

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA DE BIOLOGÍA**



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, PREFERENCIA DE HÁBITAT Y ESTADO DE  
SALUD DE LA POBLACIÓN DE *Dendrogyra cylindrus*, CORAL ENDÉMICO DEL  
COMPLEJO ARRECIFAL DE PROVIDENCIA, CARIBE COLOMBIANO.**

**GLORIA ANDREA ACEVEDO MONTOYA**

**TRABAJO DE GRADO  
Presentado como requisito parcial  
Para optar al título de**

**BIÓLOGO**

**Bogotá, D. C.  
Enero 15 de 2003**

#### **NOTA DE ADVERTENCIA**

"Los conceptos y opiniones emitidos en este trabajo son responsabilidad del autor y no comprometen en nada a la Pontificia Universidad Javeriana". Artículo 23 de la Resolución N°13 de julio de 1946.

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, PREFERENCIA DE HÁBITAT Y ESTADO DE  
SALUD DE LA POBLACIÓN DE *Dendrogyra cylindrus*, CORAL ENDÉMICO DEL  
COMPLEJO ARRECIFAL DE PROVIDENCIA, CARIBE COLOMBIANO.**

**GLORIA ANDREA ACEVEDO MONTOYA**

**APROBADO**

---

Alberto Acosta Ph.D.  
Director

---

Elvira Alvarado Ph.D.  
Jurado 1

---

Fabio Gómez D. M.Sc.  
Jurado 2

**Firmas Directivas**

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, PREFERENCIA DE HÁBITAT Y ESTADO DE  
SALUD DE LA POBLACIÓN DE *Dendrogyra cylindrus*, CORAL ENDÉMICO DEL  
COMPLEJO ARRECIFAL DE PROVIDENCIA, CARIBE COLOMBIANO.**

**GLORIA ANDREA ACEVEDO MONTOYA**

---

Angela Umaña Muñoz Ph.D.  
Decana Académica

---

Luz Mercedes Santamaría  
Directora Carrera

## FORMATO DESCRIPCIÓN TRABAJO DE GRADO

AUTOR O AUTORES

Apellidos	Nombres
Acevedo Montoya	Gloria Andrea

DIRECTOR (ES)

Apellidos	Nombres
Acosta	Alberto

TRABAJO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:   Biólogo  

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Distribución espacial, preferencia de hábitat y estado de salud de la población de *Dendrogyra cylindrus*, coral endémico del complejo arrecifal de Providencia, Caribe Colombiano.

SUBTÍTULO DEL TRABAJO: Demografía de *Dendrogyra cylindrus*

FACULTAD:   Ciencias  

PROGRAMA: Carrera  Especialización  Maestría  Doctorado

NOMBRE DEL PROGRAMA:   Biología  

CIUDAD:   BOGOTA   AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO:   2003  

NÚMERO DE PÁGINAS:   82  

TIPO DE ILUSTRACIONES:

Ilustraciones  
Mapas   
Retratos  
Tablas, gráficos y diagramas   
Planos  
Láminas  
Fotografía

MATERIAL ANEXO (VÍdeo, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: \_\_\_\_\_ Minutos.

Número de casetes de vídeo: \_\_\_\_\_ Formato: VHS \_\_\_\_ Beta Max \_\_\_\_ <sup>3</sup>/<sub>4</sub>  
\_\_\_\_ Beta Cam \_\_\_\_ Mini DV \_\_\_\_ DV Cam \_\_\_\_ DVC Pro \_\_\_\_ Vídeo 8 \_\_\_\_  
Hi 8 \_\_\_\_

Otro. Cual? \_\_\_\_\_

Sistema: Americano NTSC \_\_\_\_\_ Europeo PAL \_\_\_\_\_ SECAM \_\_\_\_\_

Número de casetes de audio: \_\_\_\_\_

Número de archivos dentro del CD (En caso de incluirse un CD-ROM diferente al trabajo de grado: \_\_\_\_\_)

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES.

Demografía, *Dendrogyra cylindrus*, Distribución Espacial, Endémico, Preferencia de Hábitat, Providencia

RESUMEN DEL CONTENIDO El objetivo de este estudio es indicar la distribución espacial (horizontal y vertical), preferencia de hábitat, densidad y estado de salud de las poblaciones del coral hermatípico *Dendrogyra cylindrus*, en el complejo arrecifal de Providencia. La distribución espacial y densidad de *D. cylindrus* se cuantificó con 2 metodologías; la primera, transectos de banda mediante la técnica Manta tow para el reconocimiento rápido del área de estudio (24 transectos de banda con promedio c/u de  $0.08 \pm 0.09$  km<sup>2</sup>) y la segunda, plots circulares de 60m de diámetro (20 plots) para lograr mayor precisión en las variables cuantificadas que fueron: abundancia, densidad, tamaño y área de mortalidad parcial de las colonias (incluyendo enfermedades), profundidad, comunidad asociada, tipo de sustrato y presencia de erizos.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
1. Introducción.....	11
2. Marco Teórico .....	14
2.1. Localización y Descripción del Sitio de Estudio.....	21
2.2. Descripción de <i>Dendrogyra cylindrus</i> .....	23
3. Formulación del Problema y Justificación... ..	27
3.1. Formulación del Problema .....	27
3.2. Pregunta de Investigación .....	27
3.3. Justificación .....	27
4. Objetivos .....	28
4.1. Objetivo General .....	28
4.2. Objetivos Específicos .....	28
5. Hipótesis .....	29
6. Materiales y Métodos .....	29
6.1. Variables del Estudio.....	38
6.2. Análisis de Información.....	39
7. Resultados .....	40
8. Discusión.....	67
9. Conclusiones.....	74
10. Recomendaciones.....	75
11. Referencias Citadas.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. <i>Dendrogyra cylindrus</i> , coral endémico en Colombia del archipiélago de San Andrés y Providencia.....	12
2. Mapa de unidades geomorfológicas de Providencia.....	22
3. Mapa de distribución espacial de <i>Dendrogyra cylindrus</i> en el Caribe.....	25
4. Mapa de unidades geomorfológicas de Providencia. Recuadro con el área de estudio.....	31
5. Mapa de unidades ecológicas de Providencia. Recuadro con el área de estudio... .....	36
6. Esfuerzo de muestreo en las cinco unidades geomorfológicas.....	38
7. Mapa de distribución espacial y densidad de <i>Dendrogyra cylindrus</i> en el complejo arrecifal de Providencia.....	41
8. Densidad promedio de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> entre sotavento y barlovento.....	42
9. Abundancia promedio de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> entre sotavento y barlovento.....	43
10. Abundancia promedio de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> entre unidades geomorfológicas.....	43
11. Densidad promedio de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> en las cinco unidades geomorfológicas.....	44
12. Mapa de densidad de <i>Dendrogyra cylindrus</i> en las unidades geomorfológicas....	46
13. Mapa de densidad de <i>Dendrogyra cylindrus</i> en las unidades ecológicas.....	48
14. Distribución vertical y abundancia de <i>D. cylindrus</i> respecto a la profundidad en las unidad geomorfológica.....	49
15. Abundancia de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> con relación a la profundidad.....	50

16. Densidad promedio de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> por profundidad.....	51
17. Área promedio de las colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> entre barlovento y sotavento.....	51
18. Área promedio de las colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> entre unidades geomorfológicas.....	52
19. Altura promedio de las colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> entre unidades geomorfológicas.....	53
20. Área promedio de las colonias por categorías de profundidad.....	53
21. Preferencia de hábitat de <i>D. cylindrus</i> por sotavento/barlovento.....	54
22. Preferencia de hábitat de <i>D. cylindrus</i> por unidad geomorfológica.....	55
23. Preferencia de hábitat de <i>D. cylindrus</i> por unidad ecológica.....	56
24. Preferencia de hábitat de <i>D. cylindrus</i> por categorías de profundidad.....	57
25. Comparación de la abundancia de adultos y juveniles entre sotavento y barlovento.....	58
26. Comparación de la frecuencia de colonias por categorías de tamaños entre unidades geomorfológicas.....	58
27. Abundancia total de juveniles y adultos de <i>Dendrogyra cylindrus</i> respecto a la profundidad.....	59
28. Estructura poblacional de <i>Dendrogyra cylindrus</i> .....	60
29. Área promedio de mortalidad parcial de <i>D. cylindrus</i> por unidad geomorfológica.....	61
30. Área promedio de mortalidad parcial de <i>Dendrogyra cylindrus</i> en sotavento/barlovento.....	62
31. Área promedio de mortalidad parcial de <i>Dendrogyra cylindrus</i> por rangos de profundidad.....	62
32. Relación entre el área de mortalidad parcial en colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> y el área total de la colonia.....	63
33. Lugar de la lesión de mortalidad parcial de <i>Dendrogyra cylindrus</i> .....	64

34. Frecuencia de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> con y sin <i>Diadema antillarum</i> en la base de las colonias según la comunidad asociada.....	65
35. Frecuencia de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> con mortalidad parcial, sanas, con plaga tipo II y con blanqueamiento.....	66
36. Densidad promedio de colonias de <i>Dendrogyra cylindrus</i> según la metodología utilizada.....	67

## Resumen

La distribución espacial de las principales unidades geomorfológicas y ecológicas se publicó recientemente para los arrecifes de Colombia. No obstante, para el país se desconoce la distribución espacial local de cualquier especie coralina en un arrecife. Tampoco se tienen datos confiables de densidad o estado poblacional y menos aún de preferencia de hábitat de especies aparentemente poco abundantes como es el coral *Dendrogyra cylindrus*, endémico del archipiélago de San Andrés y Providencia. El objetivo de este estudio es por tanto, indicar la distribución espacial (horizontal y vertical), preferencia de hábitat, densidad y estado de salud de las poblaciones del coral hermatípico *Dendrogyra cylindrus*, en el complejo arrecifal de Providencia.

La distribución espacial y densidad de *D. cylindrus* se cuantificó con 2 metodologías; la primera, transectos de banda mediante la técnica Manta tow para el reconocimiento rápido del área de estudio (24 transectos de banda con promedio c/u de  $0.08 \pm 0.09$  km<sup>2</sup>) y la segunda, plots circulares de 60m de diámetro (20 plots) para lograr mayor precisión en las variables cuantificadas que fueron: abundancia, densidad, tamaño y área de mortalidad parcial de las colonias (incluyendo enfermedades), profundidad, comunidad asociada, tipo de sustrato y presencia de erizos.

La especie fue cuantificada en 5 unidades geomorfológicas, presentándose en arrecifes de parche, terraza lagunar y terraza prearrecifal, siendo ausente en la barrera arrecifal interna y la barrera arrecifal continúa. Un total de 283 colonias fueron cuantificadas en 1.66 km<sup>2</sup> de las cuales 70 fueron fragmentos. La densidad de *D. cylindrus* fue alta en sotavento entre 500 a 1500 ind/km<sup>2</sup> y baja en barlovento <150 ind/km<sup>2</sup> ( $p = 9.482 \cdot 10^{-6}$ , t-Student,  $n = 44$  muestreos). La abundancia y densidad de colonias presentaron diferencias significativas entre las 5 unidades geomorfológicas, obteniendo la mayor densidad en la terraza prearrecifal ( $655.24 \pm 457.87$  ind/km<sup>2</sup>,  $n = 35$  muestreos) con 246 colonias. El rango batimétrico de la especie estuvo entre 1.5m y 18m de profundidad con máximas abundancias a los 7, 9 y 15m. *D. cylindrus* tiene preferencia de hábitat en sotavento, la terraza prearrecifal, profundidades entre 5-18m

y la unidad ecológica de octocorales. Las colonias de mayor tamaño se presentaron en barlovento ( $p = 3.41 \times 10^{-15}$ , t-Student,  $n = 283$ ). Entre las unidades geomorfológicas los arrecifes de parche fueron la unidad con las colonias mas grandes. El tamaño del coral presento una relación inversa con la profundidad, encontrando las colonias de mayor talla entre 1.5-5 m.

La mayor parte de la población muestreada estuvo compuesta por adultos (71.73% > 16cm de alto,  $n = 203$ ) y por muy pocos juveniles (28.26% < 15cm de alto,  $n = 80$ ).

El 65.3% ( $n = 185$ ) de la población presentó algún nivel de mortalidad parcial, variable que se correlacionó directamente con el tamaño de las colonias ( $p = 6.232 \times 10^{-50}$ , regresión lineal simple,  $n = 283$ ). No obstante, el porcentaje de tejido muerto por colonia fue bajo (3.2%). El 58% ( $n = 164$ ) de las colonias presento mortalidad en sus bases, lugar donde se encontró *Diadema antillarum* en un 25.79% de los casos ( $n = 73$ ). Tan solo 7.4% ( $n = 21$ ) de las colonias exhibieron enfermedades. El área de mortalidad parcial fue significativamente diferente entre unidades geomorfológicas. Arrecifes de parche fue la unidad con el mayor grado de deterioro.

