

Gobierno de Puerto Rico
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTALES
PROGRAMA DE LA ZONA COSTANERA

LOS ARRECIFES DE CORAL EN PUERTO RICO

Marzo 1978

Consultor - Dr. Ariel Lugo

Q2 125

Tabla de Contenido

INTRODUCCION.....I

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DE LOS ARRECIFES.....II

ZONACION HORIZONTAL Y ESTRATIFICACION VERTICAL DE LOS ARRECIFES III

COLONIAS MASIVAS Y CORALES CORNEOS.....IV

CRECIMIENTO OBLICUO AL OLEAJE.....V

FORMACION DE BOQUETES EN EL ARRECIFE.....VI

DIVERSIDAD TRIDIMENSIONAL.....VII

EL FUNCIONAMIENTO DEL ARRECIFE DE CORAL.....VIII

Productividad y Fotosíntesis
Cadenas Alimenticias y Biomasa
Respiración y Generación

EL AMBIENTE DEL ARRECIFE DE CORAL.....IX

La Luz
Sedimentación
Salinidad
Temperatura
Corrientes
Otros Factores

EL ARRECIFE DE CORAL Y EL HOMBRE.....X

Eutroficación de Aguas Costaneras
Dragados
Extracción de Corales
Recreación
La Pesca
Arrecifes Artificiales
Educación

LIMITES DE MANEJO DE LOS ARRECIFES DE CORAL.....XI

NOTAS SOBRE LOS ARRECIFES DE PUERTO RICO.....XII

LISTA DE FIGURAS.....XIII

LISTA DE REFERENCIAS.....XIV

Los Arrecifes de Coral de Puerto Rico

En las islas del Caribe los sistemas costaneros dominan el panorama y es virtualmente imposible caminar por ellas sin perder de vista algún componente de su costa. Por ejemplo, en Puerto Rico uno puede subir al bosque de Río Abajo y encontrar allí suelos con pedazos de coral que vivieron hace millones de años. Desde las montañas más altas en el centro de la isla se divisan claramente las costas y el embate de las olas contra los arrecifes de coral.

Entre los sistemas costaneros de Puerto Rico los arrecifes de coral se destacan por ser los que más influencia han tenido y continúan teniendo sobre la isla y su gente. Ellos forman parte de la geología de Puerto Rico en sus formaciones calizas, protegen la isla contra el embate de las olas y proveen alimento y recreación al puertorriqueño.

En esta publicación nuestro objetivo es describir la interacción entre el hombre y el arrecife de coral y a la vez presentar lo que conocemos sobre el status de los arrecifes de coral en Puerto Rico y sobre las alternativas de manejo que tenemos para asegurar que nuestra interacción con este sistema natural sea provechosa.

Cuando uno visita un arrecife de coral lo que más impresiona a primera vista es la diversidad de peces, el tamaño del arrecife en sí, y el color. Cada una de estas observaciones tiene un fundamento ecológico el cual será explicado más adelante.

El armazón del arrecife es el producto de cientos de años de actividad de parte de una multitud de plantas y animales. Algunos de estos organismos son microscópicos y otros muy pequeños aunque visibles sin la ayuda del microscopio.

En la Figura 1 ilustramos la unidad básica responsable de la formación y mantenimiento del armazón del arrecife de coral. Nótese que consiste de una planta (alga) y un animal (el pólipo del coral). Ambos se combinan para producir tanto el alimento, que sostiene la diversidad de los animales que habitan el arrecife, como también el armazón de caliza (carbonato de calcio). Sólo la capa superficial del arrecife de coral contiene pólipos vivientes. La gran masa es un pedazo sólido de caliza, el cual es desgastado por el mar formando una serie de grietas y cuevas que proveen un lugar de albergue a docenas de especies de organismos marinos.

Cuando uno admira un crecimiento de organismos hermatípicos (término que describe los corales que forman el arrecife; también se conocen como corales pétreos) lo que vemos es una colonia de miles de pólipos (la unidad en la Figura 1) que pertenecen a varias especies de animales clasificados en el grupo de los cnidarios. La diversidad de colonias hermatípicas en Puerto Rico no sobrepasa de sesenta especies y esto contrasta con más de 200 especies en los trópicos del viejo mundo. La poca diversidad en el Caribe se debe a causas geológicas y biogeográficas que están fuera del objetivo de este trabajo. Para una discusión sobre estos aspectos refiérase a Glynn (1973) y a Milliman (1973). La Tabla 1 compara los arrecifes del Caribe con los del área Indo-Pacífica y la Tabla 2 presenta variaciones en la abundancia de peces.

Las sesenta especies de corales hermatípicos que se encuentran en nuestra región forman sistemas tan variados y productivos como los del viejo mundo. Asociados con estos corales hermatípicos viven una variedad extensa de algas coralinas, corales no hermatípicos (corales córneos y blandos) y otros grupos de plantas y animales que en conjunto forman lo que en su totalidad llamamos el

arrecife de coral. Estos arrecifes de coral pueden crecer sobre los esqueletos de colonias de arrecifes muertos o pueden crecer sobre otros sustratos de origen marino o terrestre. Ejemplos de otros sustratos son las dunas cementadas, arena, o rocas metamórficas. Los corales que crecen sobre otros corales se reconocen como los verdaderos arrecifes de coral mientras que a aquellos que crecen sobre sustratos no coralinos se les conocen como comunidades coralinas. Esta distinción es importante pues implica distintos grados de desarrollo en la formación.

En los atolones del Pacífico (definido más adelante) los corales son de gran antigüedad y crecen sobre otros corales formando plataformas de más de 4,000 pies de profundidad. En Puerto Rico las formaciones coralinas no son tan antiguas, pero aún así existen arrecifes de coral de los dos tipos. En las costas sur y este tenemos verdaderos arrecifes y en las costas norte y oeste predominan las comunidades coralinas.

Los corales, como los manglares, son sistemas tropicales. Sin embargo, a causa de la dirección y temperatura de corrientes marinas procedentes de los trópicos uno puede encontrar corales en latitudes altas a lo largo de las costas del este de los continentes.

En las islas volcánicas del Pacífico ocurren formaciones coralinas conocidas como atolones. Estos son arrecifes de coral que crecieron alrededor de los volcanes que originalmente formaron las islas y que ahora se encuentran a miles de pies de profundidad. Inicialmente los corales crecieron en la falda del volcán y a medida que estos se hundieron en el mar, los corales continuaron creciendo formando así el atolón. En aquellos casos en que los corales no se establecieron alrededor del volcán, se formó un guyote. Un guyote es un volcán que se hundió en el mar sin dejar trazas sobre la superficie del agua. En el

Pacífico y el Caribe muchas islas coralinas que deben su existencia al crecimiento de los corales. Sin los corales las islas no existirían y en vez encontraríamos un guyote a muchos metros de la superficie del mar y sin evidencia de vida alguna.

En ciertos continentes como el de Australia, los corales bordean el continente formando lo que se conoce como corales de barrera. Estos corales están separados del continente por una laguna. Algunos autores diferencian los arrecifes de barrera de los llamados arrecifes de banco ("bank reefs") los cuales crecen separados de la costa pero no lo suficientemente lejos de ella como los corales de barrera. Los arrecifes de borde ("fringing reefs") crecen dentro de la laguna y en contacto con el continente. Cuando las formaciones coralinas crecen en agregaciones pequeñas y aisladas, entonces se conocen como arrecifes de manchas ("patch reefs"). En Puerto Rico hay formaciones de coral de todos los tipos con la excepción de los atolones (aunque algunos arrecifes en la Cordillera* parecen atolones). Sin embargo para acentuar su pobre desarrollo, algunos autores identifican nuestros corales de barrera en la Parquera como "bank reefs."

Es importante determinar la relación entre el arrecife de coral y los demás sistemas de la zona costanera para entender el funcionamiento de la región, incluyendo sus partes terrestres. La zona costanera funciona como un gran sistema natural del cual manglares, arrecifes, dunas y bancos de Thalassia son sus componentes principales. Sólo los atolones del Pacífico viven aislados de otros sistemas costaneros.

*La Cordillera es el nombre que se le ha dado a la cadena de arrecifes que se extiende hacia el este desde Fajardo.

En Puerto Rico, el arrecife de coral junto con la plataforma insular es la primera línea de interfase entre las aguas oceánicas y los sistemas terrestres. De hecho, la presencia del arrecife modifica significativamente la velocidad y dirección de las corrientes marinas en la costa. Cuando el mar y el viento se mueven en dirección a la tierra, el arrecife exporta sustancias orgánicas hacia los sistemas localizados hacia tierra. Sin embargo, cuando las corrientes de agua fluyen en dirección opuesta, entonces el arrecife recibe contribuciones de los sistemas que se encuentran hacia el sector terrestre. Entre estos dos extremos se pueden identificar una amalgama de interacciones entre sistemas costaneros; por ejemplo, entre los arrecifes de coral y los sistemas de yerbas submarinas, entre el arrecife y el manglar, entre el arrecife y el estuario y entre el arrecife y las aguas oceánicas. Estas interacciones se manifiestan en los movimientos de los organismos de estos sistemas, en los intercambios de nutrientes, materia orgánica y sustancias bioquímicas, y por medio de las modificaciones que cada sistema introduce al ambiente marino. Más adelante se discuten los mecanismos de estas interacciones.

II Estructura y Diversidad de los Arrecifes

El problema principal al que se enfrenta los arrecifes de coral es el ambiente físico en el cual crecen. Este aspecto se discute en detalle más adelante pero hay que tomarlo en consideración al discutir la estructura y diversidad de especies del ecosistema. Estructuralmente el arrecife de coral es un sistema complejo y es precisamente su complejidad estructural lo que le ayuda a sobreponerse a las limitaciones físicas de su ambiente marino. Sin embargo, la diversidad de especies y la complejidad estructural del arrecife de coral se hace posible solamente en ciertos ambientes donde se combinan en proporciones favorables una serie de factores marinos que contribuyen a tal desarrollo.

Veamos la explicación a esta aparente paradoja.

Los arrecifes desarrollan su máxima diversidad de especies en lugares donde las corrientes marinas son fuertes pero no de fuerza extrema, donde las aguas son claras y transmiten luz solar a grandes profundidades, donde la temperatura y salinidad de las aguas no exceden ciertos límites ni varían mucho anualmente, y donde el substrato favorece la colonización de partes de corales hermatípicos. Sin embargo, el hecho de que el sistema crece en aguas claras y agitadas, implica que tiene que combatir los efectos negativos del oleaje y de la falta de los nutrientes* necesarios para el desarrollo de plantas y animales. Así que las condiciones que se mencionaron inicialmente favorecen el desarrollo de la diversidad de especies y la complejidad estructural del arrecife mientras que las limitaciones que se mencionaron últimamente le causan presiones al sistema. Esta aparente paradoja en la cual los factores ambientales favorecen o desfavorecen a un sistema en función de su intensidad es común a todos los ecosistemas pero adquiere su máxima expresión con los arrecifes de coral.

La complejidad estructural en el sistema es el mecanismo con el cual el arrecife combate los efectos de las presiones mencionadas. A medida que los factores negativos aumentan con respecto a los positivos, el arrecife disminuye en complejidad y diversidad de especies. Cuando los factores positivos predominan sobre los negativos el arrecife florece con todo el esplendor posible. Algunas características estructurales de los arrecifes que contribuyen a su éxito en el ambiente costanero tropical son: el desarrollo de una zonación

*Mientras más claras son las aguas del mar, más estériles son en términos de nutrientes y materia orgánica disuelta.

horizontal y estratificación vertical de especies y funciones; formación de colonias masivas y de colonias de corales córneos (gorgonios); orientación del crecimiento en dirección oblicua al oleaje; formación de cavidades donde se acumula la materia muerta y la diversidad tri-dimensional causada por el conjunto de colonias de corales. Estos aspectos se discuten brevemente a continuación.

III Zonación Horizontal y Estratificación Vertical de los Arrecifes

La Figura 2 ilustra un transecto por un arrecife de coral típico de cualquier costa de Puerto Rico. Nótese las variaciones en la morfología de las colonias y los tipos de especies que crecen en distintas zonas del arrecife. Las zonas del arrecife pueden variar en número. Por ejemplo, Pressick (1970) identificó cuatro (4) zonas en un arrecife en la costa noreste de Puerto Rico. En las zonas que se encuentran hacia el mar crecen especies tolerantes al embate continuo del oleaje y de las corrientes marinas. Estas especies modifican el ambiente físico lo suficiente como para permitir que detrás de ellas crezcan otro grupo de especies con menos tolerancia al impacto del mar, las cuales a su vez protegen especies menos tolerantes. En las zonas internas del sistema predominan los gorgóneos o especies de corales que solo sobreviven en aguas tranquilas aunque en movimiento continuo. Las zonas horizontales del arrecife son pues zonas complementarias ya que una zona no podría sobrevivir sin la protección de la zona anterior. Durante períodos de tormenta las zonas más cercanas al mar son destruídas y entonces se desencadena una ola de destrucción a lo largo del sistema a medida que las zonas internas pierden momentáneamente la protección de las zonas externas.

El arrecife de coral está también organizado verticalmente en el ambiente físico (e.g. menos luz y más presión en el fondo) y a cambios en el armazón del arrecife (e.g. deterioro en el fondo). Además, según se ilustra en la Figura 1,

cada pólipo de coral exhibe una organización vertical en miniatura. A escala macroscópica la organización vertical del arrecife se manifiesta en el tipo de colonia que se encuentra en una u otra profundidad. En las capas superiores se encuentran colonias de coral que depositan el carbonato de calcio rápidamente mientras que en las capas inferiores predominan colonias de crecimiento lento. Los organismos heterotróficos del sistema predominan en las zonas inferiores del sistema mientras que los organismos fotosintéticos predominan en la superficie. Esta organización permite el desarrollo organizado del arrecife y separa los procesos generativos (en las capas superiores) de los regenerativos (en las capas inferiores).

IV Colonias Masivas y Corales Córneos

En las zonas frontales del arrecife predominan las colonias de coral masivas. Estas colonias crecen lentamente pero debido a su forma tienen una mayor resistencia a los embates y a las tormentas que azotan el arrecife. Esto contrasta con la forma de crecimiento de las colonias córneas que forman ramificaciones muy atractivas que semejan ramas de árboles. La ventaja de este tipo de colonia es que permite un crecimiento más rápido y una mejor utilización de las corrientes de agua que traen alimento y nutrientes. Sin embargo este tipo de crecimiento no tolera el embate violento de olas y corrientes. Entre estos dos tipos de estrategias de crecimiento uno puede observar una gama de variaciones todas conviviendo en un mismo ecosistema pero cada una en el lugar donde es de mayor beneficio para sí y para el sistema.

V Crecimiento Oblicuo al Oleaje

La orientación del crecimiento de los corales y de algunas de las formaciones que este tipo de crecimiento causan formación de estribos y espuelas,

es otra característica del arrecife que se adapta al ambiente físico y por consiguiente contribuye a la sobrevivencia del sistema. La estrategia consiste en crecer no en contraposición sino oblicuamente a las corrientes, de suerte que la energía del impacto se disipa con mínimo de daño al arrecife. Algunos autores relacionan esta estrategia con la formación de los estribos y espuelas característicos de arrecifes que crecen en áreas donde el oleaje es intenso. Se cree que en Isla de Mona esta formación no es producto del crecimiento de los arrecifes de hoy sino que es producto de la erosión de arrecifes que crecieron allí hace varios millones de años.

VI Formación de Boquetes en el Arrecife

Si uno examina un arrecife de coral cuidadosamente se notará la abundancia de cavidades en el armazón del sistema. Estas cavidades son más obvias en las estratas inferiores del arrecife donde el crecimiento de los corales es más lento y donde las fuerzas destructivas predominan. En estas cavidades viven organismos que no tienen la capacidad para sobrevivir el embate del oleaje y las corrientes. En la cavidad reciben protección contra las corrientes y contra predadores. De más importancia para el arrecife es el hecho de que las cavidades son lugares donde ocurre una porción significativa del proceso de descomposición de materia orgánica. De no existir estas cavidades una gran cantidad de material muerto se perdería con el flujo de la marea perdiéndose también los nutrientes esenciales para la productividad del sistema. Más adelante discutiremos con más detalle esta función del ecosistema. La Figura 3 conceptualiza las cavidades en un arrecife.

