>Tabla 1.</b> Posiciones geográficas, número de transectos realizados, número de colonias registradas, densidad colonial (colonias/m lineal) y profundidad promedio por sitio y Arrecife evaluado.	22
<b>Tabla 2.</b> Especies registradas por Arrecife, número de colonias por sitio y abundancia especie.	24
<b>Tabla 3.</b> Por arrecife se indica el número de especies (S) presentes, los valores obtenidos de Índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y el valor de Equidad de Pielou (J).	26
<b>Tabla 4.</b> Comparación de resultados de estudios realizados con la metodología del Protocolo <i>AGRRA</i> en el Golfo de México y Caribe	44

## LISTA DE FIGURAS

	Páginas
<b>Figura 1.</b> Mapa del área de estudio	12
<b>Figura 2.</b> Vista panorámica de la laguna y cresta arrecifal en el Arrecife Mahahual	13
<b>Figura 3.</b> Vista panorámica de la laguna arrecifal en el Arrecife Xahuayxol	14
<b>Figura 4.</b> Vista panorámica de la laguna y cresta arrecifal en el Arrecife Xcalak	14
<b>Figura 5.</b> Ilustración del registro de datos bajo el agua	17
<b>Figura 6.</b> Abundancia absoluta de colonias coralinas registradas en cada Arrecife.	23
<b>Figura 7.</b> Coeficiente Simple de Dominancia (CSD) de las especies registradas en los arrecifes estudiados. Se muestran las especies en orden de importancia de izquierda a derecha	25
<b>Figura 8.</b> Tallas promedio de las especies de coral del Arrecife Mahahual.	27
<b>Figura 9.</b> Tallas promedio de las especies de coral del Arrecife Xahuayxol	27
<b>Figura 10.</b> Tallas promedio de las especies de coral del Arrecife Xcalak	28
<b>Figura 11.</b> Tallas promedio (diámetros y alturas) de las colonias de coral (>25 cm) en los arrecifes evaluados.	28
<b>Figura 12.</b> Mortalidad parcial (antigua y reciente) de las especies registradas en Mahahual.	30
<b>Figura 13.</b> Mortalidad parcial (antigua y reciente) de las especies registradas en Xahuayxol	30
<b>Figura 14.</b> Mortalidad parcial (antigua y reciente) de las especies registradas en Xcalak	31
<b>Figura 15.</b> Mortalidad antigua (%), reciente (%) y colonias identificables completamente muertas (%) en cada Arrecife evaluado	31
<b>Figura 16.</b> Porcentaje total de cobertura coralina viva en cada Arrecife analizado.	33

## 1. INTRODUCCIÓN

La República Mexicana posee una importante riqueza biológica ya que cuenta con diferentes ecosistemas terrestres y marinos. Uno de ellos es el arrecife de coral que se encuentra entre los ecosistemas más diversos y productivos del planeta. Connell (1978) compara los arrecifes coralinos con las selvas altas perennifolias por su gran diversidad y alta complejidad. Debido a esto se les considera como uno de los sistemas biológicos de mayor relevancia y como parte importante del patrimonio mundial.

México cuenta con arrecifes coralinos en diferentes regiones de las costas del océano Atlántico y el Pacífico. Sin embargo, el mayor desarrollo arrecifal se localiza en las costas del Caribe mexicano. Allí se extiende de forma casi continua desde Isla Contoy hasta la frontera con Belice un complejo arrecifal de aproximadamente 400 Km de largo; que en conjunto con los arrecifes de este país, Guatemala y Honduras conforman el segundo complejo arrecifal más grande del mundo, después de la Gran Barrera Arrecifal de Australia, conocido como el Arrecife Mesoamericano (Arias-González, 1998).

A pesar de la gran cantidad de arrecifes coralinos en todo el litoral de nuestro país existen pocos estudios ecológicos sobre la estructura y funcionamiento de estos sistemas. Esto da como resultado un pobre conocimiento de los recursos biológicos y económicos que proveen los arrecifes coralinos. Este desconocimiento provoca que exista una carencia de criterios bajo los cuales se pueda evaluar la degradación ambiental y el estado de condición en el que se encuentran actualmente los arrecifes coralinos (Arias-González, *et al.*, 2000).

Dadas estas condiciones, es vital desarrollar investigaciones científicas orientadas hacia el estudio del estado de condición y desarrollo actual de los arrecifes coralinos, así como hacia el estudio de los diferentes tipos de respuesta estructural y funcional que tienen los arrecifes a un cierto impacto y cuál es su resistencia (Arias-González, 1998). Esto podría permitirnos ajustar adecuadamente los planes de manejo ya existentes e incrementar nuevas estrategias de conservación en los arrecifes coralinos del país.

Con este trabajo se pretendió conocer el estado de condición en tres arrecifes de la costa Sur del Caribe Mexicano; para lo cual se evaluaron diferentes descriptores de condición en la comunidad de corales escleractínios. Los arrecifes se ubican frente a las localidades de Mahahual, Xahuayxhol y Xcalak.

### 1.1. Generalidades sobre Arrecifes Coralinos.

Los arrecifes coralinos son comunidades biológicas que se desarrollan en aguas tropicales someras, en las regiones zoogeográficas del Indo-Pacífico y del Atlántico Occidental. Se encuentran restringidas al cinturón tropical, localizado entre los 30°N y 30°S. Presentan una serie de estrechas relaciones entre sí, además de tener una gran influencia e interacciones con la dinámica ecológica de las zonas costeras en donde se localizan, ya que constituyen una barrera natural que recibe el embate de las olas haciendo más estables las aguas que quedan protegidas de esta manera y evitando la erosión costera (Jordán, 1993-a).

Presentan un desarrollo óptimo en aguas cálidas, claras y poco profundas (hasta donde llega el 40% de la iluminación superficial, que es aproximadamente a los 60 m), con una temperatura anual entre 20°C y 29°C, una salinidad entre 34 y 37 y un pH que oscila entre 7.5 y 8.4. (Rogers *et al.*, 1994).

La construcción del arrecife ocurre donde las condiciones ecológicas permiten el establecimiento de las larvas planctónicas de coral y de su alga asociada que vive y realiza la fotosíntesis en el interior del pólipo. En dicha asociación reside toda la productividad biológica del ecosistema arrecifal (Barnes *et al.*, 1986). Por esta razón los corales viven únicamente en aguas con menos de cien metros de profundidad, aunque la mayoría no se establece más allá de los 50 m (Goreau *et al.*, 1979). Sin embargo, el rango de profundidad óptima para los corales escleractínios comprende los límites entre la marea baja y los 40 m de profundidad, con un máximo entre los 10 a 25 m. Después de los 30 m decrece tanto la abundancia como el número de especies, aunque existen registros excepcionales de corales hermatípicos encontrados a 115 m de profundidad en las Bahamas (Loya, 1972).

A pesar de que las aguas donde se desarrollan los arrecifes coralinos son pobres en nutrientes, existen altas tasas de fijación fotosintética de carbono, nitrógeno y de depósitos de carbonato de calcio (Goreau,1979). La clave de esta productividad es la biología única de los corales escleractínios, que desempeñan un papel fundamental en la estructura y el ciclo de nutrientes de la comunidad arrecifal

Los corales están constituidos por unidades llamadas pólipos, que consisten fundamentalmente de una cavidad digestiva rodeada de tentáculos. Estos animales viven en simbiosis con unas algas unicelulares llamadas zooxantelas, que se alojan en el revestimiento de la cavidad intestinal del pólipo y juegan un papel importante para determinar las tasas de calcificación de los corales, por lo que éstos son capaces de formar un esqueleto calcáreo masivo que se va depositando sobre el sustrato a través del tiempo (Gutiérrez *et al.* , 1993-a).

Los organismos que contribuyen en la construcción de la estructura y adición de sustrato en el arrecife son denominados hermatípicos, ya que forman con sus esqueletos el armazón rígido que Goreau y Goreau (1973) definen como una estructura con enorme resistencia al movimiento de la masa de agua y con alta estabilidad mecánica.

Los principales organismos que forman dicha estructura son los corales escleractínios cuyo esqueleto se ve incrementado por acreaciones calcáreas de generaciones sucesivas de organismos, mientras que el tejido vivo permanece en la capa superficial.

A través del tiempo, el material calcáreo depositado forma una estructura compleja debido al entrelazado de esqueletos de los organismos de épocas anteriores, que se modifican con el crecimiento de las comunidades presentes. El crecimiento arrecifal es tan solo de unos centímetros por año y resulta de un balance entre procesos biológicos de calcificación (acreación), procesos físicos, químicos y biológicos que causan destrucción (erosión). Estos procesos regulan la dinámica del material calcáreo y determinan la construcción de la comunidad arrecifal (Wells, 1973).

## 1.2. Actividades humanas que dañan a la comunidad de corales escleractínios.

- Recolección de ejemplares; tanto de peces para comercializarse como piezas de ornato, como de esqueletos de corales que son utilizados como material de construcción o recuerdos para turistas.

- Daño físico, ya sea parcial o total de las colonias coralinas y otros organismos arrecifales provocados por actividades negligentes de buzos y de la circulación de embarcaciones y anclaje de las mismas.

- Resuspensión de sedimento provocado por actividades humanas como la circulación de embarcaciones y dragados que afectan el crecimiento coralino, disminuyendo también la tasa de reclutamiento (Johannes, 1975). También el desarrollo de infraestructura turística, provoca el aumento en el aporte de sedimento al arrecife, más aún si se efectúan dragados.

- Los afluentes urbanos, que comúnmente están cargados de materia orgánica, aportan concentraciones elevadas de materiales fosfatados y nitrogenados (Op. cit.; Muñoz, 1992). Dichos compuestos son aprovechados por productores primarios como las algas; que como respuesta se desarrollan desmedidamente y llegan incluso a cubrir a los corales, impidiendo el libre flujo de oxígeno, alimento y luz a éstos y otros organismos bentónicos. Esta situación promueve un incremento en las poblaciones de herbívoros y la competencia por espacio, luz y oxígeno se intensifica (Milory, 1999). Aunado a lo anterior el aumento en la concentración de nutrimentos a niveles de eutrofización provoca una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, al grado de amenazar la sobrevivencia en el arrecife al momento en que el oxígeno se torna cada vez más limitado. Además las condiciones de anoxia en el sedimento, favorecen el desarrollo de bacterias anaerobias cuyo subproducto metabólico, el ácido sulfhídrico es letal para los corales. (Johannes, 1975).

- La contaminación por petróleo y sus derivados así como por biocidas tienen un efecto negativo sobre el metabolismo de los organismos arrecifales en general (Cáceres, 1999).

- El desarrollo costero y el poco interés por parte de las autoridades correspondientes y lugareños por conservar el entorno natural, trae como consecuencia ecológica la utilización sin control de un recurso, que a largo plazo conduce a su destrucción.

## 2. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS SOBRE ARRECIFES CORALINOS DEL GOLFO Y CARIBE MEXICANO

Los estudios sobre arrecifes coralinos se han realizado en diversos sentidos. Sin embargo aún queda mucho por descubrir acerca del funcionamiento de estos complejos ecosistemas marinos. De los trabajos preliminares sobre arrecifes coralinos de la Península de Yucatán, Jordán (1979) describió la estructura general y biota coralina del sistema arrecifal del noreste de la Península, encontrando tres tipos de desarrollo arrecifal: arrecife de barrera, arrecife bordeante y crecimientos importantes dentro de caletas. Este mismo autor (1981) hizo estudios sobre las comunidades de los arrecifes coralinos del Caribe mexicano. Por su parte Castañares y Soto (1982) describieron taxonómicamente 38 especies de corales escleractínios hermatípicos de la Península de Yucatán.

Chávez *et al.* (1985), contribuyeron con diversos aspectos al conocimiento de arrecifes coralinos a partir del análisis comparativo de cinco arrecifes de la Península de Yucatán (Cayo Arcas, Triángulos Oeste, Cayo Arenas, Arrecife Alacranes y Banco Chinchorro). Chávez e Hidalgo (1988) discuten desde el punto de vista socioeconómico, el impacto humano sobre los arrecifes coralinos del Caribe noroccidental y el Golfo de México. Tunell (1988) realizó una comparación de los arrecifes del Golfo de México y del Mar Caribe. Jordán (1989) analizó cuál es el efecto de la morfología del sustrato sobre el desarrollo de la comunidad coralina, en arrecifes de la región Centro-Norte del litoral de Quintana Roo. Además para estas fechas estimó que de los 1500 Km cuadrados de bancos arrecifales y arrecifes insulares que existen en México, más los 400 Km de arrecifes de borde a lo largo del Caribe Mexicano, probablemente solo el 30% o 40% habían sido objeto de descripciones generales y no más del 55% han sido propiamente descritos y caracterizados en términos de proveer información con propósitos de manejo y seguimiento de su desarrollo.

Gutiérrez *et al.* (1990) propusieron la existencia de subregiones arrecifales en los arrecifes del Caribe mexicano, de acuerdo a las características ambientales que influyen en ellos. Los efectos del Huracán Gilberto sobre las poblaciones de corales, peces y esponjas

de la Isla Cozumel, fueron descritos por Fenner (1991). Muñoz (1992) estudió la comunidad bentónica del Arrecife Akumal, Quintana Roo; utilizando fotografía submarina y analizó cuantitativamente los principales componentes macroscópicos y unidades morfofuncionales.

Una breve descripción de los arrecifes coralinos del Golfo de México y el Caribe fue presentada por Carricart y Horta (1993). Gutiérrez *et al.* (1993-a) publicaron un plan de manejo para el sistema arrecifal de Sian Ka'an, dando a conocer los límites de la Reserva, formaciones coralinas e identificación y proporción de zonas núcleo; en ese mismo año Gutiérrez *et al.* (1993-b) realizaron una comparación entre los arrecifes de Veracruz y Quintana Roo. Jordán en (1993-a) describió el Ecosistema Arrecifal Coralino del Atlántico Mexicano y en ese mismo año (1993-b) elaboró un atlas de los arrecifes del Caribe Mexicano, señalando su ubicación para la mayor parte del litoral y proporcionó una serie de mapas donde se muestran las comunidades coralinas del área. Tunnell *et al.* (1993), realizó una caracterización ecológica en una porción del Sudoeste de Quintana Roo llamada "El Placer", logrando por medio de censos visuales y parámetros cualitativos y cuantitativos, describir un perfil característico del lugar y definir zonas arrecifales en particular.

La Demografía y Dinámica de la Población del coral escleractinio *Acropora palmata* en Quintana Roo, México, fue estudiada por Padilla (1996). Con el fin de cuantificar las comunidades bentónicas y de peces, Chávez (1997) describió cuál es tipo de muestreo más útil para estudiar los arrecifes de la Península de Yucatán. En Marzo de 1997, Steneck y Lang realizaron un estudio en Akumal y Xcalak, Quintana Roo a partir de una metodología diseñada para evaluación arrecifal, llamada *Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment (AGRRRA)*. Maldonado (1998), estudió la estructura del paisaje arrecifal de Mahahual, Quintana Roo; obteniendo un total de doce paisajes, proporcionando así una idea de como está definido el arrecife. Aguilar, (1998) describió la geomorfología general y estructura de la Comunidad de Corales Escleractínios en el Arrecife de Mahahual, Quintana Roo.