Con los resultados obtenidos se puede concluir, que el coral endémico *D. cylindrus* no es una especie rara en Providencia como se ha documentado para la mayor parte de los arrecifes del Caribe. El hábitat que coloniza es relativamente protegido a la corriente. Basados en la alta abundancia y densidad y el bajo porcentaje de tejido muerto, se puede considerar la población de *D. cylindrus* en Providencia en buen estado. La distribución de tamaños de *D. cylindrus* sugiere que la población estaría creciendo.

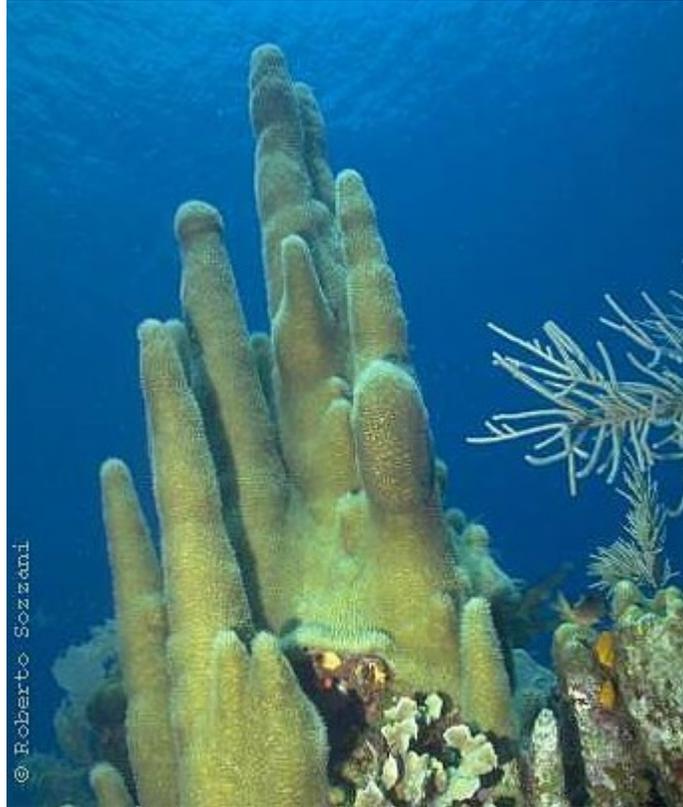
## 1. Introducción

Las islas de Providencia y Santa Catalina, en el archipiélago Colombiano de San Andrés, se encuentran entre las áreas de mayor importancia ecológica por su gran biodiversidad. También están entre las más amenazadas por disturbios naturales y antrópicos a causa del desarrollo, como es el caso de San Andrés (Díaz *et al.* 1995). Igualmente, se sabe que las barreras arrecifales del Archipiélago se encuentran entre las más importantes no solo del Caribe sino a nivel mundial, siendo la de Providencia la primera en extensión coralina del país y la tercera en el Atlántico (Díaz *et al.* 2000).

Desde la década de los 70's se han determinado las especies de coral presentes en los diversos arrecifes de Colombia, pero siempre el énfasis es hacia las especies de mayor dominancia. Esto se evidencia claramente en el libro de Díaz *et al.* (2000) donde se resume la distribución espacial de las principales unidades geomorfológicas y ecológicas (especies coralinas dominantes) para los arrecifes del país.

*Dendrogyra cylindrus* (Ehrenberg 1834; Fig. 1), es una especie coralina endémica para Colombia del archipiélago de San Andrés y Providencia y se encuentra entre las 10 especies claves formadoras de arrecifes. A pesar del gran número de investigaciones realizadas en Colombia sobre las comunidades coralinas, no se ha realizado en el país ningún trabajo sobre esta importante especie que reporte datos poblacionales como su tasa de crecimiento y densidad, por lo cuál no es posible la comparación de tales parámetros entre diferentes arrecifes del Caribe. No se tienen antecedentes demográficos de *D. cylindrus* ni información básica como su abundancia, densidad, mortalidad y rango de distribución espacial a nivel local. De igual forma se desconoce si hay una preferencia de hábitat por parte de esta o cualquier otra especie de coral en el Caribe. De su reproducción se ignora su ciclo reproductivo y la talla mínima de madurez sexual (Szmant 1986), lo que dificulta separar adultos de juveniles. Debido a esto, no se tienen datos sobre la distribución

de edades (tamaños) en la población, por lo que se ignora la dinámica de la especie en sus análisis más básicos (ej. tablas de vida).



**Figura 1.** *Dendrogyra cylindrus*, coral endémico en Colombia del archipiélago de San Andrés y Providencia. Note la forma de crecimiento columnar.

El conjunto de parámetros relacionados a la vida de un individuo desde su nacimiento hasta su muerte, que determinan su capacidad para sobrevivir y dejar descendencia fértil es lo que denominamos la historia de vida de un organismo (Akçakaya *et al.* 1997). Las tasas de crecimiento de los individuos, determinan la estructura de la población y las historias de vida de los organismos (Stiling 1999, Akçakaya *et al.* 1997, Lawton 1990, Begon *et al.* 1990, Krebs 1985).

El estudio de las estrategias de historias de vida puede ser llevado a cabo mediante análisis genéticos o ecológicos basados en observaciones individuales y a través de

estudios demográficos basados en la población completa (o muestras representativas de esta; Akçakaya *et al.* 1997).

La demografía es una herramienta clave en la conservación de las especies. Su estudio permite comparar cuantitativamente las propiedades de las poblaciones (Krebs 1985). Los aspectos demográficos de una población dependen de la dinámica espacio – temporal de cuatro parámetros principales: natalidad, mortalidad, inmigración y emigración (Stiling 1999). Otros parámetros a ser considerados en estudios poblacionales son: la distribución espacial, la composición genética y la distribución por edades, ésta última determina la estructura de la población y es un parámetro que se ve afectado por el sexo y la edad reproductiva de los individuos (Krebs 1985). Igualmente la edad de los individuos, y el número de nacimientos y muertes, contribuyen a los cambios generales del tamaño de la población (Hughes 1984). Es usual que las poblaciones en la naturaleza varíen en el tiempo y en el espacio según los tamaños / edades de sus individuos (Akçakaya *et al.* 1997).

Este estudio aportará, mediante la comparación de variables a nivel horizontal y vertical, información de historia de vida y poblacional para este importante constructor arrecifal indicando donde se encuentra *Dendrogyra cylindrus* espacialmente, cuantos individuos hay y como se encuentran las colonias. Además se indicara por primera vez en Colombia, la distribución de una especie coralina en arrecifes colombianos y su preferencia de hábitat. Mediante la distribución de tamaños de la población se inferirá si es una población en crecimiento o por lo contrario, una especie con posibilidad de extinción local. Se establecerá el estado actual de salud de las colonias dando así respuesta a las preguntas básicas sobre la ecología de esta especie coralina en el país.

## **2. Marco Teórico**

### **Demografía**

Una población se define como un conjunto de organismos (individuos) que ocupan un mismo espacio y tiempo y que comparten ciertas propiedades que ocasionan una alta cohesión reproductiva y ecológica del grupo (Begon *et al.* 1999). La ecología de poblaciones representa un campo general cuyo objeto es el análisis de las poblaciones en cuanto a sus atributos biológicos e interacciones entre sus miembros y con el medio circundante.

Es posible analizar los cambios en la población con un conjunto de técnicas cuantitativas creadas inicialmente para el análisis de poblaciones humanas. Los cuadros de tablas de vida son un resumen específico por edades de las probabilidades de sobrevivencia de los individuos, y resultan necesarios porque la mortalidad no afecta por igual a todas las edades, siendo mas frecuente en los individuos mas jóvenes en corales (Begon *et al.* 1999). De igual forma las tablas de vida incorporan la fecundidad que resume la reproducción respecto de las clases de edad o de tamaño. La capacidad de crecimiento de una población resulta de combinar la sobrevivencia y la fecundidad con referencia a la edad y a las condiciones ambientales en espacio y tiempo (Krebs 1985).

Para lograr conservar una especie, sobre la cual no se tienen datos esenciales de la población, es primordial estudiar los aspectos demográficos. Para esto se deben cuantificar las colonias en el caso de organismos modulares, en distintas áreas dentro de su rango de distribución (Begon *et al.* 1999; Kadmon 1993).

Dos preguntas fundamentales en ecología son cuantos individuos de una misma especie existen en un área determinada y como ocupan el espacio en el que se encuentran. La abundancia puede ser estimada de dos formas: densidad absoluta (número de individuos por unidad de área o volumen) y densidad relativa (densidad

de una población respecto a otra). Los estudios de la dinámica poblacional de una especie requieren el conocimiento de las densidades absolutas para relacionarlas con tasas vitales y demográficas como la tasa intrínseca de crecimiento de la población, la fecundidad, fertilidad, entre otras (Begon *et al.* 1999).

Por otro lado, al estimar la densidad de los organismos por unidad de área o volumen apenas se tendrá una idea de que tan dispersos o agrupados pueden estar los individuos, pero esta no proporciona una medida cuantitativa del grado de asociación de los organismos. La distancia a la cual se encuentra un individuo de otro en una población y de las poblaciones de cada especie dentro de una comunidad se puede cuantificar por el método del vecino más cercano, y explicar usando tres modelos de distribución espacial: aleatoria o azarosa, uniforme o regular y agrupada, también llamada agregada, contagiosa o parcheada (Krebs 1985). La distribución aleatoria indica que la presencia de un individuo no afecta de una manera importante a otros individuos en la población, siendo la posición de un individuo completamente independiente de la posición de cualquier otro miembro en la población. Esta es una condición poco común aunque se puede presentar en condiciones iniciales de dispersión. Si hay una competencia fuerte entre los individuos, algunos de ellos pueden morir generando una distribución regular (Krebs 1985). La condición más común es la distribución agrupada. Esta puede reflejar un patrón de heterogeneidad del hábitat (Brower *et al.* 1998), por ejemplo concentración espacial de algún recurso (nutrientes, agua, presas, etc), o también la dispersión de los propágulos después de la reproducción o el comportamiento social en los animales.

### **Distribución Espacial**

La distribución espacial de los organismos está determinada por las condiciones ambientales a las cuales están expuestos y el grado de tolerancia de éstos a los distintos factores bióticos y abióticos que afectan a sus poblaciones (Krebs 1985). Puede resultar de eventos estocásticos como de las relaciones funcionales entre

poblaciones de diferentes especies, entre individuos de la misma especie; y entre los organismos y su relación con el ambiente físico-químico (Dana 1976). Otra variable que define el tipo de distribución espacial es el tipo de reproducción y dispersión que presentan los individuos (Krebs 1985). Hutchinson (1953) ha señalado varios factores que afectan la distribución espacial, estos son: 1) gradientes físicos y químicos como temperatura, nivel de la marea y concentración de nutrientes; 2) reproductivos; 3) sociales (manadas, agregados); 4) co-activos como predador-presa, parasito-hospedero, competencia y 5) estocásticos debidos a la variación individual, demográfica y ambiental, esta última incluyendo disturbios y catástrofes.

La heterogeneidad del arrecife puede adicionalmente afectar los patrones de distribución mediante la creación de hábitats con variaciones en el grado de exposición a olas, corrientes y sedimentación (Dana 1976). En el caso de organismos modulares como los corales, esta variación entre hábitats son más marcada que en organismos unitarios. Las diferencias en la exposición a la luz ocasionadas por la profundidad y batimetría pueden contribuir a la naturaleza agregada de la distribución de varias especies a través del asentamiento selectivo de las larvas bajo condiciones específicas de luz (Dana 1976). Así mismo, las corrientes suaves pueden generar una distribución agregada por lo menos en dos formas. Primero, la baja dinámica y corrientes podrían permitir el fácil asentamiento de los descendientes cerca de sus parentales. Segundo, con poca corriente puede ser más fácil para las plánulas de coral seleccionar un sitio de asentamiento (Dana 1976). Corrientes fuertes por otra parte, garantizan la gran distribución de gametos y plánulas de coral a arrecifes distantes (Hughes 1984).

*Dendrogyra cylindrus* se considera una especie rara pero conspicua (Veron 2000). Siendo un coral que se encuentra en todos los arrecifes del Caribe, especialmente en arrecifes de aguas protegidas (Almy & Carrion 1963). Una definición general de rareza indica que las especies raras son aquellas que tienen una baja abundancia y/o pequeños rangos de distribución (Gaston 1994). Sin embargo, tiene la desventaja de es-

tar basada en una proporción más que en un criterio absoluto (Gaston 1994). A gran de escala, el concepto de rareza esta muy relacionado con el de endemismo. Las especies son endémicas a un área si solo se presentan en ese lugar, como es el caso de *Dendrogyra cylindrus*. De acuerdo con el concepto de endemismo de Kruckeberg & Rabinowitz (1985) una especie puede ser endémica a diferentes escalas. Por ejemplo, *Dendrogyra* solo se encuentra a nivel global en el mar Caribe y a escala local en el archipiélago de San Andrés y Providencia. Generalmente las especies endémicas tenderán a tener pequeñas abundancias sobre aquellas especies que no lo son (Gaston 1994). Una especie puede ser endémica para un área y aun así, presentarse a niveles de abundancia o ocurrencia mas grandes que las otras especies. Al nivel de algunas islas virtualmente todas las especies son endémicas, pero tendría poco valor considerarlas a todas como raras a tal escala. De cualquier forma, endemismo y rareza no son intercambiables (Gaston 1994).