VII Diversidad Tridimensional

Hemos discutido cómo la diversidad de especies y colonias contribuyen a la

sobrevivencia del sistema ya sea por la protección que distintas especies brindan o ya sea por la variedad de funciones de las especies que permiten la utilización óptima de recursos en cantidades limitantes. (e.g. los nutrientes, la luz solar). Además esa diversidad en especies y funciones hay que considerar la diversidad tri-dimensional que se produce como resultado de la variedad en el tipo y forma de colonias coralinas que crecen en el arrecife. Esta diversidad tri-dimensional modifica el ambiente físico (las corrientes, la luz, etc.) y provee espacio y protección para el crecimiento de otras especies de plantas y animales.

VIII El Funcionamiento del Arrecife de Coral

Productividad y Fotosíntesis

Durante el proceso de fotosíntesis se transforma la energía solar a energía química en compuestos orgánicos que son utilizables por todos los organismos del ecosistema. Solamente las plantas pueden llevar a cabo este proceso. En los arrecifes de coral, gran parte de la fotosíntesis ocurre en los pólipos debido a las algas localizadas dentro de los pólipos (Figura 1). La evidencia para esta determinación ha sido obtenida por una variedad de investigadores comenzando con Sargent y Austin (1949). En Puerto Rico, Burkholder y Rivero (1959-a) y Rogers (1975) midieron la fotosíntesis en corales de La Parguera y encontraron tasas de producción altas. Los mismos autores (1959-b) y Margalef (1959) también midieron la cantidad de clorofila en estas colonias.

La fotosíntesis de las algas contribuye a la alimentación del coral y éste a su vez contribuye bióxido de carbono y nutrientes a las algas. A esta asociación donde ambas partes se benefician se le llama asociación simbiótica de tipo mutualista. Younge (1968) ha discutido los aspectos de simbiosis en arrecifes de coral. Si se integra la fotosíntesis de todas las algas del arrecife,

se obtiene lo que se conoce como la productividad del arrecife. Esta es una medida de la capacidad del arrecife de coral para transformar los nutrientes, el bióxido de carbono y la luz solar disponible a materia orgánica útil para la respiración y para la sobrevivencia de todos sus organismos.

Mientras más productivo un sistema más diversidad de especies puede sostener y más puede crecer. Por supuesto, un sistema con mucha diversidad de especies también aumenta su capacidad productiva pues desarrolla más formas y mecanismos para atrapar la luz solar y los nutrientes con que cuenta. Las medidas que se han hecho de la productividad de los arrecifes de coral han demostrado que este sistema es más productivo que casi todos los que se han estudiado incluyendo la caña de azúcar y el bosque tropical lluvioso. Odum y Odum (1955) por ejemplo, encontraron una productividad de 75,000 libras de materia orgánica/cuerda por año en un arrecife en el Pacífico y en un estudio en la Parguera Odum, Burkholder, y Rivero (1959-a) encontraron que el arrecife era más productivo que la Thalassia y los manglares. Debido a la alta productividad, uno puede inferir que la diversidad estructural y de especies que se observan en el arrecife de coral ha sido una solución muy favorable al ambiente costanero tropical. Es interesante determinar cómo es que el arrecife de coral distribuye su producto y cómo mantiene su productividad tan alta a pesar de los embates del mar.

Cadenas Alimenticias y Biomasa

La transferencia de la materia orgánica producida por las plantas a los otros organismos del sistema y su redistribución entre los consumidores resulta en la formación de cadenas y redes alimenticias. En el arrecife existe una variedad extensa de mecanismos para transferir alimento de un grupo de organismos a otros. A continuación discutimos brevemente algunos de éstos.

Uno de los intercambios más interesantes y controversiales en círculos científicos ocurren entre los pólipos de coral y las algas que crecen dentro de ellos. Las algas transfieren alimento al coral en forma de aminoácidos, proteínas y otros productos de su metabolismo. El animal sin embargo nunca digiere las algas que crecen dentro de él. De noche los animales exponen sus tentáculos al exterior y atrapan el plancton microscópico que flota en las aguas que bañan el arrecife. De esta manera el arrecife suplementa su productividad con insumos de material orgánico de origen oceánico. Al digerir este plancton, el arrecife poco a poco acumula nutrientes esenciales para el proceso de fotosíntesis. Supuestamente las algas obtienen estos nutrientes de los animales.

Además de las algas que crecen dentro de los corales, en el arrecife hay otros tipos de algas que crecen incrustadas en el arrecife o sobre colonias de corales muertos o en otros substratos accesibles para su crecimiento. Muchas especies de animales ingieren estas algas y comienzan así cadenas alimenticias que culminan en peces carnívoros como los tiburones y barracudas.

Los zoólogos y ecólogos se fascinan con la diversidad de estilos alimenticios de los peces en los arrecifes. Ehrlich (197) ha descrito una multitud de ejemplos que incluyen los peces que viven en proximidad de peces carnívoros sin que sean devorados por estos. Glynn (1962) informó de peces que se alimentan de corales hermatípicos y Randall (1965) describió como es que los peces del arrecife mantienen una franja de 30 pies alrededor del arrecife sin crecimiento vegetal alguno. El demostró que las plantas no crecían en esta franja porque los peces se las comían antes de que pudiesen crecer. (Figura 4).

Aún más interesante son los cambios que ocurren en el arrecife entre el día y la noche. Hobson (1975) ha descrito lúcidamente cómo, durante el día,

una multitud de peces se mantienen en descanso mientras otros se alimentan activamente. De noche la actividad se invierte y aquellos que descansaban de día comienzan su ciclo de alimentación. Hodson , además, describió las primeras horas del día y la noche cuando el arrecife dá la impresión de estar desierto. Como en una ciudad moderna, estas son las horas cuando ocurre el cambio de horario entre las poblaciones que se alimentan de día y las que se alimentan de noche.

En las cavidades del arrecife se acumula el material orgánico y allí las bacterias se convierten en la base de cadenas alimenticias que se originan con la materia muerta del arrecife y que también culminan con peces carnívoros.

El arrecife de coral también cuenta con una gran cantidad de organismos filtradores que pasan horas filtrando el agua del arrecife e ingiriendo en el proceso materia orgánica particulada que está en suspensión. Estos organismos representan la base de aún otras cadenas alimenticias.

Los corales vivos producen continuamente una mucosa de alto valor calórico que sirve para protegerlos de la sedimentación natural a la que se exponen normalmente. Sin embargo, esta mucosa también sirve de alimento a bacterias y a otros consumidores que a su vez son parte de otras cadenas alimenticias. Con un último ejemplo, se pueden mencionar ciertos peces que raspan la superficie del coral y que sirven como predadores de los corales. Los corales también exhiben tendencias canibalistas al devorarse unos a otros bajo ciertas condiciones de competencia. Así pues el arrecife de coral parea su diversidad de cadenas alimenticias las cuales forman en conjunto una gigantesca red alimenticia estructurada y muy entrelazada.

El colorido de los peces del cual hablamos inicialmente y la abundancia de mecanismos de camuflaje y de relaciones simbióticas entre especies pueden ser interpretadas como respuestas a la presión alimenticia que existe en este

sistema. Los colores pueden ser guías de identificación que ayudan no solamente en la reproducción sino también en la identificación de "amigos y enemigos." El camuflaje, el color, y las relaciones entre especies ayudan a aumentar las probabilidades de sobrevivencia en el sistema.

Las cadenas alimenticias representan la organización trófica del arrecife de coral. La organización trófica también puede analizarse en términos de la distribución de biomasa en el sistema. El único trabajo que contiene estimados de biomasa en el arrecife de coral es el de Odum y Odum (1955) donde ellos estimaron la biomasa de cada nivel trófico. Estos resultados se resumen en la Figura 5. Un punto de interés en la Figura 5 es la dominancia de las plantas sobre todos los otros niveles tróficos. Odum y Odum disiparon el mito de que el arrecife de coral era una comunidad dominada por animales. Ellos mostraron que a pesar de que el componente vegetal no es tan obvio como el animal, las plantas acumulan más biomasa que los animales. Esto explica en parte porque la productividad de las plantas es capaz de sostener la respiración animal. Además, estos resultados le dan validez a los comentarios de Setchell, quien en el 1928 sugirió que los arrecifes de coral eran comunidades de plantas y animales y no comunidades de animales solamente según se creía entonces.

Otro aspecto de interés es la biomasa de bacterias y otros descomponedores. Nótese en la Figura 5 que éstos componen un porcentaje menor de la biomasa total. Sin embargo, su función en el sistema es de extrema importancia según discutiremos en la próxima sección.

Respiración y Regeneración

Los procesos respiratorios y regenerativos en el ecosistema son de vital importancia para su funcionamiento pues son los mecanismos por los cuales se utiliza la energía capturada durante la fotosíntesis para hacer trabajo y son

además los procesos que suplen nutrientes y gases esenciales para la fotosíntesis. todo ecosistema tiene pues procesos y circunstancias que contribuyen a su crecimiento y organización y otros que contribuyen a su destrucción y desorden. La fotosíntesis y la diversidad de especies contribuyen a la organización y crecimiento del sistema. En esta sección discutimos los factores y procesos que funcionan en dirección opuesta.

Medidas de la respiración de colonias de coral demuestran que éstas tienen más fotosíntesis que respiración (Burkholder et al., 1959-a). Esto se debe a la actividad fotosintética de las algas que crecen dentro de los pólipos de coral. En medidas similares para todo el arrecife, Odum y Odum (1955) encontraron que el sistema estaba balanceado ya que respiraba tanto como tofosintetizaba. Este balance es característico de arrecifes que han llegado a su máximo desarrollo ecológico. En arrecifes más jóvenes hay menos respiración que fotosíntesis mientras que arrecifes en decadencia exhiben más respiración que fotosíntesis. Ya habíamos indicado que la mayor parte de la respiración y regeneración del arrecife se observaba en las partes profundas donde se acumulaba el material orgánico muerto (en boquetes o cavidades). En esas cavidades Disalvo (1970, 1973) encontró que la concentración de bacterias excedía 10^{12} colonias por gramo de sedimento. Además, él midió altas tasas de respiración en estos sedimentos orgánicos. El resultado de esta actividad es la regeneración de grandes cantidades de fósforo y nitrógeno utilizables en la fotosíntesis de las algas dentro de los corales vivos.

Otro ejemplo de mecanismo regenerativo en el arrecife es la actividad de una gama de organismos especializados en causar la destrucción del armazón del arrecife. Estos organismos incluyen algas, esponjas, peces, y otros grupos de animales (Goreau y Hartman (1963) y Stoddart (1969). Todos estos organismos

(menos los peces) se incrusta en el coral despedazándolo poco a poco. En el proceso crean nuevas cavidades, nuevos habitats y generan gran cantidad de sedimentos inorgánicos que luego son transportados fuera del arrecife por las corrientes de agua. Estas actividades debilitan el armazón del arrecife y producen nuevos substratos que son colonizados por otras especies de algas o corales. La actividad de organismos de este tipo predomina en los lugares más profundos del arrecife (Goreau y Hartman, 1963). Además de la actividad de estos organismos, las corrientes, mareas y olas también desmenuzan el coral y contribuyen a su destrucción.

Volvemos a hacer énfasis en que el arrecife que vemos y admiramos es el balance entre las fuerzas de destrucción y las fuerzas de construcción que prevalecen en esa región costanera. Dependiendo de cuál de las dos fuerzas, prevalece, uno puede encontrar arrecifes en desarrollo rápido, en rápida extinción o en balance con el ambiente. Esto implica que el hombre o cualquier accidente natural puede fácilmente alterar este balance.

IX El Ambiente del Arrecife de Coral

Hemos discutido, aunque someramente, los factores ambientales que determinan el éxito o extinción de los arrecifes de coral en las costas tropicales. En esta sección le daremos más atención a este aspecto de la ecología de los arrecifes.

La Luz

La luz solar es un factor crítico para el desarrollo del arrecife de coral pues de ella depende la productividad primaria, el crecimiento, y la tasa de productividad primaria, el crecimiento, y la tasa de carbonato de calcio (Figura 6) (Stark, Almodovar y Krauss, 1969). Por lo tanto, los ambientes favorables al crecimiento y desarrollo de corales son ambientes altamente iluminados. Si

la claridad del agua lo permite, el límite al cual uno puede encontrar arrecifes de coral es de 80m de profundidad y coincide con el límite de penetración de suficiente luz para sostener los procesos fotosintéticos y la deposición de carbonato de calcio.

Sedimentación

La cantidad de luz que llega a la superficie del arrecife está íntimamente relacionada con la turbidez y concentración de sedimentos en las aguas de la región. Mientras más sea la turbidez causada por acumulaciones de sedimentos, menos luz llega al sistema y más precaria se hace su sobrevivencia. Por eso, los arrecifes de coral predominan en costas con poca turbidez y poca sedimentación. La Figura 7 ilustra la relación entre cubierta de sedimentos y cubierta de colonias de coral.

Los sedimentos sin embargo tienen otros efectos sobre los organismos del arrecife. Debido a la naturaleza sésil de muchos de ellos, sus métodos de captura de alimento dependen de la filtración del agua o de la captura de partículas suspendidas en el agua. Si la concentración de sedimentos en la columna de agua es alta, se bloquean sus sistemas para capturar alimentos y además se asfixian los organismos. Los corales que crecen en lugares con alta sedimentación también se mueren rápidamente. Con la muerte de los corales el arrecife es colonizado por algas y otros organismos más resistentes a los sedimentos pero sin la capacidad de continuar desarrollando el armazón de carbonato de calcio. En otras palabras, el arrecife deja de crecer y los procesos de destrucción exceden los de construcción y organización. Este es el principio del fin de los arrecifes de coral.

La única defensa que tienen los corales contra la sedimentación es la producción de una mucosa que continuamente se desecha al ambiente. Al ser

desechada la mucosa se lleva consigo los sedimentos que se depositaron sobre el coral mientras la mucosa cubría el coral. Sin embargo este mecanismo es efectivo si la tasa de sedimentación es baja, o sea; a razones similares a las que normalmente encuentra una colonia de coral saludable. Cuando la sedimentación es excesiva, la diversidad de especies en el arrecife disminuye proporcionalmente. Loya (1972), encontró que la diversidad de especies era mayor en las áreas empinadas del arrecife que en las partes planas donde los sedimentos se podían acumular más fácilmente.

Salinidad

Una de las razones por las cuales los arrecifes de coral crecen en lugares con poca sedimentación es porque crecen en costas áridas donde la escorrentía terrestre y la sedimentación son insignificantes. La poca escorrentía terrestre minimiza la dilución del agua de mar y por consiguiente contribuye al mantenimiento de salinidades estables. La estabilidad en el régimen de salinidad es otro factor que favorece el crecimiento coralino. Aunque los corales pueden sobrevivir extremos de salinidad por varias horas, generalmente crecen en lugares con regímenes bastante constantes. La Figura 8 ilustra variaciones amplias en el crecimiento coralino con variaciones muy pequeñas de salinidad. Uno de los factores ambientales que más rápidamente afecta la sobrevivencia del coral es la baja salinidad. Muchos investigadores proponen que los corales no crecen con mucha diversidad cerca de la playa debido a que allí se exponen con más frecuencia a aguas con salinidades bajas.

Temperatura

La temperatura es también crítica para el desarrollo coralino. Los corales son organismos tropicales y están adaptados a temperaturas altas. La Figura 9

ilustra cambios drásticos en la sobrevivencia de los corales con un cambio en temperatura de un grado centígrado. La tolerancia a cambios en temperatura varía con distintas especies pero en general los corales predominan en aguas con poca variación en su temperatura. En las costas áridas las temperaturas son estables ya que no hay corrientes de aguas terrestres que cambien los regímenes tropicales. Por ejemplo, Almodovar (1971) encontró que las algas que más se exponen a altas temperaturas (donde la marea baja las expone) sobrevivían mejor si había sombra y humedad. Glyn (1968), observó mortalidades masivas a temperaturas de 40C. En resumen, el ambiente coralino es un ambiente estable en términos de salinidad, temperatura y luz solar.