De los estudios más recientes en el Caribe mexicano, cabe mencionar los realizados por Fenner (1998), quién describió algunos aspectos de la comunidad coralina en la zona de sotavento de la Isla Cozumel, este mismo autor en 1999 realizó nuevas observaciones para comparar los corales pétreos (Escleractinea, Milleporidae y Stylasteridae) de Belice y Cozumel. Cáceres (1999), realizó una descripción del arrecife Boca Paila, ubicado dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo. Milory (1999) evaluó los efectos de la disponibilidad de luz en las comunidades de corales escleractínios en arrecifes de la Biosfera de Sian Ka'an, México. Garza-Pérez (1999 y en prensa), realizó un análisis comparativo de cuatro comunidades coralinas, en arrecifes del Caribe mexicano, dando a conocer el estado de condición general de cada arrecife estudiado y realiza una evaluación del arrecife Mahahual, antes y después de un evento de blanqueamiento. Ruiz-Zárata (2000) realizó un análisis espacial del reclutamiento coralino y evalúa la condición arrecifal a lo largo del Caribe mexicano. Finalmente cabe mencionar, algunos estudios de valoración arrecifal en el Atlántico y Golfo de México, utilizando la metodología conocida como *AGRA*: Stenek y Lang, 1997; Kramer y Gisburg, 1998; Peckol *et al.*, 1998; Alcolado y Claro, 1999; Arias-González *et al.* , 1999; Pattengill y Shyka, 1999; Deschamps y Desrochers, 1999; García *et. al*, 1999, Horta-Puga y Barba-Santa , 1999, Kramer y De Meyer, 1999; Klomp *et al.*, 1999; Manfrino y Riegl, 1999; Peckol *et al.*, 1999, Villimizar y Posada, 1999; en página Web, NOAA. 1999. [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html).

### 3. HIPOTESIS

La riqueza de especies y algunos descriptores de condición pueden servir como indicadores genéricos para conocer la salud de la comunidad de corales escleractinios en tres arrecifes de la costa sur de Quintana Roo, esperando diagnosticar un índice bajo de deterioro y una alta riqueza de especies.

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. Objetivo general

Obtener un diagnóstico del estado de salud de la comunidad de corales escleractinios en los arrecifes Mahahual, Xahuayxol y Xcalak, de acuerdo a la metodología de valoración rápida *Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment (AGRR)*; la cual toma en consideración diferentes descriptores de condición.

#### 4.2. Objetivos particulares

1.- Identificar en cada arrecife las especies que integran la comunidad de corales escleractinios (>25 cm) a una profundidad promedio de 10 m en la zona de cordilleras y canales.

2.- Estimar el porcentaje de cobertura lineal de tejido coralino vivo por arrecife.

3.- En las colonias coralinas (>25 cm), estimar abundancia (absoluta y relativa), riqueza de especies, obtener la dominancia de especies, registrar tallas promedio (diámetros y alturas máximas) y evaluar el porcentaje de mortalidad parcial (antigua y reciente) en cada arrecife.

4. - Realizar una comparación entre arrecifes, con base en los siguientes atributos: abundancias, riqueza de especies, dominancia, tallas, mortalidad parcial y cobertura coralina viva de los corales escleractinios.

5. – Obtener un diagnóstico de condición de los corales escleractínios en cada arrecife evaluado, con base en los aspectos antes mencionados.

### 3. HIPOTESIS

La riqueza de especies y algunos descriptores de condición pueden servir como indicadores genéricos para conocer la salud de la comunidad de corales escleractinios en tres arrecifes de la costa sur de Quintana Roo, esperando diagnosticar un índice bajo de deterioro y una alta riqueza de especies.

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. Objetivo general

Obtener un diagnóstico del estado de salud de la comunidad de corales escleractinios en los arrecifes Mahahual, Xahuayxol y Xcalak, de acuerdo a la metodología de valoración rápida *Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment (AGRR)*; la cual toma en consideración diferentes descriptores de condición.

#### 4.2. Objetivos particulares

1.- Identificar en cada arrecife las especies que integran la comunidad de corales escleractinios (>25 cm) a una profundidad promedio de 10 m en la zona de cordilleras y canales.

2.- Estimar el porcentaje de cobertura lineal de tejido coralino vivo por arrecife.

3.- En las colonias coralinas (>25 cm), estimar abundancia (absoluta y relativa), riqueza de especies, obtener la dominancia de especies, registrar tallas promedio (diámetros y alturas máximas) y evaluar el porcentaje de mortalidad parcial (antigua y reciente) en cada arrecife.

4. - Realizar una comparación entre arrecifes, con base en los siguientes atributos: abundancias, riqueza de especies, dominancia, tallas, mortalidad parcial y cobertura coralina viva de los corales escleractinios.

5. – Obtener un diagnóstico de condición de los corales escleractínios en cada arrecife evaluado, con base en los aspectos antes mencionados.

## **5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **5.1. Características climáticas y oceanográficas del área de estudio.**

La porción del océano Atlántico correspondiente a México presenta clima subtropical a tropical, posee una variación de temperatura media anual de 26° a 28 °C y una precipitación de 1100 a 2000 mm (Secretaría de Marina 1983). Los vientos dominantes durante casi todo el año son del nordeste y este, pudiendo cambiar de sureste durante el verano de octubre a marzo se presentan invasiones de aire polar conocidas como “nortes”, con velocidades entre 12 y 45 km/h y rachas hasta de 110-120 km/h (Comisión Nacional del Agua, 1998). De junio a noviembre el Atlántico sufre en promedio 9 tormentas tropicales, proveyendo la mayor parte de las lluvias en este periodo (Merino y Otero 1991, Luna-Bauza 1994).

En general, los datos oceanográficos señalan que los arrecifes del Caribe se encuentran en el paso de una corriente oceánica de gran intensidad (Merino 1986), una parte de la corriente Ecuatorial Norte fluye por las Antillas menores y al chocar con la costa este de la península de Yucatán corre de sur a norte, pasando por el canal de Yucatán hacia el Golfo de México (Secretaría de Marina 1974). El rango de la temperatura media anual superficial, registrado en un punto cercano al área de estudio (Cozumel) es de 23.8°C a 29.9°C y un promedio anual de 35.4 de salinidad (Grivel-Piña 1979)

### **5.2. Área de Estudio.**

Los arrecifes que fueron considerados como área de estudio, se encuentran ubicados en la parte sur del Caribe mexicano, frente a las localidades de Mahahual, Xahuayxol y Xcalak (Figura 1).

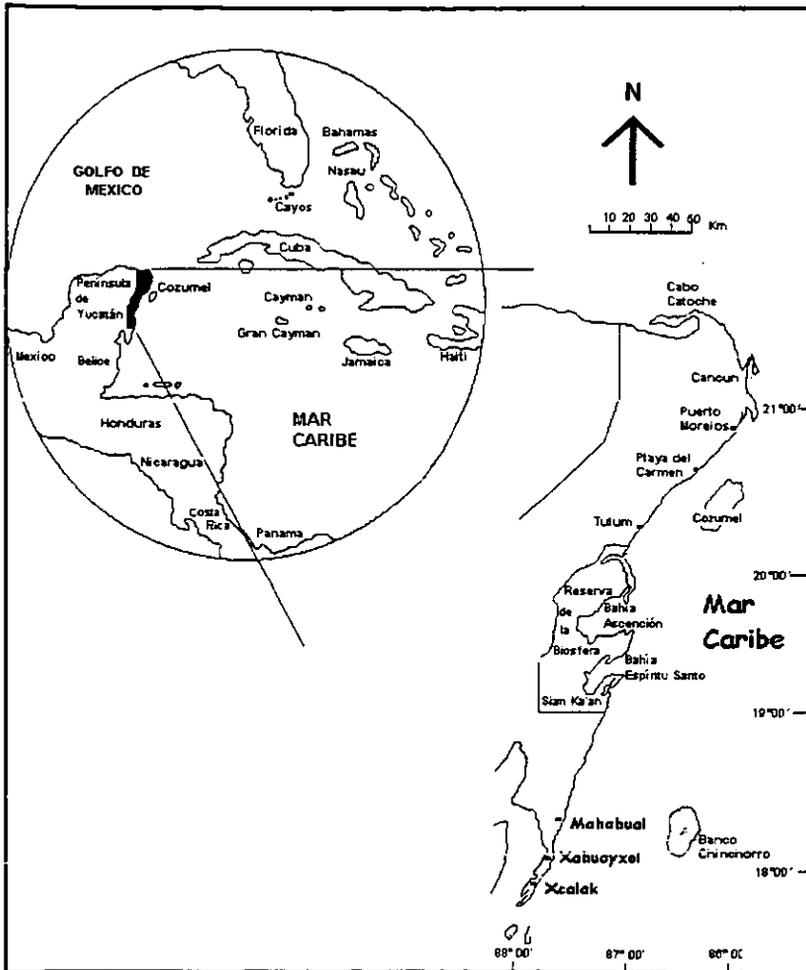


Figura 1.- Mapa del área de estudio, donde se observa la ubicación de los tres Arrecifes evaluados (modificada de Núñez-Lara y Arias-González, 1998; Arias-González, 1998).

**Mahahual:** Se localiza entre los 18°43'01" de latitud norte y 87°42'09" longitud oeste, al noroeste de la Bahía de Chetumal. El arrecife frente al poblado del mismo nombre presenta una laguna arrecifal somera (0.5 a 1.5m) y mide de 150 a 400 m de ancho, desde la costa a la barrera arrecifal. El fondo es arenoso con áreas extensas cubiertas por pastos marinos principalmente de la especie *Thalassia testudinum* y algunas colonias pequeñas de coral. La cobertura de coral se incrementa hacia la cresta y alcanza su mayor abundancia y diversidad hacia el frente y pendiente arrecifal. En estas zonas la configuración estructural es de tipo "cordilleras y canales" y presentan alternativamente, grandes macizos calcáreos e islotes arrecifales (Núñez-Lara 1998a) (Figura 2).



Figura 2. Vista panorámica de la laguna y cresta arrecifal en el Arrecife Mahahual.

**Xahuayxol:** Se encuentra localizado entre los 18°30'25" latitud norte y 87°45'13" longitud oeste aproximadamente 30 Km al sur de Mahahual. Cuenta con una laguna arrecifal amplia, de 400 a 600m y está caracterizada por la gran densidad de parches coralinos y gran cobertura de pastos marinos (*T. testudinum*). El arrecife posterior se encuentra bien definido y está dominado por grandes macizos de coral y de gorgonáceos. La cresta arrecifal es claramente visible en la superficie y se encuentra conformada en su mayoría por corales masivos y ramosos. El frente y la pendiente arrecifal están bien desarrollados formando un gran sistema de cordilleras y canales de arena de hasta 6 m de ancho y formaciones de corales masivos de hasta 6 m de altura, en algunas partes incluso llegan a presentar mayores alturas (Figura 3).

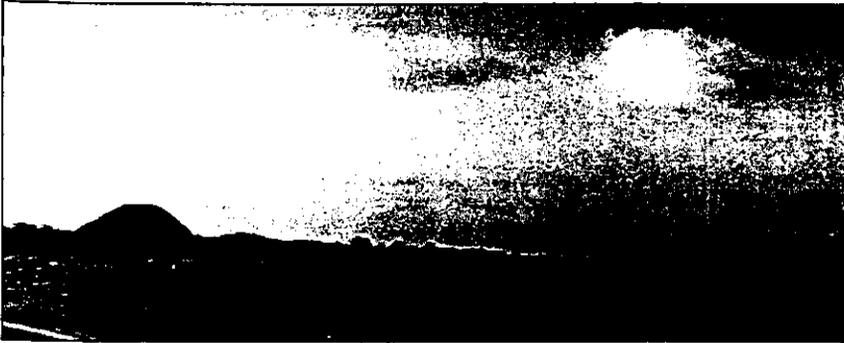


Figura 3. Vista panorámica de la laguna arrecifal en el Arrecife Xahuayxol.

Xcalak: Esta localidad esta situada en la porción más al sur del área de estudio a  $18^{\circ}13'09''$  latitud norte y  $87^{\circ}49'54''$  longitud oeste; aproximadamente 30 Km al sur de Xahuayxol. Cuenta con una laguna arrecifal más amplia, que los otros dos sistemas estudiados, de aproximadamente 1000 m. La laguna esta dominada por una amplia cobertura del pasto marino *T. testudinum* y parches aislados de corales escleractinios y gorgonáceos. El arrecife posterior y la cresta arrecifal están bien definidos, está última emerge casi en su totalidad. Esta zona arrecifal está dominada por corales pétreos masivos y ramosos. El frente arrecifal presenta pendientes abruptas bien desarrolladas. La estructura es de cordilleras y canales, conformado por formas masivas de coral (Figura 4).

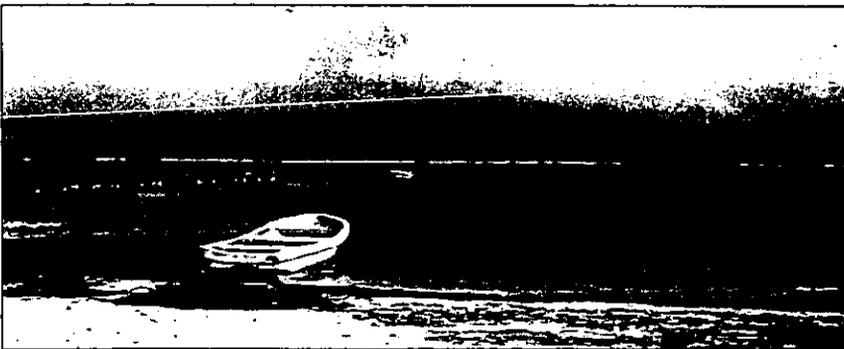


Figura 4. Vista panorámica de la laguna y cresta arrecifal en el Arrecife Xcalak.

## 6. MATERIAL Y MÉTODO

### 6.1. Descripción del Método *AGRRA* (*Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment*, Stenek y Lang, 1997, Ginsburg *et al.*, 1998).

Condición del coral.- El método *AGRRA* se enfoca a evaluar la condición de los principales corales escleractínios que más contribuyen a la estructura tridimensional y complejidad de los arrecifes. La vitalidad de estos corales, responsables de la construcción y mantenimiento del armazón arrecifal, es importante para la persistencia a largo plazo de un arrecife coralino (Dustan, 1994). El método estima principalmente la cobertura total de coral y para los corales hermatípicos más grandes (mayores a 25 cm de diámetro máximo), evalúa el reconocimiento de especies, mortalidad parcial (tanto reciente como antigua), tamaño (diámetro y altura máxima). Además de la incidencia de enfermedades/blanqueamiento/asociación con peces damisela y causas posibles de mortalidad reciente.

Un aspecto sobresaliente del método *AGRRA*, es el hecho de considerar la mortalidad parcial. El uso de mortalidad de tejido coralino como un indicador de la condición de un arrecife ha sido bien establecido (Stenek y Lang, 1997, Ginsburg *et al.*, 1998). *AGRRA* además distingue entre mortalidad reciente y antigua. “**Mortalidad reciente**” se define como cualquier parte no viviente del coral en la cuál los esqueletos puedan encontrarse, ya sea intactos, o cubiertos por una delgada capa de algas filamentosas o fango. En contraste “**Mortalidad antigua**” se define como cualquier parte no viviente del coral en el que las estructuras esqueléticas ya no se reconocen o están cubiertos por organismos que no se eliminan fácilmente (e.g., ciertas algas e invertebrados incrustantes). La metodología *AGRRA* considera que la evaluación de la mortalidad parcial es una herramienta poderosa para cuantificar la condición de un arrecife.

En general, se supone que un arrecife “saludable” tendría poca evidencia de muerte coralina reciente y altos porcentajes de cobertura, mientras que aquellos que presentan altos niveles de mortalidad reciente indicarían que un gran evento perturbador ha ocurrido últimamente (días a meses previos), o que aun está ocurriendo. Una comunidad coralina

donde las colonias tengan solo cantidades pequeñas de tejido muerto (<50%), sería considerada en **buena condición**. Aquellas en la que muchas colonias están muertas en pie o donde más del 50% del tejido este muerto, serían consideradas **seriamente degradadas** y con pocas posibilidades de recuperación.

## 6.2. Trabajo de Campo.

Se realizaron visitas a la zona de estudio que comprendieron los meses de Junio, Julio y Agosto de 1999. El primer paso fue marcar el área de estudio empleando un geoposicionador satelital (GPS) marca MAGELLAN, modelo Trailblezer XL. El área de estudio se encuentra entre las latitudes 18°43'24"N y 18°12'39"N y comprende aproximadamente 60 Km de longitud. Se seleccionaron tres arrecifes, frente a las localidades de Mahahual, Xahuayxol y Xcalak, las cuáles son equidistantes entre sí ( de 25 a 30 Km aproximadamente). Para efectuar las réplicas de muestreo, cada arrecife fue seccionado en tres sitios (norte, centro y sur), aproximadamente de 1 Km de longitud cada uno; facilitando realizar así, las unidades muestrales correspondientes.