### **Preferencia de Hábitat**

¿Por qué los organismos prefieren algunos hábitats y evitan otros? La mayoría de las especies de animales y plantas pueden ser encontradas en una variedad de tipos de hábitat, inclusive dentro de regiones geográficas pequeñas. Como resultado, individuos de la misma especie en diferentes subpoblaciones locales pueden experimentar diferentes probabilidades de sobrevivencia y reproducción, dependiendo del hábitat que ocupen (Kadmon 1993).

La preferencia de hábitat puede ser considerara como la decisión de un individuo móvil de escoger un hábitat sobre otros disponibles (Sowig 1995). Algunos animales no ocupan todo su hábitat potencial incluso si pueden dispersarse a áreas no ocupadas. En estos términos, los individuos “escogen” no vivir en hábitats dados, y la distribución de una especie suele estar limitada por la conducta de los individuos en la selección de su hábitat (Krebs 1985). Las limitaciones conductuales a la distribución por lo general son sutiles, y suelen ser las que plantean mayores dificultades de estudio (Krebs 1985).

La regla según la cual ciertas especies viven en un lugar en particular aplica a todos los grupos de animales, quizás porque los miembros de la mayoría de las especies pueden escoger donde vivir (Alcock 1997). Si bien es cierto, los corales petreos son organismos sesiles, en su etapa de plánula estos tienen la capacidad de escoger el lugar de asentamiento dentro de un microhábitat. La decisión de seleccionar un hábitat, puede ser tratada como un problema de optimización para ser resuelto maximizando los beneficios y minimizando los costos (Alcock 1997). La plánula al separarse la mayor distancia posible de la colonia madre, presumiblemente estaría reduciendo la competencia por los recursos e incrementando la probabilidad de supervivencia para la colonia madre y para ella (Alcock 1997). Incluso varias plánulas en corales pueden colonizar el mismo lugar, llegando estas a fusionarse en el tiempo (Díaz *et al.* 1995).

La selección de hábitat resulta del número diferencial de descendientes que dejen los organismos en un hábitat respecto a otro. Esta preferencia suele ser muy precisa en un medio predecible, pero cuando se modifican los hábitats algunas especies no se pueden adaptar rápidamente y por ello ocupan sólo una porción de su hábitat potencial (Krebs 1985). Algunas veces una especie está restringida a un hábitat, por ejemplo por competidores y depredadores, no significando necesariamente que lo está prefiriendo (Sowig 1995).

### **Tamaño de Colonias**

Pocos estudios en Colombia cuantifican y comparan el tamaño de las colonias entre arrecifes o unidades geomorfológicas. El tamaño de la colonia es importante para determinar la madurez y esfuerzo sexual (Szmant 1986), poder competitivo y probabilidad de mortalidad (Hughes & Jackson 1980), y puede además indicar un reclutamiento exitoso cuando se cuantifican abundantes juveniles en un arrecife (Edmunds *et al.* 1990).

El tamaño de las colonias está relacionado con el proceso de asentamiento, crecimiento, sobrevivencia, reproducción y mortalidad (Soong 1993), sin embargo la relación entre tamaño y edad es distorsionada en algunas especies (Hughes 1984). El interés en la relación de la historia de vida con el tamaño de la colonia ha estimulado el desarrollo de estudios sobre la frecuencia de distribución de tamaños de las especies coralinas (Soong 1993), lo cual lleva a dos importantes conclusiones. Primero, la mayoría de las distribuciones de tamaños están sesgadas a la derecha, obteniendo la mayor cantidad de colonias en la clase más pequeña de tamaño. Segundo, el máximo tamaño de las colonias en las poblaciones difiere enormemente entre especies (Bak & Meesters 1999).

El tamaño que alcance una colonia está relacionado con sus adaptaciones y el éxito que tenga para sobrevivir en un lugar determinado y a los diferentes disturbios. La habilidad de cada organismo para crecer depende en parte de los recursos disponibles en el lugar que se encuentre (Stanley & Gutzwiller 1994). Dentro de estos términos hay que identificar los límites de tolerancia y límites de estrés bajo los cuales puede vivir una especie, ya que la relación gasto energético y energía adquirida determina la energía invertida en crecer y regenerar el tejido lesionado (Krebs 1985).

### **Densidad**

Densidad es el número de individuos por unidad de área, es un estimativo ampliamente usado como indicador de la calidad de un hábitat. Normalmente se asume que si la densidad de una especie es alta, algo en el hábitat está beneficiando su reproducción ó sobrevivencia (Stanley & Gutzwiller 1994). Sin embargo, Van Horne (1983) aclara que la densidad no refleja acertadamente la calidad de un hábitat por tres razones: en los climas septentrionales la asociación densidad-hábitat está basada en estudios durante el verano que pueden ser insignificantes si las condiciones del invierno determinan la sobrevivencia. Segundo, las densidades están sujetas a fluctuaciones sobre muchos recursos bióticos y abióticos; siendo las densidades actuales un reflejo reciente de cambios en un corto periodo de las condiciones ambientales. Tercero, los

hábitats de mejor calidad pueden ser ocupados por los individuos dominantes, forzando a los otros a ocupar hábitats de menor calidad (Stanley & Gutzwiller 1994).

### **Estado de salud**

Los corales sufren mortalidad parcial cuando el tejido sano es removido o el esqueleto es bioerosionado. Los corales igualmente muestran elevadas tasas de mortalidad total, debido principalmente a disturbios naturales (Jackson 1997). Para especies modulares (con escasa movilidad), la resistencia ante disturbios está determinada por la arquitectura de las colonias (Begon *et al.* 1999). La especie *Dendrogyra cylindrus* por su morfología columnar, frecuentemente está expuesta a ser quebrada por huracanes, tormentas y anclas de botes (Hughes 1984). ■

En *Dendrogyra cylindrus* los procesos de fragmentación de las colonias son agentes de mortalidad parcial ya que ocasionan que el esqueleto de la colonia madre sufra lesiones y además deba invertir una alta cantidad de energía en regeneración (Van Veghel & Bak 1994). Igualmente, los fragmentos pierden hasta el 50% de su tejido vivo, cuando caen y hacen contacto con el fondo o no quedan expuestos a la luz (Lirman 2000).

### **Bio-erosión**

El grado de expansión de los arrecifes de coral depende de la tasa de esqueletogénesis de los corales hermatípicos y su resistencia física, química y biológica a todos los procesos destructivos (Goreau 1959). La bioerosión de los corales es un importante proceso de los arrecifes (Highsmith *et al.* 1983). Generalmente los organismos coralívoros se clasifican en tres grupos, dependiendo de la forma en que se alimentan y el efecto que tienen sobre las colonias de coral (Hiatt & Strasburg 1960): “browsers” cuando ramonean levemente sobre las colonias de coral y se alimentan solo del tejido vivo sin causar daño al esqueleto; “grazers” cuando raspan o muerden partes de la colonia al alimentarse; y “croppers” como el erizo *Diadema antillarum*,

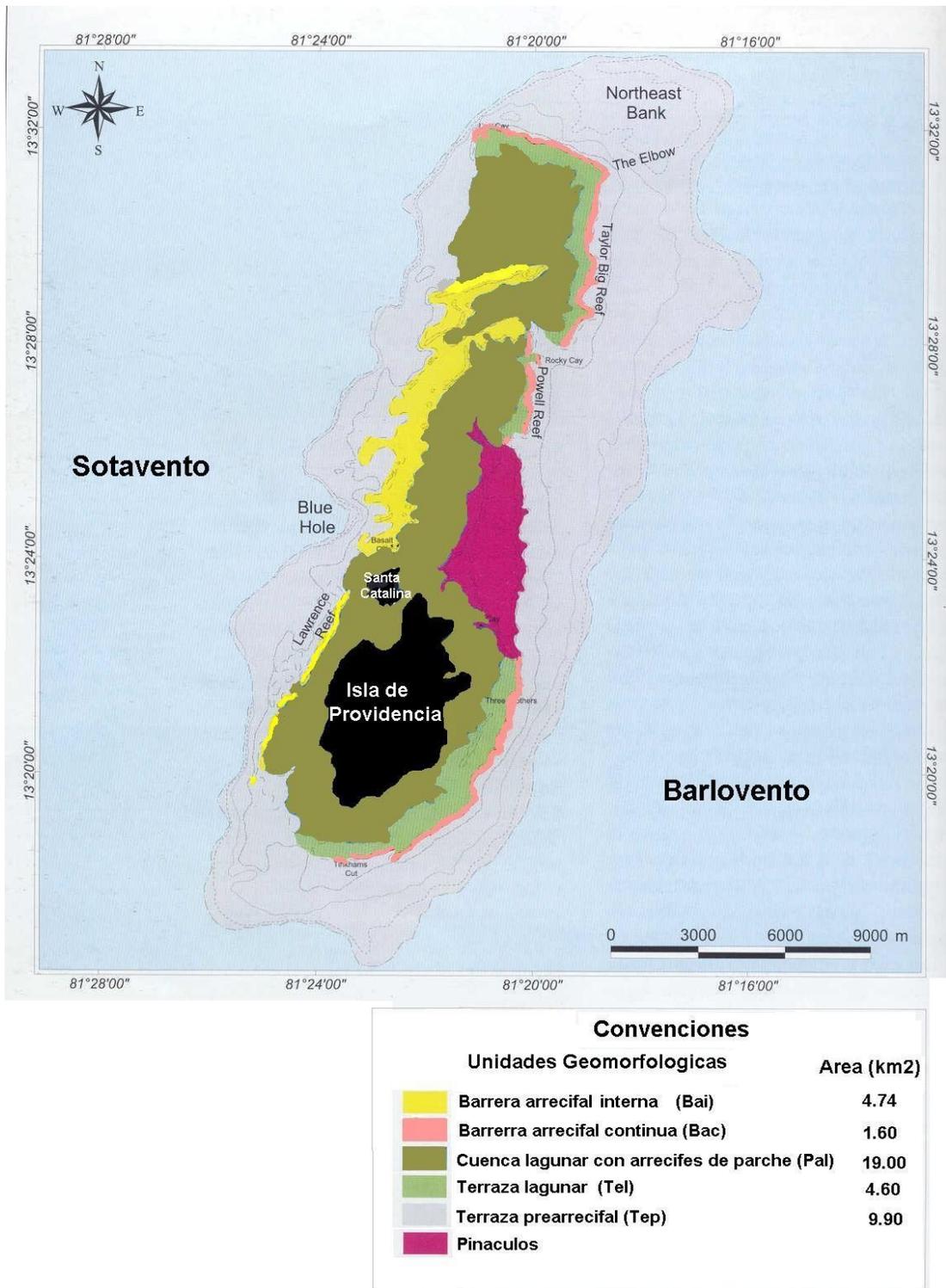
cuando parten y separan fragmentos de colonias. En los dos últimos se consume el tejido y el esqueleto durante el proceso.

### **2.1. Localización y Descripción del Sitio de Estudio**

La isla de Providencia se encuentra entre los 13° 25' N y 81° 20' W, a unos 80 km al NNE de la isla de San Andrés. Es una isla oceánica de origen volcánico que se formó durante el Mioceno (Prahl & Erhardt 1985). Tiene un área total de 285 km<sup>2</sup> y un área emergida de 21,8 km<sup>2</sup>. El área ocupada por formaciones coralinas es de 125 km<sup>2</sup> (Díaz *et al.* 2000).

Providencia presenta corrientes del NE en los meses de Noviembre y Enero con velocidades de 7 m/s. Se presentan esporádicas tormentas con vientos sobre 20 m/s provenientes del NW en la segunda mitad del año. Han sido reportados durante este siglo cinco huracanes con daños para los arrecifes de la isla (Geister & Díaz 1997). La isla posee un complejo arrecifal oceánico con barrera, pináculos, arrecife de borde de plataforma insular, arrecifes de franja y parches lagunares. La barrera arrecifal tiene 32 km de largo por 12 km de ancho. Es la segunda barrera coralina en extensión en el Atlántico después de la de Belice (Díaz *et al.* 2000) y la más extensa en Colombia (Prahl & Erhardt 1985).

La estructura arrecifal de la Isla de Providencia ha sido poco estudiada, salvo algunos informes de Geister (1972), Díaz *et al.* (1995) y un estudio semidetallado de Prahl y Erhardt (1985). Entre las especies coralinas dominantes en el arrecife se encuentran *Montastrea* spp, *Acropora palmata*, *Diploria* spp y *Agaricia* spp entre otras. Según Díaz *et al.* (2000) en el complejo arrecifal de la isla se pueden reconocer cinco importantes unidades geomorfológicas (Fig. 2).



