

35



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CAMPUS IZTACALA

RECLUTAMIENTO Y MORTALIDAD PARCIAL DE Acropora palmata (CNIDARIA, SCLERACTINIA) DEL ARRECIFE ISLA VERDE, VERACRUZ, MEXICO.

T E S I S

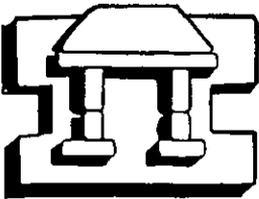
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

XOCHITL COROMOTO GONZALEZ ARTEAGA

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. GUILLERMO JAVIER HORTA PUGA



IZTACALA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

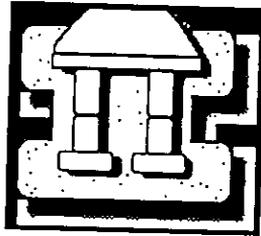
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.

INVEMAR

LABORATORIO DE BIOGEOQUÍMICA

**UNIDAD DE BIOLOGÍA TECNOLOGÍA Y
PROTOTIPOS**



CAMPUS IZTACALA

DEDICATORIA

A mi mamá Florencia Arteaga y a mi papá Wilberto R. González porque me dieron la vida y me enseñaron a disfrutarla con todas sus cosas buenas y malas y no conformes con eso me han apoyado y aconsejado para poder realizar gran parte de mis sueños y proyectos alentándome para siempre ser mejor en todo, por esto y mucho más, un millón de gracias.

LOS QUIERO MUCHO.

A mis hermanas Florencia, Colombia y Wallis Arauca por los momentos que disfrutamos y sufrimos juntas, por su apoyo y por todo el cariño que por ellas siento.

A Rubén Estrada Cervantes porque siempre me brindó su apoyo sin condición alguna y todo lo que en sus manos estuviera. Por que me dio amor, comprensión y paciencia. Por esto y más, estemos o no juntos él siempre será muy importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis amigas Luz María García, Oralia Castillo, Llarai C. Gaviria y Evangelina Castillo les agradezco el haberme brindado su amistad y todos los momentos buenos y malos que vivimos juntas durante la carrera.

A mi maestro Guillermo Horta le agradezco todos sus consejos, su apoyo, el haber confiado en mí, pero sobretodo su valiosa amistad.

A Efrain Morales, mi entrenador, porque me enseñó a ser perseverante y que nada de lo que haga cuenta si no está bien hecho.

También a Matilde Romero, Maritza Lozada, Ivone Ortiz, Ernesto Ramírez, Claudia Ortiz, Gisela Paredes, Griselda Amador, Ana Belem, Aldo Velázquez, Sandro de Jesús Cerón, Roger D. Rico, Hernando Peredo, Alberto Rojas porque los momentos que viví con ellos son inolvidables.

A Tonkin y Danha por el cariño y compañía que me brindaron.

También agradezco a todas mis maestras y maestros de la carrera de Biología por haber compartido sus conocimientos conmigo.

A mis sinodales José Antonio Martínez, Ma. de los Angeles Sanabria, Adolfo Cruz y Arturo Rocha por haber contribuido con sus conocimientos al mejoramiento de este trabajo.

Al equipo INVEMAR por haber colaborado conmigo durante los muestreos realizados para la realización de este trabajo.

Agradezco a la vida por darme la oportunidad de experimentar y enfrentar nuevos retos todos los días.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción	2
Antecedentes.....	6
Objetivos.....	7
Hipótesis.....	7
Descripción del área de estudio.....	8
Material y métodos.....	9
Diseño metodológico.....	9
Parámetros poblacionales	11
Resultados.....	14
Zona Suroeste.....	14
Zona Noroeste.....	15
Zona Sureste.....	15
Zona Noreste.....	17
Discusión.....	19
Distribución de <i>Acropora palmata</i> en el arrecife.....	19
Densidad y cobertura.....	20
Composición por tallas.....	21
Mortalidad parcial.....	23
Mortalidad parcial reciente y antigua.....	24
Morfología de las colonias.....	25
Reclutamiento.....	27
Conclusiones.....	29
Sugerencias.....	31
Literatura citada.....	32
Tablas.....	38
Figuras.....	41
Apéndice I.....	56
Apéndice II.....	59

RESUMEN

Acropora palmata es una de las especies más importantes sobre los arrecifes en los que habita ya que contribuye de forma importante a la construcción de los mismos. El presente estudio se enfocó en la evaluación de dos factores que son determinantes para la permanencia de esta especie sobre el arrecife: el reclutamiento que es considerado como un indicador potencial de la regeneración de las poblaciones y la mortalidad parcial que se presenta como una reducción del área de tejido de la colonia debido a perturbaciones físicas o biológicas. El muestreo se realizó sobre los taludes de barlovento y sotavento entre 1 a 7 m de profundidad, se establecieron cuatro estaciones de muestreo: SW, NW, SE y NE. Para evaluar el reclutamiento se utilizaron cuadros de 25 x 25 cm, contando todas las colonias <2 cm que cayeran dentro de este. Para la obtención del índice de mortalidad parcial se utilizó el método del transecto; cada colonia que estuviera debajo del transecto se contó y se le tomaron los siguientes datos: morfología, longitud de intersección, diámetro máximo, anchura, altura, porcentaje de tejido muerto: reciente y añejo. Estos datos además de permitirnos conocer el índice de mortalidad parcial, también nos ayudaron a conocer la cobertura y densidad que presenta la población de esta especie en cada una de las zonas muestreadas. En la zona SW y NW no se encontró ninguna colonias de *Acropora palmata*; en la zona SE el índice de densidad lineal era de 8.7 col/100 m y la cobertura relativa de 2.9 %; el índice de reclutamiento fue de 0.38 rec/m²; en la zona NE el densidad lineal era de 3.1 col/100 m y la cobertura de 0.53%, y el reclutamiento fue de 0.2 rec/m². Estos datos se consideran muy bajos en comparación con lo encontrado para la misma especie en otras regiones como es el caso de los arrecifes del Caribe. Por otro lado, el índice de mortalidad parcial tanto en la zona SE como en la NE (54.2% y 36.4%respectivamente) es alto. Todo lo anterior nos permite inferir que a pesar de las características ventajosas que tiene esta especie para repoblar un arrecife, la influencia continua de las actividades antropogénicas no ha permitido que esto suceda.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral se encuentran entre los ecosistemas marinos tropicales más complejos sobre el planeta Tierra. La complejidad de estos ecosistemas se origina a partir de la multitud de especies que interactúan a través de múltiples procesos físicos y biológicos (Jordán-Dahlgren 1992). Entre esta gran diversidad de especies, las que principalmente contribuyen a la construcción del arrecife son los corales y las algas calcáreas. De esta manera los corales forman un acumulo de esqueletos calcáreos que dan lugar a promontorios submarinos que sobresalen del fondo y llegan frecuentemente hasta la superficie oceánica y forman la estructura principal del arrecife (Goreau *et al.* 1979). Los corales constructores de arrecifes requieren vivir a profundidades en donde exista una buena penetración de la luz, así la mayoría tiene una distribución vertical de 90 metros o menos (Barnes 1977). En general, los arrecifes de coral, constituyen una comunidad con una diversidad y producción muy alta que energéticamente es prácticamente autosuficiente (Goreau *et al.* 1979, Wells 1957).

Dentro de la gran diversidad de especies de coral, *Acropora palmata* es una de las más importantes en cuanto a la contribución que hace para la construcción de los arrecifes, dentro de los cuales se desarrolla óptimamente sobre los taludes, sobre todo del lado de barlovento, a una profundidad de 1 a 7 m, formando una zona casi exclusiva, aunque también se pueden encontrar colonias aisladas dentro de este rango en zonas someras o hasta los 20 m de profundidad (Pontes 1997). *Acropora palmata* se distribuye principalmente en arrecifes del Atlántico, como los que se encuentran en el Caribe, Florida y en México, frente a la ciudad de Veracruz (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993). Una de las características de esta especie la cual la hace ser una de las principales constructoras del arrecife, es su velocidad de crecimiento que puede llegar a ser de 8 a 9 cm/año (Bak 1976, Gladfelter *et al.* 1978), en ocasiones de hasta 15 cm/año (Pontes op. cit), su tasa inicial de regeneración de tejido puede llegar a ser de 1.59 cm/mes, pero este proceso se va haciendo más lento conforme pasa el tiempo (Fong 1995). El rápido crecimiento vertical de las colonias de *Acropora palmata* en estadio juvenil, les permite alcanzar la morfología adulta en poco tiempo, esto puede conferir una ventaja en la competencia por el espacio y los recursos disponibles (Shinn 1972), sin esto *A. palmata* sería un competidor inferior (Lang 1973).

La abundancia y la cobertura de *A. palmata* en las zonas en las que habita, suele ser grande debido a su gran capacidad de reproducción sexual y asexual. Tanto en arrecifes de Veracruz como en los del Caribe, se han reportado grandes extensiones pobladas por esta especie en las cuales la cobertura puede llegar a ser de hasta el 65% a profundidades no mayores de 9 metros (Rannefeld 1972). En algunos arrecifes de Veracruz se han reportado colonias de hasta 1 m de diámetro sobre los taludes (Secretaría de Marina 1984), y en arrecifes del Caribe de hasta 8 m, con densidades de 0.2 colonias por metro lineal como es el caso del estudio realizado por Rodríguez-Martínez (1998) en el arrecife de Puerto Morelos, Yucatán.

Además del gran tamaño que pueden alcanzar estas colonias, generalmente presentan una morfología vertical y ramificada parecida a la de un árbol, son de tipo plocóide con cenostelo extenso y paredes de origen septotecal (Fong op. cit). La superficie calicular presenta corallitos sobresalientes con dos ciclos de septos y sin columela en los que viven los pólipos. Estas colonias presentan color marrón o marrón amarillento excepto en las zonas de crecimiento que son de color blanco, lo que le da la apariencia de estar perfilado en blanco. Los pólipos suelen estar escondidos durante el día. *Acropora palmata* presenta cierta preferencia por desarrollarse en aguas batidas, por lo cual, las ramas se orientan en función del oleaje y las corrientes (Pontes op. cit). Las larvas de este coral se establecen frecuentemente sobre esqueletos de su misma especie, mostrando predominantemente formas de crecimiento aplanadas durante su estadio juvenil como una respuesta morfológica al sustrato disponible, esta estrategia contribuye a que la tasa de sobrevivencia pueda llegar a ser significativamente más alta y la recuperación de la población, en zonas que han sufrido alguna alteración sea más rápida (Rodríguez-Martínez 1993).

Se ha realizado diversos estudios referentes a la ecología de las poblaciones coralinas, los cuales han contribuido al conocimiento de diversos aspectos de estos organismos, y del papel que juegan en el ecosistema. Cuando se habla de este tipo de estudios se debe tomar en cuenta aspectos como reclutamiento, mortalidad, distribución por talla de los individuos, su densidad y cobertura, estas dos últimas están dadas por la abundancia y ésta a la vez varía en tiempo y espacio por fluctuaciones en las tasas de reclutamiento, crecimiento y mortalidad (Connell 1973, Harrison y Wallace 1990, Jordán-Dahlgren 1992).

Durante perturbaciones físicas y biológicas que se llegan a dar en el hábitat arrecifal se ha encontrado que la fractura de las ramas de *Acropora palmata* puede constituir el modo primario para su reproducción (Highsmith 1982), ya que al tener un rápido crecimiento en longitud las ramas se rompen por su propio peso (Maragos 1972, Bak 1976). Es por este motivo que se ha sugerido que esta especie puede estar adaptada a niveles crónicos de perturbaciones físicas de intensidad intermedia como las que se dan en las aguas someras expuestas de los arrecifes, en donde esta especie domina (Gladfelter *et al.* 1978). Por otra parte, *Acropora palmata* es muy eficiente en la regeneración de tejido perdido por lesiones (Padiilla *et al.* 1990).

Además de la reproducción asexual antes mencionada, también puede darse una reproducción sexual, la cual se presenta una sola vez por año, ocurriendo el desove, por lo general en el mes de agosto (Szmant 1986). La primera reproducción sexual ocurre aproximadamente entre los 4 y 5 años de edad y los 4 a 7 cm de diámetro de la colonia (Wallace y Bull 1986). Los pólipos producen tanto gametos femeninos, como masculinos, los cuales se forman de manera alternada (Marshall y Stephenson 1933). Algunos autores mencionan que *Acropora palmata* tiene una capacidad muy limitada de reclutamiento sexual (Dustan 1977, Bak y Engel 1979), debido a que la dispersión de las larvas plánulas (resultado de la reproducción sexual) depende de los procesos físicos como las corrientes y flujo hidrodinámico presentes en el arrecife, y su establecimiento, de la disponibilidad de

substrato en el mismo; si estas condiciones no existen, difícilmente podrá darse el reclutamiento de las larvas (Babcock 1985).

El reclutamiento de los corales ha sido definido y medido de diferentes formas, dando como resultado corales de distintos tamaños y edades llamados reclutas (Wallace 1983). Cameron y Edean (1985), usaron el término reclutamiento para referirse al número de corales que sobreviven para reproducirse. Connell (1985), lo define como "los juveniles recientemente establecidos que han sobrevivido por un periodo después de su establecimiento". Wallace en 1983, se refirió a los corales que pueden ser detectados en el campo como reclutas "visibles" y a aquellos de menos de 2 mm de diámetro como reclutas "invisibles". En términos generales y para efectos del presente trabajo, se consideró un recluta como un individuo producido sexualmente (larva plánula), que ha sido capaz de colonizar nuevas áreas, incluyéndose como un miembro más de la población (Szmant 1986) y cuyo diámetro no sobrepasa los 2 cm ya que se considera que los individuos de esta talla han podido establecerse y permanecer en el substrato pero aún no alcanzan su madurez sexual por tanto no se pueden considerar adultos (Ginsburg *et al.* 1998).

La mortalidad es otro de los aspectos de importancia para el estudio de la ecología de los corales. Dado que la mayoría de los corales son organismos coloniales, el fenómeno de mortalidad puede presentarse de dos maneras: (1) Mortalidad Total, que implica la ausencia o pérdida completa de tejido vivo sobre el esqueleto del organismo, y (2) Mortalidad Parcial, que se presenta como una reducción del área de tejido de la colonia debido a perturbaciones físicas o biológicas (Hughes y Jackson 1980). A su vez, tanto la mortalidad total como la parcial, pueden presentarse en forma de muerte reciente o antigua. La primera implica la presencia del esqueleto o partes del esqueleto de color totalmente blanco o con una fina capa de arena y la superficie del mismo sin huellas de erosión o habitada por otros organismos incrustantes. La segunda se identifica debido a que el esqueleto o porciones del esqueleto carentes de tejido, que por cierto se encuentran muy erosionados, presentan diversos colores que se deben principalmente a pequeños organismos incrustantes como algas o bacterias, también podemos encontrar organismos incrustantes más grandes como lo son principalmente, las esponjas (Ginsburg *et al.* op. cit.).

Los índices más altos de mortalidad se dan en las etapas más tempranas del desarrollo de estos organismos. En trabajos como el de Stoddart (1969) en donde describió los cambios sufridos en arrecifes y cayos después de un huracán, se menciona que algunas de las causas de mortalidad coralina son las siguientes: la prolongada exposición al aire, a una fuerte lluvia, flujos de agua dulce especialmente si está acompañada por una gran cantidad de sedimentos y la acción de oleaje intenso durante las tormentas. En este tipo de eventos, todas o la mayoría de las colonias mueren y a menudo son grandes extensiones las que se ven afectadas. Cuando la mortalidad es local o en colonias individuales las causas más probables, son la competencia y los enemigos naturales (Connell 1973). Otra de las causas reportadas más importantes que provocan mortalidad coralina y en general en la mayoría de organismos del ecosistema arrecifal es la contaminación por metales pesados, hidrocarburos, pesticidas y nutrientes, que en gran parte se origina de actividades humanas (Horta-Puga *et al.* 1997). Sea cual fuere la manera en que se presente la mortalidad en las poblaciones coralinas, esta afecta su estructura provocando una disminución en el número de individuos que la conforman y a su vez cambiando la distribución que la población tenía

sobre el arrecife, desapareciendo de algunas zonas en donde en un principio habitaba. Esto da lugar a la proliferación de otras poblaciones que si resisten las condiciones que provocan la mortalidad coralina, estas poblaciones van ganando espacio a la vez que provocan la desaparición de las especies coralinas y rompen con el equilibrio en el arrecife.

Dado que el reclutamiento y mortalidad mencionados y definidos anteriormente son determinantes para conocer las condiciones actuales y la recuperación de las poblaciones de *Acropora palmata*, resulta de suma importancia conocer los índices tanto de reclutamiento (No. de reclutas presentes en un lugar y tiempo determinados), como de mortalidad parcial (No. de individuos que presentan áreas necrosadas en un tiempo y lugar determinados) ya que la presencia de los reclutas se considera un indicador del potencial de regeneración de las poblaciones y la mortalidad, la contraparte del primero.

En el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) las condiciones a las que se enfrentan los arrecifes coralinos, en general, son poco propicias para su desarrollo, debido a la contaminación ambiental a la que se encuentran sujetos por su cercanía a la costa, y por el hecho de que el Puerto de Veracruz es uno de los más importantes del país. Aunado a lo anterior, las condiciones ambientales naturales que se dan en Veracruz tampoco son muy favorables para estos ecosistemas ya que en esta región del Golfo de México desembocan ríos muy caudalosos, además esta región presenta numerosos "nortes" por temporada, que pueden llegar a alterar las zonas someras de los arrecifes (Horta-Puga *et al.* 1997). Existen registros que indican que las poblaciones de *Acropora palmata* en el SAV, eran muy abundantes hasta la primera mitad de este siglo (Heilprin 1890, Moore 1958, Emery 1963) sin embargo, a partir de la década de los setentas *Acropora palmata* sufrió una merma considerable en su abundancia de la cual hasta la fecha no se ha recuperado totalmente (Jordán-Dahlgren 1992). El primer reporte de un evento de mortalidad masiva en el SAV de *Acropora palmata* fue dado por Rannefeld (1972), indicando la aparición de áreas muertas en la zona de *Acropora palmata* en el arrecife de Isla de Enmedio.