El primer escalón de la pendiente arrecifal, donde se localiza la zona de cordilleras y canales, fue elegido para realizar este estudio. Se tendió una línea de cabo de 10 m de largo con lastre atado a cada extremo, la cual se colocó al azar, sobre la estructura arrecifal con dirección paralela a la línea de costa. Se evitaron siempre los canales de arena. Debido a que el uso de equipo SCUBA limita el tiempo de trabajo bajo el agua, se hizo lo posible por realizar de 10 a 15 transectos por sitio con el fin de registrar el mayor número de colonias de corales escleractínios, pretendiendo obtener un tamaño de muestra lo más robusto posible.

Sobre hojas diseñadas en laboratorio (Anexo 1) se registró la siguiente información de las colonias coralinas mayores a 25 cm de diámetro máximo: profundidad a la que se encontraba la parte más alta de cada colonia, identificación *in situ* hasta el mínimo taxón posible (generalmente hasta especie) y sólo cuando fue estrictamente necesario se colectaron pequeños fragmentos de la colonia para su posterior identificación con ayuda de

la guía de identificación de Humann (1994). Se midió la altura y diámetro máximo o extremos más distantes de la colonia; se identificó el tipo de mortalidad (reciente y/o antigua) y se registró el porcentaje presente en cada colonia. Además se tomó registro de todas las colonias de coral que fueran identificables y que estuvieran completamente muertas.

La cobertura fue estimada a partir de registrar el tejido coralino vivo (cm) encontrado directamente bajo el transecto. Las medidas fueron tomadas utilizando un tubo de pvc de 1.5'' de diámetro marcado cada 10 cm. Para medir la cobertura coralina se tomaron en cuenta todas las colonias sin importar el tamaño. Esto es, se midió el tejido vivo de toda colonia de coral escleractinio bajo la línea- transecto. La ilustración de la figura ejemplifica el trabajo realizado para la obtención de los datos correspondientes a corales escleractinios de acuerdo a la metodología *AGRR*.

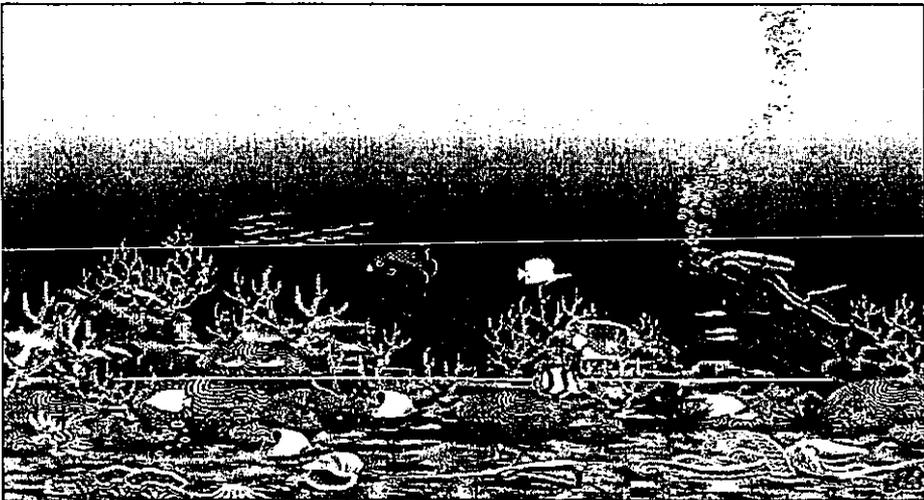


Figura 5.- Se ilustra el trabajo bajo el agua para obtener los datos correspondientes a corales escleractinios de acuerdo a la metodología *AGRR*.

### 6.3. Análisis de datos.

Se obtuvo la abundancia absoluta de cada especie identificada (colonias de coral > 25 cm) por sitio (norte, centro y sur) y arrecife. Además, a este nivel se obtuvo la abundancia relativa por especie, empleando la siguiente fórmula:

$$\underline{\# \text{ de individuos de la especie } i \div \text{ Total de individuos de todas las especies } \times 100}$$

Para poder comparar entre arrecifes, las abundancias absolutas fueron transformadas con  $\sqrt{X}$  (Zar, 1996, Sokal y Rohlf, 1997). Un análisis de varianza de una vía fue aplicado posteriormente. Para conocer cuales son las especies con la mayor dominancia en el área de estudio se obtuvo el Coeficiente Simple de Dominancia (CSD).

La diversidad se entiende como la proporción que guarda cada especie con respecto al número total de ellas presentes en la comunidad. La medida más sencilla de diversidad la proporciona la riqueza específica, que es el número de especies distintas presentes en una comunidad definida (Marrugan 1988, en Jiménez, 1999). A partir de las especies de coral (>25 cm de diámetro máximo) se obtuvo el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H'). Este índice plantea que la diversidad puede ser medida de forma similar a un código o mensaje, proporcionando una medida de heterogeneidad de la comunidad; otorgándole más peso a las especies raras que comunes. Además se obtuvo la Equidad de Pielou (J) (English *et al.*, 1997) la cual proporciona una idea de la distribución de los individuos de las distintas especies en una comunidad específica (Krebs, 1985). Las expresiones matemáticas correspondientes son las siguientes:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i (\ln p_i) = 1$$

Donde:

$H'$  = Índice de diversidad de Shannon-Wiener

$p_i$  = Proporción de individuos de la especie  $i$

$S$  = Número de especies

$Ln$  = Logaritmo natural

$$J = H' / H \text{ max}$$

Donde:

$J$  = Medida de equidad (intervalo de 0 - 1) de Pielou

$H'$  = Índice de diversidad de Shannon-Wiener

$H' \text{ max}$  = Valor máximo de  $H'$  =  $\log S$

$S$  = número de individuos en la comunidad

Los valores obtenidos a partir del Índice de diversidad de Shannon-Wiener por arrecife fueron tratados con un análisis de varianza de una vía.

Las tallas coloniales registradas (diámetro y altura máxima), se emplearon para calcular el promedio por especie y el promedio general de tallas por arrecife. Los valores de los diámetros máximos fueron transformados utilizando  $\text{Log}_{10}(X)$  y los datos de las alturas se transformaron con  $\sqrt{X+1}$  (Zar, 1996, Sokal y Rohlf, 1997). En ambos casos para conocer la variación entre arrecifes se aplicó un análisis de varianza de una vía.

A partir de la mortalidad parcial (reciente y antigua) registrada se obtuvo el porcentaje promedio por especie y arrecife, también se obtuvo el porcentaje de colonias identificables completamente muertas.

Debido a que los valores de mortalidad antigua no cumplieron con normalidad ni homocedasticidad requeridas para un análisis de varianza paramétrico, aun después de someterlos a varias transformaciones, fue necesario aplicar el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis. La variabilidad se obtuvo a partir del análisis del gráfico de

cajas de las medianas. Con ello se adquirió información sobre los arrecifes que difieren estadísticamente.

La variabilidad de la mortalidad reciente entre arrecifes fue obtenida por medio de un análisis de varianza de una vía. Previamente los datos de esta variable fueron transformados con  $(\sqrt{X}/100)$ , ya que ésta es la transformación más adecuada cuando los datos han sido registrados en porcentaje (Zar, 1996, Sokal y Rohlf, 1997).

Se sumó la cobertura absoluta (cm lineales) de cada colonia por transecto (unidad de muestreo) por arrecife. Posteriormente se obtuvo la longitud en conjunto de todos los transectos realizados en cada arrecife. Finalmente la cobertura relativa (%) de cada arrecife fue obtenida a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Cobertura relativa (\%)} = \left( \sum Cb / Lt \right) \times 100$$

Donde:

Cb = Cobertura absoluta de cada colonia por transecto (cm lineales)

Lt = Longitud de todos los transectos por arrecife (cm) (English *et al.*, 1997)

Las coberturas absolutas de cada colonia por transecto, por arrecife fueron empleadas para el análisis de varianza de una vía.

Como ya se mencionó anteriormente, las transformaciones realizadas a los datos de las diferentes variables registradas fueron hechas para cumplir con los supuestos de la estadística paramétrica, como son la normalidad y homocedasticidad; cuyos atributos son necesarios para poder aplicar ANOVA's de una vía. Los datos que no cumplieron con estas características, fueron sometidos a un ANOVA no paramétrico (Zar, 1996, Sokal y Rohlf, 1997).

El Índices de Diversidad de Shannon-Wiener, la Equidad de Pielou y el Coeficiente Simple de Dominancia acumulado (CSD) se estimaron empleando del Programa para Análisis de Comunidades, ANACOM versión 3.4. El software *Statgraphics Plus 2.1* fue empleado para la realización de los ANOVA's paramétricos de una vía. El ANOVA no paramétrico de Kuskall-Wallis se realizó utilizando el software *STATISTICA*.

## 7. RESULTADOS

Se realizaron un total de 116 transectos de 10 m de longitud cada uno. Los transectos realizados por sitio y arrecife pueden verse en la tabla 1. El rango de densidad colonial al nivel de arrecife varió de 0.3 col/m en Xcalak y Xahuayxol a 0.5 col/m en Mahahual (Tabla 1). Se registraron un total de 6 familias y 18 especies de corales escleractinios de tallas mayores a 25 cm (Anexo 2).

**Tabla 1.- Posiciones geográficas, número de transectos realizados, número de colonias registradas, densidad colonial (colonias/m lineal) y profundidad promedio por sitio y Arrecife evaluado.**

Sitio	Posición Geográfica	Transectos	Número de Colonias	Colonias / metro lineal	Profundidad promedio
Mahahual Norte	18°43'24"N 87°41'56"W	13	68	0.5	9.7
Mahahual Centro	18°43'01"N 87°42'09"W	13	57	0.4	10.6
Mahahual Sur	18°42'30"N 87°42'20"W	12	74	0.6	9.9
Xahuayxol Norte	18°30'55"N 87°45'02"W	14	49	0.4	9.5
Xahuayxol Centro	18°30'25"N 87°45'13"W	14	37	0.3	10.9
Xahuayxol Sur	18°29'55"N 87°45'13"W	14	48	0.3	10.7
Xcalak Norte	18°13'43"N 87°49'51"W	12	44	0.4	10.8
Xcalak Centro	18°13'09"N 87°49'54"W	11	38	0.3	9
Xcalak Sur	18°12'39"N 87°49'47"W	13	37	0.3	10
Arrecife	Posición Geográfica	Transectos	Número de Colonias	Colonias / metro lineal	Profundidad promedio
Mahahual	18°43'01"N 87°42'09"W	38	199	0.5	10
Xahuayxol	18°30'25"N 87°45'13"W	42	134	0.3	10
Xcalak	18°13'09"N 87°49'54"W	36	119	0.3	10
<b>Total</b>		<b>116</b>	<b>452</b>		

7.1. **ABUNDANCIA.** La abundancia de colonias por arrecife se presentó de la siguiente manera: Mahahual 198, Xahuayxol 142 y Xcalak 119 (Figura 6).

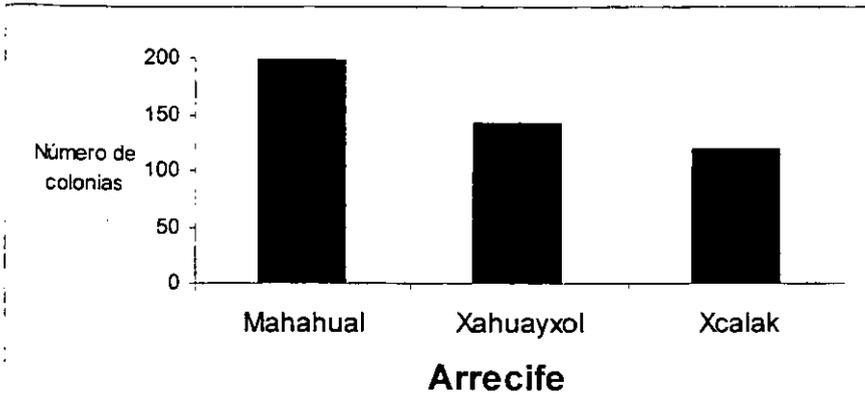


Figura 6 .— Abundancia absoluta de colonias coralinas registradas en cada Arrecife.

La Tabla 2 muestra las especies de corales registradas, el número de colonias por especie y la abundancia (absoluta y relativa) de cada especie por sitio (norte centro y sur) y por Arrecife (Mahahual, Xahuayxol y Xcalak).

Se puede observar en ésta tabla que *Montastrea annularis* fue la especie más abundante en el arrecife de Mahahual y Xahuayxol . En Mahahual se registraron un total de 73 colonias de ésta especie, que representó una abundancia relativa del 36.9% en relación a las demás especies de éste arrecife. Le siguieron en abundancia *M. faveolata* con 28 colonias y *M. cavernosa*, con 16 colonias. En Xahuayxol, se registraron 28 colonias de *M. annularis*, que equivalen a 19.7% de la abundancia relativa, seguida por *M. faveolata*, *Porites astreoides*, *Siderastrea siderea* y *Diploria strigosa* (16.2%, 15.5%, 14.8% y 12.7% respectivamente). El arrecife Xcalak estuvo dominado por *D. strigosa* con 21.8% de la abundancia relativa, seguida de *M. cavernosa* (12.6%), *P. astreoides* (11.8%), *M. annularis* y *S. siderea* (con 9.2% cada una respectivamente).

Tabla 2.- Especies registradas por Arrecife, número de colonias por sitio y abundancia por especie. El Anexo 3 muestra la lista de claves y abreviaciones de los sitios y las especies.

Mahuaal	MhN	MhC	MhS	Absoluta	Relativa (%)
AG	1	1	0	2	1,0
AGC	1	0	1	2	1,0
AGD	3	2	2	7	3,5
AP	0	0	1	1	0,5
AT	8	0	0	8	4,0
CN	3	7	1	11	5,6
DL	6	4	2	12	6,1
DS	5	2	1	8	4,0
MA	22	23	28	73	36,9
MAF	4	8	16	28	14,1
MC	4	6	6	16	8,1
MFR	5	2	6	13	6,6
PA	1	0	6	7	3,5
PF	3	1	0	4	2,0
SS	2	1	3	6	3,0
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>68</b>	<b>57</b>	<b>73</b>	<b>198</b>
Xabuaayxol	XyN	XyC	XyS	Absoluta	Relativa (%)
AG	0	2	0	2	1,4
AGC	0	3	2	5	3,5
AGP	0	0	2	2	1,4
AP	0	0	1	1	0,7
AT	0	1	0	1	0,7
CN	1	0	3	4	2,8
DL	1	1	0	2	1,4
DS	9	3	6	18	12,7
MA	14	4	10	28	19,7
MAF	7	9	7	23	16,2
MC	1	1	0	2	1,4
MFR	3	3	2	8	5,6
MM	0	1	0	1	0,7
PA	3	12	7	22	15,5
PP	0	1	1	2	1,4
SS	9	6	6	21	14,8
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>48</b>	<b>47</b>	<b>47</b>	<b>142</b>
Xcaiak	XcN	XcC	XcS	Absoluta	Relativa (%)
AG	0	1	0	1	0,8
AP	3	6	4	13	10,9
AT	0	2	0	2	1,7
CN	3	3	2	8	6,7
DL	2	0	4	6	5,0
DS	12	7	7	26	21,8
MA	7	1	3	11	9,2
MAF	3	2	4	9	7,6
MC	3	3	9	15	12,6
MFR	0	3	0	3	2,5
PA	3	7	4	14	11,8
SS	8	3	0	11	9,2
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>44</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>119</b>

Los promedios obtenidos a partir de las abundancias absolutas para Mahahual, Xahuayxol y Xcalak fueron respectivamente: 13.2 (DS  $\pm$  17.88), 8.87 (DS  $\pm$  9.76) y 9.92 (DS  $\pm$  6.89). El ANOVA aplicado a los datos previamente transformados, indicó que no existen diferencias significativas entre los tres arrecifes ( $p > 0.05$ ). El Anexo 4 muestra la tabla correspondiente del análisis de varianza.