**Figura 2.** Mapa de Unidades Geomorfológicas de Providencia (Díaz *et al.* 2000). A la derecha se incluyen las áreas por unidad geomorfológica en el complejo arrecifal.

Enumerados desde la orilla hacia el mar están: Cuenca lagunar con arrecifes de parche (19 km<sup>2</sup>), Terraza lagunar (4.6 km<sup>2</sup>), Barrera arrecifal continua (1.60 km<sup>2</sup>), Barrera arrecifal interna (4.74 km<sup>2</sup>), Terraza prearrecifal (9.90 km<sup>2</sup>) y Talud (40 km<sup>2</sup>). La Terraza lagunar no presenta una batea bien definida, caracterizándose mas bien por un perfil relativamente plano y homogéneo, de profundidades no mayores a 8 m. La Terraza prearrecifal se inicia sobre la base del arrecife de barrera, generalmente a una profundidad de 6 a 8 m y se extiende mar afuera por unos 500 m (Prahl y Erhardt 1985).

La costa oeste de la isla presenta arrecifes coralinos y se caracteriza por una extensa plataforma insular de unos 3 km de ancha (frente a la Bahía de Agua Dulce). Los primeros 400 m de la costa se caracterizan por sustratos arenosos que se continúan en extensas praderas de *Thalassia* y *Halimeda*, que son desplazadas por comunidades de octocorales y esponjas. A unos 1,500 m de la franja costera aparecen los primeros parches coralinos, formados por *Montastrea annularis*, *M. cavernosa*, *Agaricia agaricites* y *Dendrogyra cylindrus*. Esta zona se puede considerar como mixta, ya que se dan condiciones favorables para el desarrollo de corales en aguas protegidas (Prahl & Erhardt 1985).

Los arrecifes de la zona protegida de Providencia se caracterizan por fondos arenosos y caliza con ocasionales parches de coral, topográficamente, no existen arrecifes bien definidos (Geister & Díaz 1997).

## 2.2. Descripción de *Dendrogyra cylindrus*

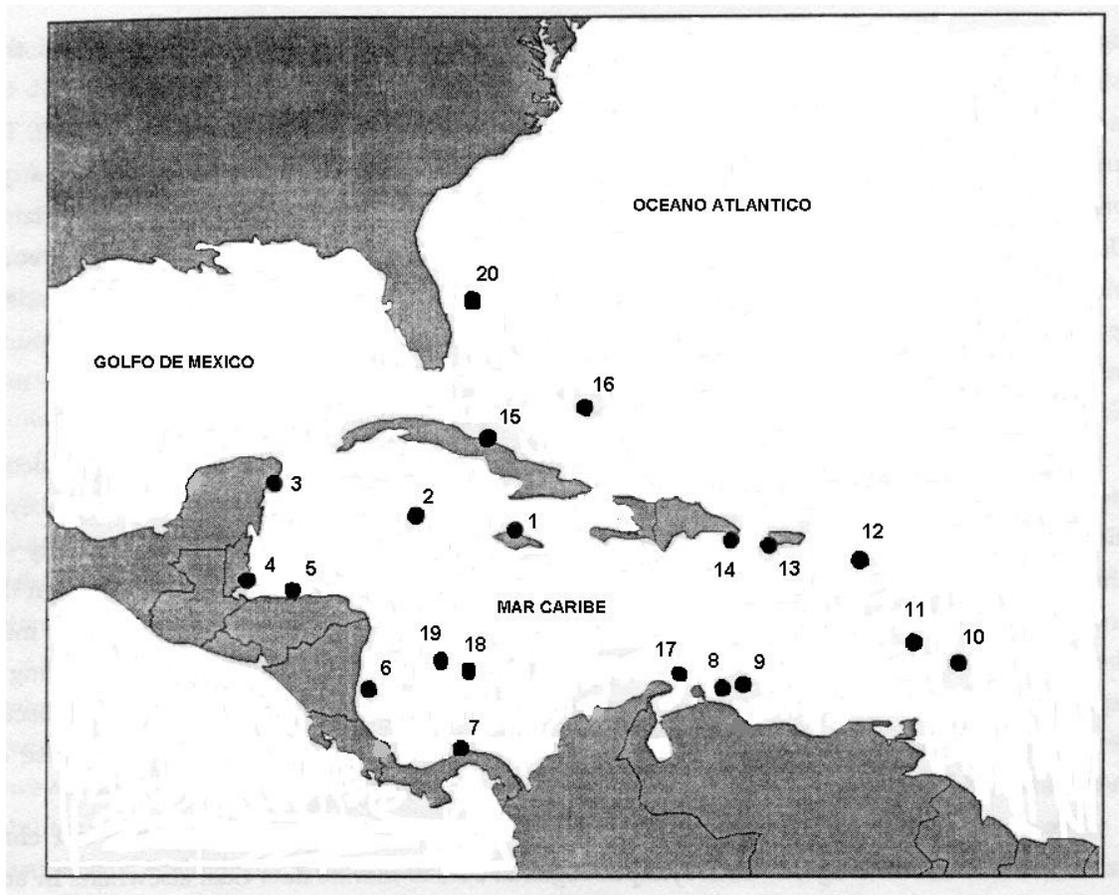
Los primeros registros que se tienen de *Dendrogyra cylindrus* datan del Mioceno (de 24 a 5 millones de años) en el mar de Tethys (Veron 2000). En el Caribe, *D. cylindrus* apareció por primera vez en el Plioceno (de 5 a 1.6 millones de años), junto con *Mussismilia* y *Scolymia* (Budd *et al.* 1996). Investigaciones realizadas por Pandolfi (2001), muestran la abundancia relativa y ocurrencia de especies coralinas del Caribe incluyendo a *D. cylindrus* en el Pleistoceno (de 1.6 millones de años a

10.000 años). Esta especie se reporto presente en muestreos de una hora en cada uno de los 17 transectos para Barlovento y 16 para Sotavento en Curazao. Al mismo tiempo estuvo presente en sotavento en San Andrés y Barbados, en 15 y 12 transectos respectivamente (Pandolfi 2001).

Se encontró que *Dendrogyra cylindrus* es una especie dioica que libera gametos al agua entre Mayo y Agosto. La especie presenta un solo ciclo de reproducción al año y la fecundación y desarrollo de las plánulas es externa (Szmant 1986). Aun no se tiene certeza sobre el ciclo espermatogénico en los machos de esta especie. Durante los trabajos de campo se han encontrado principalmente colonias con gónadas femeninas y pocas o ninguna masculina, posiblemente por el bajo esfuerzo muestral (Szmant 1986). En el arrecife de La India en Puerto Rico se llego a registrar una colonia masculina en 4000 m<sup>2</sup> muestreados, mientras que en el arrecife El Mario se cuantificaron cerca de 30 colonias macho de gran tamaño en un área similar de muestreo. No se han reportado reclutas o juveniles para esta especie (Szmant 1986).

Entre las enfermedades que se han observado para *D. cylindrus* se encuentran blanqueamiento (Porter *et al.* 2001, Williams & Bunkley-Williams com pers) y plaga tipo II, hasta ahora reportada en Florida (Santavy *et al.* 2001, Peters 2000, Richardson *et al.* 1998). No se conocen otras fuentes de mortalidad parcial por enfermedad en *D. cylindrus*.

Respecto a la distribución espacial de *Dendrogyra cylindrus*, actualmente se encuentra restringida al mar Caribe (Fig. 3), con un rango batimétrico entre 1 y 20 m (Goreau & Wells 1967, Cairns 1982). Es muy común en algunas costas insulares como al norte de Jamaica y en las Bahamas, pero ausente a partir de las Bermudas hacia el oriente (Cairns 1982).



**Figura 3.** Tomado de UNESCO (1998). Distribución espacial de *Dendrogyra cylindrus* en el Caribe (círculos en negro). 1. Discovery Bay, Jamaica; 2. Islas Caimán; 3. México; 4. Belice; 5. Honduras; 6. Nicaragua; 7. Panamá; 8. Curazao; 9. Bonaire; 10. Barbados; 11. Santa Lucia; 12. Antillas Holandesas, Saba; 13. Puerto Rico; 14. Republica Dominicana; 15. Cuba; 16. Bahamas; 17. Aruba; 18. Providencia, Colombia; 19. San Andrés, Colombia; 20. Florida.

Referencias: (1) Goreau y Wells (1967); Wells & Lang (1973); Iain Macdonald, Jennie Mallela, Judith Lang (com. pers.), (2) Roberts (1971); Douglas Fenner (com pers), (3) Jordan *et al.* (1981); Fenner (1988), Douglas Fenner, Jaap Walt, Wes Tunnell (com. pers.), (4) Cairns (1982); Iain Macdonald, Colette Wabnitz, Judith Lang, Douglas Fenner, Jaap Walt (com. pers.), (5) Guzman Hector (com. pers.), (6) Jaap Walt (com. pers.), (7) Roos (1971); Scatterday (1974); Van den Hoek *et al* (1975); Bak (1975); Holst & Guzmán (1993); Diaz (1995, 2000), (8) Hernandez-Delgado, Judith Lang, Mark Vermeij, Steve Piontek (com. pers.), (9) Roos (1971); Scatterday (1974); Van den Hoek *et al.* (1975); Bak (1975); Mark Vermeij (com. pers.), (10) Thomas F. Hourigan, Colette Wabnitz, Angelique Brathwaite, Thorsten Peters (com. pers.), (11) Douglas Fenner, Colette Wabnitz (com. pers.), (12) Hernandez-Delgado, Mark Vermeij (com. pers.), (13) Szmant (1986); Hernandez-Delgado, David William (com. pers.), (14) Hernandez-Delgado (com. pers.), (15) Zlatarski & Estalella (1982); Hernandez- Delgado, Iain Macdonald (com. pers.), (16) Smith (1971); Chiappone *et*

*al.* (1996); Hernandez-Delgado, Jaap Walt, Judith Lang, Robert W. Carter (com. pers.), (17) Roos (1971); Scatterday (1974); Van den Hoek *et al.* (1975); Bak (1975), (18) Acevedo (2002); Díaz (2000 y 1995); Prah & Erhardt (1985); Geister (1972), (19) Díaz (2000 y 1995); Prah & Erhardt (1985); Geister (1972), (20) Smith (1971); Wheaton & Jaap (1988); Jaap *et al.* (1989); Kenneth Banks, Jaap Walt, Kenneth Banks, David William, Robert W. Carter (com. pers.).

En Colombia *Dendrogyra cylindrus* se ha reportado para las islas de San Andrés y Providencia a sotavento. En la primera, se han observado colonias aisladas de *D. cylindrus* en Big Reef, East Reef y Pox Hole con coberturas menores al 5% a 8m de profundidad (Díaz *et al.* 1995). Para Providencia se ha registrado *D. cylindrus* a sotavento, donde logra grandes densidades con colonias de 2m de altura (Geister 1972, Prah & Erhardt 1985, Díaz *et al.* 1995 y 2000). En Florida *D. cylindrus* posee una densidad promedio de  $0.02 \pm 0.14$  colonias/m<sup>2</sup> (Chiappone & Sullivan 1996).

En cuanto a la forma de crecimiento, *Dendrogyra cylindrus* es uno de los corales pe-  
treos mas espectaculares que se encuentran en los arrecifes del Atlántico por su es-  
tructura columnar. Su crecimiento y morfogénesis es única en el Atlántico compara-  
da con el crecimiento de otras especies (Geister 1972). El coral en una primera fase  
se fija al sustrato consolidado, luego en el centro de pequeña colonia se observa uno o  
varios montículos de poco tamaño, los cuales comienzan crecer mientras que la base  
incrementa el diámetro (Geister 1972). A medida que el coral se va desarrollando,  
los montículos crecen verticalmente. Mientras tanto, la base puede seguir aumentan-  
do en área hasta alcanzar varios metros cuadrados (Geister 1972). Se han reportado  
colonias de *D. cylindrus* en las Antillas Holandesas con una altura máxima de 3m  
(Cairns 1982). Hudson y Goodwin (1997), reportan en Key Largo, Florida, la tasa de  
crecimiento para *D. cylindrus* siendo de 18-20 mm/año después de ser afectada por el  
huracán Andrew en Agosto de 1992. Además, se demostró la facilidad y viabilidad  
de transplantar *D. cylindrus* en áreas arrecifales deterioradas (Hudson & Goodwin  
1997).

### **3. Formulación del Problema y Justificación**

### **3.1. Formulación del Problema**

Existe ausencia de información sobre el estado poblacional de los corales en Colombia, en especial de especies endémicas como *Dendrogyra cylindrus*. No se tienen datos demográficos básicos de corales como su distribución espacial (horizontal y vertical), densidad o estado de salud.