Corrientes

Las corrientes marinas moldean el crecimiento de las plantas y animales del arrecife, redistribuyen los nutrientes y sedimentos, transportan alimentos y organismos de un lugar a otro, y son un factor determinante en la destrucción del armazón del arrecife. Sin duda éste es uno de los factores físicos más dominantes en este sistema. Los arrecifes crecen mejor donde las corrientes marinas son bastante rápidas pero si son excesivas al crecimiento se reduce. Los límites de tolerancia con respecto a corrientes no han sido determinados cuantitativamente pero en la costa sur de Puerto Rico los arrecifes crecen muy bien en las afueras de la plataforma continental donde sin duda el mar está bastante embravecido y sin embargo, en el borde de la costa norte donde la energía de corrientes y oleajes es aún mucho mayor, el crecimiento de corales es muy limitado.

Roberts, Murray y Suhayda (1975) estudiaron el efecto que tienen los arrecifes de coral sobre la intensidad y dirección de las corrientes marinas. Ellos encontraron que el efecto era significativo. Por ejemplo, la presencia de un

arrecife puede reducir la altura de las olas un 20% por una distancia de 400m; reduce además en un 75% la energía de las olas al causar que éstas rompan sobre el arrecife; y reducen además la velocidad de las corrientes en un 30%. Estos efectos del arrecife tienen como consecuencia que las corrientes de agua y flujos de sedimentos hacia la costa sean también modificados significativamente. Ya hemos discutido que además de la presencia física del armazón del arrecife, sus colonias de corales masivos y el crecimiento de espolones y estribos son los factores que contribuyen al sistema. Sin duda la destrucción del arrecife conlleva cambios drásticos en las corrientes y distribución de sedimentos y patrones de erosión en la costa.

Otros Factores

En adición a los factores que afectan al arrecife de día a día, hay que añadir una serie de eventos que ocurren periódica y catastróficamente. La recurrencia de estos eventos puede convertirse en el factor dominante de la ecología y funcionamiento de los arrecifes de una región. Algunos ejemplos son los huracanes, la escorrentía excesiva hacia la costa, cambios súbitos en las direcciones de las corrientes marinas, y las mareas bajas extremas.

Los huracanes son factores naturales que embaten islas y formaciones coralinas con frecuencia que varían entre cinco y treinta años. Generalmente los huracanes son acompañados por mareas altas y corrientes y oleajes extremos. Los resultados son devastadores para los arrecifes los cuales sufren fragmentación y destrucción. Los oleajes lanzan pedazos de coral a las áreas internas del arrecife donde éstos causan aún más destrucción. Los efectos de huracanes en la Parguera han sido documentados por Stoddart (1962, 1964) y por Glynn, Almodovar y González (1964).

Después del huracán los sistemas costaneros incluyendo los arrecifes tardan

años en reparar los daños sufridos y es posible que los ciclos de reparación estén en fase con los ciclos de destrucción según han propuesto Lugo y Snedaker (1974) para los manglares. Otro efecto de los huracanes es la formación de islas que surgen al acumularse fragmentos de coral sobre los niveles de las mareas altas normales (Glynn, Almodovar y González, 1964). La formación de nuevos substratos es evidencia de que aún las fuerzas destructivas de la naturaleza están acopladas con las fuerzas de regeneración.

Con las inundaciones terrestres los arrecifes se exponen a escorrentías con baja salinidad y alto contenido de sedimentos. Ambos son factores que causan la mortalidad de los arrecifes. Sin embargo, tales factores de "stress" sólo operan con frecuencias bajas permitiendo así que el sistema se recupere antes de ser afectado nuevamente. En áreas donde estos factores de "stress" se repiten con mucha frecuencia los corales desaparecen poco a poco.

Los cambios en la dirección de las corrientes marinas tienen el mismo tipo de efecto que las escorrentías terrestres ya que pueden exponer el arrecife a cambios súbitos y extremos en la temperatura o velocidad del flujo del agua. Hay evidencia de que los corales pueden sobrevivir cambios cortos en estos parámetros pero no pueden sobrevivir si el cambio es prolongado.

Las mareas bajas extremas son muy perjudiciales a los organismos de los arrecifes pues los expone a temperaturas muy altas y a la desecación por efectos del aire. Estos eventos han sido documentados en el sur de Puerto Rico donde la mortalidad fue de un 80% en término de varias horas (Glynn, 1969, y Loya, 1975). Si la marea baja ocurre de noche el efecto no sería tan devastador pues las temperaturas altas no serían un factor de consideración.

En resumen, hay ciertos lugares en las costas tropicales donde se combinan una serie de características e intensidad de factores que permiten crecimientos extraordinarios de arrecifes de coral. Estos crecimientos son de

BIBLIOTECA
DEPTO. RECURSOS
NATURALES

espectaculares que la naturaleza ofrece en el mundo entero. Al analizar las condiciones que permiten estos crecimientos uno descubre que estas condiciones incluyen corrientes y oleajes bastante altos y temperaturas, salinidades, sedimentación e intensidades de luz solar en regímenes constantes. Estos regímenes incluyen altas temperaturas, salinidades normales, baja sedimentación y alta intensidad de luz solar. La Figura 10 ilustra la reacción en el crecimiento del arrecife a cambios sutiles en su ambiente.

Aún cuando las condiciones son favorables para el crecimiento del arrecife, se pueden observar una serie de factores operando en contra del crecimiento coralino de suerte que el sistema, a pesar de su alta productividad apenas logra el balance con las fuerzas que atentan contra su sobrevivencia. Dependiendo de su posición geográfica el arrecife recibe ninguna o grandes cantidades de material orgánico de sistemas marinos y terrestres creciendo detrás del arrecife y generalmente recibe muy poco subsidio del mar que lo rodea. El insumo más significativo del mar es quizás el plancton que utilizan los organismos sésiles. El arrecife sin embargo es visitado por muchos organismos de sistemas adyacentes. En el arrecife, estos organismos obtienen alimento. Por otro lado, los organismos del arrecife salen a los estuarios a pasar allí las etapas juveniles de sus respectivos ciclos de vida. El arrecife de coral es un componente principal de la zona costanera y uno que contribuye a la sobrevivencia de muchos otros sistemas tierra adentro. El hombre se beneficia del arrecife y afecta su funcionamiento.

X El Arrecife de Coral y el Hombre

Anteriormente discutimos cómo los arrecifes de coral influyen en el hombre a través de la formación y protección de islas, la producción de alimento, como medio recreativo, y como base estructural de formaciones geológicas que ahora

se encuentran fuera del mar. En esta sección discutiremos cómo es que el hombre utiliza los arrecifes de coral señalando para cada uso los peligros e impactos que la actividad humana conlleva no solamente para el arrecife de coral sino para el hombre mismo. Esta discusión se fundamenta en los principios y conceptos ya discutidos. Las actividades que vamos a discutir son: eutroficación de aguas, dragados, extracción de corales, recreación, pesca, arrecifes artificiales, y usos educativos.

Eutroficación de Aguas Costaneras

La eutroficación de aguas costaneras se debe a las descargas de aguas negras de focos urbanos o industriales. Por eutroficación se entiende la riqueza de nutrientes en las aguas. Aguas eutróficas son aguas ricas en nutrientes. Como el arrecife crece mejor en aguas oligotróficas (pobres en nutrientes) la eutroficación de las aguas costaneras representan un cambio drástico en las condiciones naturales del arrecife. La Figura 11 ilustra el efecto de la eutroficación con fósforo, en el crecimiento y sobrevivencia de algunos arrecifes de coral en Hawaii.

La consecuencia principal de la eutroficación es la creación de un nuevo balance competitivo entre las colonias de coral con sus algas marinas que normalmente crecen como especies subordinadas en el arrecife y el fitoplancton que normalmente es un componente insignificante del sistema. Con el aumento en nutrientes estas algas macroscópicas y microscópicas toman más agua y desplazan competitivamente a las colonias de coral las cuales no crecen tan rápido en ambientes eutróficos. Poco a poco la balanza se inclina en contra de los corales causando su sustitución en proporción al grado de eutroficación de las aguas. Por supuesto, con la eliminación de los corales hermatípicos se destruye la base alimenticia y eventualmente la base estructural del sistema.

Estos aspectos han sido documentados por Maragos (1972) en Hawaii y por Loya (1975) en el Mar Rojo.

Como las aguas negras van acompañadas de grandes volúmenes de agua fresca su adición a las costas dominadas por arrecifes de coral también causan mermas en los niveles de salinidad del ambiente coralino. Además, debido a cambios en la actividad de bombeo de las plantas los cambios son impredecibles lo que introduce cambios drásticos en salinidad con variaciones que pueden ser muy amplias dependiendo de la cantidad de agua que se vertiere al mar. Este tipo de actividad añade dos factores de "stress" al arrecife: baja salinidad y oscilación en el ambiente. Recuerden que el arrecife crece mejor en salinidades altas y estables.

En la literatura se han documentado casos de arrecifes de coral que han sido alterados por actividades como la que hemos descrito. Un ejemplo es el de Hawaii (Maragos, 1972) donde el crecimiento de corales es importante para el turismo y la pesca. Allí se perdieron 80% de los corales en una bahía que recibía aguas negras. En Puerto Rico se planean vertir al mar las descargas de plantas regionales de tratamiento las cuales sin duda afectarán cualquier comunidad coralina en la vecindad de la descarga.

Dragados

Los dragados en bahías y zonas costaneras cerca de arrecifes de coral son detrimentales a estos sistemas ya que suspenden los sedimentos y estos causan mucha turbidez. La turbidez puede o no disiparse rápidamente dependiendo del tamaño de las partículas de sedimento y del oleaje. Además, en el tiempo en que se disipa el exceso de turbidez, el arrecife es expuesto a condiciones de sedimentación mayores a las que naturalmente recibe. La sensibilidad de los arrecifes a los dragados se basa en su requerimiento de

alta intensidad de luz y en su inhabilidad para sobreponerse a altas tasas de sedimentación. Otros efectos de los dragados son la destrucción directa de arrecifes por las máquinas de dragado, la mortalidad por el uso de explosivos, y los efectos de los cambios en los patrones de sedimentación y corrientes inducidos por la nueva batimetría de la zona costanera.

Los efectos de dragado sobre arrecifes de coral han sido documentados en Islas Vírgenes por Van Eepoel (1969) y Grig y Van Eepoel (1970). Diez años después del dragado, aún se notaban los estragos del dragado inicial en Water Bay, St. Thomas.

Al resumir estos efectos es necesario añadir los efectos que tienen sobre los arrecifes los usos de terrenos en las cuencas hidrográficas que desembocan al mar. Esto es más importante en islas como Puerto Rico donde todas sus cuencas comunican casi directamente al mar. Usos inadecuados de terrenos o falta de controles de erosión causan sedimentación excesiva durante épocas de lluvia. Como consecuencia, los arrecifes de coral y praderas de Thalassia reciben inyecciones periódicas de altas concentraciones de sedimento. Es posible que estos sistemas costaneros se puedan recobrar de varios eventos como éstos ya que su intensidad puede ser de una magnitud similar a eventos que ocurren durante épocas de huracán. Sin embargo, los huracanes ocurren con frecuencias bajas (5-30 años) en contraste con los eventos asociados con mal uso de terrenos que pueden repetirse anualmente o por lo menos con frecuencias mayores de 5 años. El resultado de esta situación es que poco a poco los sistemas costaneros se van deteriorando sin ninguna razón aparente. Este efecto paulatino pudo haber sido el responsable por la muerte de las pocas comunidades coralinas en la costa norte de Puerto Rico.

Extracción de Corales

Los corales son extraídos por varios motivos: para venta a turistas, para extracción comercial de sustancias químicas, y accidentalmente. Las dos últimas no ocurren con mucha intensidad en Puerto Rico y la primera prevalece en los corales de la costa noreste de la isla. Frank Torres (1975) ha discutido en detalle los efectos de la extracción de corales en Puerto Rico y ayudó a redactar un reglamento para controlar estas extracciones. Los siguientes comentarios son tomados de este reglamento.

La extracción de corales es una actividad que ha tomado mucho auge en la costa noreste de Puerto Rico y en la vecindad de Culebra. Muchos pescadores han abandonado la pesca para extraer corales y vendérselos a los turistas. La extracción ocurre en aguas llanas y se concentra en la región de la "cordillera", una región de islas y arrecifes de coral en la región noreste de Puerto Rico. Además de perjudicar a las colonias de corales con la extracción directa (la regeneración es muy lenta y reparar el daño toma décadas), Torres apunta que la pesca también se perjudica con esta actividad pues se eliminan los lugares donde crecen las etapas juveniles de peces comerciales. Desgraciadamente el reglamento para controlar la extracción de corales aún no ha sido aprobado y la situación continúa degenerándose.

Recreación

La recreación en los arrecifes de coral no está organizada en Puerto Rico. Sin embargo, en el parque nacional en la isla de St. Johns, Islas Vírgenes hay "vereda" submarina donde los turistas pueden nadar por un arrecife de coral. En ese parque nacional la vereda submarina está rotulada con información que sirve de guía y de intérprete de la naturaleza a las personas interesadas. Este tipo de actividad es beneficiosa al hombre sin que afecte el

arrecife. En los 10 años de funcionamiento que lleva este parque no se ha notado ningún efecto detrimental a la flora o fauna (Robinson, 1975). Por otro lado, los efectos al arrecife por la recreación no organizada varían con la intensidad del uso y el cuidado de los visitantes. El anclaje de botes sobre arrecifes es un factor muy dañino, pues al arrastrar el ancla sobre el arrecife las colonias de coral son arrancadas indiscriminadamente. Con la excepción de estos aspectos detrimentales y asumiendo que no se depositan desperdicios sólidos sobre el arrecife, es posible utilizar los arrecifes para actividades recreativas sin ofensa al sistema.

La Pesca

La pesca comercial y deportiva dentro de la plataforma continental se sostiene por la productividad de tres sistemas costaneros. Estos son los manglares, arrecifes y praderas de Thalassia. Investigaciones en Jamaica han demostrado que en los lugares donde hay arrecifes la pesca aumenta considerablemente. De hecho, Munro (1973) sugiere que en plataformas con arrecifes de coral se puede pescar a razón de 17 kg/ha año en comparación con 4 kg/ha año en lugares sin los arrecifes. Los tres sistemas mencionados contribuyen a la pesca en diversas formas y en manera complementaria. Por ejemplo, los manglares y praderas de Thalassia proveen alimento y protección a etapas juveniles de muchas especies procedentes de mar afuera y de los mismos arrecifes de coral. Los arrecifes de coral por otra parte proveen alimento a formas adultas de las mismas especies con valor comercial y deportivo. La Figura 12 ilustra resultados de estudios de Smith y Tyler (citado en Miller, Van Derwertker y Waller, 1971) que demuestran que los peces tienden a agregarse a escollos con alimento. Esto es precisamente lo

que hace el arrecife de coral y lo que lo convierte en un oasis de vida en medio del desierto marino. En contraste con sus alrededores, su alta productividad y abundancia de especies proveen un lugar ideal para la pesca. La Figura 13 ilustra variaciones en la biomasa de peces en distintos ambientes coralinos.

Desgraciadamente la diversidad del arrecife no permite que se desarrollen poblaciones con altas densidades de individuos. En mar abierto ocurre lo contrario. Allí hay pocas especies con poblaciones muy densas. Por lo tanto, la pesca en arrecifes es necesariamente distinta a la pesca en mar abierto. En el arrecife, la pesca se basa en el esfuerzo individual mientras que la pesca en alta mar se basa en grandes flotas pesqueras. Cuando la presión pesquera es alta, en las áreas coralinas se disminuye la captura obligando a los pescadores a moverse mar afuera. El agravante de esta situación (para el pescador) es que mar afuera hay menos productividad y se necesita más tecnología para cosechar los bancos de peces marinos.