**7.2. COEFICIENTE SIMPLE DE DOMINANCIA (CSD).**- Este coeficiente fue obtenido a partir de las abundancias absolutas de cada colonia de coral (>25 cm) de los tres arrecifes analizados. En orden de importancia mostró que cinco especies fueron las dominantes en el área de estudio; *M. annularis* > *M. faveolata* > *D. strigosa* > *P. asteroides* > *S. Siderea* (Figura 7 y Anexo 5).

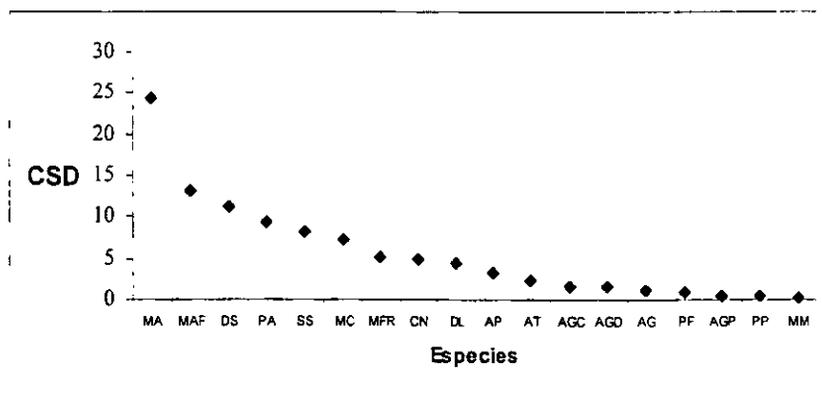


Figura 7.- Coeficiente Simple de Dominancia (CSD) de las especies registradas en los arrecifes estudiados. Se muestran las especies en orden de importancia de izquierda a derecha. (Lista de abreviaciones de las especies en el Anexo 3)

**7.3. DIVERSIDAD.**- El valor más alto del índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), se encontró en Xcalak (3.55 bits) seguido de Xahuayxol (3.22 bits) y Mahahual (3.12 bits). Al aplicar a éste índice la Equidad de Pielou, se obtuvieron los valores de 0.91, 0.56 y 0.80 para cada arrecife respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3.- Por arrecife se indica el número de especies (S) presentes, valores obtenidos de Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H') (bits) y el valor de Equidad de Pielou (J).

Arrecife	S	H'	J
Mahahual	15	3.12	0.80
Xahuayxol	16	3.22	0.56
Xcalak	12	3.55	0.91

Los valores medios para el Índice de diversidad de Shannon-Wiener fueron de 2.89 (DS  $\pm$  .31), 3.00 (DS  $\pm$  .28) y 2.99 (DS  $\pm$  .19) para Mahahual, Xahuayxol y Xcalak respectivamente. El ANOVA aplicado a los valores de diversidad de éste índice de diversidad a nivel de arrecife indicó que no existieron diferencias significativas entre ellos ( $p > 0.05$ ). El Anexo 6 muestra las tabla del análisis de varianza.

**7.4. TALLAS.-** En el arrecife Mahahual las especies que registraron el mayor diámetro promedio fueron *A. palmata*, *M. faveolata*, *A. teunifolia* y *A. danai* con 120 cm, 106.82 cm, 92.25 cm y 77.42 cm respectivamente. Las especies con el menor diámetro promedio fueron *A. agaricites* (31.5 cm), *M. cavernosa* (33.75 cm) y *S. siderea* (33.83 cm). Las especies con las mayores alturas promedio fueron *A. palmata* (130 cm), *M. faveolata* (67.35 cm) y *M. annularis* (56.56 cm). Las especies con menor altura promedio fueron, *P. astreoides* (12.42 cm), *A. agaricites* (17 cm) y *D. strigosa* (25.25 cm) (Figura 8).

En Xahuayxol las especies con los mayores diámetros promedio fueron *A. palmata* (105 cm), *M. faveolata* (98.69 cm) y *A. teunifolia* (80 cm); y con el menor diámetro promedio fueron *D. labrinthyformis* (28.0 cm), *A. purpurea* (28.5 cm) y *P. astreoides* (36.83 cm). Las mayores alturas promedio se registraron en las especies *A. palmata* (120 cm), *M. faveolata* (65.04 cm) y *M. annularis* (53.13 cm), mientras que las menores alturas promedio fueron registradas en *A. purpurea* (4 cm), *M. meandrites* (8 cm) y *A. agaricites* (11 cm) (Figura 9).

En Xcalak los mayores diámetros promedio por especie se registraron en *A. palmata* (74.38cm), *M. faveolata* (113 cm) y *A. teunifolia* (106 cm). El menor diámetro promedio se registró en *P. astreoides* (33 cm), *S. siderea* (33.81 cm) y *M. cavernosa* (35.86 cm). Las

especies que registraron las mayores alturas promedio fueron *M. faveolata* (64.44 cm), *A. teunifolia* (61.5 cm) y *A. palmata* (57.53 cm); las especies con la menor altura promedio fueron *P. astreoides* (10.21cm), *S. siderea* de (19.90 cm) y *M. franski* (21.0 cm) (Figura 10).

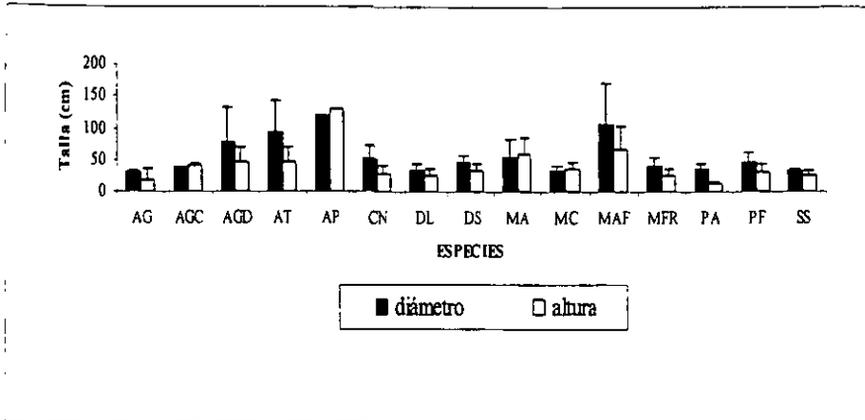


Figura 8. - Tallas promedio de las especies de coral del Arrecife Mahahual. El Anexo 3 se muestran las abreviaciones por especie. Barras de error = 1 Desviación estándar.

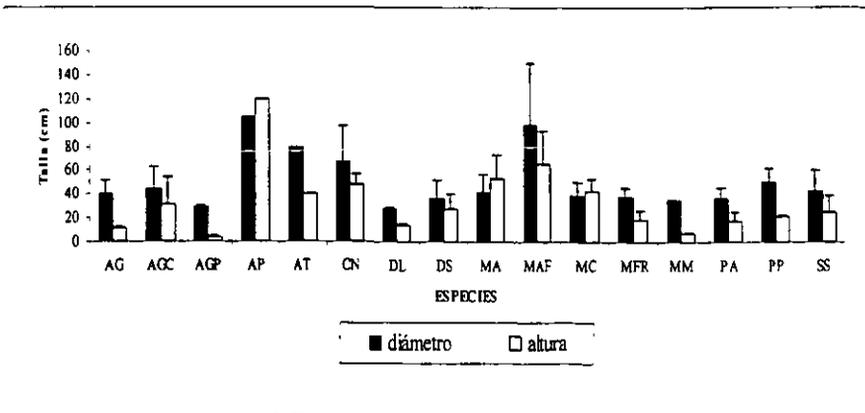


Figura 9.- Tallas promedio de las especies de coral del Arrecife Xahuayxol. El Anexo 3 se muestran las abreviaciones por especie. Barras de error = 1 Desviación estándar.

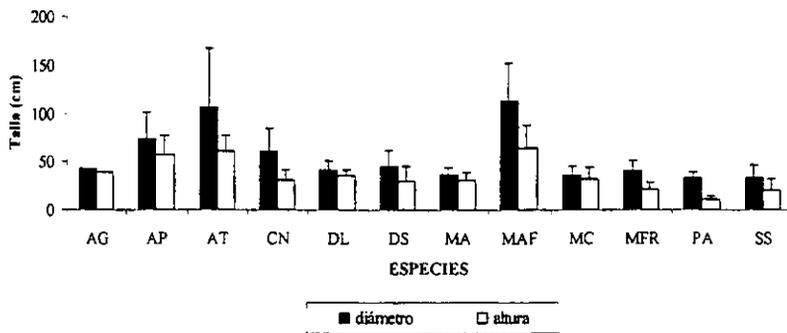


Figura 10. - Tallas promedio de las especies de coral del Arrecife Xcalak. El Anexo 3 se muestran las abreviaciones por especie. Barras de error = 1 Desviación estándar.

En el arrecife Mahahual el máximo diámetro promedio de las colonias ( $\geq 25$  cm) fue de 58.22 cm (DS  $\pm$  40.96), mientras que en Xahuayxol fue 51.50 cm (DS  $\pm$  33.74) y de 51.09 cm (DS  $\pm$  29.70) en Xcalak. Con respecto a las alturas máximas promedio por arrecife, los valores fueron de 47.22 cm (DS  $\pm$  28.68) para Mahahual, 38.63 cm (DS  $\pm$  25.83) para Xahuayxol y de 33.63 cm (DS  $\pm$  20.37) para Xcalak. Se observó una disminución en las tallas en un gradiente latitudinal de norte a sur (Figura 11).

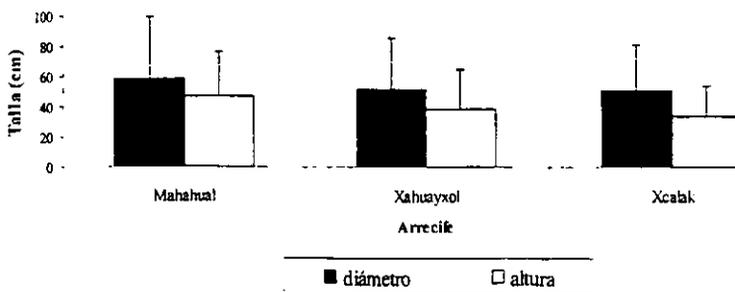


Figura 11.- Tallas promedio (diámetros y alturas) de las colonias de coral (>25 cm) en los arrecifes evaluados. Barras de error = 1 Desviación estándar.

El ANOVA aplicado a los diámetros máximos (previa transformación de los datos), indicó que no existieron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre los arrecifes analizados. La tabla del análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple pueden verse en el Anexo 7a.

El ANOVA de contrastación para las alturas máximas (previa transformación de los datos), señaló diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tres arrecifes. Este análisis mostró que en Mahahual se presentan las tallas promedio más altas, siendo este arrecife el que difiere de los otros dos (con 95% de confianza en la prueba de MDS de Fisher). Xahuayxol y Xcalak no fueron estadísticamente distintos (El Anexo 7b muestra la tabla de ANOVA y se resume la prueba de comparación múltiple de los valores promedio).

**7.5. MORTALIDAD PARCIAL (antigua y reciente).** El promedio de mortalidad parcial por especie mostró en Mahahual un rango de mortalidad antigua amplio, de 1.7% para *P. astreoides* a 40% para *A. carinata* y 100% para *A. palmata*. La mortalidad reciente varió desde 2.5% para *A. carinata* hasta 34.8% para *M. faveolata*. Cabe mencionar que en este arrecife las especies del género *Montastrea* se encontraron afectadas por un porcentaje muy similar de mortalidad reciente, a excepción de *M. cavernosa* que mostró un bajo porcentaje de este tipo de mortalidad (Figura 12).

En Xahuayxol el rango de mortalidad antigua varió de 2.5% para *D. labyrinthiformis* hasta un 50% para *A. danai* y 100% para *A. palmata* y *A. teunifolia*. La mortalidad reciente varió desde 0.5% para las especies *A. agaricites* y *A. purpurea* hasta el 49% para la especie *M. cavernosa* (Figura 13).

Para Xcalak el rango de mortalidad antigua registrado en las especies coralinas fue de 6.5% para *M. annularis* hasta 85% para *A. teunifolia* y 100% para *A. palmata*. La mortalidad reciente presentó rangos desde 1% en *A. teunifolia* hasta 30% en *M. annularis* (Figura 14).

Algunas de las especies anteriormente mencionadas tuvieron poca abundancia absoluta. En algunos casos sólo se registró una colonia por arrecife, como por ejemplo *A. palmata* y *A. teunifolia* en Xahuayxol y *A. agaricites* en Xcalak.

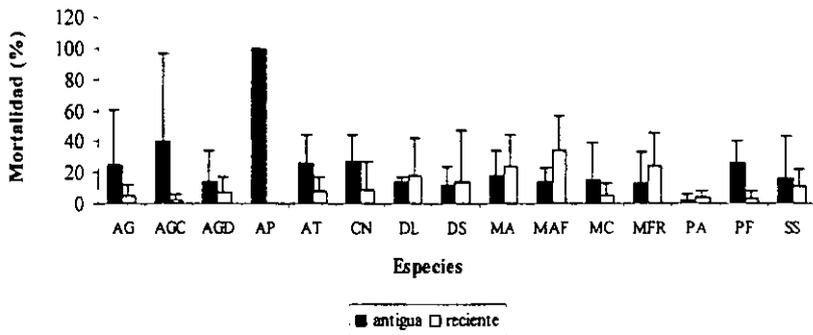


Figura 12. - Mortalidad parcial (antigua y reciente) de las especies registradas en Mahahual. (Abreviación de especies Anexo 3). Barras de error = 1 Desviación estándar.

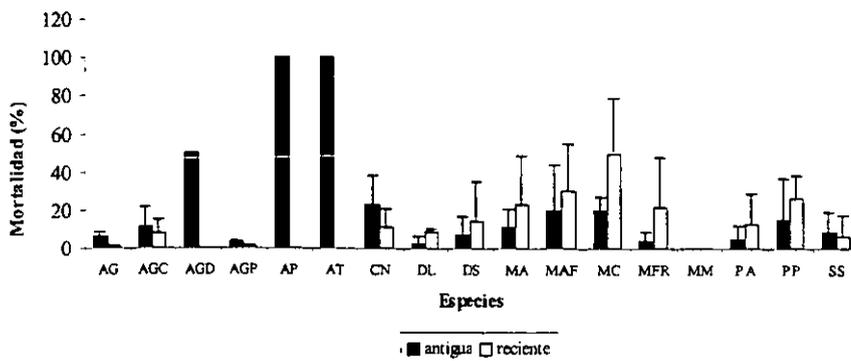


Figura 13. - Mortalidad parcial (antigua y reciente) de las especies registradas en Xahuayxol. (Abreviación de especies Anexo 3). Barras de error = 1 Desviación estándar.

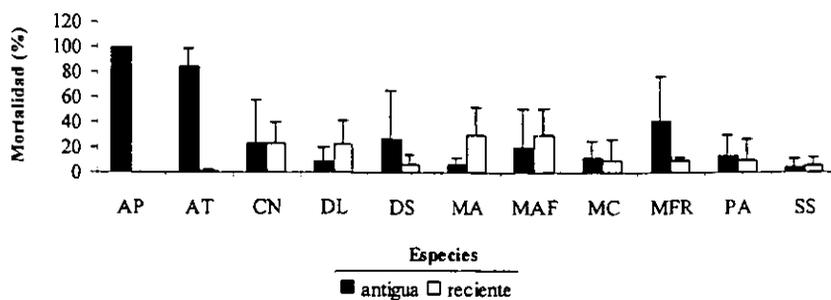


Figura 14. -Mortalidad parcial (antigua y reciente) de las especies registradas en Xcalak. (Abreviación de especies Anexo 3). Barras de error = 1 Desviación estándar.