### **3.2. Pregunta de Investigación**

Se responderán las siguientes preguntas de investigación: en qué unidades geomorfológicas, ecológicas y profundidades esta presente la especie coralina dentro del complejo arrecifal de Providencia, cuál es su densidad, cuál es la preferencia del hábitat por parte del coral, cuál es la estructura poblacional y cuál es el estado de salud de las colonias.

### **3.3. Justificación**

La conservación de los arrecifes coralinos ha sido materia de particular interés por parte de los científicos, quienes han documentado los problemas reales y potenciales que afectan estos ecosistemas en todo el mundo (Brown 1987). De acuerdo con el informe nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia realizado por el Instituto Alexander von Humbolt (1998), a pesar de la abundante literatura sobre la fauna y flora arrecifal, la mayoría de las especies coralinas claves presentan grandes vacíos de información como su distribución espacial, principal variable que debe conocerse de un organismo para poderlo conservar.

La biología de las poblaciones coralinas es un tema notoriamente descuidado en los estudios de arrecifes. Los estudios descriptivos son escasos e inclusive hay menos conocimiento sobre la dinámica y mecanismos de cambio en las poblaciones coralinas (Bak & Meesters 1999).

De *Dendrogyra cylindrus* no se tiene conocimiento sobre los parámetros básicos de su demografía como la distribución, densidad, reclutamiento y estado de salud de las colonias, pero se necesita tal información para poder realizar futuros monitoreos y predecir los cambios que sufrirá esta población en las próximas décadas, utilizando la especie como un indicador del estado ambiental del hábitat (Bak & Meesters 1999). Además, conocer la preferencia de hábitat de *Dendrogyra* será un dato clave para sugerir el uso de la especie en la restauración de arrecifes deteriorados mediante transplantes.

#### **4. Objetivos**

##### **4.1. Objetivo General**

Determinar la distribución espacial, densidad, preferencia de hábitat, estructura poblacional y estado de salud de las colonias del coral hermatípico *Dendrogyra cylindrus* en el complejo arrecifal de Providencia, Caribe Colombiano.

##### **4.2. Objetivos Específicos**

- Establecer donde se encuentrán las colonias de *Dendrogyra cylindrus* espacialmente, tanto a nivel horizontal (sotavento-barlovento y unidades geomorfológicas) como a nivel vertical (profundidad).
- Estimar y comparar la abundancia, densidad, mortalidad parcial y tamaño de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* en sotavento-barlovento, unidades geomorfológicas y profundidades del complejo arrecifal de Providencia.
- Determinar los hábitats preferidos por la población (sotavento-barlovento, unidades geomorfológicas y ecológicas, profundidad, comunidad asociada y tipo de sustrato).
- Señalar la estructura poblacional basada en la distribución de tamaños.

- Indicar el estado de salud de las colonias de *D. cylindrus* (mortalidad parcial, lugar en la colonia donde se presenta la lesión, tipo de enfermedades y presencia-ausencia de erizos).

## **5. Hipotesis**

Hipótesis alterna (Ha): hay diferencias significativas en la abundancia, densidad, mortalidad parcial y tamaño de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* entre sotavento – barlovento, unidades geomorfológicas y profundidades estudiadas en el complejo arrecifal de Providencia.

## **6. Materiales y Métodos**

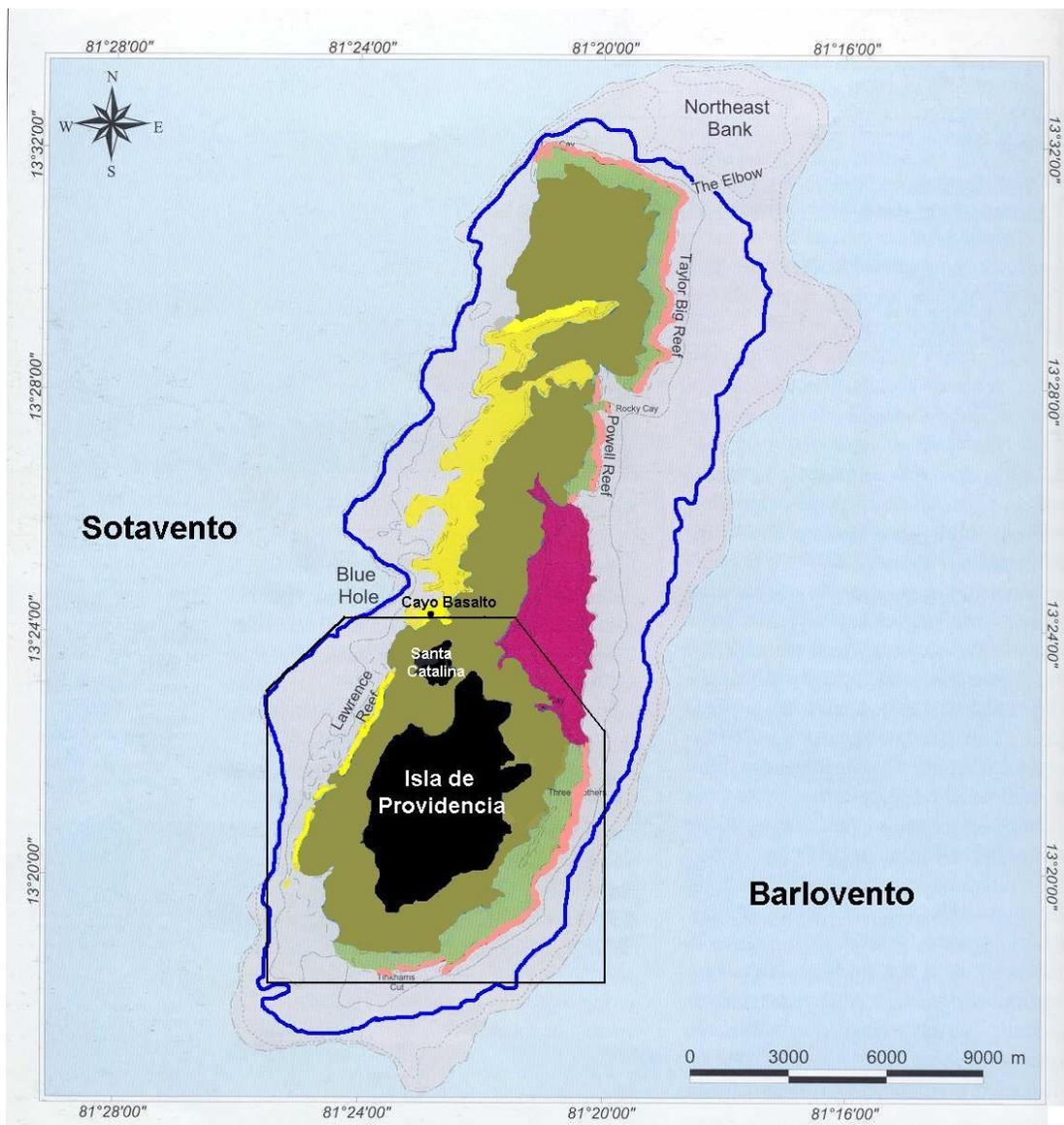
El coral *Dendrogyra cylindrus*, fue estudiado entre el 8 y 23 de enero del 2002 con el fin de definir su distribución espacial, preferencia de hábitat, densidad y estado de salud en el complejo arrecifal. Para establecer los posibles sitios de muestreo, se reviso la carta náutica COL-218 (1972) de la Armada Nacional y los mapas geomorfológicos y de unidades ecológicas presentados en el libro “Áreas Coralinas de Colombia” (Díaz *et al.* 2000). Sólo se consideraron en estos mapas los sustratos consolidados donde pueden crecer corales, eliminando así las áreas con fondos arenosos y praderas de *Thalassia*. Se entiende por sustrato consolidado a la superficie dura que permite la fijación de larvas de corales escleractinios. Así mismo, se eliminaron zonas con profundidades menores a un metro o mayores a 20 metros, debido a que 1-20 m es el rango batimétrico reportado para la especie por Cairns (1982) y Goreau & Wells (1967). Posteriormente se realizaron entrevistas con los isleños, lancheros, pescadores y casas de buceo de Providencia para obtener información sobre los lugares y profundidades donde ha sido vista la especie.

Con base en el análisis de las anteriores fuentes de información se elaboro un mapa base a escala 1:10000 con los posibles lugares de estudio donde se esperaba encontrar a *Dendrogyra*. De cualquier forma se planearon varios muestreos en tales zonas, para

confirmar la presencia o ausencia de *Dendrogyra cylindrus* en los sitios donde no ha sido vista la especie por lancheros o buzos (ej. barlovento y barrera arrecifal continua-cresta). Una vez predeterminados los hábitats potenciales para la especie en las unidades geomorfológicas descritas por Díaz *et al.* (2000), se establecieron *a priori* transectos de banda según Krebs (1989) para Barlovento y Sotavento en las unidades geomorfológicas seleccionadas. Estas fueron (en orden de la costa hacia mar abierto): cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal), terraza lagunar (Tel), barrera arrecifal interna (Bai), barrera arrecifal continua (Bac) y terraza prearrecifal (Tep; Fig. 4).

Para el reconocimiento rápido del área de estudio en cada unidad geomorfológica, se recorrió cada transecto mediante la técnica llamada “Manta Tow” (Garzón-Ferreira 1993). Para el desarrollo de esta metodología se empleó una lancha pequeña con un motor 40 y uno ó dos buzos investigadores con equipo a pulmón libre. Los buzos fueron remolcados a una velocidad promedio de 3 km/hora. Se cuantificaron transectos de banda de 2 a 7 km de largo y 20 a 40 metros de ancho según la visibilidad horizontal del área de estudio. La visibilidad en la columna de agua no supero los 20 m durante el muestreo. También se empleó un investigador en la lancha el cual dirigió el rumbo del transecto siguiendo una latitud predeterminada por medio de un GPS.

En la lancha un investigador registró la posición geográfica de las colonias observadas en campo utilizando un GPS de 12 satélites. Así mismo, los datos suministrados por los buzos a pulmón como la presencia de *Dendrogyra cylindrus*, el área visual (ancho del transecto), profundidad, tipo de sustrato, discontinuidades del sustrato o comunidad, variaciones en la profundidad y comunidad dominante en la que se encontraba la especie coralina. Para cada transecto se registro el esfuerzo de muestreo (tiempo y área muestreada).



**Convenciones**

Unidades Geomorfológicas	Area (km <sup>2</sup> )
Barrera arrecifal interna (Bai)	1.00
Barrera arrecifal continua (Bac)	1.60
Cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal)	2.50
Terraza lagunar (Tel)	3.00
Terraza prearrecifal (Tep)	3.50
Cota 20 metros	
Recuadro area de estudio	

**Figura 4.** Mapa de unidades geomorfológicas de Providencia (Díaz *et al.* 2000). Se observa en negro el recuadro con el área de estudio y las unidades geomorfológicas

muestreadas en colores. Las áreas de las unidades geomorfológicas fueron estimadas en esta figura para la zona de estudio, no para el complejo arrecifal. Las unidades de terraza prearrecifal (Tep) y cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal) se encuentran tanto en barlovento como en sotavento; a diferencia de la terraza lagunar (Tel) y la barrera arrecifal continua (Bac) que se encuentran únicamente a barlovento y de la barrera arrecifal interna (Bai) presente solo en sotavento.

### **Distribución Espacial**

El muestreo se inicio en la punta Sur de la isla y se continúo por Barlovento hacia el Noreste. Los transectos se diseñaron para muestrear la totalidad de la isla excepto la parte norte de la laguna y barrera, siendo Cayo Basalto el limite del muestreo hacia el norte (Fig. 4). Debido a la gran distancia que se observó entre una colonia y otra, aplicar la técnica de Manta Taw permitió cubrir la mayor cantidad de área muestreada posible en las diferentes unidades geomorfológicas.

En la primera parte del muestreo por Barlovento, gran parte del sustrato que se encontró fueron fondos arenosos, por lo que se realizaron transectos de banda paralelos a la costa con el fin de muestrear los parches de coral que se divisaban desde la lancha. Tales transectos tuvieron entre 6 a 7 km de largo y 40 m de ancho cubriendo toda el área arrecifal del Sureste, Este y Noreste de la isla hasta Santa Catalina.

Cada vez que fue observada una colonia de *D. cylindrus* por los buzos durante el Manta, se lanzó una boya para marcar el lugar y no perder su ubicación debido al efecto de deriva de la lancha. A continuación, se realizaba una inmersión con equipo scuba. Cuando el número de colonias en el área fue mayor a cinco, se utilizaron plots circulares (Krebs 1989) de 60 m de diámetro (0.00282 km<sup>2</sup> de área) para la estimación de densidad y otras variables bióticas. El centro del círculo fue la primera colonia marcada con la boya. A partir de esta colonia, se colocaron en dirección opuesta, dos cintas métricas cada una de 30 m de longitud, obteniendo así el diámetro del círculo. La cuantificación de las colonias, se efectuó en cada uno de tres círculos imaginarios de 10, 20 y 30 metros de radio respectivamente. De este modo, se aseguró

contabilizar todas las colonias dentro del área, mantener un orden en la cuantificación y un punto de referencia con respecto al centro del Plot. Siempre se empezó el recorrido en sentido de las manecillas del reloj.