La estrategia de largo alcance en la pesca dentro de la plataforma insular debe ser la de ajustar la cosecha a la productividad de los arrecifes, las praderas de Thalassia y mangles, ya que la sobrecosecha eventualmente conlleva la destrucción de la pesca. La pesca de mar afuera también aumenta los gastos de la empresa. Generalmente el perjudicado es el pescador humilde ya que al cambiarse el tipo de pesca se implican ajustes sociales en el tipo de pescador y en el enfoque del negocio.

Arrecifes Artificiales

Muchos han propuesto la formación de arrecifes artificiales en los lugares de Puerto Rico donde no existen arrecifes naturales. Estas propuestas se basan en la idea equivocada de que lo único que limita el crecimiento de arrecifes es

que sean sembrados. Los estudios que se han hecho en Puerto Rico han sido muy preliminares e incompletos (Fast y Pagán, 1973, 1974) debido a que sólo se ha analizado la abundancia de peces sin considerar la productividad necesaria para sostenerlos. Aparentemente los arrecifes pueden atraer una gran cantidad de peces de arrecifes naturales cercanos pero la productividad en el arrecife artificial no es suficiente para sostener esos peces. En otras palabras, los arrecifes artificiales pueden tener éxito en conjunto con arrecifes naturales pero no sin ellos o en lugares donde la naturaleza no permite el desarrollo del sistema natural. Esta generalización fue documentada por el estudio de Randall (1963) en Islas Vírgenes quien encontró que la proximidad de praderas de Thalassia contribuía al éxito de los arrecifes artificiales.

Hay otros aspectos de arrecifes artificiales que merecen atención. En especial está el problema de la ciguatera. La ciguatera es una enfermedad que surge de sustancias venenosas que se adquieren con el consumo de peces infectados. Se cree que la infección en los peces se origina en ciertas algas azul-verdosas que crecen en las etapas iniciales de la sucesión. Los arrecifes artificiales son precisamente etapas primarias de sucesión y por lo tanto expuestos al crecimiento y colonización rápida de estas algas. Como la ciguatera puede ser mortal al hombre, cualquier brote de la infección arruina la pesca en la región. El problema de la ciguatera ha sido ampliamente discutido por Banner (1976).

La contaminación de peces con metales pesados o sustancias químicas tóxicas es otra posibilidad que puede surgir si no se toma cuidado con el tipo de substrato que se utiliza para formar el arrecife (gomas, chatarras, etc.).

Educación

En Puerto Rico los arrecifes se toman en consideración en los programas educativos universitarios particularmente en los programas graduados en Mayaguez y Río Piedras y en otros departamentos de biología al nivel de bachillerato. Sin embargo, este sistema natural no ha sido utilizado en los otros sistemas educativos fuera de grupos pequeños con intereses específicos (como los niños escuchas). Existe sin embargo un gran potencial para educar al país en los aspectos más sutiles de la ecología en un sistema donde las interacciones entre los factores físicos y biológicos son tan obvios y fascinantes. Además, la necesidad de hacer llegar al pueblo las ideas relacionadas con los factores que posiblemente afectan muchos aspectos de la vida cotidiana de la isla representa un objetivo muy importante en la búsqueda de la relación del hombre y la naturaleza que le rodea.

XI Límites de Manejo de los Arrecifes de Coral

Hemos discutido con bastante detalle los factores que afectan la estructura y funcionamiento de los arrecifes de coral y las formas como el arrecife de coral responde a estos factores. También hemos repasado las formas como el hombre se relaciona con el arrecife y hemos dado ejemplos de usos que afectan y otros que no afectan el arrecife. El arrecife es sin duda un recurso natural de vital importancia para una isla pues la protege de los embates del mar y además contribuye significativamente a la economía de la misma. La manera con que el hombre trate a este sistema es un índice del entendimiento que tiene de su valor y del valor que él le dá a los beneficios que deriva del sistema.

Asumiendo que valoramos positivamente a los arrecifes es necesario entender cuáles son sus límites de tolerancia. Primero, es un sistema con mucha capacidad para recibir el embate del oleaje más fuerte. De hecho olas que pasan sobre los

arrecifes muchas veces destruyen nuestras mejores edificaciones en tierra. Así que el arrecife es un sistema tolerante a un gran embate físico pero increíblemente sensitivo a cambios sutiles en otras condiciones ambientales que lo rodean. Como ejemplo hemos discutido la sensitividad a cambios impredecibles en salinidad, luz, temperatura y sedimentación. Hemos discutido además, cómo, para cada uno de estos factores el sistema sólo tolera límites estrechos de variación.

Así pues, las alternativas de manejo se reducen a una regla muy sencilla de expresar aunque a veces difícil de implementar: si mantenemos los factores ambientales aludidos dentro de los límites de tolerancia de los arrecifes, éstos continuarán proveyendo su contribución a la región perpetuamente según lo han hecho por siglos. Sin embargo, en la medida en que se alteren los patrones normales de luz, salinidad, nutrientes, sedimentación, temperatura y corrientes, así también peligrarán sus contribuciones al hombre. Mientras las fuerzas naturales continuen favoreciendo el crecimiento de los arrecifes, el hombre podrá estudiarlos, pescar en ellos, recrearse, extraerlos, fotografiarlos y llevar a cabo casi cualquier actividad en ellos sin que éstos sean afectados adversamente. Sin embargo, tan pronto el hombre comienza a cambiar las condiciones que sostienen el arrecife, éstos se van afectando y actividades que originalmente no tenían impactos significativos comienzan a tener efectos negativos que se van multiplicando y eventualmente destruyen el sistema.

XII Notas Sobre los Arrecifes de Puerto Rico

Aunque la literatura que describe los arrecifes de Puerto Rico no es muy extensa, la información a mano permite hacer descripciones bastante detalladas de ciertos lugares específicos de la isla. Además, los trabajos son de tal naturaleza que cubren una amalgama de aspectos de interés para el ecólogo.

Por ejemplo, en secciones anteriores hemos ya citado trabajos sobre la productividad de los arrecifes (Odum, Burkholder y Rivero, 1959-a), la sucesión de los arrecifes (Welch, 1962), la geología en áreas coralinas (Saunders y Schneiderman, 1973) y los efectos de huracanes y mareas bajas (Glynn, Almodovar y González, 1964; Glynn, 1968). Algunas áreas que han sido estudiadas en detalle son las de la Parguera (Almodovar, 1962; Almy y Carrión-Torres, 1963), la Cordillera en el área de Fajardo (Pressick, 1970; Almy y Carrión-Torres, 1963), la Isla de Culebra y Culebrita (Cerame-Vivas, Hendrick y Prentice, 1971; Cintrón et al, 1974), Isla de Mona (Cintrón, Comunicación Personal), el área del Río Guanajibo (Kolehmainen y Biaggi, 1975) y los arrecifes de Guayanilla y Tallaboa (por el centro nuclear de Mayaguez) y Cintrón y Berquist (1972).

El trabajo más abarcador es el de Almy y Carrión-Torres (1963) quienes describieron los corales de aguas llanas en Puerto Rico e informaron un total de 38 especies de corales hermatípicos. Ellos describieron la geomorfología de los arrecifes de la Parguera como dos líneas de arrecifes de barrera creciendo en líneas paralelas a la costa y alejados de tierra. Cerca de tierra describieron arrecifes del tipo "patch" (Figura 14). En la cordillera, ellos describieron los arrecifes del área como arrecifes de borde ("fringe reefs") en el área noreste y "patch reefs") en el área suroeste. De interés en esta región es el crecimiento de arrecifes en los bordes de islas volcánicas. Este crecimiento sugiere las etapas primarias de la formación de un Atolón (Figura 14). Sin embargo en esa área el mar no es tan profundo como en el Pacífico.

Almy y Carrión-Torres informaron la ausencia de arrecifes de coral en la porción oeste de la costa norte. Hacia el este de San Juan ellos solamente observaron comunidades de arrecifes sin la formación del amazón típico de los

arrecifes más desarrollados. Ellos atribuyeron este pobre desarrollo a los sedimentos de ríos y a los fuertes oleajes en esa costa. Supuestamente la intensidad de las olas y las corrientes y el agravante de la alta sedimentación cerca de la desembocadura de los ríos, causan que los corales se reduzcan a comunidades aisladas.

Los sistemas costaneros que prevalecen en la costa norte son las dunas de arenas, dunas cementadas (remanentes de dunas que existieron en épocas pasadas) y los manglares y lagunas de agua salada. Estos dos últimos sistemas se encuentran detrás de las dunas. En la porción sureña de la costa oeste de Puerto Rico, hay arrecifes de coral aunque estos no rompen olas y se alternan con praderas de Thalassia. Más hacia el norte la sedimentación de los Ríos Guanajibo y Añasco más la estrechez de la plataforma insular evitan el establecimiento de corales. Los arrecifes de esta región han sido descritos en detalle por Kolehmainen y Biaggi (1975). En sus estudios con la Chalupa, Cintrón, Mc-Kenzie y Olazagasti (1974) encontraron que esa región la sedimentación de los ríos era excesiva y causaba "stress" a los arrecifes. Cerca del arrecife ocurría resuspensión de sedimentos durante períodos de oleaje fuerte y esto también afectaba los corales. Sin embargo, donde las praderas de Thalassia crecen cerca del arrecife, la resuspensión de sedimentos disminuye beneficiando así a los corales.

En esta región oeste de Puerto Rico, Seigle (1968) estudió la plataforma insular y encontró arrecifes de coral a 80-85m de profundidad. Estos son arrecifes que datan de la época del Pleistoceno cuando el mar estaba a niveles más bajos que hoy. En ese entonces Puerto Rico era más grande y los arrecifes se encontraban más lejos que hoy. Con el aumento en la profundidad del mar, aquellos arrecifes se hundieron y ahora están a 80m de profundidad sirviendo como testigos de épocas pasadas.

Los arrecifes de nuestra isla dejan su impresión en la costa por medio de su producción de sedimentos. Recordarán que en el arrecife viven una gran cantidad de animales y algas que se incrustan en el armazón de caliza o lo muelen causando la formación de fragmentos de coral que son luego transportados por las corrientes marinas a la costa. Sanders (1973), por ejemplo, encontró que en la Parguera más del 50% de los sedimentos en la plataforma, provenían del alga Halimeda, una laga común en los arrecifes de la región. Sanders y Schneiderman (1973), sin embargo, no encontraron sedimentos de este tipo en la costa norte donde los arrecifes no crecen en abundancia.

El status de los arrecifes de Puerto Rico ha sido discutido por Torres (1975) quien preparó un mapa que describe el estado de salud o deterioro de los arrecifes en nuestras costas. En ciertas áreas industriales como la de Guayanilla y Tallaboa o en áreas turísticas como la de Fajardo, los arrecifes muestran amplios signos de deterioro aunque en magnitudes disimilares. Los arrecifes que reciben efluentes químicos y aguas con alta temperatura no tienen mucha oportunidad para recobrase (Guayanilla). Aquellos que sufren los estragos de la extracción de corales aún sobreviven aunque en forma precaria (Fajardo). Arrecifes muy espectaculares se pueden visitar aún en Isla de Mona, Cuelbra (Aquellos no afectados por las maniobras de la Marina de Guerra de los Estados Unidos) y en varios sectores de la costa sur de Puerto Rico.

- Figura 1 Diagrama de la unidad básica del arrecife de coral, el pólipo del coral y el alga zooxanthellae. Debajo del pólipo de coral se ilustran algas incrustadas en los esqueletos de colonias de coral ya muertas. Esta ilustración está basada en un original de Odum y Odum (1955).
- Figura 2 Diagrama de la zonación horizontal típica de los arrecifes de coral en Puerto Rico.
- Figura 3 Diagrama de un arrecife de coral ilustrando su organización vertical y los espacios regenerativos. Esta figura es de Disalvo (1970).
- Figura 4 Franja desnuda de vegetación alrededor de un afloramiento rocoso submarino, fenómeno causado por el pastoreo intensivo de los peces residentes y turbulencia. La figura es cortesía de Gilberto Cintrón.
- Figura 5 Piramedes de biomasa de un arrecife de coral en el Pacífico. Esta figura es de Odum y Odum (1955).
- Figura 6 Crecimiento de corales con relación a la transmisión de luz al arrecife. Cada gráfica es para una especie distinta del coral Pocillopora en un arrecife en Hawaii. La figura es de Maragos (1972).
- Figura 7 Relación entre la abundancia de los corales y la sedimentación en arrecifes de coral en Hawaii. La figura es de Maragos (1972).
- Figura 8 La relación entre el crecimiento del coral Montipora y la salinidad. La figura es de Maragos (1972).
- Figura 9 Efecto de la temperatura sobre colonias del coral Porites. La figura es de Maragos (1972).
- Figura 10 Ilustración de los cambios estacionales en la luz, la lluvia, la temperatura del agua, y el crecimiento de corales en Hawaii. La figura es de Maragos (1972).
- Figura 11 Relación entre aumentos en la concentración de fosfatos en el agua y la sobrevivencia de colonias de coral. Nótese que la sobrevivencia disminuye rápidamente a medida que aumenta en la eutroficación. La figura es de Maragos (1972).

- Figura 12 La ilustración sugiere que los peces tienden a congregarse en lugares donde predominan los escollos y generalmente no favorecen los fondos sin relieve. La figura es de Smith y Tyler según fué citado por Miller et al. 1971.
- Figura 13 La gráfica compara la biomasa de peces en una variedad de arrecifes de coral. Figura es de Goldman y Talbot (1976).

DIAGRAMA DE LA UNIDAD BASICA DEL ARRECIFE DE CORAL

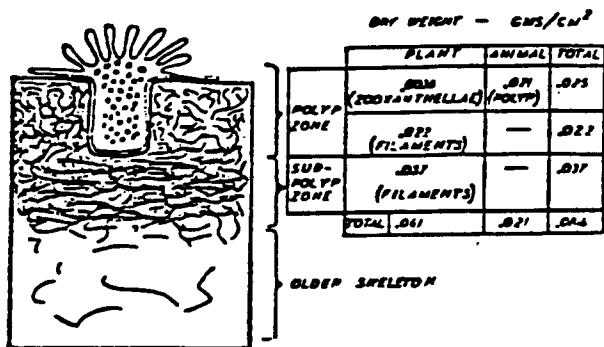


FIG. 6. Diagram in cross section showing the quantitative distribution of plant (algal) and animal (coral polyp) tissue in a generalized live coral head. Data on plant and animal biomass are from Table 4.

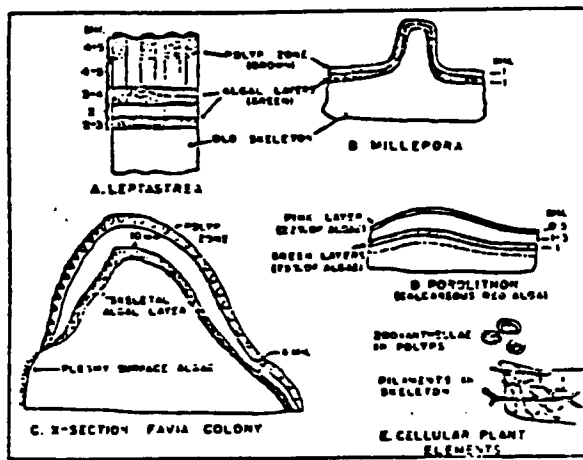


FIG. 7. Sketches from fresh material showing: A to C, the relation of the bands of skeletal algae to the polyp zone in three genera of corals. D, sub-surface green bands in the skeleton of calcareous red algae. E, the two major types of symbiotic plant material in coral colonies.