El presente estudio se realizó con el fin de ampliar nuestro conocimiento sobre las condiciones de reclutamiento y mortalidad de la población de *Acropora palmata* del arrecife Isla Verde en la actualidad. En trabajos anteriores como el realizado por Jordán-Dahlgren (1992), en el cual se enfoca a describir los patrones que sigue *Acropora palmata* para recolonizar los arrecifes que se encuentran ubicados frente a las costas del estado de Veracruz, entre los cuales, se encuentra el arrecife Isla Verde, se han reportado datos de distribución por tallas, densidad y cobertura de esta población, sobre los márgenes de barlovento, a una profundidad máxima de 6 m. En el presente estudio se pretendió conocer las condiciones actuales de mortalidad parcial y reclutamiento de esta población, muestreando distintas zonas (NW, NE, SW y SE) a profundidades de 1 a 7 m, tales parámetros no fueron obtenidos en el estudio realizado hace 7 años por Jordán-Dahlgren. Además de los parámetros anteriores, se obtuvieron los datos de distribución por tallas, densidad y cobertura que presenta esta población en la actualidad.

ANTECEDENTES

Entre los estudios que se han realizado para conocer diversos aspectos de la ecología de poblaciones de corales escleractinios, algunos de estos se han enfocado a *Acropora palmata*. Jordán-Dahlgren (1992) realizó un estudio de los patrones de recolonización que presenta esta especie en arrecifes de Veracruz. Respecto a la distribución por tallas encontró que la gran mayoría de colonias, sobre todo sobre los taludes, eran de talla pequeña (25 a 35 cm de diámetro), talla que puede ser alcanzada en pocos años y probablemente sea resultado de reclutamiento larval. Sobre la densidad de colonias de gran tamaño, encontró que esta era muy baja presentándose más frecuentemente sobre el sector sureste de los arrecifes, lo que sugeriría que pocas colonias crecieron durante los primeros estadios en el proceso de recolonización debido a que, desde el punto de vista fisiológico, el proceso de crecimiento se ha dificultado o quizá cualquier otro factor mecánico haya afectado su desarrollo y que los rangos de recolonización han ido incrementándose desde entonces. También encontró que existe una gran influencia ambiental sobre los procesos de recolonización relacionada con la dinámica de las aguas costeras.

Bak y Engel en 1979, hicieron un estudio de la distribución, abundancia y supervivencia de corales juveniles hermatípicos y la importancia de las estrategias de historia de vida en la comunidad coralina, encontrando que *Acropora palmata* produce muy pocos juveniles y que su principal estrategia de reproducción es vegetativa, seguida por el establecimiento y la subsecuente supervivencia de los juveniles. Rogers *et al.* (1982) realizaron un muestreo con 5 transectos lineales de 10 m y 57 cuadros de 1 m² para analizar el impacto de los huracanes David y Federico sobre *Acropora palmata* en St. Croix, Islas Vírgenes. Finalmente, Padilla *et al.* (1990) realizaron estudios acerca del crecimiento y regeneración de *Acropora palmata* en Puerto Morelos, Quintana Roo, México, después del paso del huracán Gilberto en 1988, observando que las colonias de *Acropora palmata* presentan una tasa de crecimiento diferente entre la región apical y basal, y que aproximadamente el 50% de las colonias presentaron lesiones de las cuales el 40% aumentó y el 60% se recuperó.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Contribuir al conocimiento de los parámetros poblacionales: reclutamiento y mortalidad parcial de *Acropora palmata*, en el arrecife Isla Verde, perteneciente al Sistema Arrecifal Veracruzano

Objetivos Particulares:

1. Estimar la densidad y cobertura de la población de *Acropora palmata*.
2. Estimar el índice de mortalidad parcial que presenta la población de *Acropora palmata*.
3. Estimar el índice de reclutamiento de *Acropora palmata*.

HIPÓTESIS

La población de *Acropora palmata* en Isla Verde presenta una densidad baja producto de una interacción compleja entre las diversas variables naturales y las actividades antropogénicas. Además el Sistema Arrecifal Veracruzano, al cual pertenece el arrecife de Isla Verde, es uno de los complejos arrecifales más perturbados por las actividades humanas, lo que se traduce en un ambiente poco propicio para la recuperación de las poblaciones coralinas. Así es de esperarse que existan niveles de mortalidad parcial altos y de reclutamiento bajos para *Acropora palmata*.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Sistema Arrecifal Veracruzano se encuentra en el sur del Golfo de México y representa el límite occidental de la distribución de los arrecifes del océano Atlántico. Está dividido en 2 grupos, Norte y Sur. Estos arrecifes tienen un origen postglacial y una edad aproximada de 9,000 a 10, 000 años, alcanzan una profundidad de 25 a 40 m; en general, se encuentran a no más de 22 km de la línea de costa (Kühlmann 1975; Morelock y Koenig 1967).

Isla Verde es uno de los arrecifes que conforman el grupo Norte del SAV, es de tipo plataforma y se localiza a 19° 11' 50'' N y 96° 05'43'' W, a 5.37 km de la costa, su eje más largo está en dirección NW-SE con 1.12 km y su parte más ancha mide 750 m; en su extremo sur presenta un pequeño cayo de 225 m de longitud por 125 m de anchura, (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993), (Fig. 1). Este cayo está formado principalmente por arena producto del desgaste de los esqueletos coralinos y las conchas de otros organismos invertebrados que viven sobre el arrecife, además presenta una gran cantidad de vegetación.

En el talud de sotavento se presenta un menor movimiento y circulación del agua, por lo que esta zona es de aguas tranquilas y poco oxigenadas; sobre la planicie de esta zona encontramos grandes parches de arena y de *Thalassia testudinum*, además de una gran cantidad de erizos y zonas mas o menos grandes de coral muerto. Los géneros de corales dominantes son aquellos que tienen una morfología masiva como es el caso de *Siderastrea* y *Diploria* y en menor proporción *Porites* (PEMEX 1987). En la zona de barlovento el talud presenta una pendiente poco inclinada, existe un movimiento y circulación del agua más intenso que en sotavento, además se observó una menor diversidad coralina y dentro de las poblaciones presentes de mayor importancia coralina encontramos a la de *Acropora palmata*, principalmente a una profundidad de 1 a 5 m en los sitios más cercanos a la cresta arrecifal (obs.pers.).

Este arrecife junto con otros que también son parte del SAV, se encuentran en una zona de amplia sedimentación terrígena ya que sedimentos y materia orgánica que provienen del río Jamapa-Atoyac se depositan preferentemente hacia el norte de su desembocadura (Hernández-Rosario y Tinoco-Blanco 1988), es quizá por esta razón que los arrecifes del sur tienen un mayor desarrollo. El clima es de tipo tropical, la temperatura media anual es de 25.4° C y en los meses más fríos de 18° C. Las condiciones oceanográficas en promedio anual son: salinidad 34.4 ppm, densidad 1.0257 gr/cm³, temperatura superficial 26°C y oxígeno disuelto 4.6 a 5.6 ml/l. La frecuencia de las tormentas (expresada como velocidad del viento sobre 20 m/seg) es relativamente alta durante los meses de invierno cuando los frentes fríos descienden a través del Golfo de México (2.2 por año; Secretaria de Marina, 1987). Además de las duras condiciones ambientales naturales a las que se enfrentan estos arrecifes, también están expuestos a grandes impactos antropogénicos, principalmente la contaminación por químicos, la extracción de colonias de coral, la pesca, el buceo recreacional, etc (Horta-Puga *et al.* 1997) (Fig. 1).

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO METODOLOGICO

Para efectos del presente estudio el arrecife Isla Verde se dividió en 4 zonas. Cada zona representó una estación de muestreo. Las estaciones quedaron ubicadas en los taludes NW, N E, SW y SE, entre 1 y 7 m de profundidad, dado que las características de la especie le permiten desarrollarse mejor en este rango de profundidades (Bak 1987, Rogers 1982), además que esta zona se considera para el SAV, el biotopo de *Acropora*, por ser la porción del arrecife donde *Acropora* spp. es especialmente abundante (Vargas-Hernández *et al.* 1993) (Fig. 2).

1. Zona Noroeste (NW): En esta zona se encuentra el talud de sotavento que se caracteriza por ser un área protegida del embate de las olas, por lo tanto las aguas en este lugar son de poca turbulencia, pero al mismo tiempo son poco oxigenadas debido a la falta de circulación de la misma. Presenta una baja diversidad coralina. Durante el invierno esta zona se encuentra expuesta a corrientes provocadas por grandes masas de aire frío provenientes del norte (Carricart-Ganivet y Horta- Puga 1993).
2. Zona Noreste (NE): Se caracteriza por presentar un talud expuesto al embate de las olas por lo cual, los corales que son desplazados por el mismo oleaje se acumulan en esta zona y forman una cresta la cual sobresale del agua. Se considera una zona de gran turbulencia y de aguas oxigenadas por su constante recirculación. También es afectada por los vientos que provienen del norte durante el invierno. Tiene una pendiente muy pronunciada y una diversidad coralina mayor que en sotavento.
3. Zona Suroeste (SW): Parte del talud de sotavento con las mismas características ya mencionadas para esta región en el Noroeste, pero durante el invierno la acción de los vientos provenientes del Norte es amortiguada por la porción norte del arrecife.
4. Zona Sureste (SE): Parte del talud de barlovento en el cual se presentan las mismas condiciones que en la región Noreste. Se encuentra protegido de los vientos del Norte gracias a la porción Norte del arrecife.

El contar con los datos obtenidos de las 4 zonas mencionadas anteriormente contribuyó a tener un conocimiento de las condiciones de mortalidad y reclutamiento de la población de *Acropora palmata* sobre el arrecife Isla Verde en la actualidad.

La obtención de los datos se llevó a cabo durante dos salidas al campo, en abril y julio de 1999. El muestreo se realizó con base a la metodología establecida en el Protocolo de Muestreo Rápido (Rapid Assessment Protocol "RAP") para el proyecto "Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment" (AGRRA) (Ginsburg *et al.* 1998), el cual se diseñó para proveer una mayor cantidad de información en un tiempo más breve, acerca de las condiciones que presentan los arrecifes, por lo cual se realizaron algunas modificaciones para adaptarlo al muestreo de poblaciones. El Apéndice I, comprende el protocolo mencionado, el que también puede ser consultado en la siguiente dirección: <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/index.html>.

Para estimar los parámetros poblacionales densidad, cobertura y mortalidad parcial se utilizó el método del transecto en línea, el cual ha tenido una efectividad demostrada para estudios de ecología marina y específicamente para el muestreo de corales (Loya 1972, Dodge *et al.* 1982, Ginsburg *et al.* 1998). Dado que el protocolo de muestreo implica la evaluación de por lo menos 100 colonias vivas de corales (Ginsburg *et al.* 1998), se consideró que una muestra de 50 individuos vivos en cada zona de muestreo es representativa, dado los números poblacionales bajos de la especie en el área de estudio (Jordán-Dahlgren 1992). Así, el número de transectos realizados SW 19, NW 25, SE 55 y NE 69, varió en función de la abundancia propia de la especie en cada zona. Tanto en la zona SW como en la NW no se encontró organismo vivo alguno de *A. palmata*, por lo cual se decidió suspender el muestreo.

En cada una de las zonas se colocaron transectos con una longitud de 10 m y se posicionaron paralelamente a la línea de cresta arrecifal, siguiendo el contorno batimétrico del talud, tratando de que fuera siempre a una misma profundidad y evitando áreas con cambios abruptos en el declive (mayor de 50 cm.), grietas profundas, grandes parches de arena o colonias de coral no consolidadas. Para la colocación de cada transecto se utilizó un cabo de nylon con plomadas para evitar que flotara, procurando posicionar cada transecto separado al menos 1 m de los adyacentes. En cada transecto se tomaron los siguientes datos para cada colonia viva de *A. palmata* que se encontrara por debajo de la línea (Fig. 3):

- A. Número de colonias vivas de *Acropora palmata*.
- B. Morfología de la colonia: ramificada o encostrante.
- C. Longitud de intersección.
- D. Diámetro máximo.
- E. Anchura, en posición perpendicular al diámetro máximo.
- F. Altura.
- G. Porcentaje de tejido muerto (mortalidad parcial).
 - a. Reciente.
 - b. Antiguo.

Para tomar las medidas de longitud de intersección, diámetro máximo, ancho y altura se utilizó un dispositivo en forma de "T" construido de PVC con dimensiones de 1 x 1 m, el cual se marcó a intervalos de 5 cm tanto en los dos brazos como en el soporte. Por lo tanto cada una de las medidas tomadas se aproximó al inmediato superior o inferior de cada intervalo (5 cm), de esta forma las medidas se tomaron con mayor rapidez, con un error mínimo (+/- 2.5 cm). Ginsburg *et al.* (1998) proponen que tomando las medidas de esta manera, se puede obtener información que aunque no es del todo exacta, es sumamente confiable ya que se obtiene un mayor número de ésta en un menor tiempo.

La mortalidad parcial se estimó de forma visual considerando que área, en términos de porcentaje del total de superficie para cada colonia, presentaba tejido necrosado, ausente o blanqueado. Al mismo tiempo, del tejido muerto se determinó cuanto de él correspondía a una muerte reciente (partes no vivas de coral en las cuales las estructuras de los corallitos están blancas, aún intactas o cubiertas por una fina capa de arena) y/o a una muerte antigua (partes no vivas del coral en las cuales las estructuras de los corallitos están cubiertas por organismos que no son fácilmente removibles). Previo al muestreo se realizó un ensayo

entre todos los que participaron en el muestreo, para unificar el criterio con respecto a la obtención de los datos, teniendo como base esquemas que el mismo Protocolo de Muestreo Rápido ("RAP" Rapid Assessment Protocol) proporciona en su metodología (Apéndice II, <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/rtecm/page2b.htm>).

Para estimar el índice de reclutamiento en cada zona se utilizó el método de cuadros de 25 x 25 cm (625 cm²) ya que estos permiten estimar fácilmente la densidad de reclutas (Ginsburg *et al.* 1998). El Protocolo AGRRA de muestreo mencionado, estipula que para obtener una muestra representativa del índice de reclutamiento en un área, es necesario realizar por lo menos 80 cuadros, así se realizaron el siguiente número de cuadros en cada zona: SW 135, NW 93, SE 627 y NE 556. Estos se colocaron evitando las zonas de arena, corales masivos de gran tamaño o parches conspicuos de macroalgas u otros organismos bentónicos. En general el cuadro se colocó en una área clara entre corales y con sustrato adecuado para la fijación de las larvas plánulas como lo son las mismas colonias muertas de *Acropora palmata*. En cada cuadro se contó el número de colonias de *Acropora palmata* de talla menor a 2 cm, que fueron los que se consideraron como reclutas (Fig. 4).

PARÁMETROS POBLACIONALES.

Índice de Densidad Lineal.

Con los datos obtenidos del número de colonias presentes bajo los transectos se obtuvo el Índice de Densidad Lineal (IDL) para cada una de las zonas muestreadas. Primero se sumó el número de todas las colonias encontradas bajo todos los transectos esta cantidad se dividió entre la suma de la longitud de todos los transectos realizados. La fórmula aplicada fue la siguiente:

$$\text{IDL} = \frac{\text{Número total de colonias}}{\text{Longitud total de todos los transectos en metros lineales}}$$

Índice de Cobertura Relativa Lineal.

La cobertura se expresa como el tanto por ciento del espacio de hábitat que está cubierto por las colonias de coral. El Índice de Cobertura Relativa Lineal (ICRL) para cada una de las zonas se obtuvo utilizando los datos de longitud de intersección de las colonias que se encontraban bajo los transectos, con la siguiente fórmula:

$$\text{ICRL} = \frac{\text{Suma de las longitudes de intersección de las colonias}}{\text{Longitud total de todos los transectos}} \times 100$$

Mortalidad Parcial.

Se determinó el índice de mortalidad parcial con la siguiente fórmula:

$$\text{IMP} = \frac{\text{No. Col. con Tej. Muer. en la Zona} \times 100}{\text{No. Total de Colonias}}$$

posteriormente, tomando en cuenta las tallas obtenidas mediante las mediciones se establecieron intervalos de talla para los organismos. Se obtuvo el porcentaje de la población que presentó tejido muerto en cada intervalo de talla (graficando intervalos contra número de colonias con porcentajes de tejido muerto). Subsecuentemente se tomó cada uno de los intervalos por separado para determinar el porcentaje de colonias (dentro de ese intervalo) que presentó un determinado porcentaje de tejido muerto (graficando % de tejido muerto vs. número de colonias). Por último, se estimó cuantos de los individuos dentro de un determinado % de tejido muerto han sufrido una muerte reciente y cuantos una muerte antigua.

Índice de reclutamiento.

El índice de reclutamiento se obtuvo con base a la densidad (número de individuos por el espacio o área de hábitat) de los reclutas en las zonas muestreadas. Se sumó el número total de reclutas encontrados en todos los cuadros (25 x 25 cm) que se distribuyeron sobre el mismo sitio sobre el cual se realizaron los transectos (en cada una de las zonas) y el resultado se dividió entre el valor obtenido de la suma de las áreas de todos los cuadros realizados en esa zona.

$$\text{Índice de Reclutamiento} = \frac{\text{Número de reclutas en el cuadrante} \times \text{Unidad de área.}}{\Sigma \text{ áreas de los cuadros}}$$

Composición por tallas.

Para conocer la composición por tallas en cada zona, se obtuvo la talla de cada una de las colonias de *Acropora palmata* encontrada en las zonas de muestreo bajo los transectos, en primer lugar sólo tomando el diámetro máximo de cada una de las colonias para que nuestros datos fueran comparables con los obtenidos en estudios realizados hace 7 años (en donde precisamente se utilizó este método para conocer la composición por tallas de la población).

Posteriormente se utilizaron otros métodos para obtener la talla de los organismos. En las colonias encostrantes se multiplicaron las medidas de largo, ancho y altura para sacar su volumen, ya que estas colonias tienen una forma aplanada y aunque su crecimiento vertical es escaso, pueden llegar a tener 2 o 3 cm de grosor, por lo cual se aproximó esta medida en todos los casos a 5 cm. Para aquellas colonias encostrantes que habían crecido sobre un esqueleto ramificado, primero se determinó que efectivamente fueran encostrantes observando las características de los límites o bordes de su tejido para descartar la presencia de tejido muerto, lo que implicaría que esta sólo fuera parte del tejido de la colonia ramificada y posteriormente también se tomaron las mismas medidas.