La Figura 15 muestra el porcentaje general de mortalidad antigua, reciente y colonias identificables completamente muertas por arrecife. En Mahahual se obtuvo un 17 % y 21% de mortalidad antigua y reciente respectivamente y se registró 2.4% de colonias identificables completamente muertas. En Xahuayxol se obtuvo un 11% de mortalidad antigua y un 17% de mortalidad reciente, con 2.5% de colonias completamente muertas. Finalmente en Xcalak se registró el más alto porcentaje de mortalidad antigua (27%) y el valor más bajo de muerte reciente (12%); y se encontró el más alto porcentaje de colonias identificables completamente muertas (16%) de los tres arrecifes.

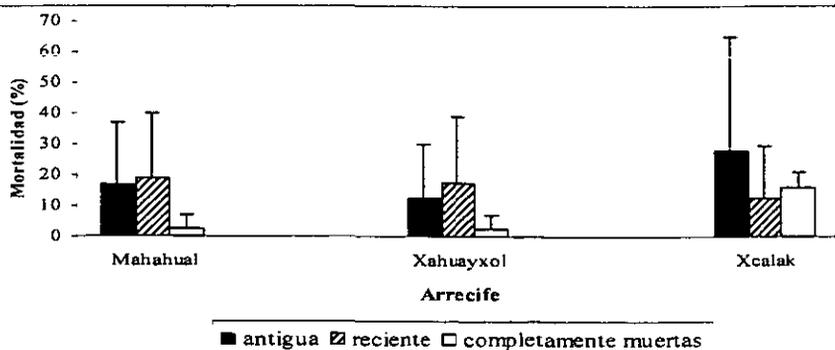


Figura 15. - Mortalidad antigua (%), reciente (%) y colonias identificables completamente muertas (%) en cada Arrecife evaluado. Barras de error = 1 Desviación estándar.

Los valores promedios registrados de mortalidad antigua fueron de 17.24 (DS  $\pm$  19.66) para Mahahual, de 12.34 (DS  $\pm$  17.85) para Xahuayxol y de 27.85 (DS  $\pm$  37.26) para Xcalak. El ANOVA no paramétrico de Kruskal-Wallis efectuado a los valores de mortalidad antigua determinó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los arrecifes estudiados. Los grupos homogéneos de acuerdo al gráfico de cajas de las medianas (Anexo 8) fueron Mahahual (mediana 14.5) y Xcalak (mediana 12). Este último arrecife también resultó agrupado con Xahuayxol (mediana 6.0). El análisis no paramétrico indicó solamente diferencias significativas entre Mahahual y Xahuayxol. El Anexo 8 muestra la tabla del análisis de Kruskal-Wallis y el gráfico de cajas para las medianas por arrecife.

En Mahahual el promedio de mortalidad reciente fue de 20.7% (DS  $\pm$  18.77), en Xahuayxol de 16.82% (DS  $\pm$  22.48) y en Xcalak de 12.14% (DS  $\pm$  16.26). El ANOVA aplicado a los valores previamente transformados, indicó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre arrecifes. La prueba de comparación múltiple de los promedios señaló que las diferencias existen entre Mahahual y Xcalak (con 95% de nivel de confianza en la prueba de MDS de Fisher), cuyos arrecifes poseen el mayor y menor valor en esta variable de condición, respectivamente. En el arrecife Xahuayxol se observó un valor intermedio, por lo tanto fue homogéneo a los otros dos arrecifes. El Anexo 9 muestra la tabla de ANOVA y la prueba de comparación múltiple de los promedios.

**7.6. COBERTURAS.-** En Mahahual se efectuaron un total de 38 transectos, registrándose 6370 cm de cobertura coralina viva, que representaron el 16.76%. En Xahuayxol de 42 transectos realizados, fueron registrados 4855 cm de cobertura, constituyendo 11.56% y finalmente en Xcalak de los 36 transectos efectuados, se obtuvieron 3064 cm, que convertidos a porcentaje representaron el 8.51% de cobertura coralina (Figura 16).

C  
o  
b  
e  
r  
t  
u  
r  
a

20%  
15%  
10%  
5%  
0%

Mahahual

Xahuayxol

Xcalak

Arrecifes

Figura 16.- Cobertura relativa (%) de tejido coralino vivo por Arrecife.

En Mahahual la cobertura media total fue de 167.63 (DS ± 59.66), para Xahuayxol de 115.59 (DS ± 48.05) y para Xcalak de 85.11 (DS ± 40.76). Se observó un decremento de cobertura coralina en sentido norte a sur en el área de estudio. El ANOVA realizado a ésta variable de condición indicó diferencias significativas entre los tres arrecifes evaluados. Mahahual fue diferente a Xahuayxol y Xcalak, y Xahuayxol difirió con Xcalak, ( $p < 0.05$ , con 95% de nivel de confianza en la prueba de MDS de Fisher). En el Anexo 10 se muestra la tabla de ANOVA y se resume la prueba de comparación múltiple.

## 8. DISCUSIÓN

Los desarrollos arrecifales cercanos a las zonas costeras, son particularmente sensibles a presiones y cambios ambientales. Agentes estresantes como el aporte de agua dulce, el exceso de nutrientes, altas tasas de sedimentación y turbidez del agua, que principalmente se originan por factores hidrológicos (evaporación, precipitación, desagüe o flujo subterráneo) pueden influir negativamente en las comunidades arrecifales. La influencia de estos agentes se ve incrementada por la cercanía a áreas terrestres con concentraciones humanas grandes aledañas a las zonas costeras. Así, los efectos locales y regionales de desarrollo poblacional, uso de la tierra, etc., tienen un mayor efecto sobre estos arrecifes que los cambios climáticos los cuales se presentan más distribuidos y graduales (Smith y Buddemeier, 1992).

Se sabe, que la abundancia de las comunidades arrecifales ha disminuido a escala mundial. Lo que se ignora, es la extensión y severidad de este decaimiento a escala regional. Para detectar cambios o agentes estresantes y la capacidad de recuperación de los arrecifes coralinos se han utilizado métodos estándar replicables, realizando algunas mediciones como la cobertura coralina, diversidad, tamaño y número de colonias, índices de superficie, complejidad topográfica y arreglo espacial de componentes vivos y muertos en el sustrato (Pearson, 1981; Ruiz-Zárate, 2000). No obstante, en ninguna metodología de valoración de condición antes de *AGRRA*, se habían considerado en conjunto todos estos indicadores (Paerson, 1981; Steneck y Lang, 1997; Ginsburg *et al.*, 1998).

Debido a que la metodología *AGRRA* esta diseñada y estandarizada para conocer la condición de los arrecifes del Atlántico Oeste (considerando varios descriptores de cambio cobertura, tamaño y mortalidad coralina, además de evaluar comunidades de algas y peces arrecifales), es posible con la información que brinda, ubicar arrecifes altamente impactados e iniciar en ellos planes de manejo para su recuperación. En este estudio el objetivo principal, fue contribuir al conocimiento del estado de condición o “salud” en el que se encontraban los corales escleractinios de tres sistemas arrecifales del estado de Quintana Roo durante 1999.

Los resultados obtenidos en este año son importantes, ya que con ellos fue posible comparar los cambios en la condición de estos sistemas arrecifales y conocer que influencia tienen en ellos las perturbaciones de origen humano y/o natural. Primero, porque casi un año antes de iniciado este estudio, la región del caribe se vio afectada por el paso de un huracán y por un evento de blanqueamiento de coral ocurrido a nivel mundial. En segundo lugar, por que pocos meses después de concluida esta evaluación, se dio inicio a un proyecto turístico en la porción sur del Caribe mexicano (Daltabuit-Godás, 1999). Por lo tanto, a partir de evaluar diferentes descriptores de cambio considerados en *AGRRA* fue posible obtener un diagnóstico de la “salud” de los corales escleractinios en Mahahual, Xahuayxol y Xcalak durante 1999; y la información pudo ser comparada con otras evaluaciones de valoración arrecifal.

En la Tabla 4 se pueden observar los resultados obtenidos de otros estudios realizados en Atlántico y Golfo de México donde se utilizó la metodología *AGRRA* (Stenek y Lang, 1997; Kramer y Gisburg, 1998; Peckol *et al.*, 1998; Alcolado y Claro, 1999; Arias-González *et al.*, 1999; Pattengill y Shyka, 1999; Deschamps y Desrochers, 1999; García *et al.*, 1999, Horta-Puga y Barba-Santa, 1999, Kramer y De Meyer, 1999; Klomp *et al.*, 1999; Manfrino y Riegl, 1999; Peckol *et al.*, 1999, Villimizar y Posada, 1999; en página Web, NOAA. 1999. [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html)). La información recopilada a partir de las evaluaciones antes mencionadas, muestran ser heterogéneas debido a las características propias de cada arrecife. Sin embargo, los resultados son comparables a los obtenidos en este trabajo. Principalmente los realizados por Steneck y Lang (1997) en Akumal y Xcalak, por Peckol *et al.* (1998) en Belice y el hecho por Arias-González *et al.* (1999) a lo largo del Caribe mexicano. Estos sistemas arrecifales también forman parte de la Barrera Arrecifal Mesoamericana, por lo cual presentan las mismas características continentales que Mahahual, Xahuayxol y Xcalak. Principalmente los resultados de cobertura coralina y mortalidad parcial obtenidos en esta evaluación, presentan rangos de valores muy similares a los registrados en los estudios antes mencionados (Tabla 4).

## 8.1. Condición de los corales

Las especies de corales escleractínios mayores (>25 cm de diámetro máximo) registradas a lo largo del área de estudio, han sido catalogadas previamente como las más representativas a escala local y regional en el Caribe. Además han sido consideradas como pioneras y principales constructoras de los arrecifes de esta región (Castañares y Soto, 1982; Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993; Hubbard, 1974, en Jiménez 1999). El análisis del Coeficiente Simple de Dominancia (CSD) señaló en orden de importancia como las especies más comunes a: *M. annularis* > *M. faveolata* > *D. strigosa* > *P. astreoides* > *S. siderea* (Figura 7). Esta asociación de especies dominantes resultó ser más o menos uniforme entre los tres arrecifes analizados y muy similar a los resultados de otras evaluaciones en arrecifes del Atlántico y Golfo de México, mostrando la dominancia en casi todos los arrecifes de las especies del género *Montastrea* (ver Tabla 4).

La dominancia local y/o regional que poseen ciertas especies en determinada comunidad, puede ser considerada como una adaptación ecológica exitosa. El éxito ecológico puede estar relacionado con diferentes estrategias específicas como el modo de alimentación, la tasa de limpieza del sedimento, el comportamiento o incluso la plasticidad fenotípica que poseen algunas de las especies más comunes (Sorokin, 1993; Soong, 1993). Estas adaptaciones de las colonias coralinas dominantes les permiten tener mayor representatividad a nivel espacial. Sin embargo las especies coralinas menos abundantes, no dejan de ser importantes en el arrecife ya que le brindan a éste, atributos importantes como la riqueza de especies (Sorokin, 1993; van Woessik y Done, 1997; Cáceres, 1999).

En este caso el género *Montastrea* es un ejemplo de éxito ecológico. Algunas de sus especie presentan gran plasticidad fenotípica que les permite crecer de forma masiva, en forma de fuertes lóbulos o de repisas aplanadas. Con ello logran aumentar su capacidad de captación de luz sobre especies con formas de crecimiento menos variadas (Lang y Chornesky, 1990). La especie *M. annularis* resulta ser la más abundante y agresiva del Caribe, es capaz de digerir a cualquier otra colonia con la que entre en

contacto, inclusive a colonias de su misma especie (Hughes, 1985; en Jiménez 1999). Probablemente, la agresividad y variedad morfológica de este género hace de sus especies las más dominantes de la región caribeña. Otro ejemplo es el género *Diploria*, que posee pólipos grandes de arquitectura compleja, efectivos en la remoción del exceso de sedimento. Cuentan con una forma “cerebroide” fuerte, que hace a sus especies resistentes a daños provocados por factores físicos como el fuerte oleaje e impacto de masas de agua originadas por fenómenos naturales como huracanes. Además, las especies del género *Diploria* son buenas competidoras en caso de existir contacto directo con otras especies (Hyghes, 1985, en Maldonado, 1998).

En este contexto, las series de especies dominantes en los arrecifes evaluados presentan tamaño de coralitos relativamente grandes y morfología altamente variable, lo cual pudiera estar indicando que en la zona de estudio existen anomalías en la tasa de sedimentación y turbidez del agua. Lo anterior puede ser considerado si se toma en cuenta que especies con morfología muy similar a las encontradas en este estudio como son *M. carvenosa* y *Colpophyllia natans*, son halladas como especies dominantes en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Los arrecifes pertenecientes al SAV se encuentran afectados por altas tasas de sedimentos y contaminantes relacionados a las actividades humanas del puerto de Veracruz (Horta-Puga y Barba-Santos, 1999; Horta-Puga *et al.*, 2000). En arrecifes de la Gran Barrera, mientras que especies coralinas de pólipos de tamaño grande se mantienen, se ha observado una disminución en la abundancia de especies de corales con pólipos pequeños y una tendencia morfológica hacia formas laminares e incrustantes, como un indicio de estrés por exceso de sedimentación y turbidez del agua (van Woesik y Done, 1997).

El índice ecológico de diversidad de Shannon-Wiener mostró que el arrecife Xcalak posee el valor más alto de equidad. En éste arrecife se registró el menor número de especies (12 spp) de corales escleractinios. No obstante, el valor del Índice de Equidad señaló que el número de individuos de las diferentes especies que conforman a Xcalak están distribuidas más uniformemente, en relación a Mahahual y Xahuayxol (Tabla 3). Esto puede deberse a que en estos dos últimos arrecifes se presentan algunas especies con cierto grado de dominancia. La falta de diferencias significativas en la

diversidad de especies de los tres arrecifes, puede ser atribuida a que en general estos sistemas arrecifales poseen una riqueza de especies alta, pero con números poblacionales por especie relativamente bajos, a pesar de haber cierta dominancia por algunas de ellas.

La relación encontrada entre la cobertura de tejido coralino vivo y la densidad colonial registrada (de  $0.3 \text{ col/m}^{-1}$  a  $0.5 \text{ col/m}^{-1}$ ) ( $R = 0.65$ ,  $R^2 = 0.43\%$ ,  $p > 0.05$ , ver Anexo 11), así como la relación entre los diámetros y alturas máximas ( $R = 0.73$ ,  $R^2 = 54.11\%$  y  $p < 0.01$ , ver Anexo 12), proporcionan una idea de la expansión y complejidad coralina horizontal y vertical en cada arrecife. Se supone entonces, que un arrecife con tallas coloniales grandes tendría una mayor cobertura coralina viva, por lo tanto existirían mejores condiciones para el desarrollo de corales constructores de arrecifes en áreas con cierto grado de complejidad estructural (Jordán, 1989; Cróquer y Villamizar, 1998.). La complejidad topográfica del sustrato ayuda a un óptimo establecimiento y desarrollo de reclutas, tanto de corales como de peces arrecifales, (Risk, 1972; Luckhurst y Luckhurst, 1978; Carpenter *et al.*, 1981; en Núñez-Lara, 1998; Núñez-Lara y Arias-González, 1998; Jordán, 1989; Cróquer y Villamizar, 1998).

A pesar, de que el tamaño de las colonias coralinas es un pobre indicador en la determinación de condición en la que se encuentra un arrecife, los valores obtenidos de las alturas y diámetros coloniales en este estudio, se encuentran dentro de los rangos de tallas registrados en otras evaluaciones de condición, donde se concluyó que las colonias de escleractinios poseían dimensiones grandes (Stenek y Lang, 1997; Deschamps y Desrochers, 1999; Arias-González *et al.*, 1999; Klomp *et al.*, 1999; Pattengill y Shyka, 1999), Pattengill y Shyka, 1999 (ver Tabla 4). Así, las mejores condiciones para el establecimiento y desarrollo coralino se presentarían en Mahahual. Este arrecife registró las tallas coloniales más grandes (Figura 11) y el mayor porcentaje de cobertura coralina (Figura 16). Sin embargo, los bajos valores de estas variables; mayormente acentuadas en Xcalak, sean o no significativas, señalan la presencia de disturbios que conducen a un grado general de desarrollo menor en este arrecife.