Odum & Odum 1955

FIG.-1

ZONES

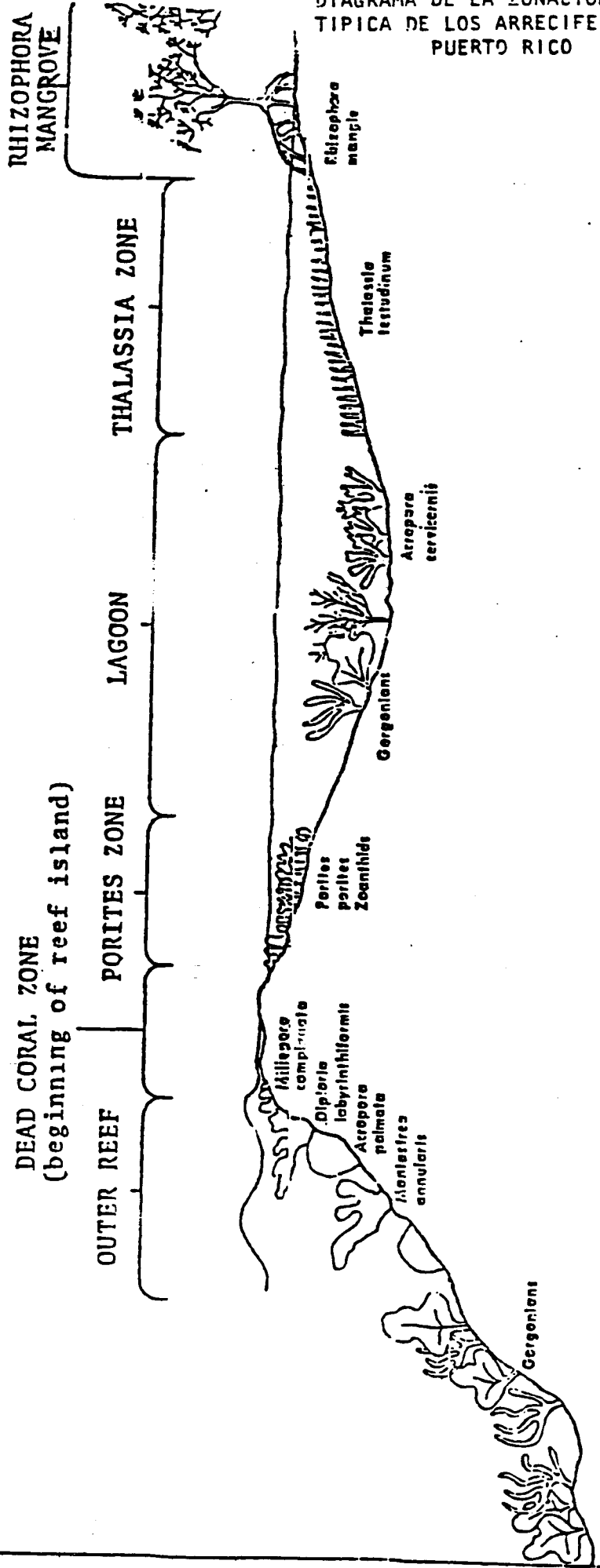


FIG.-2

ZONATION OF A CORAL REEF

PIRAMIDES DE BIOMASA DE UN ARRECIFE DE CORAL EN EL PACIFICO

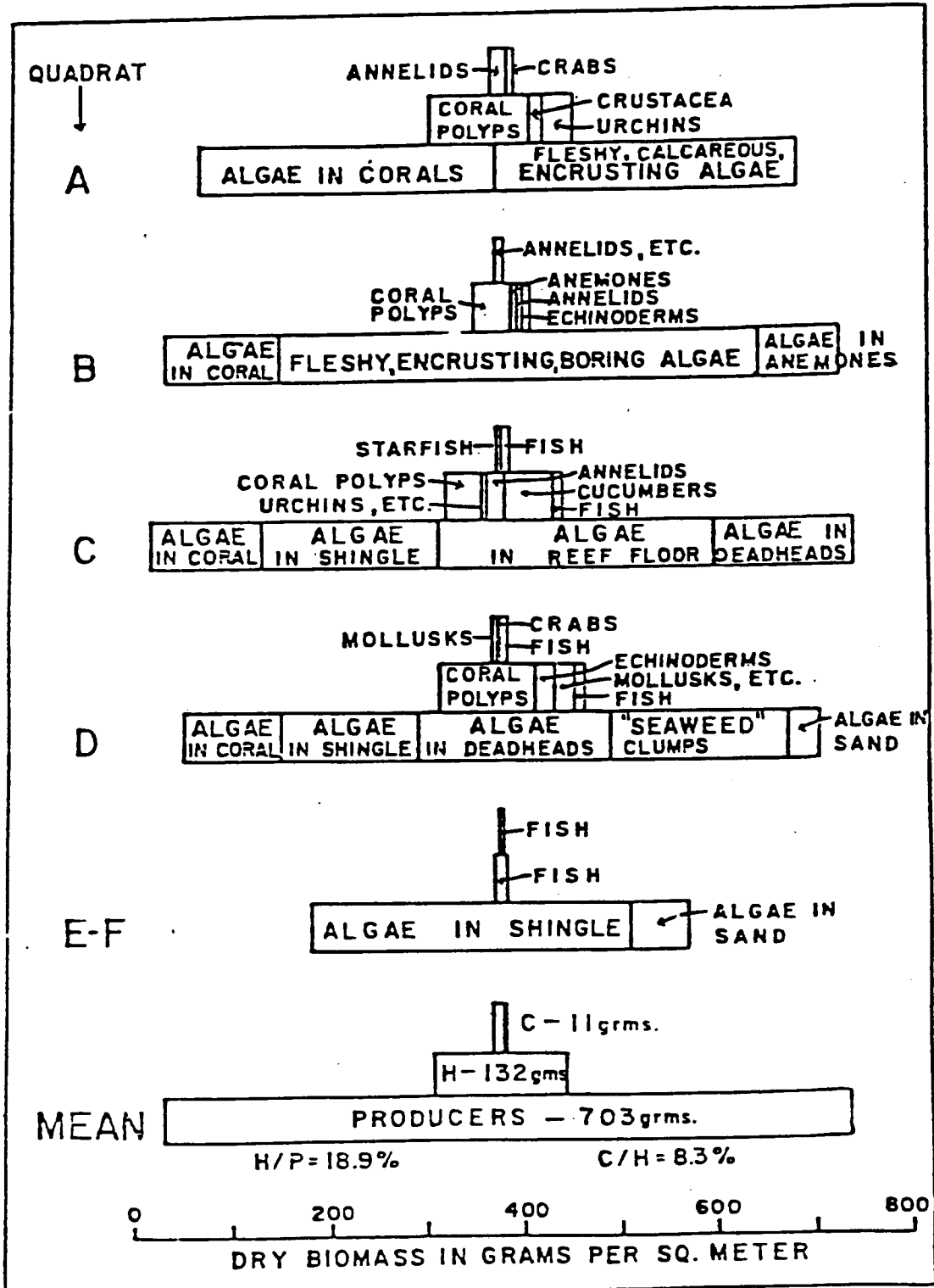


FIGURE 10. Pyramids of biomass resulting from estimates of the dry weight of living materials (excluding, of course, dead skeletal materials associated with protoplasm). For each quadrat, A-F, the weight of "producers" (bottom layer of pyramid), the "herbivores" (H) (middle layer), and the "carnivores" (C) (top layer) is shown, and also the average dry biomass for the reef.

FIG-5

Odum & Odum (1955)

CRECIMIENTO DE CORALES CON RELACION A LA TRANSMISION DE LUZ AL ARRECIFE

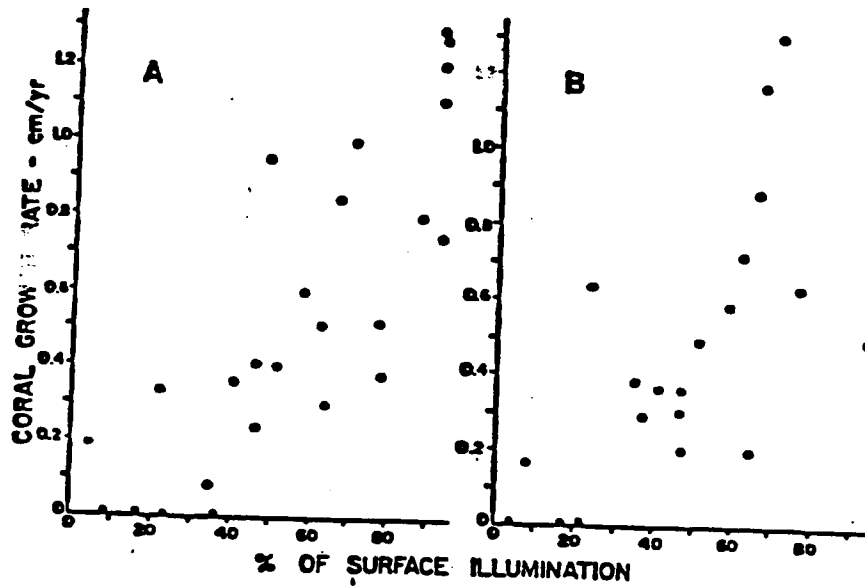


Figure 34. Plots of mean illumination irradiance (light intensity) and growth rates of *Pocillopora* at 25 stations in Kaneohe Bay. A - *Pocillopora daalacornis*. B - *Pocillopora meandrina*. The regression slopes are significantly different from zero.

Maragos (1972)

FIG.-6

RELACION ENTRE LA ABUNDANCIA DE LOS CORALES Y LA SEDIMENTACION EN
ARRECOFES DE CORAL EN HAWAII

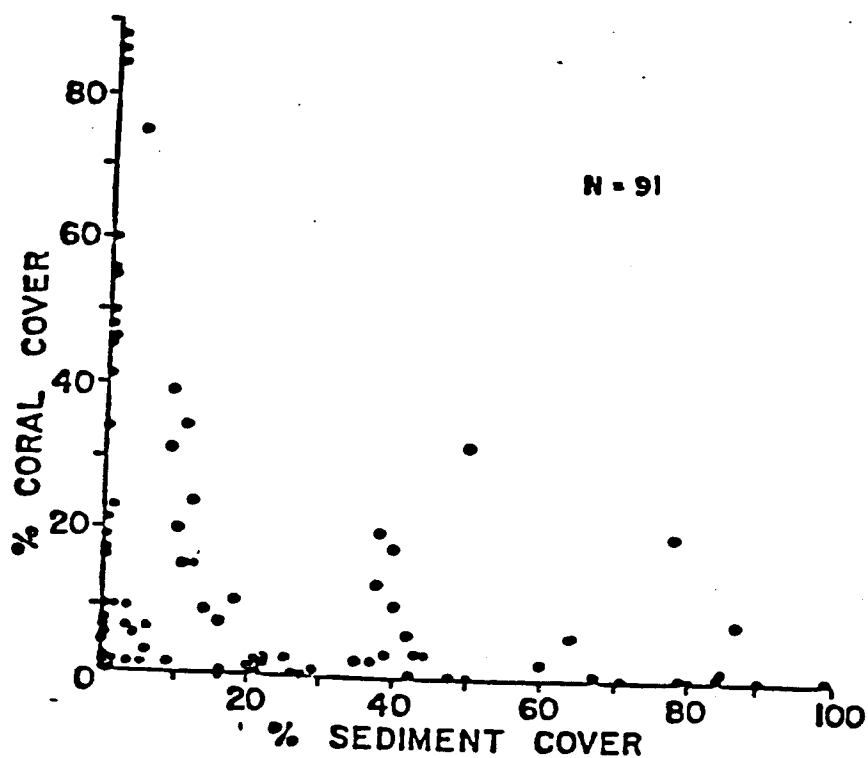


Figure 9. Coral cover as a function of sediment cover measured simultaneously at 91 stations in Kaneohe Bay. Data are from stations away from the stressed reef areas near the sewer outfalls in the south lagoon.

Maragos (1972)

FIG.-7

Relacion Entre el Crecimiento del Coral Montipora y Salinidad

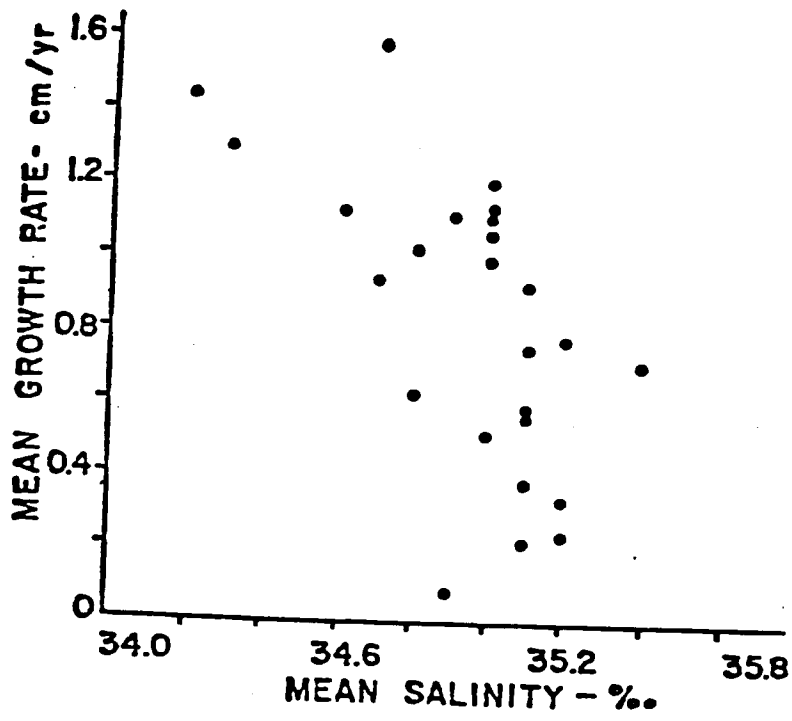


Figure 33. Plot of the growth rate of Montipora verrucosa and mean salinity at 25 stations in Kaneohe Bay. The regression slope is significantly different from zero. Salinity data from Bathen (1963).

Maragos (1972)

FIG-8

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE COLONIAS DEL CORAL PORITES

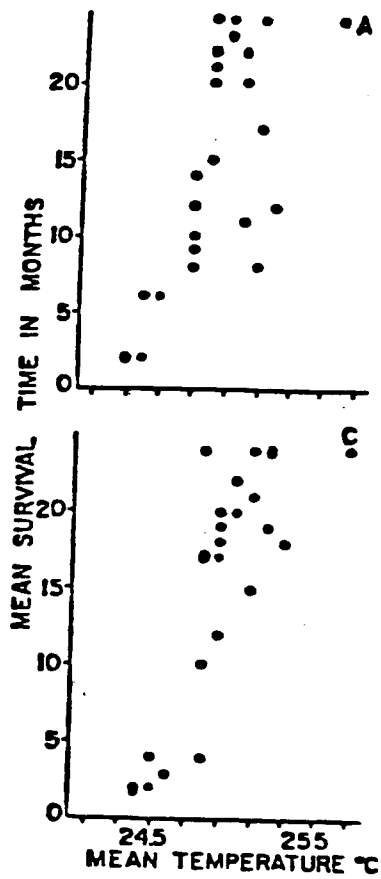


Figure 37. Survival time of Porites plotted against mean temperature and phosphate data collected at 25 stations in Kanephe Bay. Phosphate and temperature data from Bathen (1958). A. Porites compressa and mean temperature; B. Porites compressa and mean phosphate; C. Porites lobata and mean temperature; D. Porites lobata and mean phosphate.