Por otro lado, para las colonias ramificadas, el aplicar el método anterior no nos proporcionaba un dato real acerca de su talla; debido a su estructura presentaban una mayor dificultad para medirlas, por lo que se decidió seguir el siguiente método para lograr acercarnos un poco más al tamaño real de estas colonias: se midieron 5 de las ramas de

cada colonia (largo, ancho y grosor), se obtuvo el volumen de cada una. Se sumaron los valores de volumen de las 5 ramas y el resultado se dividió entre 5 para sacar un volumen promedio. Este último valor obtenido se multiplicó por el número de ramas total que presentaba la colonia (tomando en cuenta la base de la colonia como una rama más de la colonia), de esta manera se obtuvo la talla de toda la colonia, las colonias que presentaban menos de 5 ramas pasaron por el mismo proceso, tomando en cuenta el número de ramas presentes.

Posteriormente, de acuerdo a los resultados obtenidos se establecieron 11 intervalos de talla con rangos de 10 000 cm³ (incluyendo colonias desde menos de 10 000 cm³ hasta 110 000 cm³), ya que se consideró que de esta manera, las colonias, de acuerdo a las tallas encontradas durante la realización del muestreo en Isla Verde tendrían una ubicación dentro de los intervalos con la que se podría representar su composición por tallas sobre el arrecife.

De forma adicional a este muestreo, se llevó a cabo otro en el que se eligió un sitio cercano al del primer muestreo en la misma zona, cuidando que ésta se localizara a una distancia considerable de la zona en donde se tiraron los transectos para no volver a contar las mismas colonias. Este segundo tipo de muestreo se realizó sin la utilización de transectos, se contaron y midieron las colonias de *Acropora palmata* que se iban encontrando conforme se iba buceando; el número de colonias encontradas fue mucho mayor, pero dado que este muestreo se realizó sin ningún diseño metodológico los datos sólo sirvieron para respaldar algunos resultados que se obtuvieron durante el primer muestro en la zona, en los cuales si se utilizaron los transectos como los de composición por tallas, porcentajes de mortalidad parcial por intervalos etc.

RESULTADOS

El muestreo realizado en las 4 zonas (SW, NW, SE y N E) del arrecife Isla Verde entre los 2 y 7 m. de profundidad, nos permitió conocer las condiciones y características principales de la población de *Acropora palmata*, por lo cual se puede, en primer lugar, realizar una descripción general de toda el área muestreada.

En las zonas SW y NW (talud de sotavento) no se logró localizar ninguna colonia de *Acropora palmata*. Lo que prevalecía en estas zonas era una gran cantidad de esqueletos de *Acropora cervicornis* y escasas colonias vivas de dicha especie.

En las zonas SE y N E del arrecife (talud de barlovento), se pudieron localizar varias colonias vivas, tanto ramificadas como encostrantes, de la especie estudiada, estas colonias iban desde tallas pequeñas (la mayoría), hasta colonias de grandes dimensiones, las cuales eran relativamente escasas y se localizaban a muy poca profundidad (entre 1 y 2 m.). Las colonias se encontraban tanto de forma aislada como formando agrupaciones con otras de su misma especie.

El número de transectos realizados en cada una de las zonas tuvo que ser distinto debido a la marcada diferencia de densidad coralina entre cada una de las zonas muestreadas pues no tenía caso realizar demasiados transectos en zonas en las que no se encontró ni una sola colonia de *Acropora palmata* (zonas SW y NW), aún después de realizar una inspección general del área (dentro de los 2 a 7 m. de profundidad del talud donde se llevó a cabo el muestreo), el mismo criterio fue tomado en cuenta para la realización del número de cuadros.

En las zonas SE y N E, el número de transectos y cuadros fue mucho más alto, ya que en estas zonas si se encontraron colonias y reclutas de *Acropora palmata*. Se realizó el número de transectos y cuadros que se consideró necesario para tener una muestra representativa de la población de colonias adultas y reclutas en cada zona, abarcando un área amplia de muestreo y el mayor número de colonias y reclutas posibles en cada una de las zonas del arrecife.

Los resultados obtenidos en general, para la población de *Acropora palmata* en todo el arrecife fueron los siguientes: índice de densidad lineal (IDL) 4 col./100 m, índice de cobertura relativa lineal (ICRL) 1.17 %, índice de mortalidad parcial 48.57 % de la población, reclutamiento 0.3 rec/m² (Tabla 1 y 2).

ZONA SUROESTE

Haciendo una descripción particular de cada zona se encontró que en la zona Suroeste, en donde se realizaron un total de 19 transectos (190 m), distribuidos sobre el sitio elegido del talud (1 a 7 m. de profundidad), no fue posible localizar alguna colonia viva de *Acropora palmata*. Realizando una inspección general de la zona, tampoco se encontró ninguna colonia de la especie, dado lo anterior, en esta zona, *Acropora palmata* tiene un IDL y un

ICRL igual a 0 (Tabla 1), y por lo tanto tampoco se obtuvo ningún otro parámetro poblacional, ya que incluso, tampoco se encontró ningún recluta de la especie en los cuadros de 25 x 25 cm que se tiraron de manera azarosa sobre el mismo sitio (en total 135, lo que es equivalente a un área de 8.43 m²), por lo que el índice de reclutamiento también es 0 (Fig. 27, Tabla 2).

ZONA NOROESTE

En la zona Noroeste se hicieron un total de 25 transectos (250 m) distribuidos en el sitio elegido del talud. En esta zona tampoco se encontró ninguna colonia de *Acropora palmata* bajo los transectos, y tras una inspección general del área se pudo corroborar la ausencia tanto de colonias vivas como de esqueletos de la misma especie, por consecuencia el IDL y el ICRL de esta especie en esta zona es igual a 0 (Tabla 1). Sin embargo, a pesar de no encontrarse ninguna colonias adulta, fue posible localizar 4 reclutas, entre los 93 cuadros de 25 x 25 cm (5.81 m²) que se colocaron en esta zona. Por lo tanto, se podría considerar un índice de reclutamiento en esta zona de 0.68 rec/m², lo que se puede tomarse como un índice alto si se toma en cuenta que resulta difícil explicar la existencia de reclutas de *Acropora palmata* en esta zona en donde además de no existir ninguna colonia viva de la especie, tampoco existen esqueletos de la misma, que resultan de gran importancia para la fijación de la larva plánula. Una posible explicación a lo que se encontró, es que quizá los reclutas no sean de *Acropora palmata* sino de *Acropora cervicornis*, ya que esta especie si se encuentra en esta zona, aunque también, por lo que se pudo estimar visualmente, en bajas densidades. Una de las razones más importantes para pensar en esta posibilidad es que *Acropora cervicornis* en sus primeras etapas de desarrollo (recluta) tiene una morfología muy parecida a los de la especie buscada, (Szmant, 1986), por tanto es muy difícil diferenciarlos en el momento de estar muestreando bajo el agua y muy fácil confundirlos. De ser así, el reclutamiento de *Acropora palmata* en esta zona sería de 0 (Tabla 2), lo que resultaría en dado caso, más congruente con la ausencia de *Acropora palmata* en esta misma zona y en la zona Suroeste.

ZONA SURESTE

En la zona Sureste se realizaron un total de 55 transectos (550 m) siguiendo el mismo criterio que en las zonas anteriores, bajo los cuales se encontraron un total de 48 colonias de la especie buscada, por lo que se puede determinar que el IDL de *Acropora palmata* en esta zona es igual a 8.7 col/100 m (Fig.5, Tabla 1), lo que se podría considerar como una densidad baja, si la comparamos con la que se da en arrecifes de otras regiones, por ejemplo del Caribe. En cuanto al ICRL, éste es de tan sólo el 2.9 % (Fig. 6, Tabla 1) del área muestreada (lo que es equivalente a 16.11 m. de los 550 m muestreados).

La talla promedio que se obtuvo tomando en cuenta el diámetro máximo fue de 58.4 cm (Fig. 7), y la talla promedio real fue de 14,930 cm³ (Fig. 8).

En cuanto a la composición por tallas de la población, ésta, se dio de la siguiente forma, se localizaron un total de 48 colonias la mayoría de las colonias localizadas se encuentran en intervalos de tallas pequeñas (desde menos de 10,000 cm³ hasta 20,000 cm³) y en los intervalos de tallas grandes se encontraron un número muy bajo de colonias (Fig. 9). De

forma adicional al conteo de colonias con transectos, también se realizó una inspección en un área cercana a donde éstos se colocaron, pero ahora sin colocar transectos, solamente con el fin de corroborar con un mayor número de datos que la información obtenida con los transectos nos estuviera dando una visión real de lo que sucede con la población de *Acropora palmata*. Las colonias que se encontraban se iban contando y midiendo conforme el buzo avanzaba sobre el área elegida. El número obtenido de colonias de *A. palmata* fue mayor al obtenido con los transectos (115 colonias), sin embargo la composición por tallas fue muy similar a la obtenida con los datos de los transectos, sólo que durante este muestreo se pudieron localizar algunas pocas colonias de hasta 140 000 cm³, por lo tanto fue necesario realizar un número mayor de intervalos para incluirlas (Fig. 10)

En cuanto al índice de mortalidad parcial, se obtuvo que el 54.2 % de todas las colonias localizadas bajo los transectos en la zona Sureste presenta tejido necrosado (Fig. 13). Con los datos obtenidos durante la inspección sin transectos se obtuvo un índice de mortalidad más bajo, este fue del 24.35% (Fig. 14)

Se obtuvo también el porcentaje de colonias con mortalidad parcial para cada uno de los intervalos de talla, con lo cual se pudo observar que las colonias de tallas más grandes son las que presentan con mayor frecuencia tejido necrosado (hasta el 100 % de las colonias que conforman los intervalos) y los de talla por debajo de los 30,000 cm³ en general cuentan con un menor porcentaje de colonias dañadas (Fig. 15), durante la inspección sin transectos se observó la misma tendencia (Fig. 16). Posteriormente se determinó el porcentaje de mortalidad parcial que presentaban cada una de las colonias en los intervalos y se observó que la mayoría de las colonias en todos los intervalos tienen un 10, 20 y 30 % de mortalidad parcial en su tejido, muy pocas colonias en todos los intervalos presentan un porcentaje mayor a estos (Fig. 18).

Se pudo determinar también que la mayoría de las colonias en la zona SE presentan tejido necrosado añejo en porcentajes bajos (10 y 20 %) y en porcentajes por arriba del 30% son pocas las colonias. El tejido necrosado reciente se observó con menos frecuencia en las colonias en comparación con el añejo y también se determinó que en la mayoría de las colonias en las que se presenta es en porcentajes de 10 y 20 % (Fig. 20 y 21). Al realizar una comparación, del porcentaje de mortalidad parcial reciente y añeja en los muestreos realizados con y sin transectos se pudo observar que los valores son similares, ya que tanto en uno como en otro la mortalidad añeja prevalece ante la mortalidad reciente. Los porcentajes fueron los siguientes: con transecto, mortalidad reciente: 34.37%, mortalidad añeja: 65.62; sin transecto, mortalidad reciente: 48.48%, mortalidad añeja: 51.51% (Fig. 22).

Tomando en cuenta la morfología de las colonias se obtuvo que la mortalidad parcial en colonias ramificadas se presentó en un 47.9% de la población, tomando este valor como el 100%, un 35.71% de la población con muerte reciente y 64.29% con muerte antigua. Para las colonias encostrantes el porcentaje fue de sólo el 6.25 de la población, tomando este último porcentaje como el 100%, 25% de las colonias tenían tejido muerto reciente y 75% tejido muerto añejo (Fig. 25).

En cuanto a la morfología que presentan las colonias, encontradas bajo los transectos (tomando en cuenta colonias con y sin mortalidad parcial) en la zona sureste tenemos que el 72.91% de ellas son ramificadas y el 27.08% son de tipo encostrante, existiendo tanto colonias pequeñas como colonias de grandes dimensiones con las dos morfologías (Fig. 26).

A pesar de que la morfología típica de una colonia de *Acropora palmata* adulta es ramificada, se pudieron localizar colonias encostrantes de hasta $140\ 000\ \text{cm}^3$ ($220 \times 130 \times 5\ \text{cm}$), las cuales se pueden considerar como colonias adultas, tomando en cuenta la velocidad de crecimiento de la especie (12 a 13 cm/año) y que aproximadamente a los 10 años, según reportan algunos autores, pueden alcanzar la madurez sexual (Connell, 1973 en Bak, 1976), aunque algunos otros mencionan que es entre los 4 y 5 años de edad y/o los 4 y 7 cm de diámetro de la colonia cuando ésta puede ya reproducirse sexualmente (Wallace, 1986).

En la zona sureste se realizaron un total de 627 cuadros distribuidos sobre el sitio de muestreo, lo que es igual a un área de $39.18\ \text{m}^2$, en los que sólo se encontraron 15 reclutas, a su vez esto representa un índice de reclutamiento de $0.38\ \text{rec}/\text{m}^2$ (Fig. 27, Tabla 2), el cual es evidentemente bajo.

ZONA NORESTE

En la zona Noreste se realizaron un total de 69 transectos (690 m), bajo los cuales se encontraron un total de 22 colonias, por lo cual tenemos que en esta zona la densidad que presenta *Acropora palmata* es de 3.1 col./100 m (Fig. 5) lo que implica también que la densidad es incluso más baja que en la zona sureste del arrecife. En cuanto a la cobertura de la especie en la zona, ésta es de tan sólo el 0.53% (Fig. 6), es decir, sólo 3.45 m de los 690 m. muestreados están cubiertos por colonias de *Acropora palmata*.

En esta zona la talla promedio encontrada tomando en cuenta diámetro máximo fue de 38.9 cm (Fig. 7), y la que se obtuvo a partir del método desarrollado para el presente trabajo, fue de $6722\ \text{cm}^3$ (Fig. 8).

En cuanto a la distribución por tallas, se tomaron en cuenta las 22 colonias encontradas bajo los transectos, éstas se midieron para obtener su volumen y posteriormente se ubicaron dentro de los intervalos de talla (11 también), posteriormente se pudo determinar que en esta zona al igual que en la zona SE las colonias pequeñas de menos de $20\ 000\ \text{cm}^3$ son las que predominan, mientras que las colonias que se encuentran en intervalos de talla mayores son muy pocas (Fig. 11). La misma inspección sin transectos se llevó a cabo en esta zona, el número de colonias encontradas también fue mayor que durante el muestreo con transectos (42 colonias), la composición por tallas fue muy parecida a la encontrada con los datos del transecto, ya que se observó la misma tendencia, mayor número de colonias en los intervalos de talla pequeña y escasas colonias en los intervalos de tallas grandes (Fig. 12).

En esta zona el índice de mortalidad parcial obtenido fue de 36.4 % de las colonias que se localizaron bajo los transectos (Fig. 13), menor al encontrado en la zona SE. Con los datos obtenidos sin transectos el índice de mortalidad fue de 2.4%, lo cual indica por un lado,

una diferencia importante entre los valores encontrados de mortalidad parcial con y sin el uso de los transectos, pero por otro lado este valor reafirma que es en la zona SE en donde encontramos un número mayor de colonias con mortalidad parcial (Fig. 14).

En la zona NE, también son las colonias de mayor tamaño, las que con mayor frecuencia presentan porciones de tejido muerto (hasta el 100 % de las colonias en algunos intervalos) y las colonias ubicadas en intervalos de tallas pequeña (menor a 10,000 cm³) la presentan en menor porcentaje (Fig. 17), en el muestreo sin transectos sólo una colonia presentaba tejido muerto, dicha colonia presentaba una talla mayor a los 60,000 cm³.

En cada intervalo se determinó para cada colonia el porcentaje de mortalidad parcial que presentaban en su tejido, con lo que se pudo determinar que en la mayoría de ellos predominan los porcentajes bajos de tejido muerto (10 %) y muy pocas colonias rebasan este porcentaje (Fig. 19).

Por último, se obtuvo el número de colonias que presentan tejido muerto añejo y tejido muerto reciente, determinándose que al contrario de lo que sucede en la zona sureste, en esta zona la mayoría de las colonias presentan tejido muerto reciente, pero de igual forma en porcentajes bajos (10%) y sólo 1 colonia presentó tejido muerto añejo (en un 40% de su tejido)(Fig. 23 y 24). Los porcentajes de mortalidad añeja y reciente en los muestreos con y sin transectos muestran un comportamiento similar, en esta zona prevalece la mortalidad reciente, los valores encontrados fueron los siguientes: mortalidad añeja, con transecto 11.11%, sin transecto 0%; mortalidad reciente, con transecto: 88.88%, sin transecto: 100% (Fig. 22).

Tomando en cuenta la morfología de las colonias se obtuvo que la mortalidad parcial en colonias ramificadas se presentó en un 18.18% de la población tomando este valor como el 100%, un 80% de la población presentó muerte reciente y 20% muerte antigua. Para las colonias encostrantes, el porcentaje fue también de 18.18% de la población tomando este último porcentaje como el 100%, el 0% de las colonias tenían tejido muerto añejo y el 100% tejido muerto reciente (Fig. 25).

Por lo que se refiere a la morfología de las colonias, encontradas bajo los transectos, un 54.54% de ellas son encostrantes y 45.45% tienen morfología ramificada (Fig. 26).

En la zona Noreste se tomaron datos de un total de 556 cuadros, lo que es igual a un área de 34.75 m², en la cual se encontraron sólo 8 reclutas, lo que resulta equivalente a un índice de reclutamiento de 0.2 rec/m². Por lo que se puede observar este índice es menor que el de la zona SE (0.38 rec./m²) por lo que puede pensar que quizá esté directamente relacionado con la densidad también baja de colonias vivas que se encuentran en esta zona NE (Fig. 27).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio, muestran características de la población de *Acropora palmata* que en general permiten inferir que en los últimos años se han generado cambios en la población de esta especie, que aunque tal vez son pequeños, denotan una nula mejoría de la misma, que años atrás representaba una de las especies más importantes para el crecimiento del arrecife. Es probable que esto se deba a que esta especie es muy sensible a cambios ambientales sutiles que son capaces de provocar su desaparición en un tiempo relativamente corto, en grandes extensiones arrecifales (Davies, 1982, Dustan y Halas, 1987, Jaap *et al.*, 1989).

Algunos trabajos mencionan que los procesos de recuperación de *A. palmata*, en las últimas décadas pueden estar de alguna manera inhibidos, y con mayor razón si la estructura básica de la comunidad está cambiando debido a factores que la estén forzando (Hughes, 1994), como es el caso de los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano, que como lo han reportado Lang *et al.*, (1998) es uno de los sistemas arrecifales más estresados por factores ambientales y antropogénicos, lo que trae como consecuencia que algunas especies que viven en arrecifes, sobre todo aquellos cercanos a las costas mueren a causa de las bajas temperaturas de invierno o durante la estación lluviosa o, por otro lado debido a las actividades humanas que provocan el incremento de sedimentos y nutrientes más la contaminación industrial y la agricultura que han contribuido a la desaparición de muchos corales en los últimos 20 a 30 años, además se ha visto que las concentraciones de metales pesados en el esqueleto de los corales es alta en estos arrecifes.