En Xcalak se observó un decremento de cobertura coralina de aproximadamente la mitad, comparada con la reportada en un estudio previo realizado en 1997 por Steneck y Lang en la misma localidad (de 16.3% en 1997 a 8.7% en este estudio, ver Tabla 4). La disminución general de cobertura y tallas coralinas en dirección norte a sur en los arrecifes evaluados, pudiera estar relacionada a los eventos naturales ocurridos en 1998, como fue el paso del huracán Micht frente a las costas de Quintana Roo (Ruiz-Zárate, 2000; Ruiz-Zárate, sometido; Garza-Pérez, 1999, Garza-Pérez y Arias-González, en prensa), a las extremas condiciones a las que fueron sometidos los corales escleractinios durante el fenómeno meteorológico "El Niño" y/o al aumento en la temperatura superficial del mar (Steneck y Lang, 1997; Garza-Pérez, 1999; Hoegh-Guldberg, 1999). No obstante, este estudio se llevó a cabo aproximadamente diez meses después, tiempo suficiente para que los efectos de estos disturbios naturales probablemente se atenuaran. Por el contrario, la disminución en cobertura y tallas pudiera estar relacionada, no a disturbios naturales; sino a las diferentes prácticas de pesca sobre los arrecifes. Estas prácticas quizá no sean tan intensas en los arrecifes que presentaron las mayores coberturas y tallas, como fueron Mahahual y Xahuayxol, a pesar de que en el primero existe una población humana dedicada a la pesca ribereña y comercial, pero que enfoca sus actividades principalmente a Banco Chinchorro (com. pers. de gente local; Ruiz-Zárate, 2000). Sin embargo, en Xcalak la actividad pesquera es la única actividad humana constante que afecta directamente al arrecife de esta localidad. Principalmente por el uso de diferentes artes de pesca como el palangre de fondo (Grigg y Dollar, 1990; Bohnsack, 1993, Ruiz-Zárate, 2000). Este tipo de presión antropogénica altera el óptimo desarrollo de las colonias coralinas y otras comunidades asociadas a ellos, poniendo en riesgo el estado general del arrecife (Arias-González, 1999).

La mortalidad parcial como un indicador del estado de condición de un arrecife, ha sido bien establecido (Hughes *et al.*, 1992; Dustan, 1994; Meesters, *et al.*, 1996; Ginsburg *et al.* 1998). La mortalidad consiste en pérdida irremediable de tejido coralino vivo (Hughes, 1992). En este trabajo los porcentajes encontrados de mortalidad (reciente y antigua), no sobrepasan del 50% establecido por *AGRR4* para considerar a un arrecife como seriamente dañado y con pocas posibilidades de recuperación (Figura

15). Además, los porcentajes de mortalidad registrados aquí, se encuentran dentro del rango general de valores obtenidos en la mayoría de los arrecifes evaluados con la misma metodología en el Atlántico y Golfo de México (ver Tabla 4).

A nivel de arrecife la mortalidad reciente, fue estadísticamente diferente entre Mahahual y Xcalak, donde se presentaron los valores más altos y mínimos de esta variable de condición. En Xahuayxol se obtuvo un porcentaje intermedio a los otros arrecifes de muerte reciente (Figura 15). El origen de este tipo de mortalidad mayormente acentuado en Mahahual hizo suponer la presencia de agentes perturbadores recientes. Estos pueden estar relacionados a algunos eventos naturales, principalmente huracanes (Stenek y Lang, 1997; Garza-Pérez, 1999; Hoegh-Guldberg, 1999). No obstante, Mahahual se encuentra bajo la “protección” que le ofrece Banco Chinchorro en contra de fenómenos de esta naturaleza. Por ello, se piensa que el alto porcentaje de mortalidad reciente se debe principalmente al severo episodio de blanqueamiento ocurrido en septiembre de 1998. Este evento ha sido considerado como el episodio de blanqueamiento masivo más severo que se ha registrado a nivel mundial desde 1979 (ISRS, 1998, página Web, NOAA, 1998. [http:// coral.aoml.noaa.gov.html](http://coral.aoml.noaa.gov.html); Westmacott *et al.*, 2000). Este evento estuvo relacionado a la mortalidad de colonias coralinas en rangos estimados del 70 al 90% en la región del Indo-Pacífico y hasta del 25% de mortalidad en la región del Caribe (Issues in International Conservation, 2000).

El estado de blanqueamiento no posee un patrón de incidencia bien definido, y puede ocurrir a escalas locales (e.g. parte de un arrecife, Goreau, 1964; Egana y DiSalvo, 1998; en Hoegh-Guldberg, 1999) ó a grandes escalas que pueden involucrar todo el sistema arrecifal e incluso regiones geográficas (Glynn, 1984; Goreau, 1964; Brown, 1997; en Hoegh-Guldberg, 1999; Marshall y Bair, 2000). Los efectos del blanqueamiento incluyen la disminución en la capacidad de calcificación y crecimiento, inhiben la reproducción e inducen la mortalidad de tejido coralino después de presentarse (Goreau y Macfarlane, 1990; Glynn, 1993; Meesters y Back, 1993; Aronson *et al.*, 1993; Yang Amri y Hoegh-Guldberg, sin publicar; en Hoegh-Guldberg, 1999; Marshall y Bair, 2000). En general la perturbación por fenómenos naturales llevan a un

decline en la vitalidad del coral, haciéndolos más susceptibles a caer presas de enfermedades (e.g. banda blanca, banda negra) o fuertes estados de blanqueamiento.

Con base en lo anterior, se piensa que la mortalidad reciente en Mahahual esta asociada al evento de blanqueamiento que afectó la región del durante 1998. El estado de blanqueamiento en Mahahual ha sido catalogado como de tipo **localizado**. Esto también fue sugerido por Garza-Pérez (1999) que empleando la técnica de videotranssecto efectuó un seguimiento del estado de condición de la comunidad de corales escleractínios en este mismo arrecife antes y después del episodio de blanqueamiento de ese año. Este autor, reportó un incremento en la mortalidad coralina y decremento en la cobertura de tejido coralino vivo. La evaluación hecha por Arias-González, *et al.* (1999) y Ruiz-Zárate (2000) en diversos arrecifes del Caribe mexicano, indican que Mahahual presentó las tres categorías de blanqueamiento (pálido, parcialmente blanco y blanqueado) y el más alto porcentaje de mortalidad reciente. Lo anterior hace suponer que el fenómeno de blanqueamiento de 1998, provocó la muerte del tejido coralino en el arrecife de Mahahual, donde se presentó con mayor intensidad en comparación con los otros dos arrecifes muestreados.

En Xcalak se presentó el porcentaje más alto de mortalidad antigua y también se reportó el más alto porcentaje de colonias coralinas identificables completamente muertas, que correspondieron principalmente a las especies *A. palmata* y a *A. teunifolia*. El género *Acropora* se vio involucrado aproximadamente diez años antes en un evento repentino de muerte total alrededor del Caribe (Arosón, 1998; Greenstein, 1998; en Garza-Pérez, 1999) (Figura 12). El frecuente paso de huracanes en el área de estudio, puede estar relacionado a la elevada mortalidad antigua encontrada en Xcalak. Como ya se menciono anteriormente, "Mitch" fue el más reciente huracán que atravesó esta región en octubre de 1988. El arrecife de Xcalak carece de la protección que ofrece Banco Chinchorro a los dos arrecifes ubicados latitudinalmente más al norte dentro del área de estudio. El arrecife de Banco Chinchorro se encuentra a aproximadamente a 30 Km frente a las localidades de Mahahual y Xahuayxol y funciona como una barrera física natural en contra de huracanes (Ruiz-Zárate, 1999 y Ruiz-Zárate, 2000) , los cuales pueden infringir severos daños a los arrecifes de coral. El daño depende de la

intensidad de las tormentas, la proximidad al ojo del huracán, lo expuesto del arrecife y muchos otros factores más (Fenner, 1991).

La muerte antigua en Xcalak puede ser relacionada a la falta de protección por parte de Banco Chinchorro, ya que se encuentra más expuesto al embate directo de fenómenos naturales. Además, Xcalak se encuentra permanente perturbado, debido a las actividades de pesca artesanal ribereña de una población humana establecida en esta localidad (Com. pers. de lugareños, Núñez-Lara, 1998; Núñez-Lara y Arias-González, 1998; Garza-Pérez, 1999 y Ruiz-Zárate, 2000). A lo anterior, se suman a los efectos negativos provocados por la apertura a principios de siglo del Canal de Zaragoza y el dragado y reapertura del mismo recientemente (Ruiz-Zárate, 2000; Ruiz-Zárate, sometido). El Canal de Zaragoza conecta la Bahía de Chetumal con el Mar Caribe permitiendo el libre paso a embarcaciones de mediano calado. La reapertura del Canal provoca cambios en el flujo normal de las corrientes marinas, mezclando las aguas contaminadas de la Bahía de Chetumal con las aguas de los arrecifes de la porción sur del Caribe mexicano.

Finalmente, cabe mencionar el importante papel que juegan diferentes comunidades de organismos arrecifales como las algas, invertebrados herbívoros (especialmente el erizo *Diadema antillanum*) y peces arrecifales. En un estudio reciente en arrecifes del Caribe mexicano, Ruiz-Zárate (2000), encontró altos porcentajes de cobertura de macroalgas en arrecifes muy próximos al área de estudio. También, señala la ausencia total de *D. antillanum* y una relación inversa entre la cobertura promedio de macroalgas y la densidad de peces herbívoros.

Esto, hace pensar que en esta región se está llevando a cabo un tipo de pesca selectiva sobre la comunidad de peces herbívoros. Lo cual origina un desequilibrio en la población de éstos, promoviendo el aumento de macroalgas. Las macroalgas al carecer de depredadores naturales como peces forrajeros y/o *D. antillanum* competirán más exitosamente por espacio que los corales escleractínios hasta conseguir desplazarlos. Esta situación se da, por que las algas afectan negativamente el crecimiento, fecundidad, fisión, sobrevivencia y el reclutamiento del coral, disminuyendo su cobertura (Tanner,

1995). Por lo tanto, la remoción de especies forrajeras tiene un efecto perjudicial en la comunidad de escleractínios debido al incremento en la biomasa algal y el subsiguiente y rápido sobrecrecimiento de éstas en los corales (Lewis, 1986; Tanner, 1995).

Tabla 4. - Resultados finales de evaluaciones de condición realizadas en diferentes Arrecifes del Atlántico y Golfo de México, empleando la metodología *AGRR*. Arrecifes en el Caribe: 1=Akumal,Méx., 2=Xcalak,Méx., 3=I.Andros,Bahamas, 4=Sn.Salvador,Bahamas, 5=Sur de Belize, 6=Cayo Cochinos,Hond., 7= Costa SW,Cuba, 8=St.Vincent, 9=Los Roques,Venezuela, 10=Bonfire,Venezuela, 11=Caribe Mexicano, 12=N.Antillas, 13=Turks y Caicos, Arrecifes en el Golfo: 14=US Flower Garden 15=Galleguilla,Ver., 16=I.Sacrificios,Ver., 17=I.Verde,Ver. Arrecifes de éste estudio: Mh=Mahahual, Xy=Xaluayxol, Xc=Xcalak. (Abreviaciones de corales y arrecifes, Anexo 3). Descripción de signos: ▲Alta, ▼Moderada, +++Muy buena, ++Buena, +Buena con posible riesgo, \*Alto riesgo, T1=Muerte total, ●Ausente. Los datos se obtuvieron de la página Web (1999): <http://coral.aoml.noaa.gov/agrr/reports/field-reports.html>.

Arrecifes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Mh	Xy	Xc
Año	'97	'97	'98	'98	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99	'99
# de Sitios muestreados	6	6	61	11	9	9	4	5	12	6	24	24	28	2	1	1	1	3	3	3
Especies registradas	8-12	8-12									30	24	37	▼	7	14	11	15	16	12
Especies dominante	MA,MAF	MA,MAF		AP	AP,AT	MA,DS	MA	MA,PA	AP	M.sp	MA,DS	MAE,DS	AP	M.sp,D.sp	MC,CN	MC,CN	MC,CN	MA,DS	MA	DS
Colm	0.3-0.6	0.2-0.9									0.5			53.9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3
Cobertura	17.3	16.3	▲	30	++		15-23	29-44	50	48	8.6-16.8	18	30	▲	11.9	17.5	16.2	16.76	11.56	8.51
Diámetro promedio	42-51	34-130						50			46.2-62	37		81-93				58.22	51.3	51.04
Altura promedio	28-58	17-95									13-55	19		▲				47.22	38.63	33.61
Mortalidad antigua (%)	28.2	28.4	▼		25		24-34	23-28	25	28	10.5-38.3	15			41.8	46.9	47.9	17.2	12.6	28.1
Mortalidad reciente (%)	4	4.7	▼		5	▼ a ▲	3-10.5	1-3	5	2	7.2-27.2	2		2-5	18.9	22.9	21.4	19.3	17.3	14.3
Enfermedades	WP	WP		WP	WP,HH	DB,WP		YR,WB		▼	WR,Bf		WP		●	●	●			
#aflojamiento	9.2	11.5		1		▼		3-9	▼	▼	3.5-35.1	8-44	1	▼	2.8	2.8	2.8			
Estado de Acropora	Tt	Tt	+	**	Tt	Tt		+			Tt		Tt		Tt	Tt	Tt	Tt	Tt	Tt
% de Macroalgas	43.8	21.3				▲		▼	5	15	31.9-69.3	7		▼	0.5	0.5	0.5			
Estado de Condición	**	**	+	+	++		++	++	+	+	+		+	++	**	**	**	++	++	++
Cita	Sorek y Lang	Sorek y Lang	Kramer et al	Facchini et al	Percival et al	Clarke et al	Alonzo y Clark	Derechamps y Desrosiers	Villanueva I y Pineda de	Kramer y De Meyer	Arias-Orozco et al	Klomp	Marrero y Rold	Pastregill y Shyk	Utrera-Puga y Barba-Santora	Utrera-Puga y Barba-Santora	Utrera-Puga y Barba-Santora	Fate estado	Fate estado	Fate estado

## 9. DIAGNÓSTICO

A partir de los resultados obtenidos de diferentes descriptores de condición considerados por la metodología de *AGRRRA* y utilizados en este estudio, se **diagnosticó** que durante 1999, el estado de condición ó “salud” en la comunidad de corales escleractínios, en el hábitat de cordilleras y canales a una profundidad promedio de 10 m, en los arrecifes de Mahahual, Xahuayxol y Xcalak, fue “bueno”, es decir; poco perturbado (Tabla 4).

Sin embargo, los arrecifes aquí evaluados, poseen un evidente riesgo a ser rápidamente degradados. Como ya se mencionó anteriormente en esta porción del Caribe Mexicano poco tiempo después de concluido este estudio se dio inicio a un proyecto de desarrollo urbano, que ponen en peligro la estabilidad arrecifal. Este desarrollo de infraestructura turística realizado bajo el concepto de “ecoturismo” representa una amenaza en potencia para los arrecifes coralinos. Dicho desarrollo se está efectuando en esta zona a través del Proyecto Turístico Ecológico “Costa Maya”. Este corredor costero va de la Bahía del Espíritu Santo a la Bahía de Chetumal, incluyendo las comunidades de José Ma. Azcorra (ó Punta Herrero, aproximadamente 30 Km. al norte de Mahahual), Mahahual y Xcalak (Daltabuit-Godás, 1999).