Maragos (1972)

FIG-9

ILUSTRACION DE LOS CAMBIOS ESTACIONALES EN LUZ, LLUVIA, TEMPERATURA DEL AGUA Y EL CRECIMIENTO DE CORALES EN HAWAII

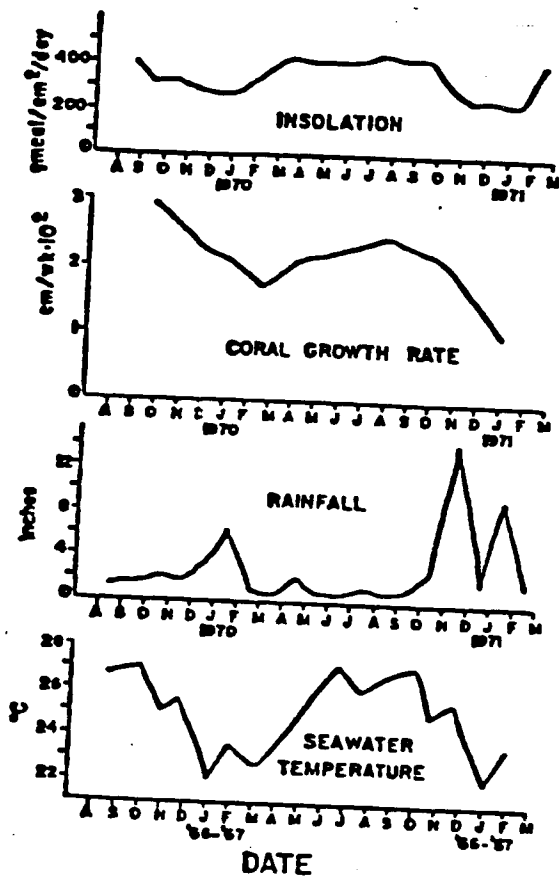


Figure 32. Seasonal variation in incident light energy, seawater temperatures, mean coral growth rates, and rainfall for Kaneohe Bay. Light data from cloud cover data using the method of Berland (1950). Temperature data was the mean of 25 stations in Kaneohe Bay over a year long period in 1966-1967 (after Bathen, 1968). Rainfall data gathered from Kaneohe Marine Corps Air Station. Coral growth data are mean values of the five most common colonial corals.

Maragos (1972)

FIG.-10

RELACION ENTRE AUMENTOS EN CONCENTRACION DE FOSFATOS EN EL AGUA Y LA SOBREVIVENCIA DE COLONIAS DE CORAL - Maragos (1972)

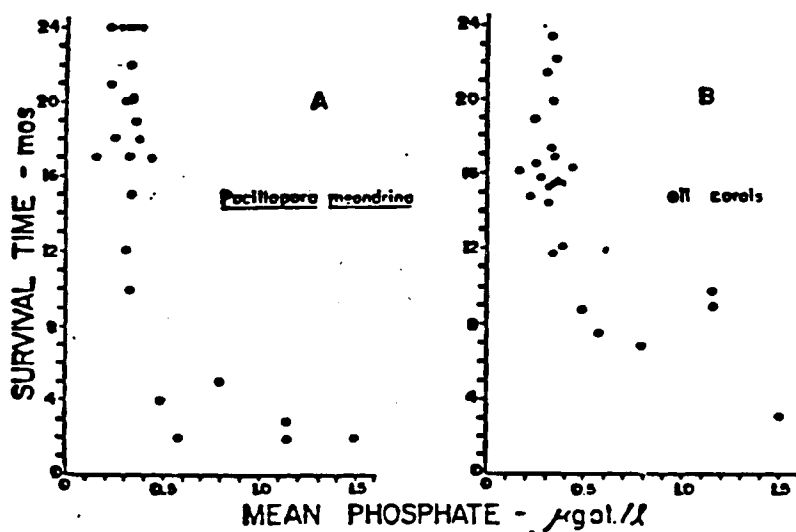
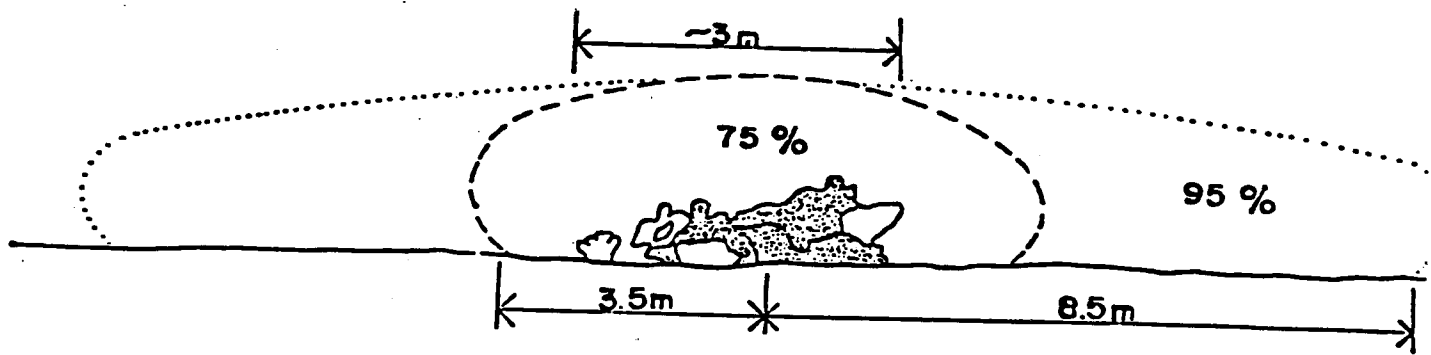


Figure 38. Survival time of Pocillopora meandrina and transplanted corals in general plotted against mean phosphate at 25 stations in Kaneohe Bay. A. Pocillopora meandrina. B. Average for all corals. Phosphate data from Patten (1966).

FIG.-II

4.



ACTIVIDAD DE PECES RESIDENTES ALREDEDOR DE UN AFLORAMIENTO ROCOSO. (SMITH AND TYLER 1971).

FIG.-12

COMPARACION DE BIOMASA DE PECES EN UNA VARIEDAD DE ARRECIFES DE CORAL

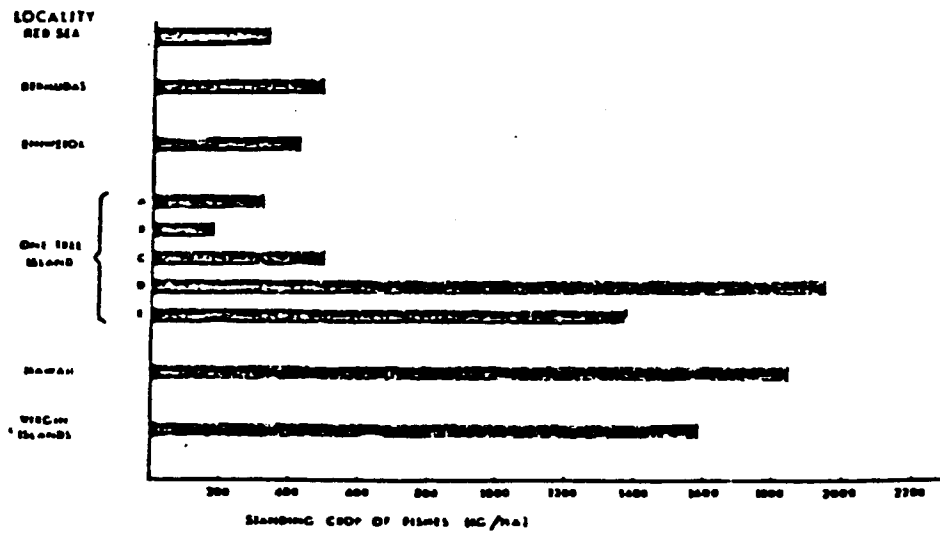


Fig. 5. Comparison of fish standing crop estimates from different coral reef regions. Red Sea (Clark *et al.*, 1968): fringing reef. Bermuda (Bardach, 1959): patch reef. Eniwetok (Odum and Odum, 1955): average of zones of smaller and larger coral heads, corrected to wet weight as in Bardach (1959). Oau Tree Island (Talbot and Goldman): A, reef flat; B, windward upper slopes; C, windward lower slopes; D, transition from windward reef slopes to off-reef floor; E, leeward reef slopes. Hawaii (Brock, 1954): average of two estimates from collections at Keaholo Point. Virgin Islands (Randall, 1963): average of two collections from natural reefs.

Goldman y Talbot (1976)

FIG-13

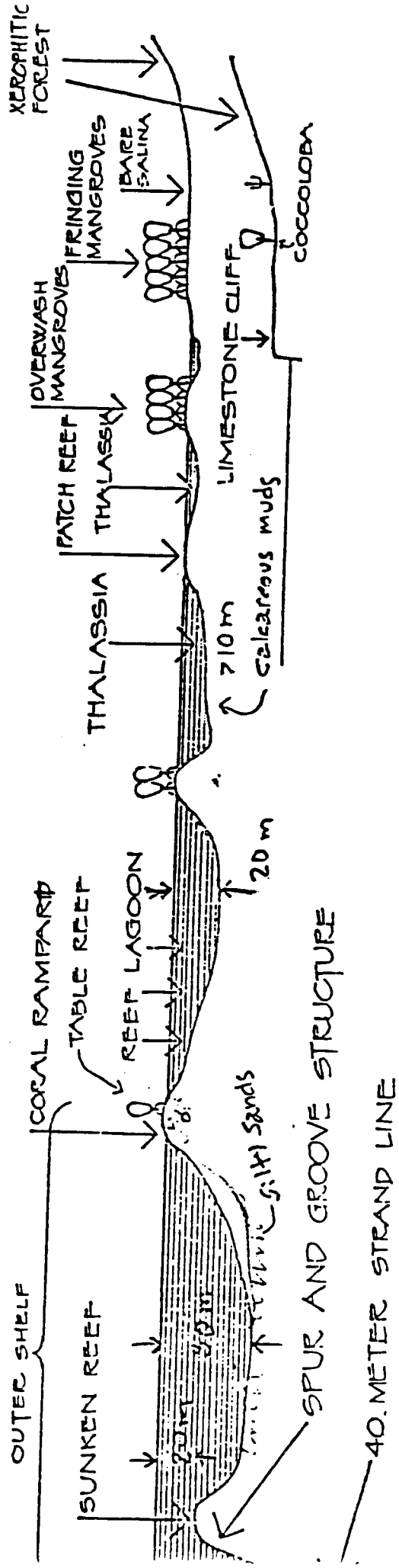
OTRAS FIGURAS

PERFIL DE LA COSTA SUR DE PUERTO RICO

SOUTH

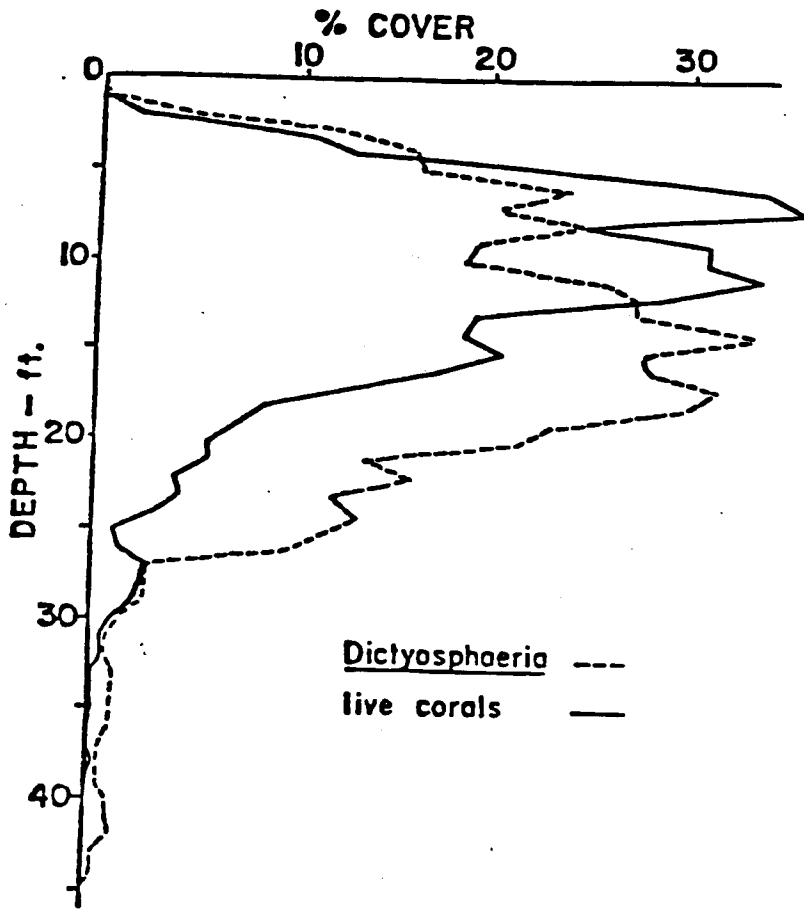


INNER SHELF



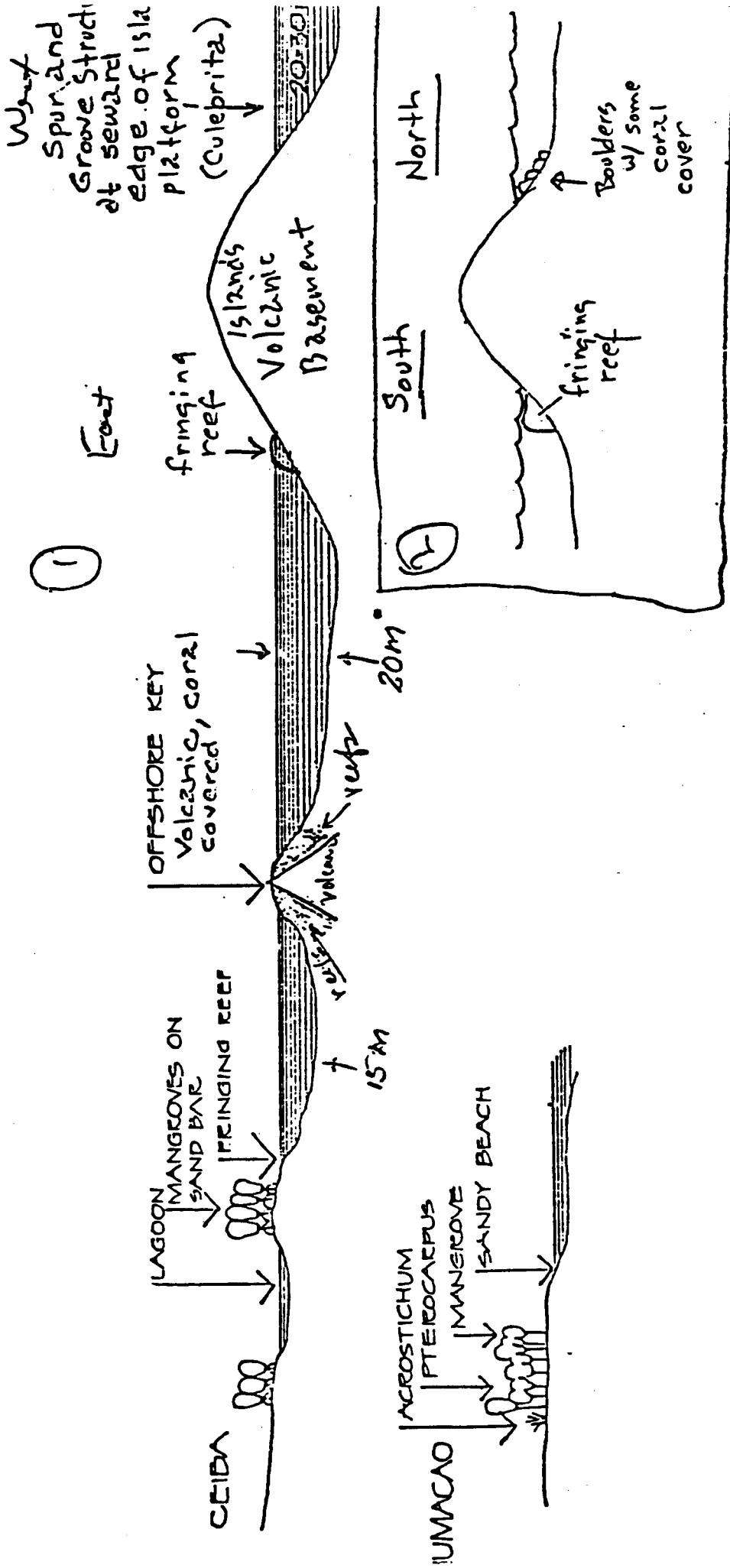
Gilberto Cintrón

Distribución vertical de corales y de dictyosphaeria en arrecifes de coral de Hawaii. Figura de Maragos (1972)