Entre otras de las actividades humanas que se han reportado provocan daño al arrecife se incluyen maniobras militares, actividades de construcción, el turismo, etc. A pesar de que la mayor parte de esta zona esta contemplada dentro del parque marino resulta evidente el poco manejo y esfuerzo por mejoramiento de las condiciones de este lugar (Lang op cit.)

DISTRIBUCIÓN DE *Acropora palmata* EN EL ARRECIFE

La población de *Acropora palmata* se encuentra únicamente distribuida en las zonas Sureste y Noreste del arrecife (talud de barlovento) presentando una mayor densidad, cobertura y talla de organismos en la zona Sureste, incluso también existe un mayor reclutamiento. En las zonas Suroeste y Noroeste no se pudo localizar colonia viva alguna de *Acropora palmata*; lo que si se pudo observar en abundancia fue una gran cantidad de esqueletos de *Acropora cervicornis*, y otros géneros de coral, sobre todo *Diploria* y *Montastrea*, los cuales se ha reportado, son más resistentes a la contaminación (Bak, 1987). En las investigaciones realizadas por Jordán (1992), en el mismo arrecife Isla Verde, se menciona la existencia de esta especie tanto en el talud de barlovento como en el de sotavento (de este último sólo se reportó en la zona Noroeste). Sería difícil explicar ésta ausencia de la especie en sotavento (zona SW y NW) ya que puede deberse a cualquiera de los múltiples factores ambientales que influyen el área, por tal razón resulta mejor abstenerse cualquier especulación, por lo menos hasta no haber realizado un estudio más

específico que nos diera elementos para obtener una conclusión confiable a cerca de este hecho.

DENSIDAD Y COBERTURA

En el talud de barlovento *Acropora palmata* no se encuentra formando una zona continua, sino más bien forma agrupaciones discontinuas, de colonias de diversos tamaños o incluso fragmentos o colonias aisladas. Esta disposición espacial de las poblaciones coralinas es propia de arrecifes perturbados por huracanes o tormentas tropicales (Rogers 1982, Fong 1995, Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, 1998). También se ha reportado que la presencia de petróleo, disolventes u otros contaminantes en el agua de mar puede provocar una fuerte disminución de la densidad y cobertura de la población de corales, sobre todo, en especies muy susceptibles, como es el caso de *Acropora palmata*. Bak (1987) reportó que la contaminación crónica por petróleo causó, en *Acropora palmata* una mortalidad en un área de 10 a 15 km² en arrecifes de la costa Suroeste de Aruba. Van Duyl (1982) registró que la contaminación por petróleo fue el factor responsable de la ausencia local de *Acropora palmata* en Curacao y Bonaire. De esta manera podemos inferir que sea cual sea el factor que provoque una perturbación en las zonas arrecifales, ocasionará una disminución temporal o permanente de la densidad y cobertura de las especies coralinas más susceptibles como es el caso de *Acropora palmata*.

El IDL que presenta *A. palmata* en el arrecife de Isla Verde en la actualidad (0.04 col/m) es mucho menor al que podría esperarse ya que como se conoce, esta especie cuenta con una velocidad de crecimiento, regeneración y una capacidad de repoblación mucho mayor a la de la mayoría de corales de otras especies. Este bajo IDL resulta, hasta cierto grado, fácil de explicar conociendo las condiciones ambientales del lugar, pues se puede inferir que debido a que la perturbación de estos ecosistemas es continua, no da lugar a que exista una recuperación de los organismos que están siendo afectados, entre ellos, *Acropora palmata*. Caso similar a lo que sucede en arrecifes de Colombia en donde Celis (1988) y Alvarado *et al.* (1994) reportaron un deterioro del 60 a 70 % de la población de *Acropora palmata* el cual suponían se debía a la sedimentación, pesca con dinamita, paso de lanchas y otras acciones humanas, que se llevaban a cabo de forma continua.

Desafortunadamente no fue posible comparar nuestros datos de densidad con los obtenidos por Jordán-Dahlgren (1992) que debido a que los métodos de muestreo fueron distintos, las unidades de medida también lo fueron, sin embargo, tanto los datos de Jordán-Dahlgren como los obtenidos en el presente trabajo reflejan un gran deterioro de ésta especie en el arrecife Isla Verde. La densidad de *Acropora palmata* obtenida por este autor en este arrecife era de tan sólo 1 col./m², lo cual es un valor bajo, si se le compara con los datos obtenidos en este mismo trabajo para los arrecifes del Sistema Arrecifal Antón Lizardo que se encuentran hacia el sureste del Puerto de Veracruz en una zona con menos influencia antropogénica debido a la distancia que existe entre ellos y la línea de costa, en los cuales los valores de densidad eran de 2 a 5 col/m². En otros sistemas como el de Tuxpan y el de Isla Lobos al norte del Puerto de Veracruz también reportados en este mismo trabajo los arrecifes presentaron densidades aún mas bajas de *Acropora palmata* que las que se presentan en los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano, ya que estas van desde 0 (en

Isla Lobos) hasta 0.08 col/m² (en Tuxpan) mostrando esto un deterioro que va en incremento en dirección hacia el norte (Tabla 4).

Cuando las perturbaciones sólo se presentan por periodos, *A. palmata* en otras localidades como en arrecifes del Caribe, Islas Vírgenes, arrecifes de Florida son capaces de experimentar una recuperación notoria después de grandes perturbaciones que han dejado al arrecife y en especial a la población de *Acropora palmata* en condiciones deplorables (Rogers *et al.* 1982, Fong y Lirman, 1995). (Tabla 3). Jordán-Dahlgren (1998) reportó una densidad de 0.1 col/m. y una cobertura del 2 % un año después del paso del huracán Gilberto por el arrecife Puerto Morelos, Quintana Roo y, 4 años después estas cifras habían aumentado a 0.2 col/m. y 3 %. Para el arrecife Chitales, Quintana Roo, 2 años después del huracán Gilberto se reportó una densidad y cobertura de 3.5 col/m² y 8 %, cinco años después la densidad era de 4.5 col/m² y la cobertura de 28 %.

En la zona Sureste, en donde se localiza actualmente una mayor densidad de la población encontramos sólo 8.7 col/100 m. La cobertura que *Acropora palmata* presenta es del 2.9 % del área muestreada en esta zona del arrecife, mientras que en la zona Noreste la densidad es de sólo 3.0 col/100m, lo cual representa una cobertura de tan sólo 0.5%, mientras que en otros arrecifes que se desarrollan en zonas no perturbadas de manera crónica y ascendente, (contaminación por hidrocarburos u otros desechos industriales) la cobertura y densidad son mucho mayores (Rodríguez-Martínez 1998; Padilla *et al.* 1990). Los mismos arrecifes de SAV anteriormente pertenecían al grupo de arrecifes en donde *A. palmata* se desarrollaba sin ningún problema mayor, ya que existen trabajos que han reportado que arrecifes como la Blanquilla presentaban una cobertura del 5.85% (Secretaría de Marina 1987), y el arrecife de Enmedio una cobertura de hasta el 65% (Rannefield, 1972) (Tabla 4).

Todo lo anterior nos permite decir que la población de *Acropora palmata* en el arrecife Isla Verde actualmente presenta densidades bajas comparativamente con arrecifes de otras localidades (Tabla 4) y también con los mismos arrecifes en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Haciendo una comparación de las condiciones actuales de éste, su cobertura y densidad son más bajas que las que se dan en otros arrecifes que han sufrido una reducción importante en cuanto a estos parámetros poblacionales debido a fuertes perturbaciones físicas como tormentas tropicales o huracanes como en el caso de arrecifes del Caribe mexicano (Jordán-Dahlgren, 1998) o incluso fuertes influencias antropogénicas como en los arrecifes del Caribe colombiano (García y Alvarado 1995).

COMPOSICIÓN POR TALLAS

En cuanto a la composición de la población por tallas se pudo observar que la mayoría de las colonias encontradas tanto en la zona Sureste como en la zona Noreste del arrecife Isla Verde tienen tallas pequeñas y las colonias de tallas grandes son escasas. Este comportamiento puede tener varias explicaciones, se menciona que el predominio de colonias pequeñas de *Acropora palmata* puede estar relacionado con una fase inicial de recuperación después de tormentas o huracanes que afecten la zona, esta recuperación puede ocurrir por el reclutamiento de larvas o por los fragmentos que se generan y sobreviven al fracturarse las colonias (principalmente las ramificadas), de esta manera lo

que se encontraría sería que tanto la densidad de la población como el número de colonias de tallas pequeñas aumentaría (Pearson, 1981; Rogers, 1993; Jordán-Dahlgren, 1998), es debido a esto, que la relación edad - tamaño es compleja y no siempre el tamaño de la colonia depende de su edad (Hughes y Jackson, 1985; Babcock, 1991; Hughes, 1994)

Pero no siempre se puede afirmar que el que exista un mayor número de colonias pequeñas es indicativo de una recuperación de la población, más aún, éste patrón puede tener otras explicaciones, por un lado es probable que las colonias no puedan desarrollarse hasta alcanzar grandes tallas, debido a que las condiciones de estrés ocasionadas por diversos factores como lo es el incremento de sedimentación en el agua por periodos largos, puedan ocasionar efectos subletales como la disminución de la tasa de calcificación o mortalidad en especies sensibles como es reportado por Bak y Elgershuizen (1976) en arrecifes de las Antillas Holandesas o por Cortés y Risk (1985) en Cahuita, Costa Rica. Así mismo, la incidencia de tallas pequeñas dentro de la población quizá también se deba a que éstas dirigen sus recursos energéticos hacia la regeneración de tejidos lesionados, más que a la depositación de carbonato de calcio para incrementar las dimensiones de la colonia (Hughes y Connell, 1987).

Además, la combinación de otros factores físicos y biológicos, como el movimiento del agua, competencia, depredación y bioerosión también determinan el tamaño máximo que una colonia puede llegar a tener en un ambiente específico. La interrupción del crecimiento o la muerte de la colonia puede ser resultado de estas fuerzas destructivas o bien como ya se mencionó, de factores internos que producen variaciones en la calcificación, como es el caso de la neoplasia (tumores), que suprime el crecimiento linear normal en *A. palmata* (Bak, 1983).

En Isla Verde las colonias menores de 30 000 cm³, son las más abundantes en el arrecife dentro de la zona de barlovento (SE y N E), representando un mayor porcentaje dentro de la población, en comparación a las colonias de tallas mayores, que se encuentran con poca frecuencia y en zonas muy someras. En muchos otros estudios, acerca de poblaciones coralinas, esto nos estaría indicando, como ya se mencionó, que existe una recuperación de la población por reproducción sexual o asexual por fragmentación de la misma, debido al alto número de individuos de talla pequeña (Rodríguez-Martínez 1998; Fong y Lirman 1995; Jordán-Dahlgren 1992), sin embargo, si esto estuviera ocurriendo en Isla Verde, al hacer una comparación de la densidad y cobertura de la población de *Acropora palmata* obtenida por Jordán-Dahlgren (1992) en este mismo arrecife, contra la densidad y cobertura actual que hemos obtenido en este estudio, esperaríamos que estas últimas fueran por lo menos un poco más altas, ya que 7 años sería en esta especie suficiente para poder observar ciertos cambios positivos en cuanto densidad y cobertura se refiere; sin embargo, sucede lo contrario, esta población en vez de estar incrementando el número de sus integrantes, está disminuyéndolo, por lo cual resulta difícil afirmar que la mayor densidad de colonias de talla pequeña que se da tanto en el SE como en el N E; a comparación de la densidad de colonias de tallas mayores se pueda interpretar, en este arrecife, como un estadio por el cual esté atravesando *A. palmata* para lograr su restablecimiento y recuperación en el arrecife.

Por otra parte, Jordán-Dahlgren (1992) también obtuvo datos relacionados con la talla promedio de las colonias presentes en los arrecifes de Veracruz, obteniendo para el arrecife de Isla Verde una media de aproximadamente 26 cm de diámetro, la talla promedio encontrada en el presente estudio es de 58.4 cm para la zona SE y de 38.9 cm para la zona NE. Lo cual señala un incremento pequeño en la talla promedio con relación a la velocidad de crecimiento que esta especie presenta en otras zonas mencionadas anteriormente.

Las grandes colonias de *Acropora palmata* en la zona Sureste como en la zona Noreste de Isla Verde se localizan únicamente a un máximo de 1.5 m. de profundidad; a mayores profundidades no se localizan colonias mayores de 30 000 cm³. A mas profundidad se pueden observar una gran cantidad de esqueletos que en algún tiempo atrás constituían colonias de grandes dimensiones sobre los cuales, en la actualidad, crecen pequeñas colonias de la misma especie o se han establecido otro tipo de organismos incrustantes. Lo anterior quizá esté muy relacionado a que dadas las condiciones de perturbación ambiental (tanto por causas antropogénicas como naturales) imperantes en el área, el agua en esta zona ha ido adquiriendo una turbidez importante, sobre todo durante la estación lluviosa, que es cuando la visibilidad bajo el agua puede llega a ser de menos de 0.3 m, (tal como lo reportó Jordán-Dahlgren (1992) para esta zona), lo que impide una buena penetración de luz al agua y por lo cual las colonias se desarrollan mejor a poca profundidad, pues de esta manera, tienen una mayor oportunidad de captar una mayor cantidad de luz que aprovechan para llevar a cabo y más rápidamente la depositación de calcio de su esqueleto y aquellos que se encuentran en zonas más profundas tienen menos oportunidad de captar la luz y difícilmente alcanzan tallas grandes.

MORTALIDAD PARCIAL

En cuanto a la mortalidad parcial en las colonias de *A. palmata*, tenemos que un 48.57% del total de individuos muestreados la presenta (sin tomar en cuenta a las colonias que han muerto por completo), lo cual indica un índice de mortalidad parcial alto. En la zona SE, el porcentaje de la población que presenta mortalidad parcial es de 54.2 % y en la zona N E es de 36.4 %, esta diferencia es probable que esté en relación a la diferencia de condiciones particulares (de relieve, hidrodinámicas, etc), que se presenta en cada una de las zonas. Hughes y Jackson (1980) encontraron en un estudio realizado en arrecifes de Jamaica en *Agaricia agarites* y *Montastraea annularis* que los patrones de mortalidad parcial están estrechamente relacionados con la talla de las colonias, pues la mayoría de las colonias de talla pequeña mueren completamente o escapan a cualquier daño que pueda ser provocado sobre su tejido, mientras que las colonias de talla grande sufren más frecuentemente mortalidad parcial provocada por diversos procesos físicos (tormentas tropicales y huracanes) y biológicos.

Aunque las especies antes mencionadas no tienen la misma morfología que *Acropora palmata*, todos los corales están expuestos a sufrir mortalidad parcial independientemente de su forma de crecimiento, por tal motivo es posible tomar en cuenta este dato y compararlo con lo obtenido en Isla Verde para *A. palmata*. En la zona Sureste, las colonias grandes (>de 34 cm de diámetro máximo) con tejido muerto, representan un 50.55% de la población y las colonias pequeñas (menores a 34 cm) sólo un 11.11 %, el resto no presenta mortalidad parcial. Se consideró que una colonia mayor a los 34 cm de diámetro era grande

ya que tomando en cuenta velocidad de crecimiento reportada en arrecifes del SAV para esta especie, es esta talla la que alcanzaría cuando la colonia fuera sexualmente madura, lo que frecuentemente ocurre entre los 4 y 5 años de edad (Wallace 1986).

En la zona Noreste ocurre algo similar a lo que pasa en la zona Sureste, ya que dentro de las colonias mayores a 34 cm un 22.72 % presenta tejido muerto y de las colonias menores a 34 cm sólo es 9.5% de la población. Por lo que se puede observar, dentro de las colonias de talla mayor también en Isla Verde existe una mayor incidencia de mortalidad parcial que entre las colonias de tallas pequeñas. Rogers *et al.*, (1982), en un estudio realizado en arrecifes de St. Croix, pudieron observar que las ramas de *A. palmata*, las cuales cicatrizaban sus heridas más rápido y de forma total eran las de tamaño pequeño, mientras que las de tamaño más grande tenían una recuperación más lenta y por lo regular ésta no era total, lo anterior puede respaldar la idea de que la mortalidad parcial es más frecuente en colonias de tallas grandes, ya que las pequeñas mueren totalmente o es menos frecuente que sean afectadas, cuando el tejido de éstas últimas llega a ser afectado, varios autores mencionan que la regeneración de éste, depende de la proporción entre el área cubierta por el tejido y aquella con el tejido desnudo (Bak 1976; Schumacher y Plewka, 1981; Rogers, Suchanek y Pecora 1982; García-U. y Alvarado-Ch. 1995; Meesters y Bak, 1995).

Mortalidad parcial antigua y reciente

En la zona Sureste se encontró un número mayor de colonias con tejido muerto añejo, las zonas muertas del coral se encontraban cubiertas por algas coralinas, y otros organismos incrustantes. Las colonias con mortalidad añeja representan un 65.62% de la población muestreada y las colonias con tejido muerto reciente sólo 34.37%. Tanto la muerte añeja como la reciente, se presentan con mayor frecuencia en pequeñas porciones del coral (10 a 20% de tejido muerto), sólo unas cuantas colonias presentan más del 30 % de su tejido muerto; sin embargo, la gran mayoría de las colonias que se podían observar carecían totalmente de tejido vivo.

La mortalidad antigua se presenta en el coral cuando la recuperación de éste es lenta, en Isla Verde las condiciones ambientales oceanográficas han sido modificadas por causas antropogénicas, ocasionando problemas de contaminación (Horta-Puga *et al.*, 1997) que pueden tener efectos importantes en este arrecife y todos los arrecifes del SAV; Bak (1987) reportó una sensibilidad importante de la especie *Acropora palmata* a hidrocarburos presentes en el agua de mar por lo cual, menciona que puede existir una disminución en la tasa de calcificación y otras funciones fisiológicas del coral (Cortés y Risk, 1985) y una de ellas es probablemente la recuperación del tejido necrosado, lo que daría lugar a la instalación de organismos incrustantes en las zonas muertas del coral. Por otro lado, Schumacher y Plewka (1981) encontraron que aunque la recuperación de *Acropora palmata* pueda llegar a ser efectiva, esta característica no la hace inmune al deterioro por organismos perforadores que influyen grandemente para que la recuperación del coral sea más lenta.