Esta actividad humana provoca la transformación de la zona costera debido a la construcción de infraestructura hotelera y diferentes actividades relacionadas, como el buceo autónomo, snorkell y demás deportes acuáticos. Además del aumento de asentamientos humanos cerca de la orilla del mar, el establecimiento de instalaciones portuarias como muelles y marinas; y la contaminación debido al dragado de canales como el Canal de Zaragoza reciente abierto. Sin lugar a dudas, éste desarrollo que se gesta en el área, está afectando a los arrecifes coralinos, debido a los estrechos límites ecológicos de sobrevivencia que poseen (White *et al.*, 1994; Jordán, 1999; in Daltabuit, 1999). Eventualmente, también causará estragos en otros ecosistemas terrestres asociados a los arrecifes como son los humedales o manglares, debido a la deforestación de áreas verdes para la construcción de vías comunicación terrestres y aéreas. (Daltabuit-Godás, 1999).

En una visita de inspección al arrecife Mahahual a principios del año 2001 se observó la construcción terminada de una pista aérea adyacente a esta localidad, también se observaron trabajos de dragado y construcción de un muelle que servirá para el arribo de cruceros de gran calado, así como el notorio avance en la construcción de infraestructura hotelera.

Dada la importancia ecológica, económica y cultural de los arrecifes coralinos, se tiene una gran responsabilidad de cuidar los recursos naturales asociados a ellos (manatíes, tortugas, cenotes, manglares, peces, corales, etcétera) (Arias-González, 1999). Por lo que es necesario y urgente considerar planes integrales de manejo sostenido y conservación del ecosistema arrecifal; que puedan mejorar los actuales modelos de desarrollo turístico, protección de áreas naturales y bienestar económico y social de las comunidades locales.

Los resultados de este trabajo fueron enfocados a obtener información esencial que pueda ser usada como una base de datos. Esta puede servir para realizar nuevos estudios que contribuyan a incrementar las actividades de monitoreo, con base en la investigación científica, con lo cual se logre conservar sustentablemente la vida de este importante recurso marino.

## 10. CONCLUSIONES

Los diferentes descriptores de condición evaluados sirvieron como indicadores genéricos para conocer el estado de “salud” de la comunidad de corales escleractínios en los arrecifes Mahahual, Xahuayxol y Xcalak, durante 1999.

Las especies dominantes en el área de estudio, han sido ya consideradas como importantes constructoras de arrecifes de coral en el Caribe mexicano. En orden decreciente de importancia se presentaron: *M. annularis* > *M. faveolata* > *D. strigosa* > *P. astreoides* > *S. siderea*.

En los tres arrecifes evaluados, en el hábitat de cordilleras a una profundidad promedio de 10 m, se encontró una riqueza de especies de corales escleractínios considerada como alta. Sin embargo, en general las especies en los tres arrecifes cuentan números poblacionales relativamente bajos.

El valor más alto de Equidad ecológica se encontró en Xcalak (0.91), a pesar de poseer un número menor de especies en comparación a Mahahual y Xahuayxol, cuyos valores de Equidad fueron 0.80 y 0.56, respectivamente.

En Mahahual se registraron las tallas coloniales promedio más grandes (58.22 de diámetro y 47.22 de altura). Este arrecife puede ser considerado como el de mayor complejidad estructural para el establecimiento y desarrollo de reclutas, tanto de corales como de peces arrecifales.

La cobertura fue relativamente alta en Mahahual y Xahuayxol. Sin embargo, en Xcalak la reducción de cobertura coralina viva en un lapso de tiempo corto (de 16.3% en 1997 a 8.7% en 1999) señala que de los tres arrecifes, este es el más perturbado por factores naturales y/o antropogénicos constantemente.

La mortalidad parcial fue el mejor indicador de la condición de los corales escleractinios, que en conjunto con los demás descriptores evaluados sirvieron para diagnosticar la “salud” de los arrecifes Mahahual, Xahuayxol y Xcalak como “buena”.

Sin embargo, estos arrecifes se encuentran bajo peligro de ser rápidamente degradados. Esto se debe principalmente al impacto que provoca el desarrollo turístico denominado: Proyecto Turístico Ecológico “Costa Maya”.

Es importante incrementar las actividades de monitores en los arrecifes coralinos de nuestro país. Señalar aquellos arrecifes seriamente perturbados e iniciar planes adecuados de manejo y uso sustentable, además de promoverlos como candidatos inmediatos a reservas o áreas protegidas.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Alcolado, P. y Claro, R. 1999. Cuba, Southwest Coast. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field/cuba.html>.
- Arias-González, J. E. 1998. Trophics models of Protected and unprotected coral reef ecosystem in the South of the Mexican Caribbean. *Journal of Fish Biology*. 53 (Supplement A), 236-255.
- Arias-González *et al.* 1999. Evaluación del estado de condición en arrecifes del Caribe Mexicano aplicando el método AGRRA / Reporte final. <http://www.geocites.com/leac-cinvestav/agrra.htm>
- Arias-González J. E. 1999. Nuestra Responsabilidad ante los Arrecifes Coralinos en el Tercer Milenio. *Ciencia, Arte, Cultura, IPN*. Nueva Epoca. Año 5. Vol.II. Nov.-Dic. 1999.
- Arias-González J. E., Garza-Pérez R., González-Gandara C., González-Salas C. F., Hernández-Landa R.C., Membrillo-Venegas N., Pérez E., Ruiz-Zárata M. A. 2000. Coral Reef Ecosystem Research: Towards Integrated Costal Management on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Proceeding of Workshop. Information Management and Decision Support for Marine Biodiversity Protection and Human Welfare. Coral Reef*. 1: 39-49
- Aronson R. B., Sebens K. P., Ebersole J. P. 1993. Hurricane Hugo's impact on salt river submarine canyon, St. Croix, US Virgin Islands. *Proc Coll Global Aspects Coral Reefs: Health, Hazards and History*. 1:189-195
- Aguilar, O. D. 1998. Estructura de la Comunidad Bentónica del Arrecife de Mahahual, Quintana Roo, México. *Tesis de Doctorado*. UNAM. México.
- Barnes, D. J. *et al.* 1986. Reef Metabolism. *Oceanus*, 29:20-26.
- Bohnsack, J. A. 1993. The impacts of fishing on coral reefs. *Proc. Coll. Global Aspects Coral Reef: hearlth, Hazards and History*. 1:196-200.
- Cáceres, C., C. 1999. Descripción del Arrecife Boca Paila ubicado en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Carricart-Gavinnet, J. P. y Horta-Puga, G. 1993. Arrecifes de Coral en México. *In Biodiversidad Marina y Costera de México. S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México*, pp.865.
- Castañares, L. G. y L. A. Soto. 1982. Estudio sobre los Corales Escleractinios de la Costa Noreste de la Península de Yucatán, México. Parte I: Sinopsis Taxonómica de 38 especies. (*Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia*). *An. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México*. 9 (1):295-344.
- Chávez, E., E. Hidalgo y M. A. Izaguirre. 1985. A comparative analysis of Yucatan coral reefs. *Proc Fifth Int. Symp. Coral Reef Tahiti*. 6: 355-361.
- Chávez, E. y E. Hidalgo, 1988. Los arrecifes Coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. *An. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México*. 15 (1): 167-176.
- Chávez, E., 1997. Sampling design for study of Yucatan, Reefs, Northwestern Caribbean. *Pro. 8th Int. Coral Reef Sym.* 2:1465-1470.

- Comisión Nacional del Agua. 1998. Datos climáticos en Veracruz, Ver., México. *Centro de Previsión del Golfo de México, Gerencia estatal en Veracruz, Ver.* 29 pp.
- Connell, J. H., 1978. Diversity in tropical rain forests and tropical reef. *Science*, 199:1302-1310.
- Cróquer, A. y Villamizar E. 1998. Las variaciones en la pendiente topográfica, un factor a considerar en la evaluación de la estructura de una comunidad arrecifal. *Rev. Biol. Trop.*, 46 Supl. 5: 29-40
- Daltabuit-Godás 1999. Desarrollo turístico en Quintana Roo y sus efectos en el Sistema arrecifal Mesoamericano y el Caribe. *Centro de Investigaciones Multidisciplinarias-UNAM. Reunión Anual PUMA 1999.* pp. 1-14.
- Deschamps, A y A. Desrochers. 1999. St. Vincent Grenadines Horseshoe Reef, Tobago Cays Marine Park. [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field-vincent.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field-vincent.html).
- Dustan, P. 1994. Developing methods for assessing coral reef vitality: a tale of two scales. pp 38-45. En Ginsburg, R. N. (ed) *Proc. Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazard and History, 1993. Rosevelt School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Florida.*
- English, S., C. Wilkinson y V. Buker. 1997. *Survey manual for Tropical Marine Resources.* 2a ed. Institute of Marina Science, Australian. Pp.34-48.
- Fenner, D. P. 1991. Effects of Hurricane Gilbert on coral reefs, fishes and sponges at Cozumel, Mexico. *Bulleting of Marine Science*, 48(3): 719-739.
- Fenner, D. P. 1998. Some Leeward Reefs and Corals of Cozumel, Mexico. *Bulleting of Marine Science.* 42(1): 133-144.
- Fenner, D. P. 1999. New observations on the Stony Coral (Scleractinia, Milleporidae and Stylasteridae) species of Belice (Central America) and Cozumel (Mexico). *Bulleting of Marine Science*, 64(1): 143-154.
- ISRS. 1998. Statement on Global Coral Bleaching in 1997-1998. *International society for Studies Ref., October 15, 1998.*
- Issues in International Conservation. 2000. conservation of Coral Rees after the 1998 Global Bleaching Event. *Conservation Biology.* Vol. 14, No. 1. pp5-15.
- García, C. 1998. Honduras-Cayo Cochinos Biological Reserve. [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field/honduras.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field/honduras.html)
- Garza-Pérez, R. 1999. Análisis Comparativo de Cuatro Comunidades Coralinas Arrecifales del Caribe Mexicano. *Tesis de Maestría.* Unidad Mérida.
- Garza-Pérez, R. y Arias-González J. E. *Temporal change of a Coral Ref. Community in the South Mexican Caribbean.* En prensa.
- Ginsburg R. N., Kramer P., Lang J., Sale P. y Steneck R. 1998. Atlantic and Gulf Reef Assessment (AGRA) Revised Rapid Assessment Protocol (RAP). [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra/rap-revised.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/rap-revised.html)
- Goreau, T. F. y N. I. Goreau. 1973. The ecology of Jamaica coral reef II. Geomorphology, zonation and sedimentary phases. *Bull. Mar. Sci.* 23:399-464.
- Goreau, T. F., N. I. Goreau y T.J. Goreau. 1979. Corals and Coral Reef. *Scientific American.* 24 (2):110-120
- Grivel-Piña F. 1979. Variaciones del nivel medio del mar. Puertos del Golfo de México y Mar Caribe. Datos geofísicos. *Serie A. Oceanografía* 5. UNAM.
- Grigg R.W., Dollar S.J. 1990. Natural and anthropogenic disturbance on coral reefs. In:

- Dubinsky Z. (ed.). *Ecosystems of the world. Coral reefs*. Pp:439-452. Elsevier Science Publishers BV.
- Gutiérrez, D. et. al., 1990. Coral Reef Subregions whitening the Mexican Caribbean. *Sian Ka'an series*. PP.1-6.
- Gutiérrez, D., García, S., M. Lara y C. Padilla. 1993-a. Caracterización de los Arrecifes Coralinos de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo. *Sian Ka'an series*. Documentos, Núm. 1. pp.1-8
- Gutiérrez, D., García, S., M. Lara y C. Padilla. 1993-b. Comparación de arrecifes coralinos de Veracruz y Quintana Roo. pp.787-806. *En Biodiversidad marina y costra de México. S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO*, México.865
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reef. *Mar. Freshwater Res.*, 50, 839-66.
- Horta-Puga y G. Barba-Santos. 1999. Veracruz Reef System, Gulf of Mexico. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/>
- Horta-Puga G, Barba-Santos G, Acosta G, González-Arteaga X, Palacios E, Tovar E (2000) Campaña AGRRA 1999: Evaluación del sistema arrecifal veracruzano. *Resúmenes Ier Congreso Nacional sobre Arrecifes de Coral*. 1:61
- Hughes T. P., Ayre D., Connell J. H. 1992. The evolutionary ecology of corals. *TREE* 7(9):292-295
- Humman, P. 1994. Reef Coral Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. *Jacksonville Florida.Ed N.W. ed., Ned Deloach.*, pp. 86-175.
- Jiménez, I. M. 1999. Diversidad y aspectos ecológicos de corales escleractinios y octocorales del Arrecife Alacranes, Yucatán, México. *Tesis de Licenciatura*. pp.1-17.
- Johannes, R. E. 1975. Pollution and degradation of coral reef communities. *Tropical Marine Pollution.Oceanography Series*.12:13-62
- Jordán, E. 1979. Estructura y composición de Arrecifes Coralinos en la región Noreste de la Península de Yucatán, México. *An. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México*, 6 (1):69-86.
- Jordán, E., et al. 1981. Community Structure of Coral Reefs in the Mexican Caribbean. *Proceeding of the Fourth International Coral reef symposium, Manila*. Vol.2 pp.303-308.
- Jordán, E. 1989. Efecto de la morfología del sustrato en el desarrollo de la comunidad coralina. *An. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México*.(1):105-118
- Jordán, E. 1993-a. El Ecosistema Arrecifal Coralino del Atlántico Mexicano. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* pp. 157-16
- Jordán, E. 1993-b. Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano. Parte I. *CIQRO*. pp. 10-15.
- Klomp K. 1999. Netherlands Antilles – Windward Islands, St. Maarten, St. Eustatius, Saba Bank preliminary report. [http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field/Netherland\\_Antilles.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field/Netherland_Antilles.html).
- Kramer, P., P. Kramer, R. Ginsburg. 1999. Field Report: Andros Reef Complex, Bahamas. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/case-andros.html>.