EAST

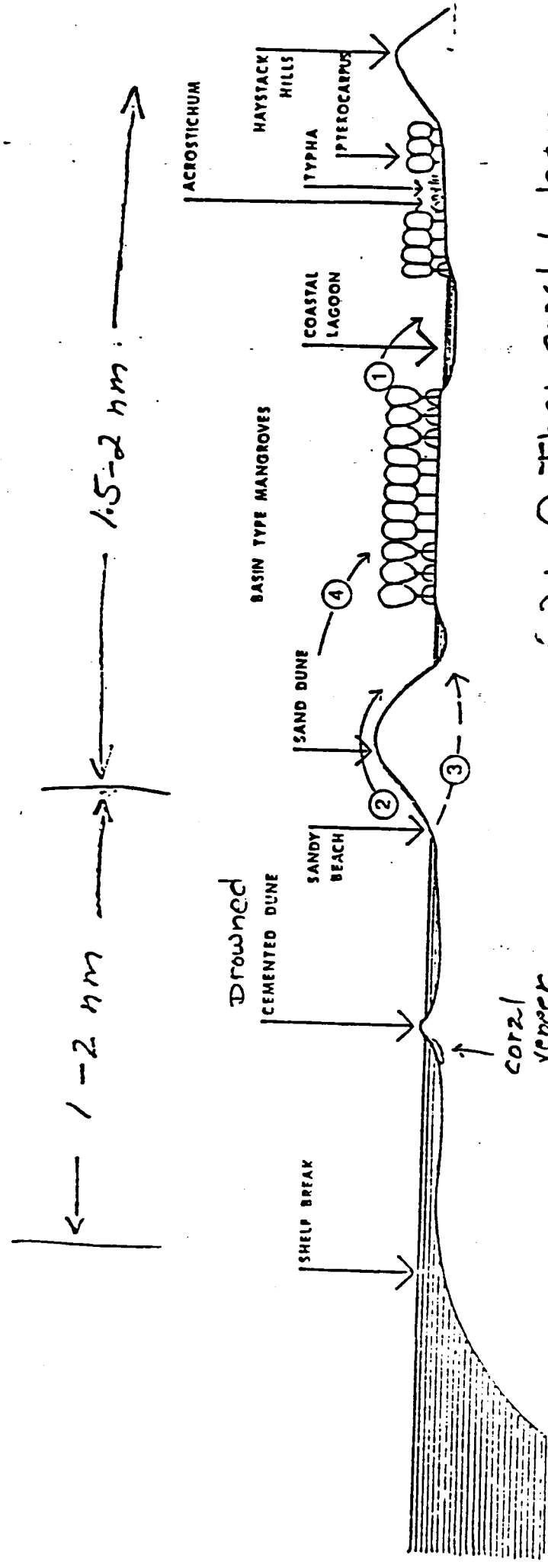
PERFIL DE LA COSTA ESTE DE PUERTO RICO



Gilberto Cintrón

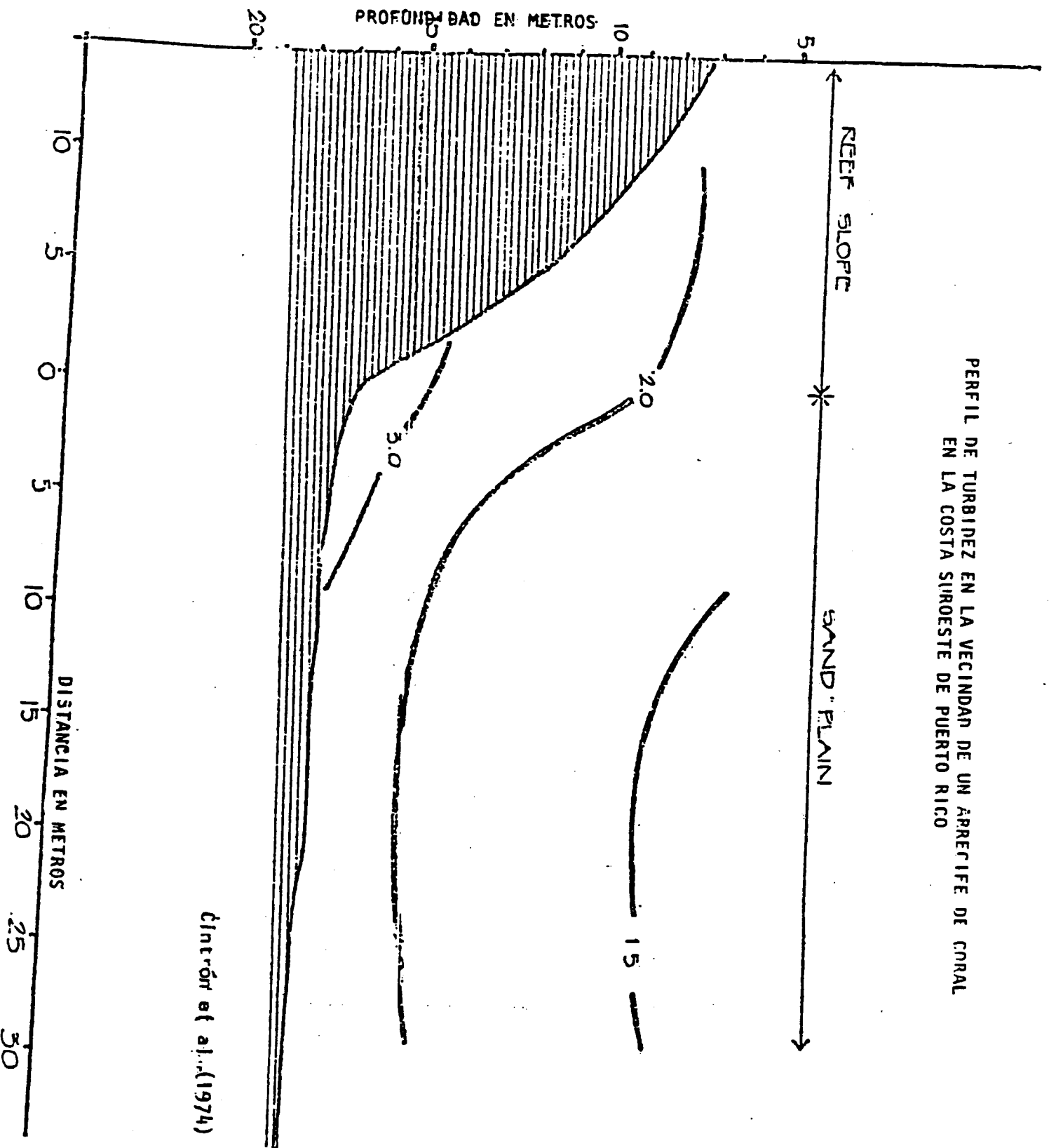
NORTH

PERFIL DE LA COSTA NORTE DE PUERTO RICO



Reefs 1 Thru coastal lagoon w/ outlets to sea
Alveolinia & *Lyngbyella* 2 Overtopping
 3 Seepage
 4 Spray

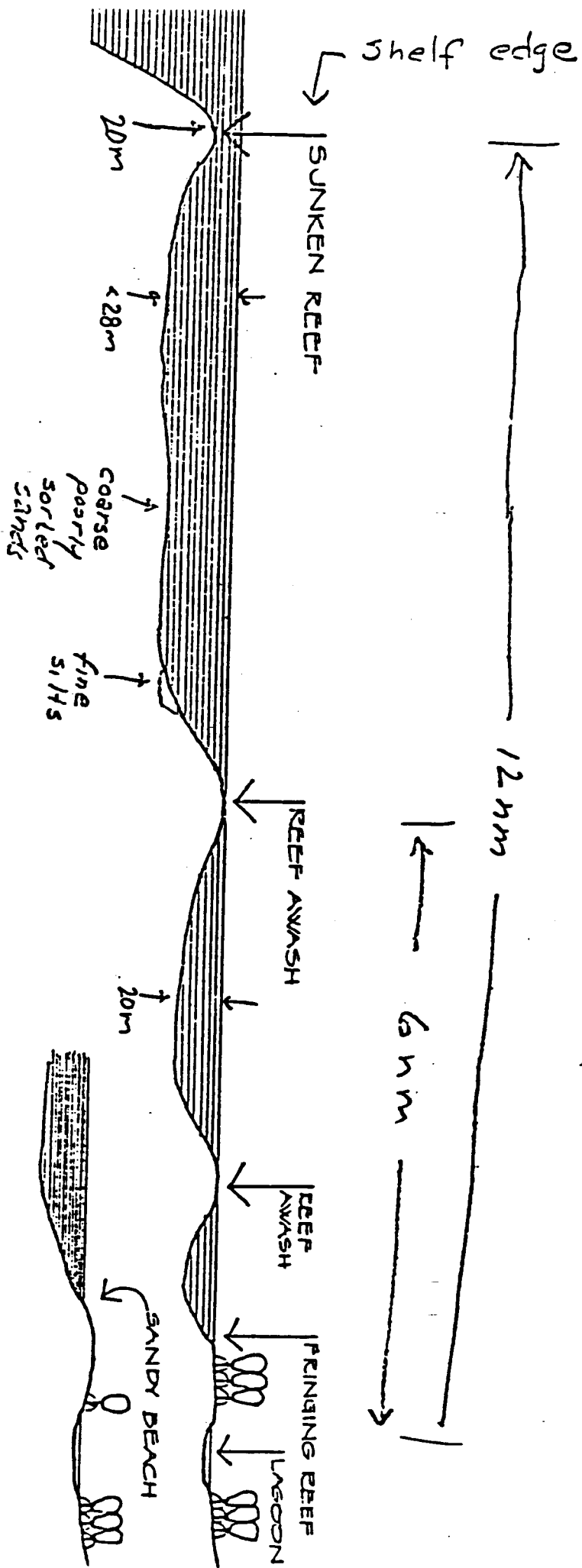
PERFIL DE TURBIDEZ EN LA VECINDAD DE UN APRECIFE DE CORAL
EN LA COSTA SUROESTE DE PUERTO RICO



Chiribón et al. (1974)

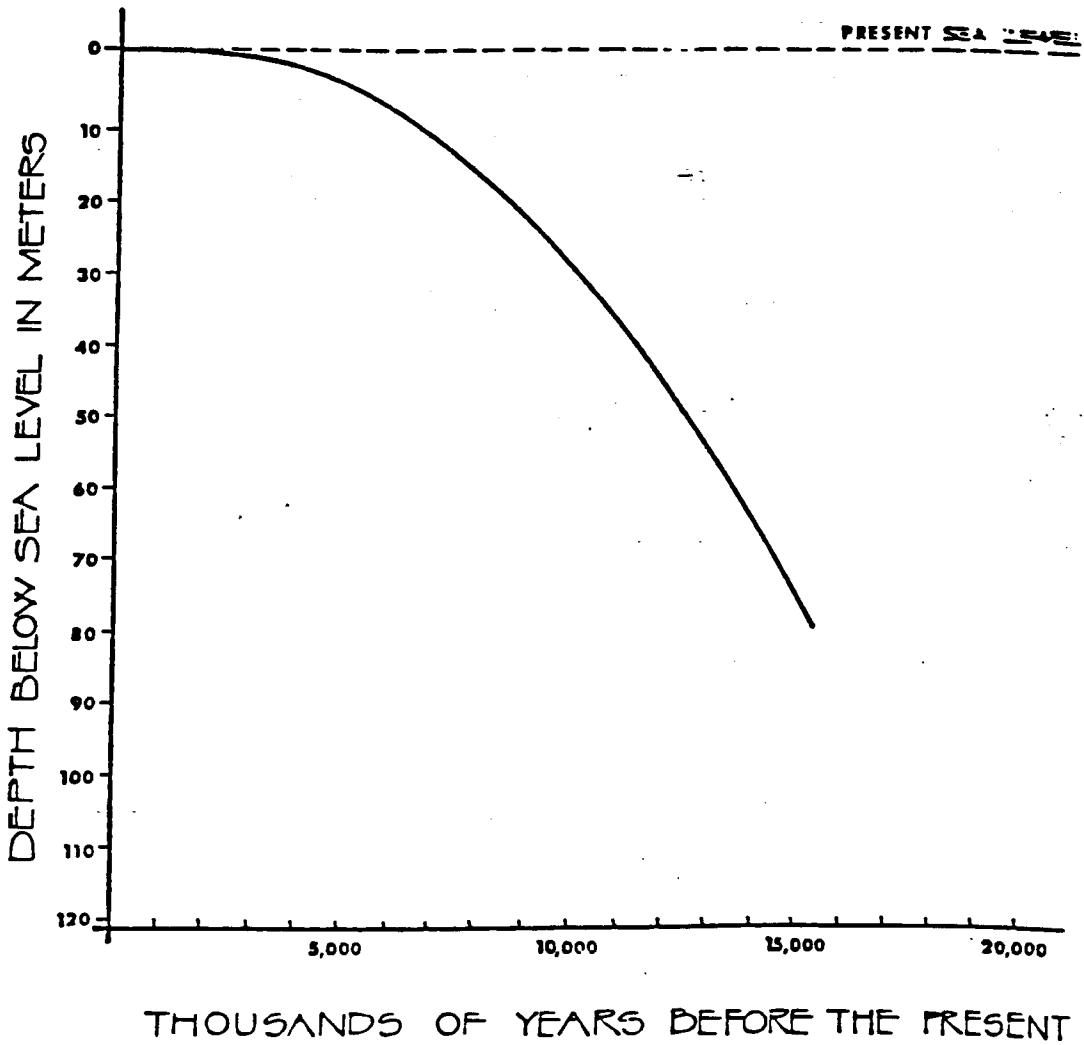
WEST

PERFIL DE LA COSTA OESTE DE PUERTO RICO



Gilberto Cintrón

RELACION ENTRE LA EPOCA GEOLOGICA Y EL NIVEL DEL MAR



Shepard (1963) mod.

DIVERSIDAD DE ESPECIES DE PECES EN ARRECIFES DE CORAL DE
VARIAS LOCALIDADES

FISH SPECIES OCCURRING IN SEVERAL CORAL REEF REGIONS SHOWING
INCREASED RICHNESS IN THE CENTRAL INDO-PACIFIC

Region (Reference)	Coral reef fish species
Bahamas (Böhke and Chaplin, 1968)	507
Seychelles (Smith and Smith, 1963)	850
Philippines (Herre, 1953)	2177*
New Guinea (Munro, 1954, 1967; W. Filewood, personal communication)	1700*
Great Barrier Reef (Marshall, 1964)	1500
Marshall and Marianas (Schultz <i>et al.</i> , 1953, 1960, 1966)	669**
Hawaii (Gosline and Brock, 1965)	448

* Includes freshwater fishes.