Porter *et al.* (1981) mencionan que los daños provocados al coral por factores físicos hidrodinámicos dependen de la profundidad de fijación, de la fortaleza de su esqueleto y de la morfología del mismo, encontrando que las colonias ramificadas son más propensas a sufrir mortalidad parcial debido a la fractura de sus ramas. Glynn *et al.* (1964); Woodley *et*

al. (1981) y Massel y Done (1993) también refieren que las colonias son afectadas en diferentes grados por las tormentas y huracanes dependiendo de la forma de la colonia, condiciones y tamaños de la misma. En la zona Sureste del arrecife Isla Verde para este estudio se encontró que existe un mayor porcentaje de mortalidad parcial en las colonias ramificadas, que son más propensas a sufrir fracturas de su esqueleto debido a movimientos severos del mar que las colonias encontrantes, lo cual coincide con lo que han encontrado los autores anteriormente mencionados.

La mortalidad reciente en la zona SE de Isla Verde se localizó principalmente en fragmentos de colonias, resultado de fracturas recientes o colonias caídas. Se pudo observar también que el porcentaje de colonias con mortalidad parcial reciente era más bajo que el encontrado para colonias con tejido muerto añejo. Además el porcentaje en el que se encontró mortalidad reciente en cada una de las colonias en esta zona es bajo (de 10 a 30 %). Goreau 1959; Geister 1977; Gladfelter *et al.* 1978; Rogers *et al.* 1982 y Japp 1984 mencionan que la muerte reciente es ocasionada con mucha frecuencia por perturbaciones crónicas de intensidad moderada, las cuales se presentan comúnmente en las zonas someras sobre todo del lado del talud de barlovento, estas perturbaciones provocan el rompimiento de las ramas de las colonias dejando porciones del esqueleto al descubierto, las cuales, el tejido vivo que circunda esta herida tiene que cubrir. Tomando en cuenta lo anterior se podría pensar que las perturbaciones físicas como huracanes o tormentas tropicales capaces de fracturar las colonias, principalmente las ramificadas no han tenido una gran incidencia en la zona por lo menos en los últimos meses antes del muestreo que se realizó para el presente estudio.

En la zona N E encontramos un comportamiento contrario al de la zona SE, pues aquí es notorio el predominio de las colonias con tejido muerto recientemente (88.88% de las colonias) y la muerte antigua casi no se presenta (11.11% de las colonias). Las colonias de morfología encostrante y ramificada presentan el mismo porcentaje de mortalidad y al mismo tiempo, en las dos morfologías se da una proporción mayor de mortalidad reciente que de mortalidad antigua (ramificadas 80% y 20%, encostrantes 100% y 0%). En esta zona también encontramos que el porcentaje de tejido muerto en cada una de las colonias que lo presenta es bajo (10%) o definitivamente las colonias están totalmente muertas. Esto nos ayuda a visualizar la diferencia de condiciones ambientales dentro del mismo arrecife, sobre el mismo talud de barlovento pero en distintas zonas del mismo (SE y N E).

MORFOLOGÍA DE LAS COLONIAS

Otro de los factores que se debían tomar en cuenta para poder detectar las posibles modificaciones que ha sufrido la población, es la forma de crecimiento de las colonias. En algunos estudios se menciona que esta depende de la profundidad a la que este creciendo la colonia, Rannefeld (1972) refiere que después de los 8 m. de profundidad *Acropora palmata* comienza a disminuir el número y tamaño de sus ramas, las cuales comienzan a estar sin una orientación específica. Sin embargo, en el arrecife Isla Verde la morfología de las colonias no obedece este patrón ya que a la misma profundidad hay tanto colonias ramificadas como encostrantes más o menos en la misma proporción.

Jordán-Dahlgren y Rodríguez Martínez (1998), mencionan que las colonias encostrantes sugieren estadios de crecimiento temprano, es decir que la colonia encostrante es joven aún; sin embargo, en el arrecife Isla Verde podemos encontrar colonias con esta morfología con longitudes de hasta dos metros de diámetro, las cuales se pueden considerar colonias adultas. Esto daría pie a considerar que la morfología encostrante ha conferido ciertos beneficios importantes a las colonias de *Acropora palmata*, las cuales se adaptan muy bien al ambiente que les circunda por lo cual estas colonias han proliferado con cierto éxito dentro del arrecife.

En la zona SE el predominio de la morfología ramificada es evidente (72.91% de las colonias) mientras que las colonias con morfología encostrante presenta un porcentaje muy bajo (27.08%). La diferencia en el porcentaje de colonias presentes en cada uno de éstos grupos es grande indicando un evidente predominio de las colonias ramificadas frente a las encostrantes, ya que el crecimiento ramificado es el típico de *Acropora palmata* ya que esta especie es una fuerte competidora por espacio y luz en el arrecife, y su crecimiento ramificado le ayuda a tener una mayor superficie para la captación de luz y al mismo tiempo cubrir a otros corales que se encuentren viviendo cerca de ellos (Shinn 1972; Lang 1973).

Sin embargo, las colonias con morfología encostrante, como ya se mencionó, muestran una característica en este arrecife la cual no se ha visto en otros arrecifes, ya que lo común es encontrar colonias encostrantes pero de tallas pequeñas, las cuales posteriormente van desarrollando pequeñas ramas. En Isla Verde las colonias encostrantes alcanzan dimensiones muy grandes (por ejemplo: 220 x 30 x 5 cm, 200 x 60 x 10 cm), y no muestran ninguna señal de un desarrollo posterior de ramas, lo cual nos permitiría considerar la morfología encostrante como una estrategia más de crecimiento en este lugar.

En la zona NE también se encontró el mismo comportamiento que en la zona SE ya que las colonias ramificadas predominaban ante las colonias encostrantes, aunque la diferencia entre la cantidad de colonias en cada uno de los grupos no era muy grande (ramificadas 54.54%; encostrantes 45.45%). Con los resultados de esta zona fue posible reforzar la idea en cuanto a la morfología encostrante, ya que aquí también fue posible localizar colonias de este tipo de grandes dimensiones, con ausencia de alguna señal que pudiera indicar la presencia de crecimiento de ramas (por ejemplo: 80 x 20 x 10 cm, 120 x 55 x 10 cm).

Con base en lo anterior, es posible observar que existen modificaciones estructurales de *Acropora palmata* en el arrecife Isla Verde, puesto que la morfología ramificada típica de la colonia adulta ha sido reemplazada por otro tipo de morfología como es la encostrante, en la cual las colonias aprovechan los esqueletos de las colonias muertas de la misma especie para utilizarlo como sustrato lo cual facilita que estas alcancen un tamaño mayor en menor tiempo, lo que podría en dado caso, resultar beneficioso para la especie por lo menos en los arrecifes del SAV que como se sabe, se encuentran sujetos a condiciones severas de estrés.

RECLUTAMIENTO

A pesar de que, para *Acropora palmata*, se ha mencionado que la capacidad de reproducción sexual es muy limitada (Dustan 1977; Rylaarsdam 1983 y Rosesmyth 1984) y la recolonización por sus larvas poco importante (Bak 1976, 1981; Bak y Criens 1981; Szmant 1986; Padilla *et al.* 1990), algunos autores aseguran que este es el único medio por el cual se puede recuperar la población después de haber sufrido perturbaciones físicas ambientales de alta intensidad dejando como resultado una alta mortalidad coralina (Stoddart 1974; Highsmith 1982; Gladfelter 1991; Jordán-Dahlgren 1992). Pearson (1981) y Sammarco (1985) mencionan que las poblaciones coralinas dependen en gran medida del reclutamiento sexual para recuperarse después de perturbaciones catastróficas, tales como predación por estrellas de mar *Acanthaster planci* (Colgan, 1987, Done *et al.* 1988, Done *et al.* 1991) o huracanes (Porter *et al.* 1981, Hughes 1989). Por otro lado, también se menciona que es posible que se de una combinación entre la reproducción sexual y asexual para favorecer la recuperación de la especie (Stoddart 1969, 1974; Shinn 1976; Gladfelter 1990; Jordán-Dahlgren 1992).

En el caso de *A. palmata* en el arrecife Isla Verde, los resultados obtenidos nos permiten determinar la existencia de un bajo índice de reclutamiento, ya que el número de individuos encontrados en el área muestreada en cada zona, representa una densidad muy baja (NW=0, SW=0, NE=0.23 y SE= 0.38 rec/m²), incluso en la zona SW y NW no se localizó ni un sólo recluta de la especie buscada. Se menciona que el reclutamiento de *Acropora* es bajo, en comparación con el reclutamiento que tienen otros géneros como *Porites*, *Favia* y *Siderastrea*, incluso *Diploria* (a pesar de ser este último uno de los géneros que se considera tiene bajo reclutamiento), ya que estos pueden tener índices de reclutamiento de hasta 377.4, 8.7, 7.4 y 1.9 rec./m² respectivamente, según los estudios realizados por Smith (1992) sobre arrecifes del Caribe.

Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los de algunos investigadores que reportan bajos índices de reclutamiento sexual para el género *Acropora*. Rylaarsdam, (1983), Hughes (1985) y Szmant (1991) refieren tasas bajas de reclutamiento para *Acropora* spp. sobre arrecifes del Atlántico; Porter *et al.* (1981) también registraron tasas de reclutamiento bajas para todas las especies de *Acropora* en zonas de aguas someras de arrecifes de Jamaica; por último, Rosesmyth (1984) reportó que la recolonización por *A. palmata* sobre arrecifes de Jamaica después de una fuerte perturbación no tuvo éxito ya que sólo encontró poco más de 1 recluta por m² después del huracán y posteriormente la densidad de la población en este lugar experimentó una disminución importante. Desde este punto de vista se podría considerar hasta cierto punto, que la baja densidad de reclutas de esta especie en Isla Verde es relativamente normal, con respecto a lo encontrado en otros arrecifes, pero además se debe tomar en cuenta la relación directa que debe existir entre la densidad de colonias adultas que esta especie presenta en Isla Verde (que es lo que si se considera muy bajo en este estudio) y la densidad de sus reclutas en el mismo arrecife. Por otro lado, no se cuentan con muchos estudios que proporcionen datos cuantitativos acerca de los índices de reclutamiento de *Acropora palmata* para el SAV o para el Caribe, con los cuales se podrían hacer comparaciones y determinar con mayor precisión que tan bajos son los índices de reclutamiento encontrados en Isla Verde en relación a lo encontrado en otras zonas para la misma especie.

Algunas de las razones por las cuales la reproducción sexual es poco exitosa son las siguientes: las larvas de *A. palmata* pueden ser planctónicas desde 2 días hasta varios meses, lo que las hace propensas a ser dispersadas impidiendo su implantación en el sustrato (Harrigan 1972, y Rinkevich y Loya 1979 en Highsmith 1982). Otro factor importante que está muy relacionado con lo anterior y de los cuales depende los patrones de reclutamiento coralino, es el flujo hidrodinámico sobre y alrededor de los arrecifes (Sammarco y Andrews 1989; Black *et al.* 1991), ya que la mezcla conservativa del agua de los arrecifes durante el desove sincronizado en masa de Acroporidos da lugar a sucesos de fertilización, retención de plánulas y tasas altas de reclutamiento (Babcock *et al.*, 1986). Por si fuera poco, los arrecifes que se localizan frente al puerto de Veracruz (entre ellos Isla Verde) están sometidos a condiciones ambientales severas por la descarga de los ríos y actividades humanas, lo que provoca condiciones ambientales inadecuadas para la implantación de larvas y su sobrevivencia (Jordán-Dahlgren, 1992). La mortalidad post-reclutamiento es tan importante como el reclutamiento en la estructuración de la población de coral sobre el arrecife (Sammarco 1980; Harriott 1985; Hughes 1985; Sammarco 1991).

El conjunto de condiciones adversas que afectan Isla Verde, como otros arrecifes del SAV, impiden o dificultan los procesos vitales de reproducción que se ven seriamente afectados por la contaminación desde su inicio hasta la implantación y/o sobrevivencia de las larvas en el lugar (Jordán-Dahlgren 1992, Loya y Rinkevich 1980). En las últimas décadas se ha mencionado que es altamente probable que la devastación de los arrecifes producida por contaminación, pueda impedir la recolonización del área (Bak 1987). Dado todo lo anterior, sería más probable que las poblaciones de *A. palmata* que viven en zonas de rompiente (como las que se encontraron en Isla Verde, en la zona de barlovento), continúen decayendo hasta muy probablemente desaparecer y que la poca reproducción que pueda darse sea por medio de fragmentación, dado que los fragmentos resultado del rompimiento de la colonia suelen ser, en ocasiones, menos susceptibles a todo lo que le afecta a un individuo resultado de reproducción sexual.

CONCLUSIONES

La población de *Acropora palmata* está desapareciendo en algunas zonas del arrecife como es el caso de la zona SW, en donde se había reportado su presencia en años anteriores.

Las colonias en su mayoría presentan tallas pequeñas, y muy pocas colonias son de tallas grandes. Y aunque el promedio de talla de la población es un poco mayor al registrado hace 7 años, se consideró que éste es un incremento de talla muy pequeño con relación a la velocidad de crecimiento que la especie puede presentar en otras zonas arrecifales como es el caso del Caribe.

Es probable que la morfología encostrante de las colonias de la especie estudiada le confiera ciertos beneficios a ésta frente a su medio, ya que a pesar de que estas colonias no son las que predominan en el arrecife, las colonias ramificadas no rebasan por mucho el número de éstas. Por otro lado, algunas colonias que se encontraron eran demasiado grandes para estar aún en estadios juveniles y no contaban con ninguna rama o protuberancia que pudiera indicar el principio de un crecimiento ramificado, típico de la especie en colonias adultas.

La mortalidad parcial es muy alta en colonias de talla grande y en colonias de talla pequeña es baja, ya que estas últimas cuando sufren daño, es más probable que mueran por completo.

En la zona NE predomina la mortalidad parcial reciente y en la zona SE la mortalidad parcial antigua (en las dos en pequeños porcentajes del tejido), por lo que se puede decir que las condiciones de las dos zonas, a pesar de estar las dos en el lado de barlovento, son distintas.

El reclutamiento de larvas de *Acropora palmata* es muy bajo en comparación ha lo que se ha reportado para otras especies. Sin embargo, *Acropora palmata*, en otras zonas también tiene un reclutamiento sexual bajo, al comparar el reclutamiento sexual de esta especie encontrado en Isla Verde en relación con arrecifes de otras zonas, este es bajo, pero si tomamos en cuenta la baja densidad de individuos adultos de la especie en Isla Verde, este reclutamiento resulta normal. Sin embargo esto implica que el reclutamiento sexual no esta contribuyendo a la repoblación de esta especie en el arrecife Isla Verde.

La densidad y cobertura disminuyen, ya que la mortalidad total y parcial en el arrecife es muy elevada. Este alto índice en la mortalidad parcial, es altamente probable que se deba a las condiciones adversas, que son provocadas principalmente por causas antropogénicas, lo cual también afecta las funciones fisiológicas del coral, influyendo en la disminución de la velocidad de crecimiento de la colonia y en la capacidad de recuperación de su tejido. Y lo que es quizá más importante, la facultad de reproducción sexual también se ve afectada desde su inicio hasta la llegada de la larva a su sitio de establecimiento y la sobrevivencia después de éste.

Es por esto, que se considera que mientras existan fuertes influencias antropogénicas sobre este y otros arrecifes, poblaciones sensibles a la modificación de su ambiente no tendrán recuperación alguna, como es el caso de Isla Verde y de la población de *Acropora palmata*.

SUGERENCIAS

Se propone realizar estudios posteriores similares al presente para tener un seguimiento de las condiciones de la población de *Acropora palmata* en el arrecife Isla Verde y realizar este mismo tipo de trabajos en otros arrecifes del SAV para de esta manera tener un registro más amplio de la degradación que está sufriendo esta especie en el Sistema Arrecifal Veracruzano a raíz de las influencias antropogénicas a las que se encuentra expuesta.

Realizar estudios profundos referentes a aspectos fisiológicos de *Acropora palmata* en el SAV, principalmente en lo que concierne a la velocidad de crecimiento, lo que también ayudará a conocer quizá, en que grado afecta la contaminación la recuperación de esta población.

De esta manera, conociendo un mayor número de características de la especie estudiada en este trabajo en el arrecife Isla Verde, se tendrán más elementos con los que es probable que se encuentre una manera eficaz de contrarrestar no sólo la desaparición de esta especie sino también la del Sistema Arrecifal Veracruzano.

LITERATURA CITADA

- Babcock, R.C. 1985. Growth and mortality in juvenile corals (*Goniastrea*, *Platygyra* y *Acropora*) the first year. Proc. 5th Int. Coral Reef Congress, 2:15.
- Babcock, R.C. 1991. Comparative demography of three species of scleractinian corals using age- and size- dependent classifications. Ecol. Mono. 61:225-244.
- Bak, R.P.M. 1976. The growth of coral colonies and the importance of crustose coralline algae and burrowing sponges in relation with carbonate accumulation. Neth. J. Sea Res. 10:285-337.
- Bak, R.P.M. y Elgershuizen, J.H.B.W. (1976). Patterns of oil-sediment rejection in coral. Mar. Biol. 37, 105-113.
- Bak, R.P.M. y Engel, M.S. 1979. Distribution, abundance y survival of juvenil hermatypic corals (Scleractinia) and the importance of life history strategies in the parent coral community. Mar. Biol. 54:341-352.
- Bak, R.P.M. 1983. Neoplasia, Regeneration and Growth in the Reef-building coral *Acropora palmata*. Mar. Biol. 77:221-227.
- Bak, R.P.M. y Criens, S.R. 1981. Survival after Fragmentation of Colonies of *Madracis mirabilis*, *Acropora palmata* y *A. cervicornis* (Scleractinia) and the Subsequent Impact of a Coral disease. Proc. Of the 4th Int. Coral. Reef Symp.. Manila. Vol. 2: 221-227.
- Bak, R.P.M. 1987. Effects of Chronic Oil Pollution on a Caribbean Coral Reef. Mar. Poll Bull., Vol. 18, No. 10, pp. 534-539.
- Barnes, R. 1977. Zoología de los invertebrados. Edit. Interamericana. Tercera edición. México, D. F.
- Black, K. P., Moran P.J. y Hammond, L.S. 1991. Numerical models show coral reefs can be self-seeding. Mar. Ecol. Prog. Ser.74: 1-11.
- Cameron, A.M. y Edean, R. 1985. Do long-lived species structure coral reef ecosystems. Proc.5th Int. Coral Reef Congr. 6:211-216.
- Carricart-Ganivet, J. P. y Horta-Puga, G. 1993. Arrecifes de coral en México. Pags. 81-92. En : biodiversidad marina y costera de México. S. I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México.
- Celis, R.A. 1988. Las algas coralinales (Corallinales Rodophyta) del Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Costa Caribe de Colombia. Tesis Biol. Mar., Univ. Tadeo Lozano., Bogota.
- Colgan, M.W.1987. Coral reef recovery on Guam (Micronesia) after catastrophic destruction by *Acanthaster planci*. Ecology 68: 1592-1605.