- Kramer, P. and K. De Meller. 1999. Bonaire Marine Park. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field-bonaire.html>.
- Krebs, C. J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y abundancia. *Editorial HARLA*, 2º ed. Mexico. Pp. 502-503.
- Manfrino C, Riegl B 1999. Turks & Caicos Islands. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field-turks.html>
- Maldonado, G. A. 1998. Estructura del paisaje arrecifal bentónico de Mahahual, Quintana Roo, México. *Tesis de Maestría. CINVESTAV, Mérida, Yuc., México*. pp. 57-58.
- Marshall, P. A., A. H. Bair. 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reef*, 19:155-163.
- Meesters, E. H., I. Wessening y R. P. M. Bak. 1996. Partial Mortality in three Species of reef-Building Coral and the relation whit Colony Morphology. *Bull. Mar. Sci.* 58 (3):988-995.
- Merino Ibarra M. 1986. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* 13(2)31-46
- Merino M, Otero L. 1991. Atlas ambiental costero, Puerto Morelos – Quintana Roo. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Chetumal, Q. Roo*, 80 pp.
- Milory, P. S. 1999. Effects of Light Availability on Reef Community Structure of Hermatypic Coral within Sian Ka'an Biosphere Reserve, Quintana Roo, Mexico. *Thesis Master of Science*. Department of Physical and Life Sciences, Texas A&M University-Corpus Christi.
- Muñoz, E. A. 1992. Estructura de la comunidad bentónica del Arrecife Akumal, Quintana Roo, México. *Tesis de Maestría. CINVESTAV, Mérida*.
- Núñez-Lara, E. y Arias-González J. E. 1998. The relationship between reef fish community structure and environmental variables in the southern Mexican Caribbean. *Journal of Fish Biology*. 53 (Supplement A), 209-221
- Núñez-Lara, E. 1998. Factores que determinan la estructura de la comunidad de peces arrecifales en el sur del Caribe Mexicano: un análisis multivariado. *Tesis de Maestría. CINVESTAV Unidad Mérida*. pp 10-12.
- Lang, J. C. y E. A. Chornesky. 1990. Competition between scleractinian reef corals. En Dubinsky, Z (ed). *Ecosystems of the world. Coral Reef. Elsevier Science Publishing Company*. New York. Pp 210-252.
- Lewis, S. M. 1986. The role of herbivorous fishes in the organization of a Caribbean reef community. *Ecol. Monog.* Vol. 56. pp. 183-200.
- Loya, Y. H. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eliat, Red Sea. *Mar. Biol.* 13:100-123
- Luna-Bauza C. 1994. Crónica de los huracanes en el estado de Veracruz. *Testimonios 6, Gobierno del Estado de Veracruz-Llave*, 132 pp.
- Padilla, S. A., 1996. Demografía y Dinámica Poblacional de *Acropora palmata* en Quintana Roo, México. *Tesis de Doctorado. UNAM. México*.
- Página Web: NOAA, 1998. [http:// coral.aoml.noaa.gov.html](http://coral.aoml.noaa.gov.html),
- Página Web: NOAA, 1999. [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/reports/field-reports.html),
- Pattengill-Semmens, C., T. Shyka. 1999. U.S. Flowers Garden Banks National Marine Sanctuary. [http:// coral.aoml.noaa.gov/agra /report/field-flower.html](http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field-flower.html)

- Pearson, R., G. 1981. Recovery and recolonization of coral reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 4:105-122
- Peckol, P., H. Allen, P.I. & B. 1999. Greenstein. San Salvador Island, Bahamas. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/report/field-salvador.html>.
- Peckol P, Curran HA, Greenstein B 1998 South Central Belize, Central America. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/field-scbelize.html>
- Ruiz-Zárate. Coral Reef. Damage Alert Signs in Xcalak Reef, Mexican Caribbean. *Sometido*.
- Ruiz-Zárate. 2000. Análisis especial del reclutamiento coralino y condición arrecifal en el Caribe mexicano. *Tesis de Maestría*. CINVESTAV, Unidad Mérida-IPN.
- Rogers, C. S.; G. Garrison, M. Hills y M. A. Frake. 1994. Coral reef monitoring manual for for the Caribbean and Western Atlantic. *Coral Reef*. VI. Pp. 92-177
- Secretaría de Marina. 1974. Atlas Oceanográfico del Golfo de México y Mar Caribe. *Sección I. Mareas y corrientes. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México, D. F.* 39 pp.
- Secretaría de Marina. 1983 Calendario gráfico de mareas. *Dirección General de Oceanografía Naval, México, D. F.* 28 pp.
- Smith, S. V. y Buddemeier R. W. 1992 Global change and coral reef ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 23:89-118 Sookin, 1993
- Sokal, R.R., y Rohlf, F. J. 1997. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 3<sup>rd</sup> edition, *WH Freeman and Company, New York*. 887 pp.
- Soong, K. 1993. Colony size as a species character in massive reef coral. *Coral Reef*.12:77-83.
- Sorokin, I. Y. 1993. Coral Reef Ecology. 1sted. *Eds. Spriger. Verlag, Berlín*. pp. 255-264.
- Steneck R. S., Lang J. C. 1997. March rapid assessment of the reef system at Akumal and Xcalak, Quintana Roo, Yucatán Peninsula, México with comparisons to other reef systems. *Report AGRRRA* .16 pp.
- Steneck, R.S. y Lang, J. C. 1999. Akumal and Xcalak, Mexico. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/field-akumal.html>
- Tanner, E. J. 1995. Competition between scleractinian corals and macroalgae: An experimental investigation of coral growth, survival and reproduction. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*. 190 (1995) 151-168
- Tunnell, J. W., 1988. Regional Comparison of Southwestern of Gulf of Mexico to Caribbean Sea Coral Reefs. *Proceeding of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia*. Vol.3.pp. 303-308.
- Tunnell, J. W., A. Rodriguez, R. Lehman and C. Beaver. 1993. An ecological characterization of the Southern Quintana Roo coral reef system. *Texas A&M University*. USA. p.36.
- van Woessik R., Done T. J. 1997. Coral communities and reef growth in the southern Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 16:103-115
- Villamizar E., y Posada J. 1999. Venezuela – Los Roques National Park. <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/field-venezuela.html>
- Wells, J. W. 1973. Coral Reef Project – Papers in memory of Dr. Thomas F. Goreua. 2. New and old scleractinian coral from Jamaica. *Bull. Mar. Sci.* 23 (1): 16-58.

Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S. y West, J.M. 2002. Manejo de los arrecifes de coral blanqueados o severamente dañados. *UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido*. VII+36pp

Zar, J., 1996. *Biostatistical Analysis*. 3a. edición. Ed. *Electronic Technical*.

---

# **ANEXOS**

---



## Anexo 2. Lista Sistemática de los Corales Escleractínios registrados en este estudio

### Phylum Cnidaria

#### Clase Anthozoa

#### Subclase Zoantharia

#### Orden Scleractinia

##### Suborden Archaeoconiina

##### Familia Acroporidae

*Acropora palmata* (Lamarck, 1816) \*

##### Suborden Poritiina

##### Familia Poritidae

*Porites astreoides* (Lamarck, 1816) \*

*Porites porites* (Pallas, 1766) \*

*Porites furcata* (Lamarck, 1816)\*

##### Suborden Fungiina

##### Familia Siderastreidae

*Siderastrea siderea* (Ellis&Solander, 1786) \*

##### Familia Agariciidae

*Agaricia agaricites* (Linnaeus, 1758) \*

*Agaricia carinata* \*

*Agaricia purpurea* \*

*Agaricia danai* \*

*Agariucia teunifolia* \*

##### Suborden Meandriina

##### Familia Meandrinidae

*Meandrina meandrites* (Linnaeus, 1758) \*

##### Suborden Faviina

##### Familia faviidae

*Colpophyllia natans* (Houttuyn, 1772) \*

*Diploria strigosa* (Ellis&Solander, 1786) \*

*Diploria labyrinthiformis* (Linnaeus, 1758) \*

*Montastrea annularis* (Ellis&Solander, 1786) \*

*Montastrea faveolata* \*

*Montastrea franski* \*

*Montastrea cavernosa* (Linnaeus, 1758) \*

**Anexo 3. Claves de los Arrecifes, sitios estudiados y lista de Abreviaciones para corales escleractinios de acuerdo al Protocolo *AGRR***

ARRECIFES	Sitios	Especies
Mh = Mahahual	N = norte	AC = <i>Acropora crevicornis</i>
Xy = Xahuayxol	C = centro	AP = <i>Acropora palmata</i>
Xc = Xcalak	S = sur	A = <i>Agaricia</i> sp.
		AG = <i>Agaricia agaricites</i>
		AGC = <i>Agaricia agaricites carinata</i>
		AGD = <i>Agaricia agarites danai</i>
		AGP = <i>Agaricia agaricites purpurea</i>
		AT = <i>Agaricia teunifolia</i>
		CN = <i>Colpophyllia natans</i>
		DEC = <i>Dendrogira cylindrus</i>
		DIC = <i>Dichocoenia stokesii</i>
		D = <i>Diploria</i> sp.
		DC = <i>Diploria clivosa</i>
		DL = <i>Diploria labyrinthiformis</i>
		DS = <i>Diploria strigosa</i>
		FF = <i>Favia fragum</i>
		EF = <i>Eusmilia fastigiata</i>
		IR = <i>Isophyllastrea rigida</i>
		MT0 = <i>Madrasis decactis</i>
		MD = <i>Madrasis mirabilis</i>
		MM = <i>Meandrina meandries</i>
		MA = <i>Montastra annularis</i>
		MAF = <i>Montastrea annularias faveolata</i>
		MFR = <i>Montastrea annularis franksi</i>
		MC = <i>Montastrea cavernosa</i>
		MN = <i>Mycetophyllia danaana</i>
		MYF = <i>Mycetophyllia ferox</i>
		P = <i>Porites</i> sp.
		PA = <i>Porites asteoides</i>
		PF = <i>Porites furcata</i>
		PP = <i>Porites porites</i>
		SI = <i>Stephanocoenia intersepata</i>
		SM = <i>Sephanocoenia michellini</i>
		S = <i>Siderastrea</i> sp.
		SR = <i>Siderastrea radians</i>
		SS = <i>Siderastrea siderea</i>
		SB = <i>Solenastrea boumوني</i>

**Anexo 4. Análisis de varianza de una vía para las abundancias absoluta por Arrecife.**

**Tabla de ANOVA**

Fuente	SC	gl	MC	Valor de F	Valor de p
Entre gpos.	4.06457	2	2.03228	0.60	0.5516
Dentro de gpos.	172.197	51	3.37641		
Total	176.262	53			

**Anexo 5. Coeficiente Simple de Dominancia (CSD) y porcentaje (%) acumulado por especie.**

Especie	C.S.D.	% Acumulado
AG	1.09	1.09
AGC	1.53	2.61
AGD	1.53	4.14
AGP	0.44	4.58
AP	3.27	7.84
AT	2.40	10.24
CN	5.01	15.25
DL	4.35	19.61
DS	11.33	30.94
MA	24.40	55.34
MAF	13.07	68.41
MC	7.19	75.60
MFR	5.23	80.83
MM	0.22	81.05
PA	9.37	90.41
PF	0.87	91.29
PP	0.44	91.72
SS	8.28	100.00

**Anexo 6. Análisis de varianza de una vía para la H' de Shannon-Wiener.**

Tabla de ANOVA

Fuente	SC	gl	MC	Valor de F	Valor de p
Entre gpos.	0.0188441	2	0.00942	0.14	0.8736
Dentro de gpos.	0.408884	6	0.06814		
Total	0.427728	8			

**Anexo 7 (a). Análisis de varianza de una vía para los diámetros máximos de las colonias coralinas.**

**Tabla de ANOVA**

Fuente	SC	gl	MC	Valor de F	Valor de p
Entre gpos.	0.0430661	2	0.0215331	0.45	0.6395
Dentro de gpos.	21.5114	447	0.0481239		
Total	21.5545	449			

**(b). Análisis de varianza de una vía para alturas máximas de las colonias coralinas por Arrecife.**

**Tabla de ANOVA**

Fuente	SC	gl	MC	Valor de F	Valor de p
Entre gpos.	70.3048	2	35.1524	9.44	0.0001
Dentro de gpos.	1664.21	447	3.72306		
Total	1734.51	449			

**Prueba de comparación múltiple para las alturas máximas por arrecife.**

Método: 95.0 % LSD

Arrecife      Conteo      Media      Grupos Homogéneos

Xc	119	6.53256	X
Xy	82	6.90274	X
Mh	249	7.44009	X

Contraste      Diferencia      +/- Limites

Mh - Xc	*0.90753	0.422598
Mh - Xy	*0.537347	0.482818
Xc - Xy	-0.370183	0.544244

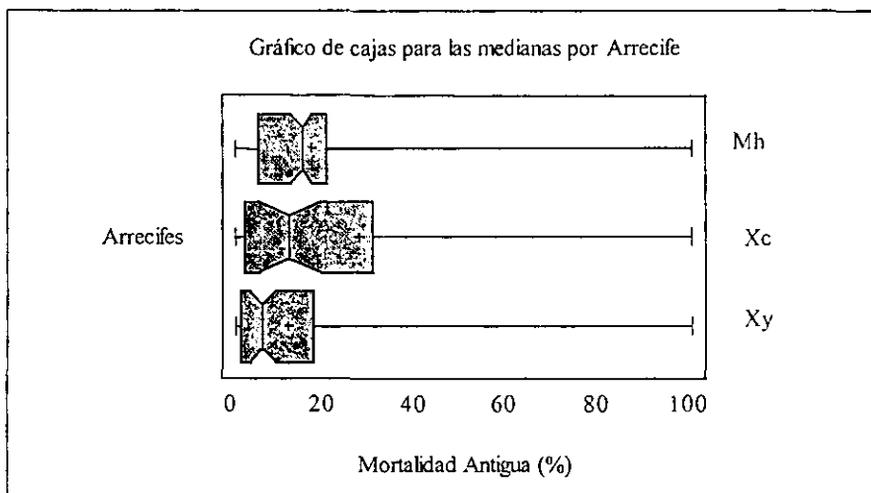
(\*) denota diferencias estadísticamente significativas.

**Anexo 8. Análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) para mortalidad antigua y gráfico de cajas de las medianas por Arrecife.**

Prueba de Kruskal-Wallis para Mortalidad antigua por Arrecife.

Arrecife	Tamaño de muestra	Rango del promedio
Mh	104	128.654
Xc	43	127.884
Xy	89	102.101

Estadístico de prueba  $H = 8.32738$  Valor de  $p = 0.0155501$



El corte en el gráfico de cajas indica diferencias estadísticamente significativas solamente entre las medianas de los Arrecifes de Mahahual y Xahuayxol ( $p < 0.05$ ) con respecto al porcentaje de mortalidad antigua.

**Anexo 9.- Análisis de varianza de una vía para Mortalidad Reciente por Arrecife.**

**Tabla de ANOVA**

Fuente	SC	gl	MC	Valor de F	Valor de p
Entre gpos.	2359.76	2	1179.88	2.99	0.0521
Dentro de gpos.	91864.3	233	394.267		
Total	94224.0	235			

**Prueba de comparación múltiple para las alturas máximas por arrecife**

Método: 95.0 % LSD

Arrecife	Conteo	Media	Grupos Homogéneos
Mh	104	1.14698	X
Xy	89	1.21054	XX
Xc	43	1.29853	X

Contraste	Diferencia	+/- Limites
Mh - Xc	*-0.15155	0.0982135
Mh - Xy	-0.0635549	0.0782223
Xc - Xy	0.0879948	0.100605

\* denota diferecias estadísticamente significativas.

**Anexo 10 . Análisis de varianza de una vía de la cobertura de tejido coralino vivo y resumen de la prueba de comparación múltiple.**

**Tabla de ANOVA**

Fuente	SC	gl	MC	Valor de F	Valor de p
Entre gpos.	135984.0	2	67992.2	27.21	0.0000
Dentro de gpos.	282411.0	113	2499.21		
Total	418396.0	115			

**Prueba de comparación múltiple para las coberturas por Arrecife**

Método: 95.0 % LSD

Arrecife	Conteo	Media	Grupos Homogéneos
Xc	36	85.1111	X
Xy	42	115.595	X
Mh	38	169.474	X

Contraste	Diferencia	+/- Limites
Mh - Xc	*84.3626	23.0356
Mh - Xy	*53.8784	22.1746
Xc - Xy	*-30.4841	22.4956

(\*) denota diferencias estadísticamente significativas.

## Anexo 11. Análisis de Regresión Simple para densidad y cobertura de los Arrecifes evaluados.

Análisis de Regresión – Modelo lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: Cobertura  
 Variable independiente: Densidad

Parámetro	Estándar T		Estadístico	Valor de p
	Estimación	Error		
Intercepto	510.039	490.396	1.04005	0.3329
Pendiente	2778.98	1218.94	2.27983	0.0567

### Análisis de varianza

Fuente	SC	gl	CM	F	Valor de p
Modelo	798189.0	1	798189.0	5.20	0.0567
Residuales	1.07498E6	7	153568.0		
Total	1.87316E6	8			

$R = 0.652777$

$R^2 = 42.61 \%$

Error estándar del estadístico. = 391.877

## Anexo 12. Análisis de Regresión Simple para diámetros y alturas de los Arrecifes evaluados.

### Análisis de Regresión – Modelo lineal: $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: alturas

Variable independiente: diámetros

Parámetro	Estándar T		Estadístico	Valor de p
	Estimación	Error		
Intercepto	11.9357	1.52445	7.82949	0.0000
Pendiente	0.536538	0.023344	22.984	0.0000

### Análisis de varianza

Fuente	SC	gl	CM	F	Valor de p
Modelo	169927.0	1	169927.0	528.26	0.0000
Residuales	144108.0	448	321.671		
Total	314035.0	449			

$R = 0.7356$

$R^2 = 54.11 \%$

Error estándar del estadístico = 17.9352