** 603 species, plus 10% estimate for Gobiidae as suggested by Dr. E. Lachner (personal communication).

Goldman & Talbot (1976)

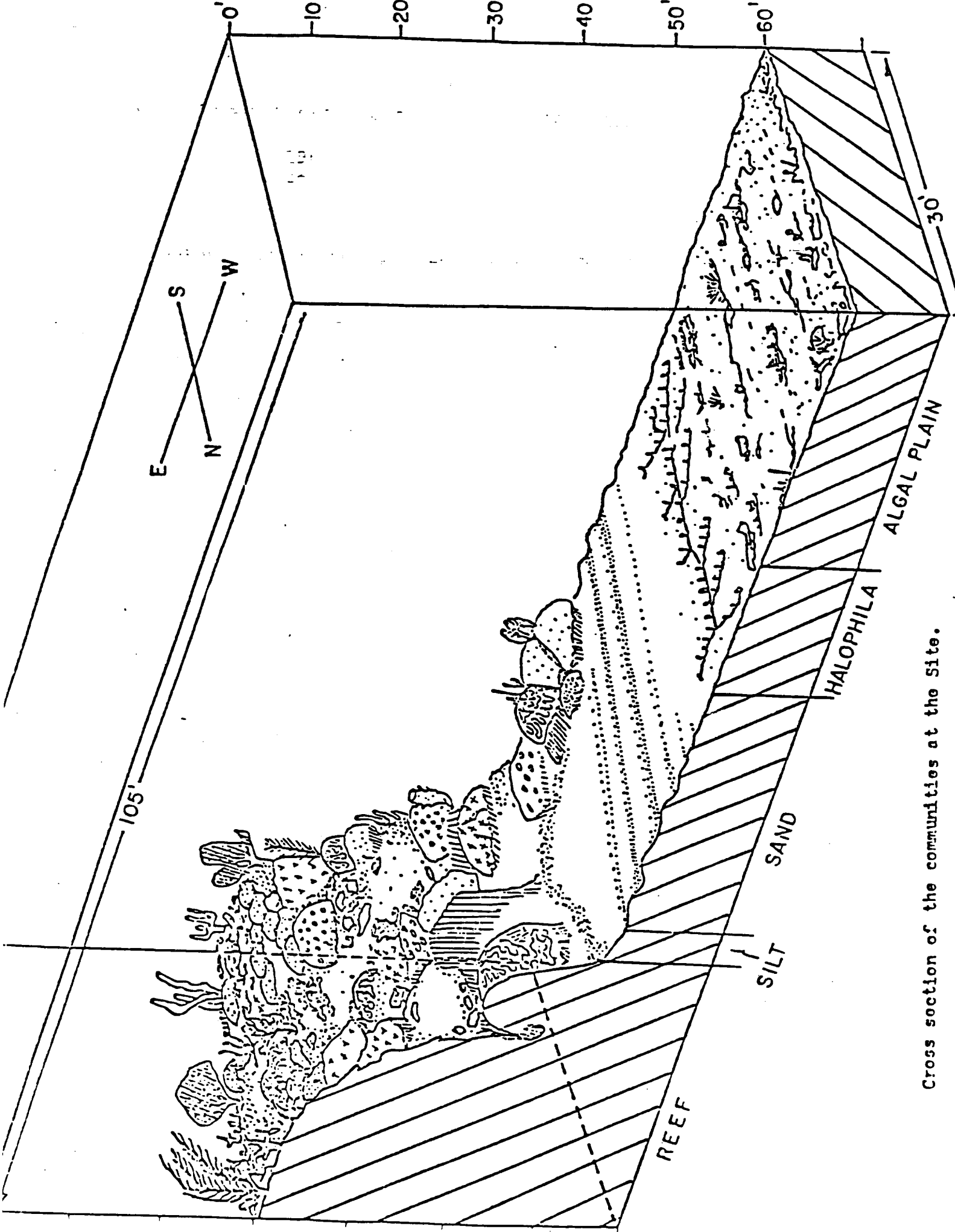
Nota: La diversidad aumenta hacia los arrecifes del
viejo mundo.

CARACTERISTICAS DE LOS ARRECIFES DEL VIEJO MUNDO Y DE LOS DEL CARIBE

COMPARISON OF INDO-PACIFIC AND (SOUTHERN) CARIBBEAN CORAL REEFS

Indo-Pacific	Caribbean
1. About 700 coral species	1. About 60 coral species
2. Foliose and encrusting corals often found in low energy conditions, while branching and massive corals found in higher energy conditions	2. Foliose and encrusting corals often found in low energy conditions, while branching and massive corals found in higher energy conditions
3. Many corals can survive prolonged subaerial exposures	3. Many corals can survive prolonged subaerial exposures
4. Algal ridge present on many outer windward reef flats	4. Emergent <i>Millepora</i> zones present on some reefs
5. Reef flat often paved with coralline algae, resulting in a relatively smooth and shallow reef flat	5. Coralline algae not so prevalent and thus the reef flats often are not as solid
6. Reef flat sediments dominated by coralline algae and benthonic foraminifera	6. Reef flat sediments dominated by coral, coralline algae, and <i>Halimeda</i> fragments
7. Sand cays mostly found on windward reef flats	7. Cays slightly more leeward
8. Lagoon depth often related to atoll diameter; large atolls can have lagoons deeper than 50 m	8. Lagoons generally shallower than 15 m
9. Most lagoonal sediments biogenic	9. Many bank and lagoonal sediments nonskeletal
10. Large lagoons can have distinctive depth-related sedimentary facies	10. Lagoonal facies usually similar to those found on peripheral reefs or related to patch reef sedimentation
11. Leeward reefs often well-developed	11. Leeward reefs usually poorly developed, resulting in rather open lagoons
12. More than 300 atolls and extensive barrier reefs	12. About 10 atolls and only 2 definite barrier reefs

Milliman (1973)



Cross section of the communities at the Site.

1. Almodovar, L.R. 1962. Notes on the algae of the coral reefs of La Parguera. Quart. J. Fla. Acad. Sci. 25(4):275-286.
2. Almodovar, L.R. and F.A. Pagán. 1971. Notes on a mangrove lagoon and mangrove channels at La Parguera, Puerto Rico. Nova Hedwigia 21:241-253.
3. Almy, C.C. and C. Carrión-Torres. 1963. Shallow-water only corals of Puerto Rico. Carib. J. Sci 3(2-3): 133-162.
4. Banner, A.H. 1976. Ciguatera: A disease from coral reef fish. p. 177-213 in O.A. Jones and R. Endean (eds.). Biology and Geology of Coral Reefs, Vol. 3. Academic Press, N.Y. 435p.
5. Burkholder, P.R., L.M. Burkholder, and J.A. Rivero. 1959-a. Some chemical constituents of turtle grass, Thalassia testudinum. Bull. Tor. Bot. Club 86:88-93.
6. Burkholder, P.R., L.M. Burkholder, and J.A. Rivero. 1959-b. Chlorophyll-a in some corals and marine plants. Nature 183:1338-1339.
7. Cerame-Vivas, M.J., W.F. Hendrick, and J.R. Prentice. 1971. Observations on the shallow water sublittoral benthos of Culebra and Culebrita islands. An ecological overview. Dept. Mar. Sci., Univ. of P.R., Mayaguez, (mimeo).
8. Cintrón, G., F. McKenzie and R. Olazagastí. 1974. Studies at the Prinul site. Final report missions 3 and 5. Mimeo.
9. Cintrón, G., H.W. Pearl, M. Banton, C.M. Cham, and B.B. Cintrón. 1974. Ensenada Honda (Culebra, Puerto Rico) biology and gross oceanographic description. p. 61-70 in A.E. Lugo (ed) - Primer Simposio del Departamento de Recursos Naturales, San Juan. 116p.
10. Disalvo, L. 1970. Regeneration functions and microbial ecology of coral reefs. Ph.D. dissertation, Univ. of North Carolina at Chapel Hill, 289p.
11. Disalvo, L.H. 1973. Microbiol ecology p. 1-15 in O.A. Jones and R. Endean (eds.). Biology and Geology of Coral Reefs. Vol. 2. Academic Press, N.Y. 480p.
12. Ehrlich, P.R. 1975. The population biology of coral reef fishes. Ann. Rev. Ecol. Syst. 6:211-247.

13. Endean, R. 1976. Destruction and recovery of coral reef communities. p. 215-254 in O.A. Jones and R. Endean (eds.). Biology and Geology of Coral Reefs, Vol. 3, Academic Press, N.Y. 435p.
14. Fast, D.E. and F.A. Pagán-Font. 1973. The Puerto Rico's coastal fisheries, 1972. p. 57 in 10th. Meeting Assn. Island Mar. Labs. of the Carib. (abstract).
15. Fast, D.E. and F.A. Pagán. 1974. Comparative observations on an artificial tire reef and natural patch reefs off southwestern Puerto Rico. p. 49-55 in Colugna, L. and R. Stone (eds.). Proceed of an Int. Conf. Artificial Reefs. Center Mar. Res., Texas A & M. Univ., Texas.
16. Glynn, P.W. 1962. *Hermodice carunculata* and *Mithraculus sculptus* two hermatypic coral predators. 4th. Meeting Assn. Island Mar. Labs. of the Carib. p. 16-17.
17. Glynn, P.W. 1968. Mass mortalities of echinoids and other reef flat organisms coincident with midday low water exposures in Puerto Rico. Mar. Biol. 1(3): 226-243.
18. Glynn, P.W. 1973. Aspects of the ecology of coral reefs in the Western Atlantic region, p. 271-324, in O.A. Jones and R. Endean (eds.). Biology and Geology of Coral Reefs, Vol. 2. Academic Press, N.Y. 480p.
19. Glynn, P.W., L.R. Almodovar, and J.G. González, 1964. Effects of hurricane Edith on marine life in La Parguera, Puerto Rico. Carib. J. Sci. 4(2-3):335-345.
20. Goldman, B. and F.H. Talbot. 1976. Aspects of the ecology of coral reef fishes. p. 125-154 in O.A. Jones and R. Endean (eds.). Biology and Geology of Coral Reefs, Vol. 3 Academic Press, N.Y. 435p.
21. Goreau, T.F. and W.D. Hartman. 1963. Boring sponges as controlling factors in the formation and maintenance of coral reefs. p. 25-54 in Mechanisms of hard tissue destruction. Publ. No. 75 A.A.A.S., Washington, D.C.
22. Grigg, D.I. and R.P. Van Eepoel. 1970. The status of the marine environment at Water Bay, St. Thomas. Water Pollution Report, Dept. of Health, Div. Env. Health, U.S. Virgin Islands. 13p.
23. Hobson, E.S. 1975. Feeding patterns among tropical reef fishes. Amer. Scient. 63:382-392.

24. Jones, O.A. and R. Endean (eds.). 1973. *Biology and Geology of Coral Reefs*. Vol. 1:Geology 1. Academic Press, N.Y. 410 p.
25. Jones, O.A. and R. Endean (eds.). 1973. *Biology and Geology of Coral Reefs*. Vol. 2:Biological 1. Academic Press, N.Y. 480 p.
26. Jones, O.A. and R. Endean (eds.). 1976. *Biology and Geology of Coral Reefs*. Vol. 3:Biological 2. Academic Press, N.Y. 435p.
27. Junta de Calidad Ambiental. Reglamento para la conservación de corales estableciendo controles para la extracción, venta y transportación de corales. Estado Libre Asociado de Puerto Rico, San Juan, P.R. 4 p.
28. Kolehmainen, S.E. and J.V. Biaggi. 1975. Ecological status of a Puerto Rican coral reef: A report on a multidisciplinary study made by utilizing the underwater habitat "La Chalupa". The Marine Res. Dev. Found. Cabo Rojo. P.R.
29. Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Biol.* 13(2):100-123.
30. Loya, Y. 1975. Possible effects of water pollution on the community structure of Red Sea Corals. *Mar. Biol.* 29:177-185.
31. McGregor, C. 1974. *The Great Barrier Reef*. Time-Life Books, Amsterdam. 184p.
32. Maragos, J. 1972. A study of the ecology of Hawaiian reef corals. Ph.D. Dissertation, University of Hawaii. 290p.
33. Margalef, R. 1959. Pigmentos asimiladores de las colonias de celenterados de los arrecifes de coral y su significado ecológico. *Investigaciones pesqueras*. 15:81-101.
34. Marshall, N. 1965. Detritus over the reef and its potential contribution to adjacent water of Eniwetok Atoll. *Ecol.* 46(3):343-344.
35. Mergner, H. 1971. Structure ecology and zonation of Red Sea reefs (in comparison with South Indian and Jamaican reefs). *Symp. Zool. Soc. London* (1971) No. 28, p. 141-161.
36. Miller, J.W., J.G. Van Derwalker and R.A. Waller (eds). 1971. *Scientists in the sea*. US. Dept. of Int. Washington, D.C.

37. Milliman, J.D. 1973. Caribbean coral reefs. p. 1-50 in O.A. Jones and R. Endean (eds.). *Biology and Geology of Coral Reefs*. Vol. 1. Academic Press, N.Y. 410p.
38. Munro, J.L. 1973. Actual and potential fish production from coralline shelves of the Caribbean. p. 51 in 10th. Meeting Assn. Island Mar. Labs of the Carib. (abstract).
39. Odum, H.T. and E.P. Odum. 1955. Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetok Atoll. *Monogrm.* 25:292-320.
40. Odum, H.T., P.R. Burkholder and J. Rivero. 1959. Measurements of productivity of turtle grass flats, reefs, and Bahía Fosforescente of southern Puerto Rico. *Inst. Mar. Sci.* 6:159-170.
41. Pressick, M.L. 1970. Zonation of a stony coral of a fringe reef southeast of Icacos Island, Puerto Rico. *Carib. J. Sci.* 10(3-4) 137-139.
42. Randall, J.E. 1963. An analysis of the fish populations of artificial and natural reefs in the Virgin Islands. *Carib. J. Sci.* 3(1):31-47.
43. Randall, J.E. 1965. Grazing effect on sea grasses herbivorous reef fishes in the West Indies. *Ecol.* 46(3):255-260.
44. Roberts, H.H.. 1972. Coral reefs of St. Lucia, West Indies. *Carib. J. Sci.* 12(3-4):179-190.
45. Roberts, H.H., S.P. Murray, and J.N. Suhayda. 1975. *J. Mar. Res.* 33(2):233-259.
46. Robinson, A.H. 1975. Marine parks: Planning for creation, interpretation and environmental education. *Trends*, July-Sept: 9-22.
47. Rogers, C.S. 1974. The reefs of Puerto Rico. p. 57-60 in A.E. Lugo (ed.). *Primer simposio del Departamento de Recursos Naturales*. San Juan, Puerto Rico. 116p.
48. Rogers, C.S. 1976. Preliminary report on the structural and functional response of a coral reef to stress. P.R. Dept. of Natural Res. (mimeo).
49. Sargent, M.C. and T.S. Austin. 1949. Organic productivity of an atoll. *Amer. Geophys. Union Trans.* 30(2): 245:249.

50. Saunders, C. 1973. The sediment distribution off La Parguera, P.R. p. 40 in 10th. Meeting Assn. Island Mar. Labs. of the Carib. (abstract).
51. Saunders, C.E. and N. Schneidermann. 1973. Carbonate sedimentation on the inner shelf Isla Magueyez, Puerto Rico. Water Res. Inst. Mayaguez, P.R. 77p.
52. Schwartz, S.L. and L.R. Almodovar. 1971. Heat tolerance of reef algae at La Parguera, Puerto Rico. Nova Hedwigri 21:231.
53. Seiglie, G.A. 1968. Relationship between the distribution of Amphistegina and the submerged pleistocene reefs off western Puerto Rico. Tulane studies in Geol. 6(4):139-147.
54. Setchell, W.A. 1928. Coral reefs as zonal plant formations. Science 68(1754):119-121.
55. Shepard, F.P. 1963. Submarine Geology. Harpers & Row, Publ. New York, 2nd. edition. 557p.
56. Stark, L.M., L. Almodovar, and R.W. Krauss. 1969. Factors affecting the rate of calcification in Halimeda opuntia (L.) Lamouroux and Halimeda discoidea Decaisne. J. Phycol. 5(4):305-312.
57. Stoddart, D.R. 1962. Catastrophic storm effects on the British Honduras reefs and cays. Nature 196(4854): 512-515.
58. Stoddart, D.R. 1964. Storm conditions and vegetation in equilibrium of reef islands. p. 893-906 in Proceed. 9th. Conf. Coastal Engineer. Amer. Soc. Civil Engineers.
59. Stoddart, D.R. 1969. Ecology and morphology of recent coral reefs. Biol. Rev. 44:433-498.
60. Stoddart, D.R. and M. Yonge (eds.). 1971. Regional variation in Indian Ocean coral reefs. Symp. Zool. Soc. London, No. 28. Academic Press, N.Y. 584p.
61. Suarez-Caabro, J.A. 1973. The Puerto Rico's coastal fisheries, 1972. p. 53 in 10th. Meeting Assn. Island Marine Labs of the Carib. (abstract)
62. Torres, F. 1975. Report on coral extraction. Mimeo. 9p.
63. Van Epoel, R.P. 1969. Effects of dredging in Water Bay, St. Thomas. Water Pollution Report No. 2, Dept. of Health, Div. Env. Health. U.S. Virgin Islands. 12p.

64. Walton Smith, F.G. 1971. Atlantic Reef Corals. Univ. of Miami Press, Coral Gables, Florida. 164p.
65. Welch, B. 1962. Aspects of succession in shallow coastal waters in the caribbean. Ph. D. Dissertation, Duke University, North Carolina. 126p.
66. Yamhure, A.A. 1975. Los Arrecifes de coral y el hombre. Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Junta de Calidad Ambiental, San Juan, P.R.
67. Younger, C.M. 1968. Living corals. Proc. Roy. Soc. B. 169:329-344.