Connell, J.H. 1973. Population ecology of reef building corals. Pag. 205-245 en O. A. Jones y R. Endean, eds. *Biology and geology of coral reef*. Academic Press, New York.2.

Connell, J.H. 1985. The consequences of variation in initial settlement vs. Post-settlement mortality in rocky intertidal communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 93:11-45.

Cortés, N.L. y Risk, M.J. 1985. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull. Mar. Sc.* 36: 288-307.

Dodge, R.E., Logan, A. y Antonius, A. 1982. Quantitative reef assessment studies in Bermuda: a comparison of methods and preliminary results. Marine science Institute.

Done, T.J. 1982. Patterns in the distribution of coral communities across the Central Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 1: 95-107.

Done, T.J., Osborne, K. y Navin K.F. 1988. Recovery of coral post- *Acanthaster*. Progress and prospects. *Proc. 6th Int. Coral reef symp.*, Townsville. Vol. 2: 137-142.

Done, T.J., Dayton, P.K., Dayton, A.E. y Steger, R. 1991. Regional and local variability in recovery of shallow coral communities ; Moorea, French Polynesia and Central Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 9: 182-192.

Dustan, P., 1977. Vitality of coral reef populations off Key Largo, Florida: Reclutment and mortality. *Env. Geol.* 2:51-58.

Dustan, P. y J.C. Halas. 1987. Changes in the reef coral community of Carysfort Reef, Key Largo, Florida: 1974-1982. *Coral Reefs* 6(2):91-106.

Duyf, F. C. Van. 1982. The distribution of *Acropora palmata* and *Acropora cervicornis* along the coast of Curacao and Bonaire, Netherlands Antilles. *Ann. Meeting Int. Soc. Reef Stud. Abstracts* 27.

Emery, K. O. 1963. Coral reef of Veracruz, México. *Geofisica internacional* 3: 11-17.

Fong, P. y Lirman, D. 1995. Hurricanes Cause Population Expansion of the Branching Coral *Acropora palmata* (Scleractinia): Wound Healing and Growth Patterns of Asexual Recruits. *Marine Ecology* 16 (4): 317-335.

García, R., Alvarado, E. y Acosta, A. 1995. Regeneración de colonias y transplante de fragmentos de *Acropora palmata* (Cnidaria: Scleractinia) en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Caribe Colombiano.

Geister, J. 1977. The influence of wave exposure on the ecological zonation of Caribbean coral reefs. *Proc. 3th Int. Symp. Coral Reefs*, Miami.

Gladfelter, E.H., Monahan, R.K. y Gladfelter W.B. 1978. Growth rates of five reef-building corals in the northeastern Caribbean. *Bull. Mar. Sci.* 28:728-734.

Gladfelter, W.B. 1991. Population structure of *Acropora palmata* on the windward forereef, Buck Island National Monument: Seasonal and Catastrophic Changes 1988-1989. En *Ecological Studies of Buck Island Reef National Monument*, St. Croix, U.S. Virgin Islands: A quantitative assessment of

select components of the coral reef ecosystem and establishment of long term monitoring sites. Part I. Gladfelter E.H., Bythell, J.C. y Gladfelter W.B. (Eds.) Ch. 5. 21 p.

Ginsburg, R. N., Kramer, P., Lang, J., Sale, P. y Steneck, R., 1998. Atlantic and Gulf Reef Assessment (AGRA) Rapid Assessment Protocol (RAP). University of Miami. University of Texas <http://coral.aoml.noaa.gov/agra/>

Glynn, P.W., Almodóvar L.R. y González, J.G. 1964. Effects of Hurricane "Edith" on marine life in La Parguer, Puerto Rico. *Carib. J. Sci.*, 4: 335-345.

Goreau, T.F. 1959. The ecology of Jamaican Coral Reefs-I. Species composition and zonation. *Ecology*. 40(1): 67-90.

Goreau, T. F., Goreau, N.I., Goreau, T.J. (1979). Corals and coral reef. *Scient. Am.* 214:110-120.

Harrigan, J. 1972. The planula larva of *Pocillopora damicornis*; lunar periodicity of swarming and substratum selection behavior. Ph. D. Tesis. University, Honolulu.

Harriot, V.J. 1985. Recruitment patterns of scleractinian corals at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Proc. 5th Int. Coral Reef Symp. Tahiti*. Vol. 4:367-372.

Harriott, V.J. y Fisk, D.A. 1987. A comparison of settlement plate types for experiments on the recruitment of scleractinian corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37:201-208.

Harrison, P.L. y Wallace, C.C. 1990. Reproduction, dispersal y recruitment of scleractinian corals. En: *Ecosystems of the World 25: Coral Reef*. Dubinsky, Z. 1990. Elsevier. Amsterdam. Pags. 133-207.

Heilprin, A. 1890. The coral and coral reef of the western waters of the Gulf of México. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*. Pp. 303-316.

Hernández-Rosario, C. y D. Tinoco-Blanco. 1988. Sedimentos del sistema arrecifal Veracruzano (Primera parte: Caracterización). *Secr. Marina, Dir. Gral. Oceanogr., Est. Invest. Oceanogr. Veracruz*.

Highsmith, R.C. 1982. Reproducción by fragmentation in coral. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7 :207-226.

Horta, G., Barba, G., y Tello, J.L. 1997. The Veracruz Reef System in the Gulf of México: An Environmental Review. En *Resúmenes del Simposio Ecosistemas Acuáticos de México*. Cd. de México 21 pp.

Hughes, T.P. 1985. Life histories and population dynamics of early successional corals. *Proc. 5th Int. Coral Reef Symp., Tahiti*. Vol. 4: 101-106.

Hughes, T.P. y Jackson, J.B.C., 1980. Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission and fusion. *Science* 209:713-715.

Hughes, T.P. y Jackson, J.B.C. 1985. Population dynamics and life histories of foliaceous corals. *Ecol. Mono.* 55:141-166.

Hughes, T.P. 1989. Community structure and diversity of coral reefs: The role of history. *Ecology* 70(1): 275-279.

Hughes, T.P. y Connell J.H. 1987. Population dynamics based on size or age? A reef- coral analysis. *Am. Nat.*, 129(6): 818-829.

Jaap, W.C., Lyons, W.G. Dustan, P. y Halas, J.C.. 1989. Stony corals (Scleractinia and Milleporina) community structure at Bird Key reef , Ft . Jefferson Monument, Dry Tortugas. Florida. Fla. Mar. Res. Publ. No. 10.31 pp.

Jordan-Dahlgren, E. 1992. Recolonization patterns of *Acropora palmata* in a marginal environment. *Bulletin of marine science*. 51(1): 104-117.

Jordán-Dahlgren , E. y Rodríguez-Martínez. R.E. 1998. Post-hurricane initial recovery of *Acropora palmata* in two reefs of the Yucatán Peninsula, México. *Bull. of Marine Science*. 63(1): 213-228.

Kühlmann. D.H.H. 1975. Charakterisierung der Korallenriffe vor Veracruz/Mexiko. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 60(4): 495-521.

Lang, J. 1973. Interspecific aggression by Scleractinian corals. 2. Why the race is not only to the swift. *Bull. Mar. Sci.* 23:260-279.

Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic coral at Eilat, Red Sea. *Mar. Biol.*, Vol. 13, pag. 100-123.

Loya, Y. y Rinkevich, B. 1980. Effect of oil pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 3:167-180.

Maragos, J. 1972. A study of th ecology of Hawaiian reef corals. PhD thesis, University of Hawaii, Honolulu.

Marshall. S.M., Stephenson, T.A. 1933. The Breeding of reef animals, Part I. The corals. *Scient. Rep. Gt Barrier Reef Exped.* 3: 219-245.

Meesters. E. H. y Bak, R. P. 1995. Age-related deterioration of a physiological function in the branching coral *Acropora palmata*. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 121: 203-209.

Moore, D.R. 1958. Notes on Blanquilla Reef, the most northerly coral formation in the western Gulf of México. *Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Tex.* 5:151-155.

Morelock, J. And K. J. Koenig. 1967. Terrigenous sedimentation in a shallow water coral reef environment. *J. Sedim. Petrol.* 37: 1001-1005.

Padilla, C., Lara, M. y García, C. 1990. Crecimiento y regeneración de *Acropora palmata* en Puerto Morelos. Quintana Roo, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Puerto Morelos. Quintana Roo, México.

Pearson. R.G. 1981. Recovery and recolonization of coral reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol.4: 105-122.

PEMEX. 1987. Evaluación de los corales escleractinios del Sistema Arrecifal Veracruzano. PEMEX-Sria. Marina. 119 pp.

Pontes, M. 1997. *Acropora palmata*. <http://www.conexis.es/mpontes/>

Porter, J., Jeremy, W., Smith G., Neigel, J., Battey, J. y Dallmeyer, D. 1981. Population trends among Jamaican reef corals. *Nature*. Vol. 294

Rannefeld, J.W. 1972. The stony corals of Enmedio Reef off Veracruz, México. M.S. Thesis, Oceanogr. Texas A&M Univ., Collage Station, Texas. 104 pp.

Rodríguez, R. 1993. Efectos de un ciclón en la estructura comunitaria de corales escleractinios. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala. U.N.A.M.

Rodríguez-Martínez, R. 1998. Patrones de recuperación de *Acropora palmata* en un área perturbada por el huracán Gilberto (1988). Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. División de Estudios de Posgrado. U.N.A.M.

Rogers, C., Suchanek, T. y Pecora, F. 1982. Effects of hurricanes David and Frederic (1979) on shallow *Acropora palmata* reef communities: St. Croix, U.S. Virgin Islands. *Bulletin of marine science*, 32(2): 532-548.

Rogers, C. 1983. Monitoring of coral reefs linear transects: a study of storm damage. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 66. pag. 285-300.

Rosesmyth, M.C. 1984. Growth and survival of sexually produced *Acropora* recruits: a post-hurricane study at Discovery Bay, Jamaica (extended abstract). Pages 105-106. In: *Advances in reef science*. Univ. Miami, Florida.

Rylandsdam, K.W. 1983. Life histories and abundance patterns of colonial corals on Jamaican reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 16:249-260.

Sammarco, P.W. 1980. *Diadema* and its relationship to coral spat mortality: Grazing competition and biological disturbance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 45: 245-272.

Sammarco, P. W. 1985. The Great Barrier Reef vs. the Caribbean: Comparisons of grazers, coral recruitment patterns and reef recovery. *Proc. 5th Int. Coral Reef Symp. Tahiti*. Vol. 4:391-397.

Sammarco, P.W. y Andrews, J.C. 1989. The helix experiment: Differential localized dispersal and recruitment patterns in Great Barrier Reef Corals. *Limnol. Oceanogr.* 34: 896-912

Sammarco, P.W. 1991. Geographically specific recruitment and post-settlement mortality as influences on coral communities: The cross-shelf transplant experiment. *Limnol. Oceanogr.* 36:469-514.

Secretaría de Marina. 1984. Comportamiento físico-químico del agua en el arrecife de Isla Verde, Veracruz (1982). *Dir. Gen. Oceanogr. Publ.* 21/84. 70 pp.

Secretaría de Marina. 1987. Informe del estudio de evaluación de corales escleractinios: arrecife la Blanquilla, Veracruz, México. Pemex-Secretaría de Marina.

Shinn, E. A. 1972. Coral reef recovery in Florida and the Persian Gulf. Env. Cons. Dept, Shell Oil Co. Houston, Texas: Pag. 9

Shinn, E.A. 1976. Coral Reef Recovery in Florida and the Persian gulf. Environ. Geol. (1) 241-254.

Smith, S.R. 1992. Patterns of Coral Reclutment and Post-Mortality on Bermuda's Reefs: Comparisons to Caribbean and Pacific Reefs. Amer. Zool., 32:663-673.

Stoddart, D. R. 1969. Post-hurricane changes on the British Honduras reef and cays: Re-survey of 1965. Atoll. Res. Bull., 13:1-25.

Stoddart, D.R. 1974. Post-hurricane changes on the British Honduras Reefs: Re-survey of 1972. Proc. 2nd Int. Coral Reef Symp. 2. Brisbane:473-484.

Szmant, A. M. 1986. Reproductive ecology of Caribbean coral reefs. Coral Reefs. 5(1): 43-53.

Szmant, A.M. 1991. Sexual reproduction by the Caribbean reef corals *Montastrea annularis* and *M. cavernosa*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 74:13-25.

Wallace, C.C. 1981. Patterns of juvenile coral reclutment on a reef front during a spring- summer spawning period. Proc. Fourth Int. Coral Reef Symposium. Manila. Vol. 2.

Wallace, C. C. 1983. Visible and invisible coral reclutment. Proc. Inaugr. Great Barrier Reef Conf., Baker, J. T., Carter, R., Sammarco, P. y Stark K. (eds.) James Cook University Press, Townville. Pp. 259-261.

Wallace, C.C. y Bull, G. D.1986. Reclutment of juvenile corals onto corals tables preyed upon by *Acanthaster planci*. Mar.Ecol. Prog. Ser. 32:299-306.

Wells, J.W. 1957. Coral Reef. Pags. 609-631 en J.W. Hedgepeth, de Treatise on marine ecology and paleoecology, Geol. Soc. Am. Mem. 67, Waverly, Baltimore.

TABLAS

Tabla 1 Número de transectos (No. Transec.), longitud cubierta por el transecto (Long.), número de colonias encontradas bajo los transectos (No. Col.), Índice de densidad lineal (IDL) y Índice de cobertura relativa lineal de *Acropora palmata* (ICRL) en cada una de las zonas muestreadas en el arrecife Isla Verde.

ZONA	NO. TRANSEC.	LONG. (m)	NO. COL.	IDL(col/100 m)	ICRL (%)
SW	19	190	0	0	0
NW	25	250	0	0	0
SE	55	550	48	8.7	2.9
NE	69	690	22	3.1	0.5
Isla Verde	168	1680	70	4	1.17

Tabla 2. Número de cuadros tirados en cada zona, área cubierta por los mismos, número total de reclutas encontrados e índice de reclutamiento que presenta cada una de las zonas de muestreo en el arrecife Isla Verde.

ZONA	NO. DE CUADROS	AREA (m ²)	NO. DE RECLUTAS	INDICE DE RECL. (REC./m ²)
SW	135	8.43	0	0
NW	93	5.81	0	0
SE	627	39.18	15	0.38
NE	556	34.75	8	0.20
TOTAL	1411	88.17	17	0.30

Tabla 3. En esta tabla es posible realizar una comparación entre la cobertura lineal y densidad de colonias de *Acropora palmata* en tres zonas del arrecife Puerto Morelos, en el Caribe mexicano durante 1993, 5 años después del huracán Gilberto y la encontradas en 4 zonas equivalentes en el arrecife Isla Verde, Veracruz. (Rodríguez-Martínez, 1998).

ZONA	IDL (col/ m)		ICRL(%)	
	Pto. Morelos	Isla Verde	Pto. Morelos	Isla Verde
Posterior	0.1	0 (SW) 0 (NW)	1.67	0 (SW) 0 (NW)
Rompiente	0.2	-----	3.7	-----
Frontal	0.2	0.08 (SE) 0.03(NE)	2.2	2.9(SE) 0.5(NE)

Tabla 4. Densidad y cobertura de *Acropora palmata* en arrecifes del SAV y del Caribe.

AUTOR	ARRECIFE	COBERTURA	DENSIDAD
Secretaria de Marina, 1987	Blanquilla	5.85%	
Rannefeld, 1972	En medio	65%	
Jordán-Dahlgren, 1998	Chitales (1993)	28%	
Jordán-Dahlgren, 1998	Pto. Morelos (1993)	2.5%	
Garcia y Alvarado, 1995	Parque Nal. Nat. Corales del Rosario	5%	
Jordán-Dahlgren, 1992	Sistema arrecifal Antón Lizardo		2 a 5 col/m ²
Jordán-Dahlgren, 1992	Sistema arrecifal Tuxpan		0.05 a 0.08 col/m ²
Jordán-Dahlgren, 1992	Sistema arrecifal Isla Lobos		0 col/m ²
Jordán-Dahlgren, 1992	Sistema arrecifal Veracruzano		0.7 a 1 col/m ²
1999	Isla Verde	1.17%	0.04col/m

FIGURAS

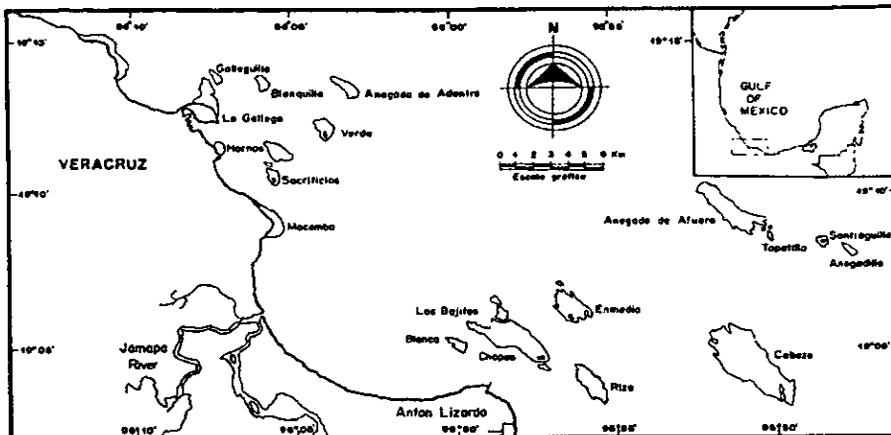


Figura 1.- Localización del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) en el Golfo de México. Modificado de la carta de navegación S.M. 822, SECMAR, Méx.