En la zona de Sotavento, el transecto se inicio desde la costa (en el limite con las Praderas de *Thalassia*) y en dirección al Talud siguiendo y manteniendo fija la latitud (transectos de banda perpendiculares respecto a la costa). Contrario a barlovento, en sotavento se observó que las colonias se encontraban a poca distancia una de otra, entre 1 a 30 metros. Los plots circulares fueron mas precisos en la estimación de abundancia.

El muestreo, tanto en la barrera arrecifal interna (Bai) como en la barrera arrecifal continua (Bac) se realizó escogiendo 9 y 12 puntos de forma sistemática cada 400 m y 500 m respectivamente. En cada punto se realizó un transecto a pulmón libre de 300 m de largo por 20 m de ancho, en donde se buscaron colonias de *Dendrogyra cylindrus*. El muestreo tan solo incluyo la cresta de la barrera.

### **Densidad**

Cada transecto estuvo marcado por unas coordenadas de inicio y fin definidas con GPS y posteriormente registradas en la cartografía. Se multiplico posteriormente la longitud de cada transecto y el área visual del (los) buzo(s) para obtener el área de muestreo. Para calcular el área del plot circular se tomo el radio (30 m) y se aplico la formula para hallar el área del círculo ( $A = \pi r^2$ ). Teniendo las áreas muestreadas y las abundancias se estimo la densidad.

### **Tamaño de las Colonias**

Respecto al tamaño de las colonias de *Dendrogyra cylindrus*, el área (m<sup>2</sup>) se calculo con una cinta métrica multiplicando el alto por el diámetro máximos de la colonia. Las colonias que fueron originadas mediante el fraccionamiento de columnas fueron

denominadas fragmentos. Los fragmentos caídos se encontraban en posición horizontal sobre el sustrato y a ellos se les calculo el área multiplicando el largo por el ancho máximos.

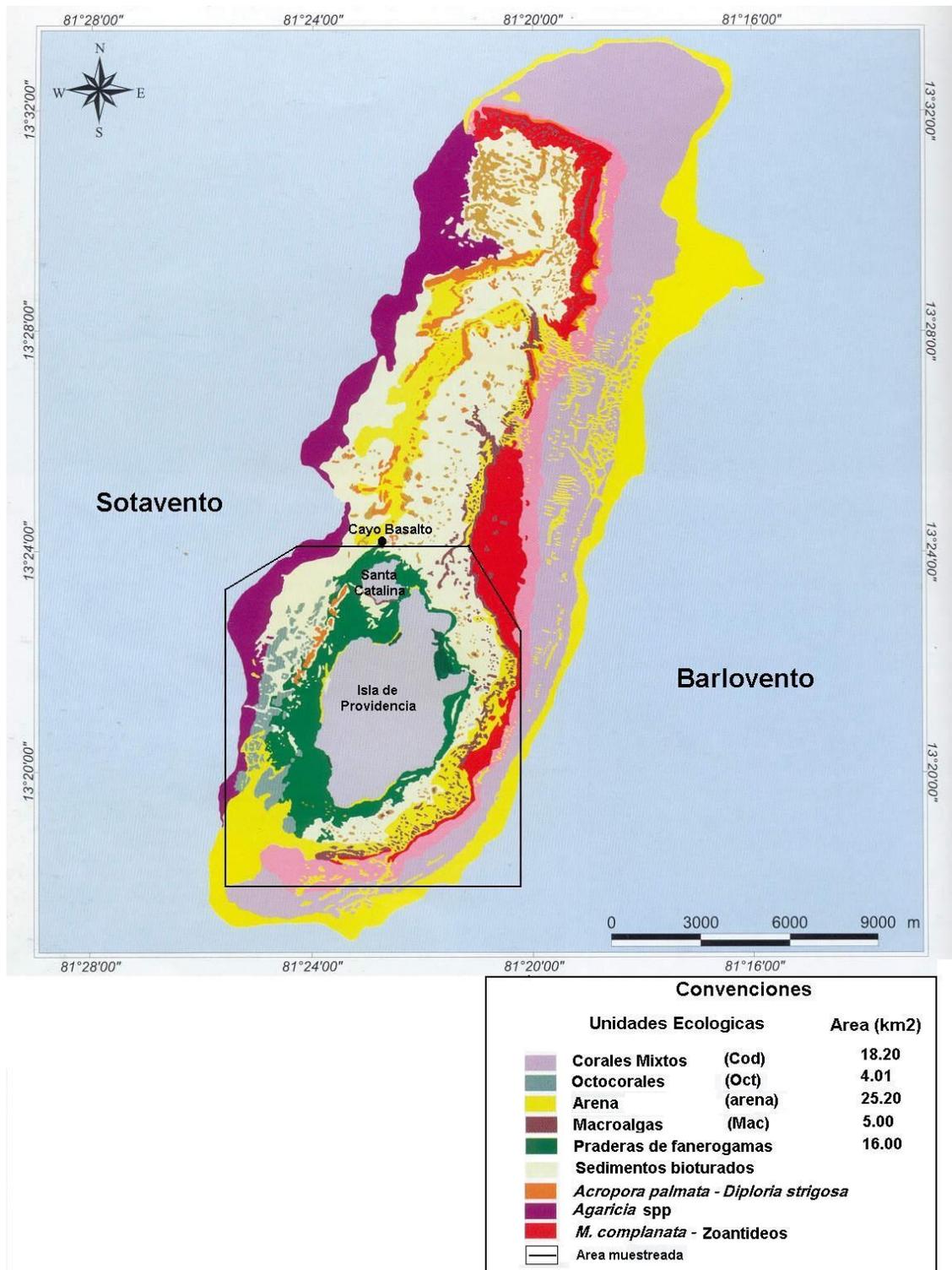
### **Preferencia de Hábitat**

Para establecer la preferencia de hábitat por parte de *Dendrogyra cylindrus* en cada muestreo (Manta y plots), se indicó la frecuencia de colonias por unidad geomorfológica, la posición de la colonia respecto a barlovento (Bar) o sotavento (Sot), la profundidad en metros que se midió con un profundímetro y que fue agrupada en tres rangos (1.5-5m, 5.1-12m y 12.1-18m), el tipo de unidad ecológica la cual se encontró entre corales mixtos (Cod), octocorales (Oct), arena y macroalgas (Mac; Fig. 5), el tipo de sustrato, ya fuera coral muerto (cm) ó cascajo coralino inconsolidado (cc) y la comunidad dominante en el hábitat, la cual fue agrupada en las siguientes categorías: octocorales (oct), corales mixtos (cod), macroalgas (mac) y arena (a). Esta última categoría, aunque no es un elemento vivo, se tuvo en cuenta cuando el principal componente del hábitat era arena sin que hubiera alguna comunidad presente en el entorno. Las colonias presentes en el extremo Sur de la isla, se consideraron dentro de barlovento cuando se hallaron por fuera de la barrera y en sotavento las encontradas entre la costa y la barrera arrecifal.

Para realizar las graficas de preferencia de hábitat, se estimo a partir de los mapas de unidades ecológicas (Fig. 5) y geomorfológicas de Díaz *et al.* (2000); el área (km<sup>2</sup>) potencialmente disponible y la frecuencia de colonias (%) para cada una de las siguientes variables: sotavento-barlovento, unidades geomorfológicas, unidades ecológicas, y rangos de profundidad. Al área disponible de la unidad geomorfológica cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal), se le resto el área ocupada por *Thalassia*. El área potencialmente disponible se cuantifico digitalizando los mapas mediante el programa Ilwis 3.0. Debido a que en este estudio solo se muestreo el área comprendida entre Cayo Basalto y el extremo sur del arrecife, el área disponible tanto para las unidades geomorfológicas y ecológicas se estimo respecto a esta

porción del arrecife y no a la extensión total. La preferencia de hábitat se calculo dividiendo la frecuencia de ocurrencia sobre el área disponible siguiendo a Bovee (1982).

Para comprobar si *Dendrogyra* esta prefiriendo o no un determinado tipo de hábitat se considero el concepto de Straw *et al.* (1986), según el cual si un hábitat constituye el 20% de la disponibilidad en área, pero la especie lo usa mas del 20% de las veces, se puede decir que este tipo de hábitat esta siendo preferido por la especie. Debido a que mas del 20% de la frecuencia de la especie se encuentra en ese tipo de hábitat, se dice que este esta siendo usado mas frecuentemente de lo esperado.\_\_\_\_



**Figura 5.** Mapa de unidades ecológicas de Providencia (Díaz *et al.* 2000). Se observa en el recuadro el área muestreada. Las áreas presentadas fueron estimadas en esta figura para la zona de estudio, no para el complejo arrecifal.

### **Estructura Poblacional**

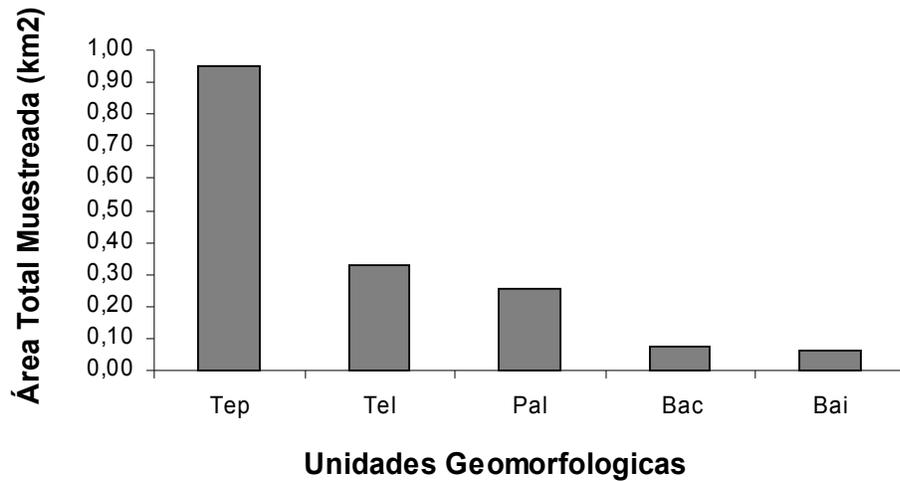
Para establecer las clases de tamaño se consideró el crecimiento vertical de 2 cm por año (Hudson y Goodwin, 1997) que presenta esta especie y se tomaron como juveniles a todas aquellas colonias o fragmentos con una altura menor a 15 cm. Como individuos adultos se cuantificaron las colonias con 16 cm de alto en adelante. La distribución de tamaños de las colonias sirvió para inferir la estructura y el crecimiento de la población.

### **Estado de Salud**

El estado de salud de las colonias se determinó a través de: 1) la mortalidad parcial, calculada como el porcentaje relativo de tejido muerto respecto a la colonia y 2) el tipo de enfermedades observadas. Posteriormente se pasaron los datos porcentuales a unidades de área (m<sup>2</sup>) de tejido deteriorado. Además se registró el lugar donde se presentó la mortalidad parcial en la colonia así: base de la colonia (b), columnas (bra), columnas emergentes (coe) y entre las columnas (cen). Se indicó cuando la mortalidad parcial era causada por la fricción mecánica de macroalgas o por bioerosión ejercida en la base de la colonia por erizos. Cada colonia cuantificada fue registrada en video cámara (Styngray) con el fin de complementar la información obtenida durante el buceo, por ejemplo: reconocimiento de enfermedades, tipo de sustratos y comunidad dominante en el hábitat.

### **Esfuerzo de Muestreo**

El esfuerzo de muestreo en cada unidad geomorfológica fue directamente proporcional a la abundancia de colonias encontradas (Krebs 1989) de *Dendrogyra cylindrus*, por lo cual se observa una mayor cantidad de área muestreada en la terraza prearrecifal de Providencia (Fig. 6).



**Figura 6.** *Dendrogyra cylindrus*. Esfuerzo de muestreo en las 5 unidades geomorfológicas. Note que el mayor esfuerzo muestral lo representan las unidades con mayor densidad de colonias. Las categorías para las unidades fueron: Terraza prearrecifal (Tep), Terraza lagunar (Tel), Cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal), Barrera arrecifal continua (Bac) y Barra arrecifal interna (Bai). Se muestreo un área total de 1.66 km<sup>2</sup> en el complejo arrecifal.

Una vez finalizada la parte de campo, se realizó una matriz de datos en el programa Excel. A partir de este, se inicio la exploración de resultados para ver patrones, frecuencias, promedios y desviaciones estándar. Para esto los datos fueron inicialmente graficados y presentados en tablas. A través del programa Ilwis 3.0 se determino por el método del vecino mas cercano, el tipo de distribución espacial de la especie ya fuera al azar, agrupado o uniforme.