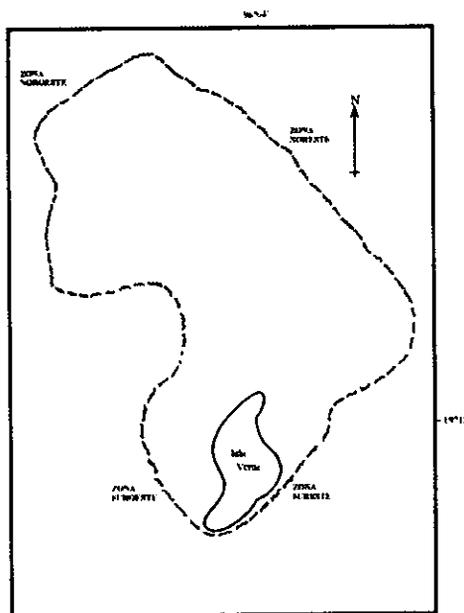


Figura 2.- Mapa de Isla Verde, el cual señala las zonas sobre las que se realizó el muestreo de la población de *Acropora palmata*

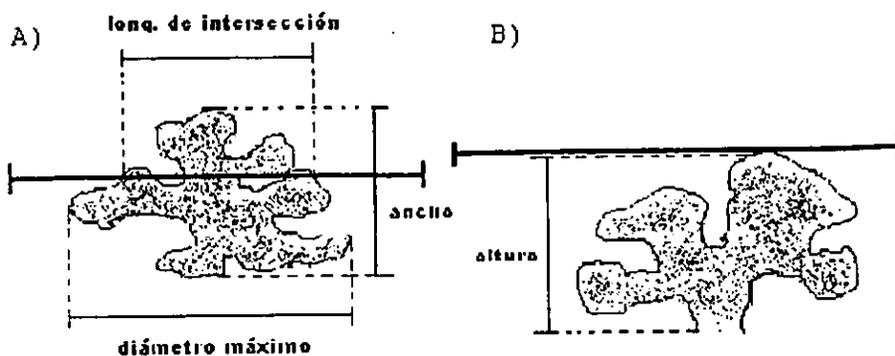


Fig. 3 Medidas que se tomaron en cada una de las colonias de *Acropora palmata* presentes debajo de los transectos. A) Longitud de la colonia interceptada por el transecto, longitud máxima de la colonia y ancho de la colonia perpendicular al diámetro máximo B) altura de la colonia C) de cinco de las ramas se tomaron las medidas de largo, ancho y grosor, para estimar una talla más real.

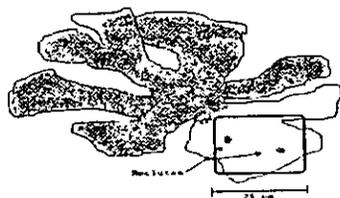


Fig. 4. Los cuadros se colocaron sobre corales muertos o zonas muertas de corales, no sólo de *Acropora palmata* sino también de otras especies, debido a que son las zonas propicias para el establecimiento de las larvas. Posteriormente se contó el número de reclutas (<2 cm) que se encontró dentro del área del cuadro.

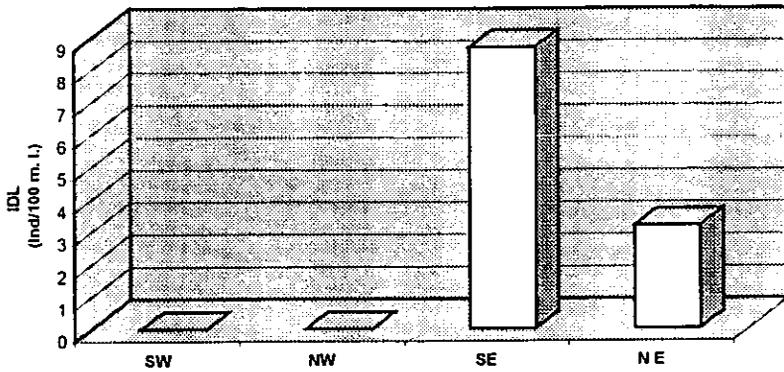


Figura 5.- Índice de Densidad Lineal que presenta *Acropora palmata* en cada una de las zonas del arrecife Isla Verde.

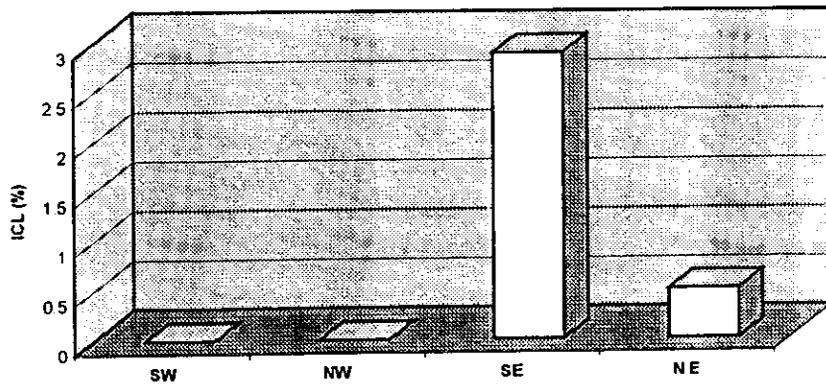


Figura 6.- Índice de Cobertura Lineal que presenta la población de *Acropora palmata* en cada una de las zonas muestreadas en el arrecife Isla Verde.

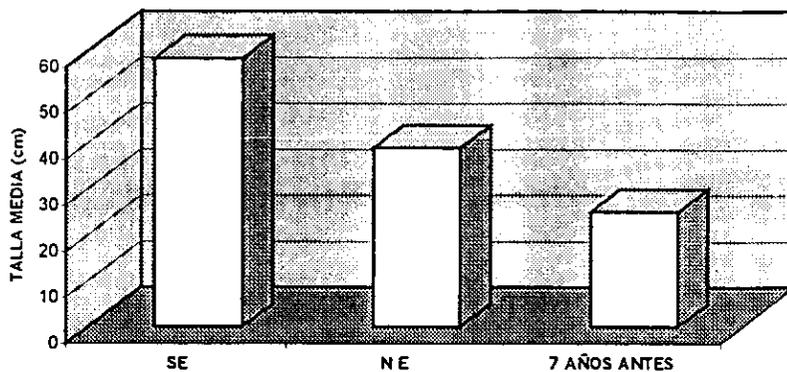


Figura 7.- Talla media obtenida con base al diámetro máximo de la colonia en cada zona, comparandola con la talla media obtenida hace 7 años.

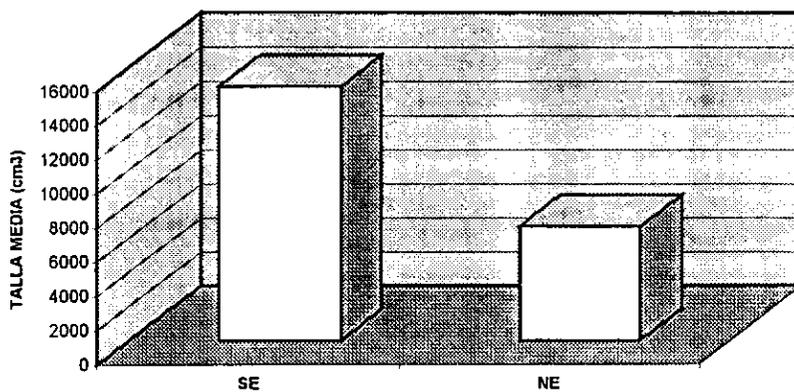


Figura 8 - Tallas promedio obtenidas en cada zona con base a la toma de medidas de 5 ramas de la colonia.

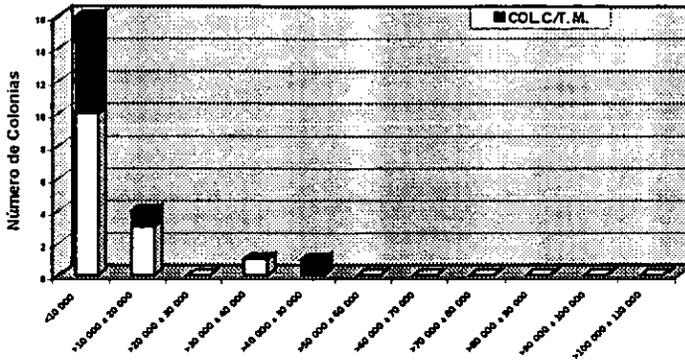


Figura 11.- Composición de la población por tallas de *Acropora palmata* (datos en cm³) en la zona NE (con transecto) del arrecife Isla Verde. La porción oscura indica el número de colonias que presentan porciones de tejido muerto.

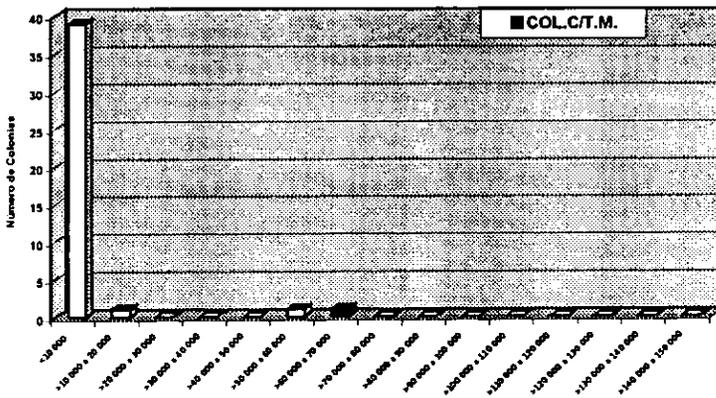


Figura 12.- Composición de la población de *Acropora palmata* por tallas (sin transecto) en la zona NE del arrecife. La porción oscura indica el número de colonias en las que se detectó mortalidad parcial.

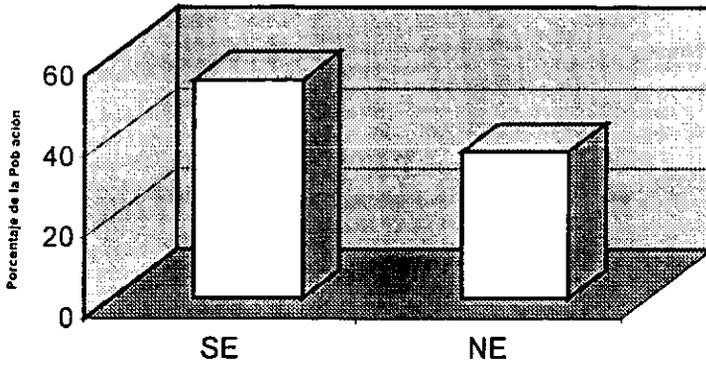


Figura 13.- Índice de Mortalidad Parcial en la población de *Acropora palmata* en cada una de las zonas muestreadas (con transecto) en el arrecife Isla Verde.

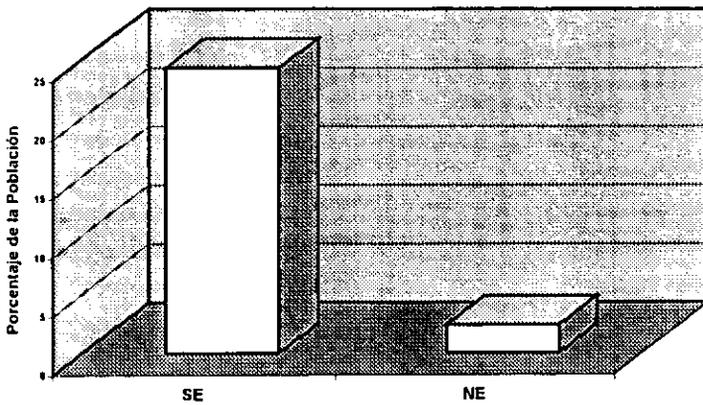


Figura 14.- Índice de Mortalidad Parcial (sin transecto) en cada una de las zonas muestreadas del arrecife Isla Verde .

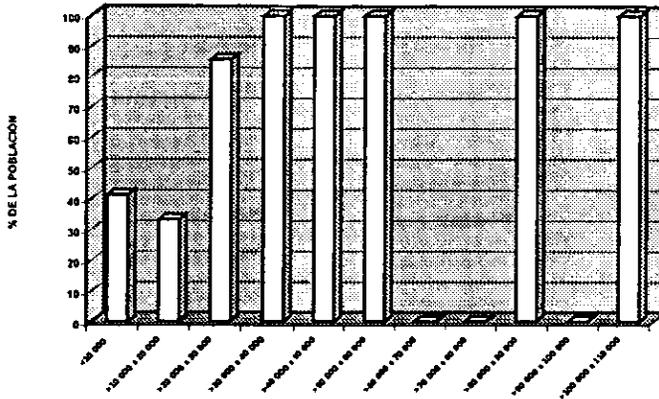


Figura 15.- Porcentaje que representa el número de colonias con tejido muerto en cada una de los intervalos de talla en la zona SE del arrecife. Los intervalos en 0 no presentan ninguna colonia (con transecto).

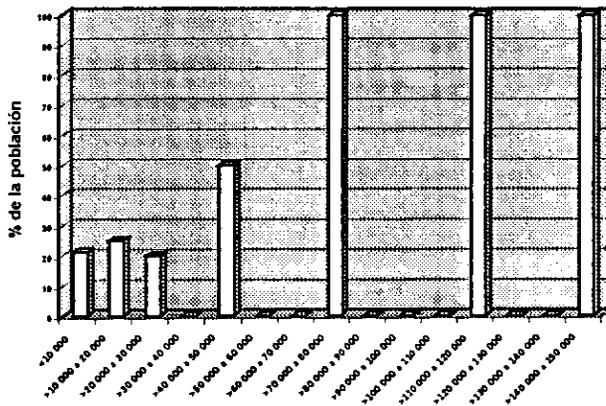


Figura 16.- Porcentaje de la población muestreada que presenta tejido muerto en cada uno de los intervalos en la zona SE del arrecife (sin transecto)

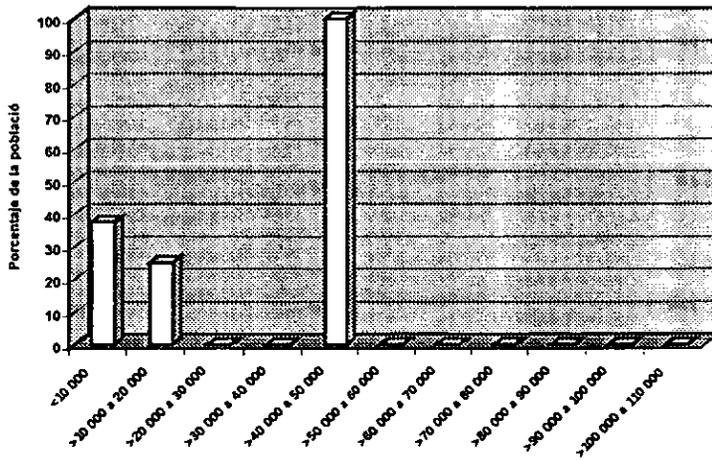


Figura 17.- Porcentaje de la población con tejido muerto en cada intervalo de talla en el NE (con transecto). En el intervalo de 30 000 cm³ existe una colonia pero no presenta tejido muerto. En el muestreo sin transecto sólo se localizó una colonia con tejido muerto.

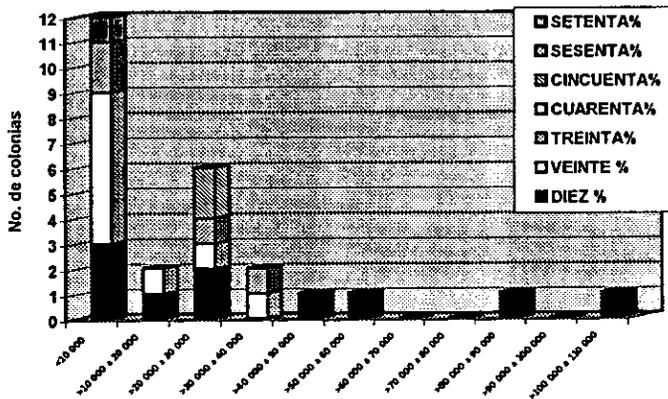


Figura 18.- Número de colonias en cada intervalo de talla que presentan el porcentaje de mortalidad parcial señalado en el recuadro para la zona SE.

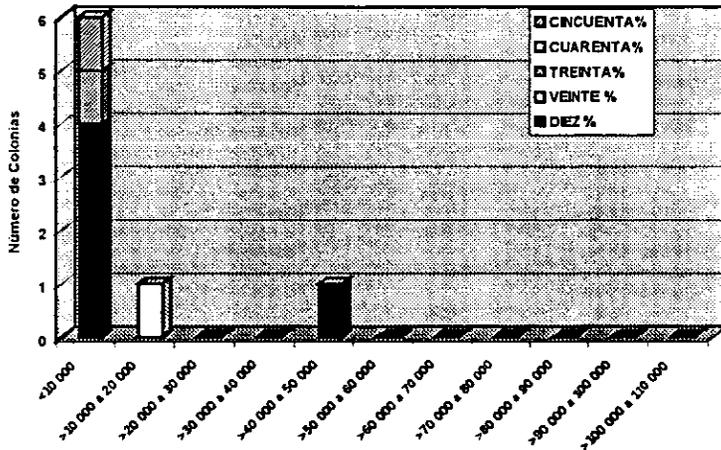


Figura 19.- Número de colonias en cada intervalo de talla que presentan tejido muerto en el porcentaje indica en el recuadro en la zona NE del arrecife.

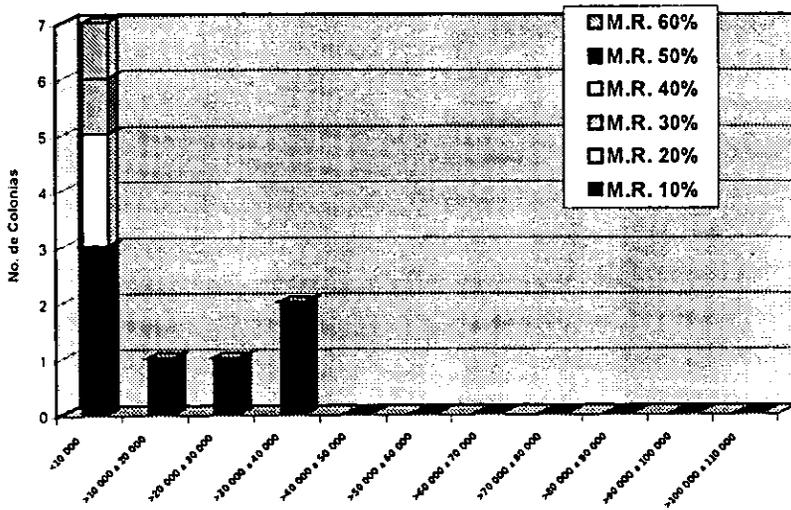


Figura 20 - Número de colonias y porcentaje de tejido muerto reciente que presentan las mismas en cada intervalo de talla en la zona SE del arrecife.