### 6.1. Variables de Estudio

Las variables cuantificadas fueron definidas dentro de las siguientes categorías: Independientes: posición de las colonias (barlovento-sotavento), unidades geomorfológicas, unidades ecológicas, profundidad, lugar de la lesión (de mortalidad parcial), comunidad asociada, tipo de sustrato y método utilizado (Manta – Plot).

Dependientes: abundancia de colonias de *D. cylindrus*, densidad, área de las colonias, altura de las colonias, área de mortalidad parcial (incluyendo enfermedades), y presencia-ausencia de erizos.

## 6.2. Análisis de Información

El programa estadístico utilizado para el análisis de las variables fue Biomstat 3.1. Se aplicaron ANOVAS de una vía (por tratarse de un factor) para conocer si existen diferencias significativas entre las variables dependientes: abundancia, densidad ( $\text{ind}/\text{km}^2$ ), área ( $\text{m}^2$ ), altura (cm) y área de mortalidad parcial ( $\text{cm}^2$ ) de las colonias contra las variables independientes: unidades geomorfológicas y profundidad (tres categorías). Cuando fue el caso se aplicó su correspondiente prueba a Posteriori con el fin de observar las diferencias entre unidades geomorfológicas. Igualmente se realizó Kruskal-Wallis como complemento a cada prueba paramétrica.

Se aplicaron las pruebas t-Student y Mann-Whitney entre las variables dependientes: área de las colonias ( $\text{m}^2$ ), área de mortalidad parcial ( $\text{cm}^2$ ), densidad ( $\text{ind}/\text{km}^2$ ) y abundancia de las colonias contra la variable independiente: sotavento-barlovento.

Se realizó una regresión lineal simple para ver el grado de dependencia entre el área de las colonias ( $\text{m}^2$ ) y el área de mortalidad parcial ( $\text{m}^2$ ). A cada variable se le realizó la transformación con la que se obtuvo la mejor distribución normal posible: área colonias  $\text{m}^2$ ,  $\log_{10}(y)$ ; altura colonias cm,  $\sqrt{y}$ ; profundidad m,  $\sqrt{y}$ ; abundancia colonias,  $\sqrt{y}$ ; densidad  $\text{ind}/\text{km}^2$ ,  $\log_{10}(y)$  y área de mortalidad parcial  $\text{m}^2$  y  $\text{cm}^2$ ,  $\log_{10}(y+1)$ .

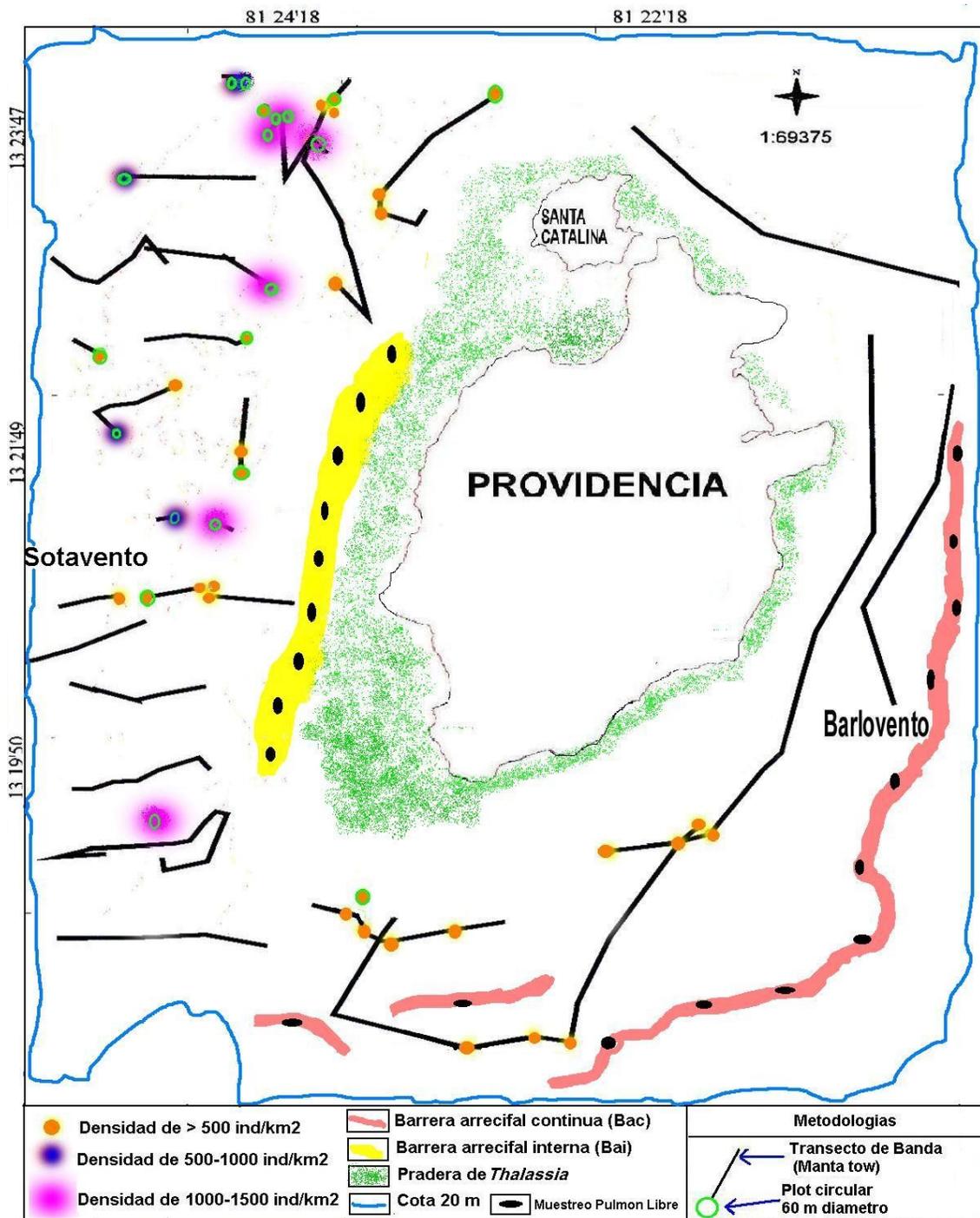
Para observar dependencia entre las variables categóricas se realizaron análisis de frecuencia (RxC). Se realizaron 5 comparaciones: comunidad contra presencia de erizos; comunidad y sustrato contra presencia de colonias y abundancia de adultos - juveniles contra sotavento-barlovento y unidades geomorfológicas. La dependencia entre el método de cuantificación utilizado y la densidad de colonias fue analizada mediante análisis de frecuencia (RxC) y pruebas t-Student según el caso.

Las pruebas estadísticas fueron realizadas unificando las dos metodologías, teniendo como replicas los muestreos (n = 44 muestreos), o las colonias (n = 283 colonias) según la prueba. Se obtuvieron resultados estadísticamente significativos tanto para plots mas transectos (n = 283) como para plots (n = 236), razón por la cual son presentados solo los resultados que combinan ambas metodologías (n = 283). Únicamente se presentaron dos excepciones donde la comparación de variables solo fue significativa para el método de Plots y no para plots mas transectos; estas fueron: altura de las colonias y área de mortalidad, ambas contra unidades geomorfológicas.

## **7. Resultados**

### **Distribución Espacial**

*Dendrogyra cylindrus* fue mas abundante y logro máximas densidades en el lado protegido de Providencia, hacia el noroeste y cerca de canales arena (Fig. 7). En la totalidad del área muestreada (1.66 km<sup>2</sup>) la densidad promedio fue de  $172 \pm 177$  ind/km<sup>2</sup>. Las colonias de *Dendrogyra cylindrus* evidenciaron un patrón agrupado hacia sotavento.

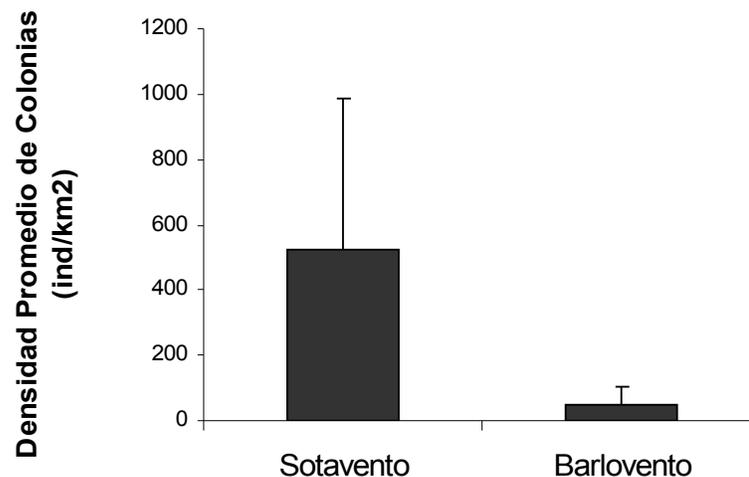


**Figura 7.** Distribución espacial y densidad de *Dendrogyra cylindrus* en el complejo arrecifal de Providencia (Enero del 2002). Se indican las dos metodologías utilizadas: transectos de banda ( $n = 26$ ; líneas negras) y plots circulares ( $n = 20$ ; círculos verdes pequeños). Los puntos en negro indican muestreos sistemáticos a pulmón libre donde se buscó a *Dendrogyra*.

En la barrera arrecifal interna, dominó *Acropora palmata* y en la barrera continua *Millepora* y *Palythoa*, especies características de las cresta, pero no se encontró ningún individuo de *Dendrogyra* en estos lugares expuestos a fuertes corrientes.

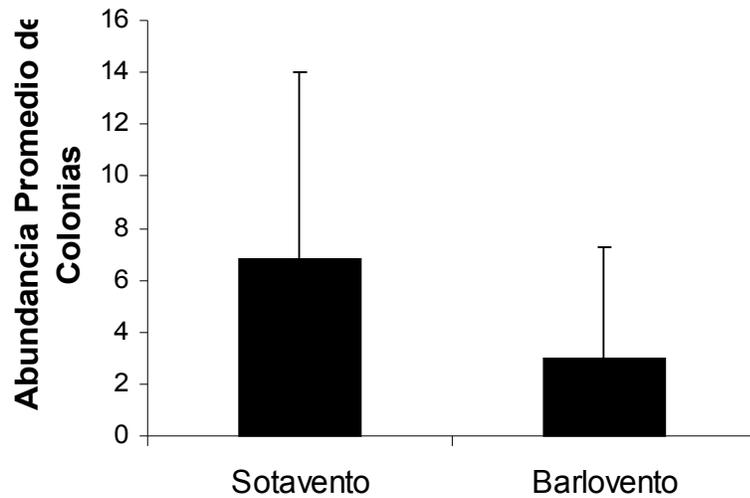
### Abundancia y Densidad

La densidad de *D. cylindrus* fue estadísticamente menor en barlovento  $49.60 \pm 55.97$  ind/km<sup>2</sup> (n = 6 muestreos) que en sotavento  $522.62 \pm 462.91$  ind/km<sup>2</sup> (n = 40 muestreos; Fig. 8). Hacia sotavento se lograron densidades máximas de hasta 1000-1500 colonias por km<sup>2</sup> y en barlovento y el Sur de la isla menores a 150 ind/km<sup>2</sup>.



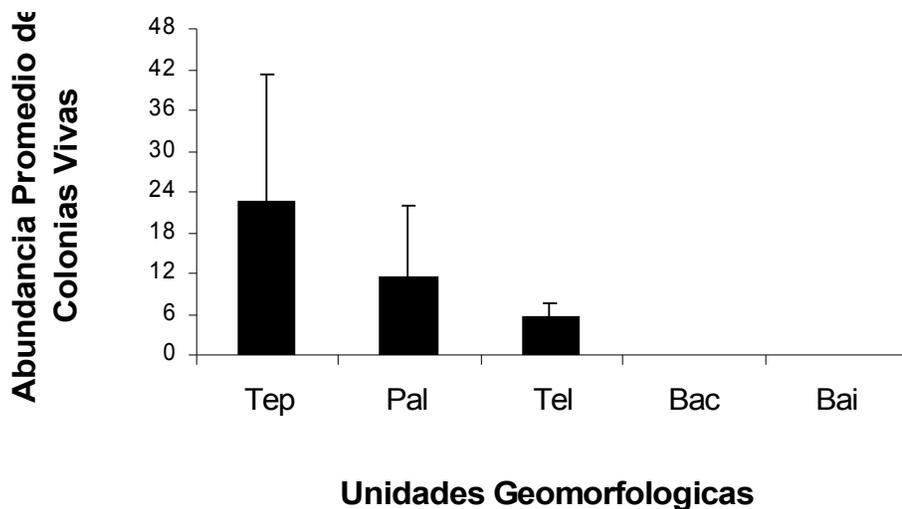
**Figura 8.** Densidad promedio de colonias de *Dendrogyra cylindrus* entre sotavento y barlovento. La densidad fue significativamente mayor a sotavento ( $p = 9.482 \cdot 10^{-6}$ , t-Student, n = 44 transectos;  $p = 0.0371$ , Mann-Whitney, n = 44 transectos). Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar.