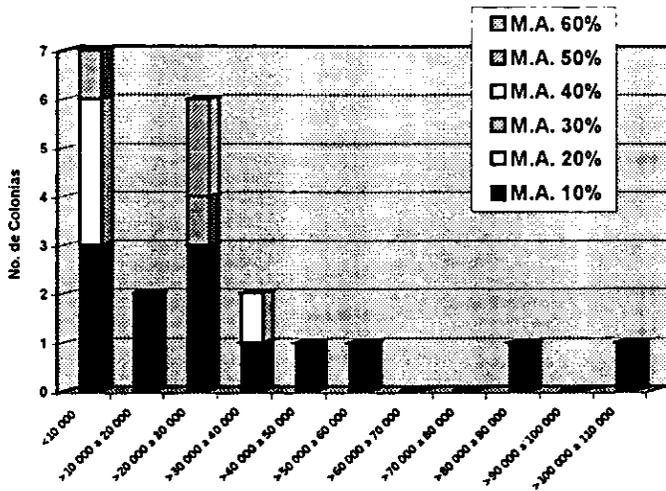


Figura 21.- Número de colonias y porcentaje de tejido muerto añejo que presentan las mismas en cada intervalo de talla en la zona SE del arrecife.

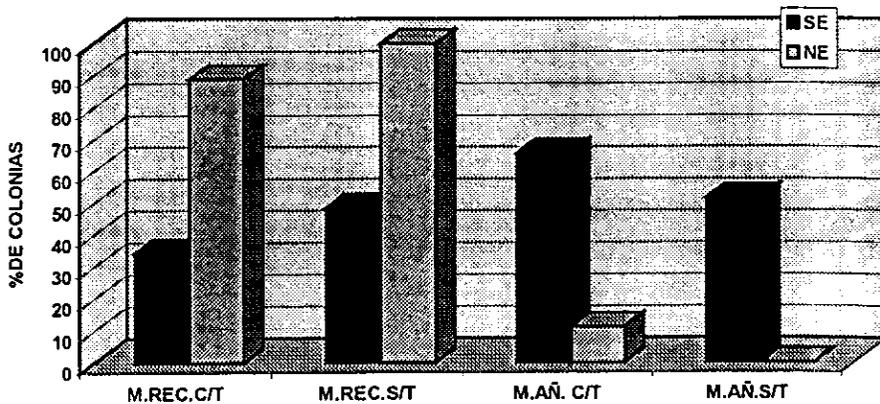


Figura 22.- Porcentajes de mortalidad reciente y añeja que se presentan en las zonas muestreadas (SE y NE) con y sin transecto.

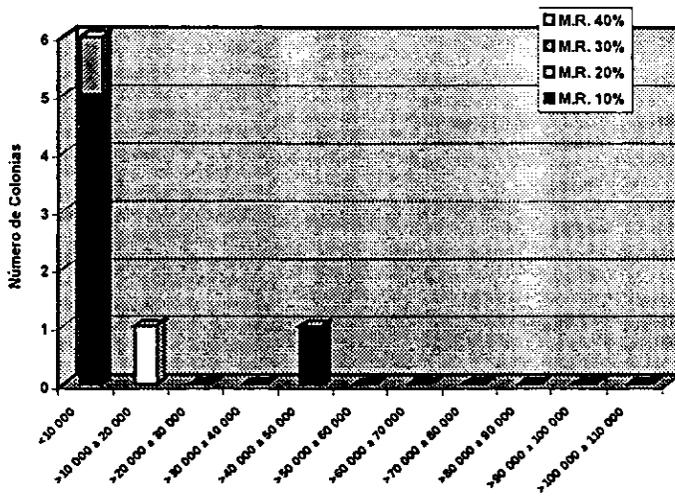


Figura 23.- Número de colonias y porcentaje de tejido muerto reciente en cada intervalo de talla en la zona NE del arrecife.

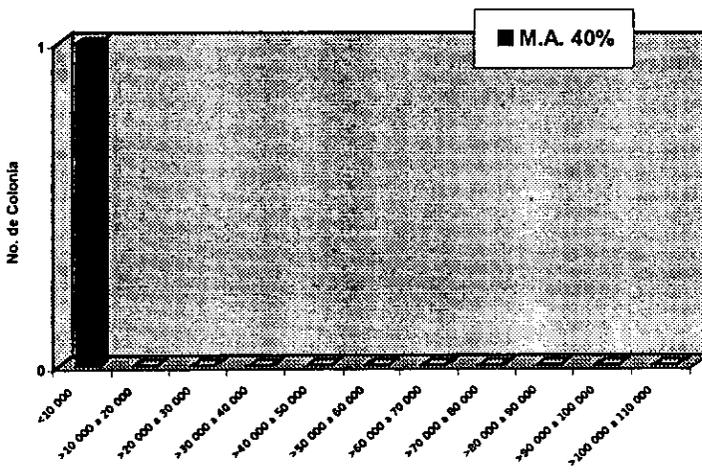


Figura 24.- Número de colonias y el porcentaje de tejido muerto añejo que presentan en cada uno de los intervalos de talla en la zona NE del arrecife.

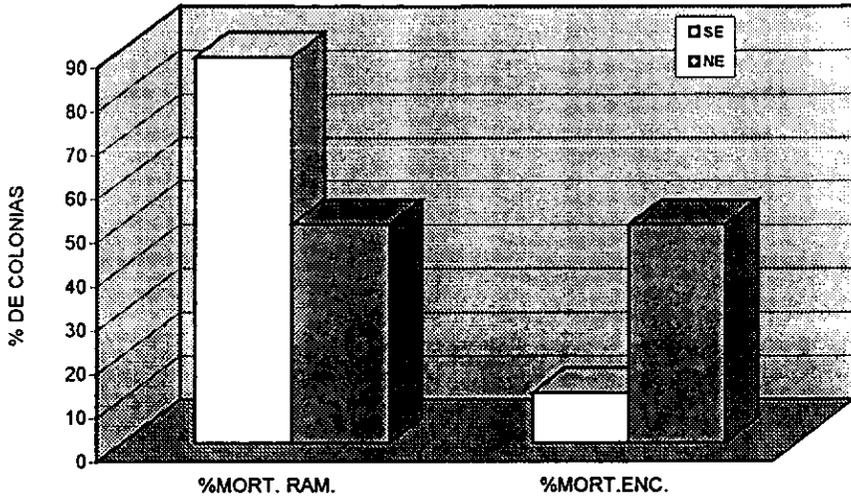


Figura 25.- Se muestra el porcentaje de la población muestreada que presenta mortalidad parcial en cada una de las zonas muestreadas y para cada una de las morfologías que presenta *Acropora palmata*.

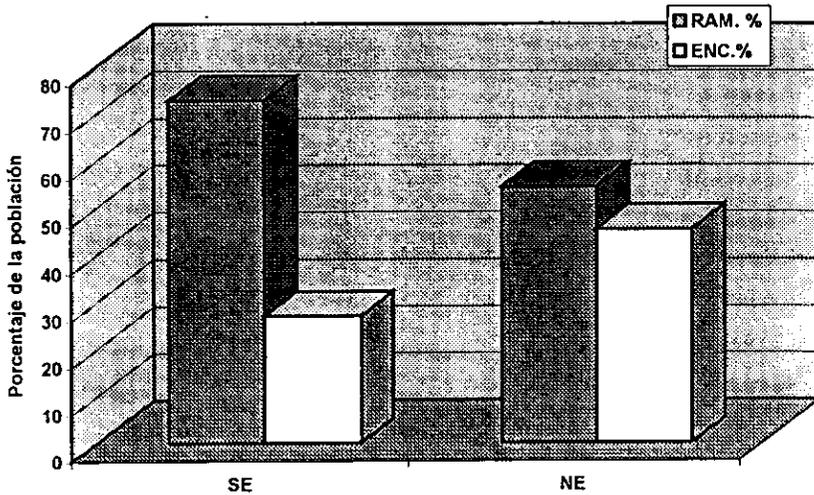


Figura 26.- Porcentaje de la población muestreada en cada una de las zonas del arrecife que presenta morfología ramificada o encostrante.

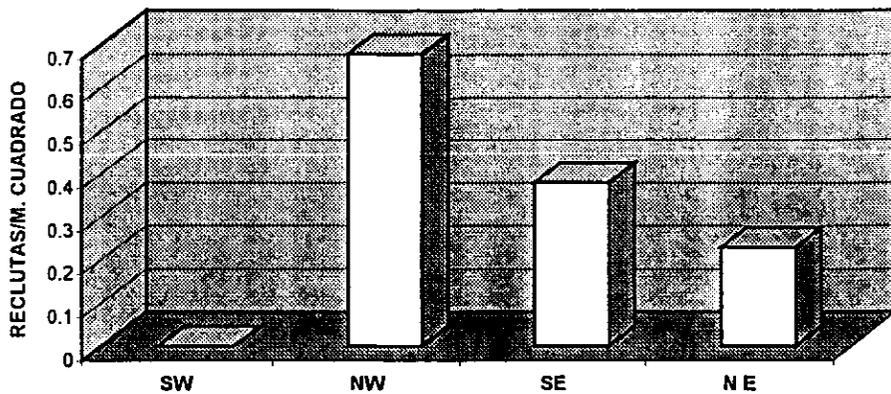


Figura 27.- Índice de reclutamiento de *Acropora palmata* para cada una de las zonas muestreadas en el arrecife Isla Verde.

APÉNDICE I

METODO DE MUESTREO DE CAMPO AGRRA-RAP MODIFICADO

Selección de arrecifes y sitios

Seleccionar arrecifes representativos usando toda la información disponible (mapas benticos, fotografías aéreas, cartas náuticas, inspecciones superficiales, conocimientos locales). Los sitios podrán ser elegidos sobre el arrecife seleccionado en las áreas de máximo desarrollo arrecifal. Recomendamos elegir sitios en un rango de profundidades de 1-5 m y de 8-15 m.

Modificación (M): El rango de profundidad elegido fue entre los 2- 7 m ya que esta es la zona de máximo desarrollo para *Acropora palmata*.

CORALES Y ALGAS

1.- En cada sitio, colocar un transecto en línea al azar en una dirección paralela al eje más largo del arrecife.

2.- Aproximar la cobertura de coral a los 10 cm más cercanos para estimar cuantos metros de la línea cubren coral vivo.

(M) Para el estudio realizado en Isla Verde, la medida de las colonias debajo del transecto se aproximó a los 5 cm más cercanos, esto con el fin de tener un conocimiento más real de la cobertura de las colonias de la población de *Acropora palmata* sobre Isla Verde.

3.- Medir cada coral (> 25 cm de diámetro) que este bajo los 10 m del transecto en línea.

(M) En Isla verde se tomaron en cuenta todas las colonias encontradas aunque no tuvieran un diámetro mayor a los 25 cm ya que si se excluyeran estas colonias no se hubiera contado con una distribución por tallas real de la población.

Los datos a registrar fueron:

- Nombre (género y especie). (M) Sólo *Acropora palmata*
- Diámetro máximo y altura máxima más cercana a los 10 cm. (M) También se tomó en cuenta para todas las colonias, el ancho. Todas las medidas anteriores se aproximaron a los 5 cm más cercanos, además para las colonias ramificadas también se utilizó otro método para el cual se contó el número de ramas y se tomaron las medidas de 5 de ellas (ver metodología descrita en el presente escrito). Todo lo anterior se realizó para tener una talla de la colonia más aproximada a la realidad.
- Porcentaje (%) de mortalidad parcial ("muerte reciente" y "muerte antigua") viendo a la colonia desde arriba.
- Enfermedades o tejido blanqueado presente. (M) No se tomó en cuenta, ya que el objetivo del estudio era conocer que porcentaje de la población presentaba mortalidad parcial mas no determinar la causa de la misma.
- Fuentes de mortalidad reciente que es aún identificable y contribuye a estimar la "muerte reciente". (M) No se tomó en cuenta, por el mismo motivo anteriormente mencionado.
- Número de peces Damisela o área total de jardines de algas de peces Damisela sobre cada colonia. (M) No se tomó en cuenta.

*4.- Después de completar el muestreo con los corales, usar un cuadrado de 25 x 25 cm para estimar la abundancia algal relativa en intervalos de 1, 3, 5, 7, 9 m. Evitando poner los cuadrados en lugares donde estuvieran invertebrados grandes. Para cada cuadrante se registra lo siguiente:

- Porcentaje de abundancia algal: macroalgas, cespel algal, algas coralinas encostrantes
- Promedio de altura de las macroalgas.

*5.- Después de terminar los cuadrantes, contar las *Diadema* que se encuentran a 1 m (de forma lateral) del transecto en línea.

6.- El transecto se reposiciona, a al menos 1 m lateralmente de la posición previa. Repitiendo los pasos anteriores para cada transecto.

7.- Se colecta un mínimo de 50 cuadrantes y 100 colonias de coral para cada sitio. (M) Como sólo se trabajó con una población que además tiene actualmente una densidad baja sólo se consideró obtener una muestra de 50 colonias.

*Estos puntos no se realizaron pues son parte del muestreo de otros invertebrados marinos que son una parte importante para conocer la condición general de todo el arrecife y en el presente estudio sólo nos enfocamos a la población de *Acropora palmata*.

Como un componente opcional del Protocolo de Muestreo Rápido se menciona el reclutamiento coralino el cual menciona la siguiente metodología:

1.- Contar todos los pequeños corales pétreos (diámetro máximo 2 cm) (*Scleractinios* y *Milleporina*) que se vean dentro de un cuadrado de 25 x 25 cm al mismo tiempo que se estima la abundancia algal. (M) Sólo se tomaron en cuenta reclutas de *Acropora palmata*.

2.- De ser posible, registrar su nombre científico al menos a nivel de género.

3.- Si el tiempo lo permite, incrementar el tamaño de muestra de las observaciones nadando azarosamente alrededor del arrecife inspeccionando y colocando el cuadrado de 25 x 25 cm sobre el sustrato.

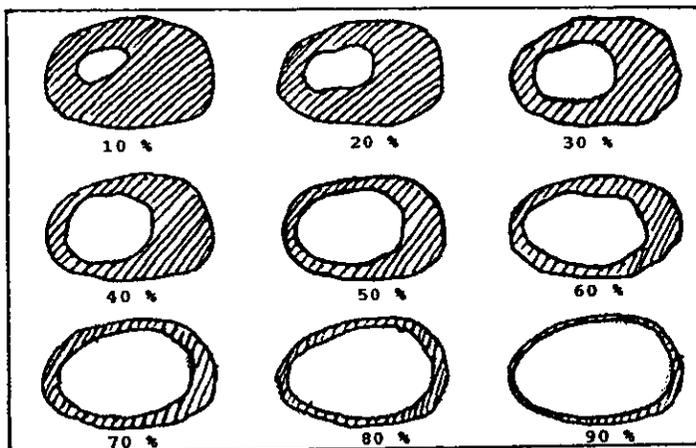
4.- Tratar de repetirlo por un total de 80 cuadrados (una muestra arriba de 5 m² de la superficie arrecifal. (M) La muestra que se tomó fue mayor a 30 m² para tener un mayor acercamiento a las características de reclutamiento de la especie buscada.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

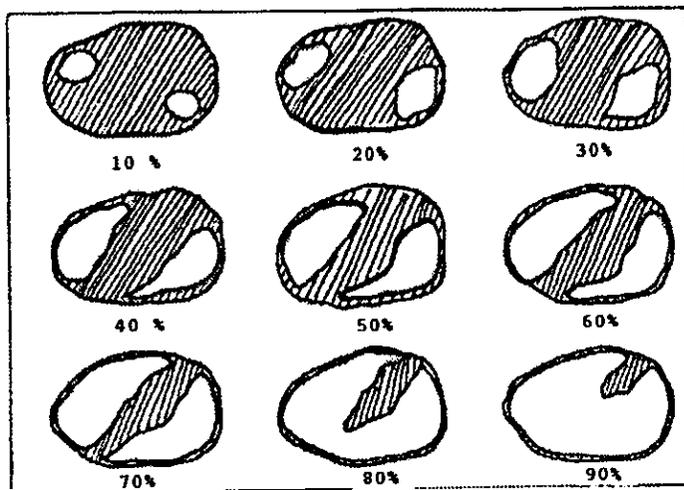
APÉNDICE II

ENTRENANDO EL OJO

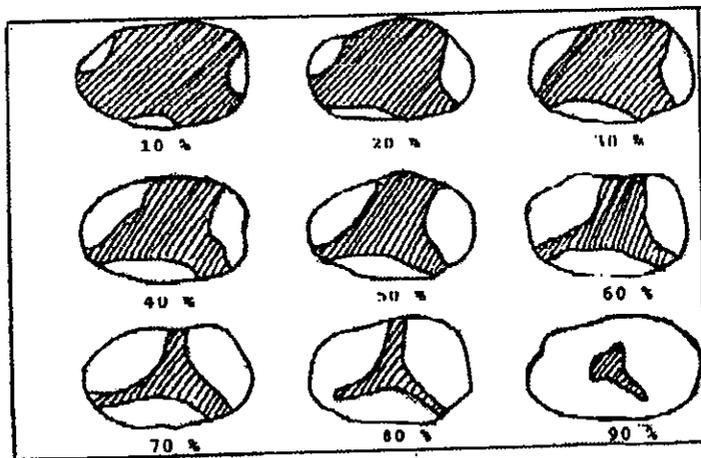
Cada uno de estos diagramas esquemáticos representa la fluctuación de la mortalidad parcial en los corales desde lo mas bajo hasta lo mas alto. Examinar cada uno de los diagramas para acostumbrar tu vista para la inspección de mortalidad parcial. La mortalidad del coral puede darse con distintos patrones. Por ejemplo:



EJEMPLO 1



EJEMPLO 2



EJEMPLO 3

Dirección de la página en Internet:
<http://coral.aoml.noaa.gov/agra/rtecm/page2b.htm>