Igualmente la abundancia promedio de *Dendrogyra cylindrus* fue mayor a sotavento que barlovento (Fig. 9).



**Figura 9.** La abundancia promedio de colonias de *Dendrogyra cylindrus* en sotavento (n = 273) presentó diferencias significativas con barlovento (n = 10; p =  $1.042 \times 10^{-5}$ , t-Student, n = 44 muestreos).

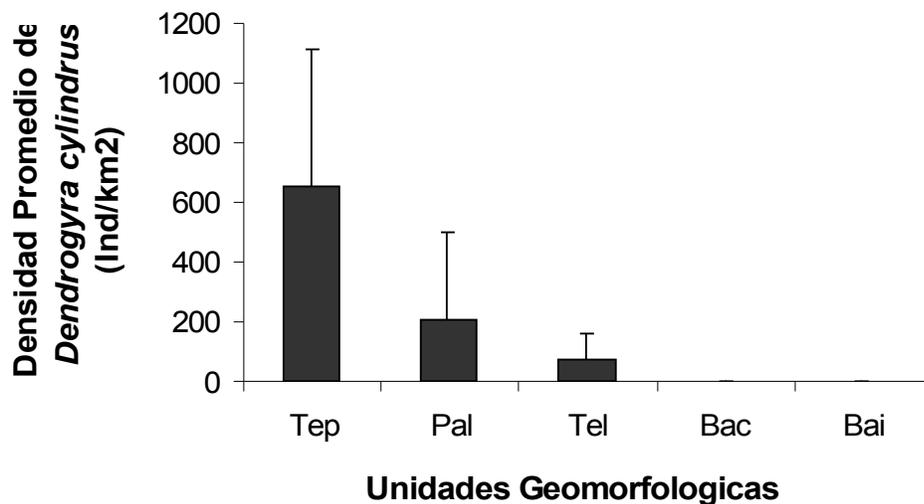
De las cinco unidades geomorfológicas muestreadas *Dendrogyra cylindrus* solo fue encontrada en tres, terraza prearrecifal (Tep), cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal) y terraza lagunar (Tel), siendo ausente en la barrera arrecifal interna (Bai) y en la barrera arrecifal continua (Bac). *Dendrogyra* predominó en la terraza prearrecifal (Fig. 10).



**Figura 10.** La abundancia promedio de colonias de *Dendrogyra cylindrus* en las cinco unidades geomorfológicas mostró diferencias significativas (p = 0.0352,

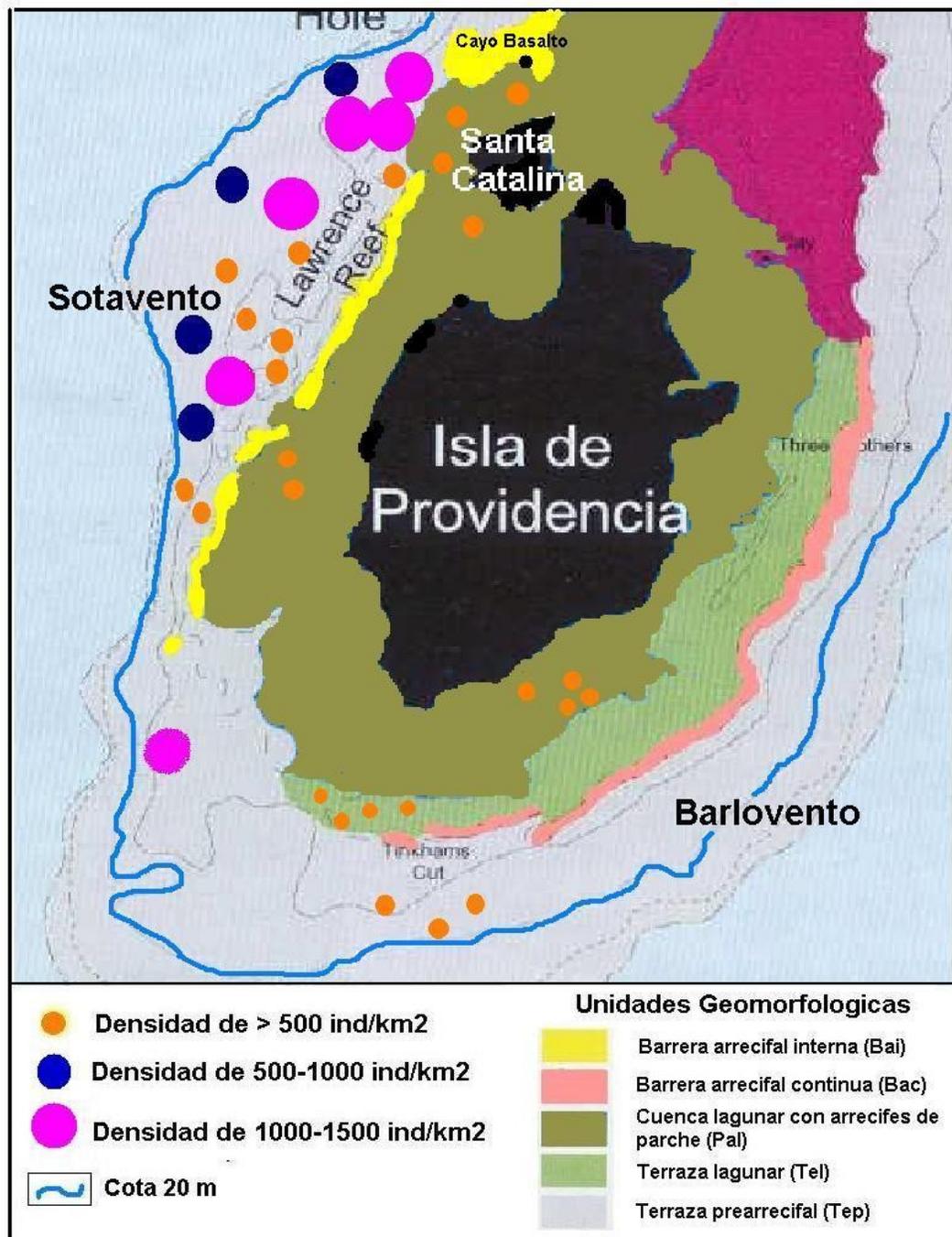
Kruskal Wallis,  $n = 44$  muestreos;  $p = 7.312 \cdot 10^{-9}$ , ANOVA simple,  $n = 44$  muestreos). Siendo mayor en terraza prearrecifal ( $22.6 \pm 18.7$ ,  $n = 35$  muestreos) que en cuenca lagunar con arrecifes de parche ( $11.50 \pm 10.41$  cm,  $n = 6$ ) y terraza lagunar ( $5.50 \pm 2.12$  cm,  $n = 3$ ;  $p < 0.05$  T'-Tukey Kramer y GT2  $n = 236$ ; Sokal & Rohlf, 1995). Las categorías para las unidades geomorfológicas fueron: Terraza prearrecifal (Tep;  $n = 246$ ), Cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal;  $n = 25$ ) y Terraza lagunar (Tel;  $n = 12$ ). No se encontraron colonias en barrera arrecifal interna y barrera arrecifal continua.

Un total de 283 colonias vivas de *Dendrogyra cylindrus* fueron cuantificadas en  $1.66$  km<sup>2</sup>. Diferencias significativas fueron evidentes para la densidad en las cinco unidades geomorfológicas, siendo mayor en la terraza prearrecifal con  $655.24 \pm 457.87$  ind/km<sup>2</sup>, (Fig. 11).



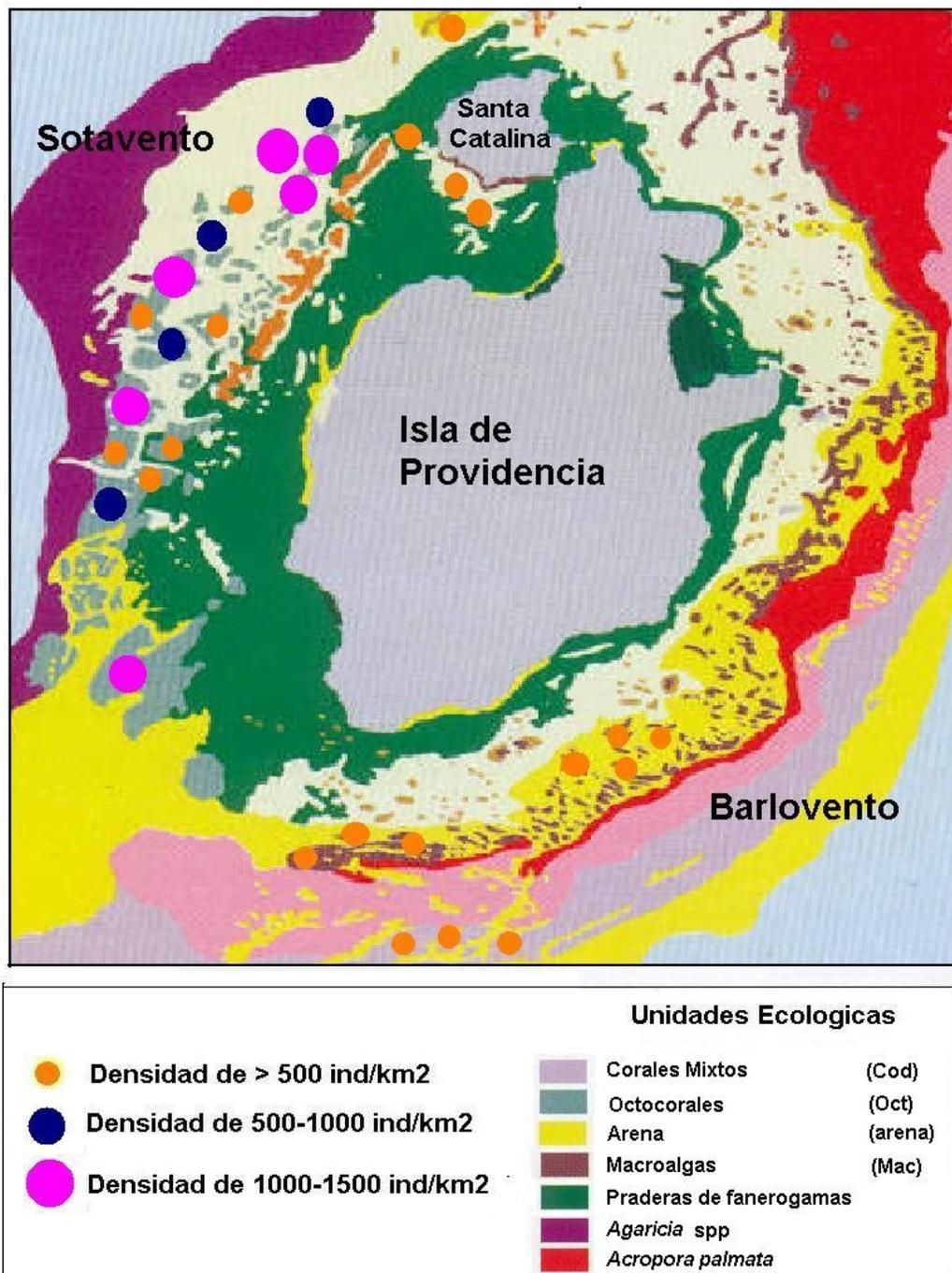
**Figura 11.** Densidad promedio de colonias de *Dendrogyra cylindrus* en las 5 unidades geomorfológicas. Se encontraron diferencias significativas en la densidad promedio de colonias entre las unidades geomorfológicas ( $p = 1.055 \cdot 10^{-5}$ , Kruskal Wallis,  $n = 44$  muestreos;  $p = 7.476 \cdot 10^{-6}$ , ANOVA simple,  $n = 44$  muestreos). Siendo mayor en terraza prearrecifal ( $655.24 \pm 457.87$  ind/km<sup>2</sup>,  $n = 35$  muestreos) que en cuenca lagunar con arrecifes de parche ( $203.91 \pm 296.89$  ind/km<sup>2</sup>,  $n = 3$  muestreos) y terraza lagunar ( $73.49 \pm 83.73$  ind/km<sup>2</sup>,  $n = 6$  muestreos;  $p < 0.05$  T'-Tukey Kramer y GT2  $n = 236$ ; Sokal & Rohlf, 1995). Las categorías para las unidades geomorfológicas fueron: Terraza prearrecifal (Tep;  $n = 246$ ), Cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal;  $n = 25$ ) y Terraza lagunar (Tel;  $n = 12$ ). La barrera arrecifal interna y barrera arrecifal continua no presentaron colonias de *D. cylindrus*.

La mayor densidad de *D. cylindrus* se presentó hacia el noroeste en la terraza prearrecifal cerca de la cota de 10m y disminuye relativamente en la medida que nos acercamos a la cota o nos aproximamos al talud (Fig. 12).



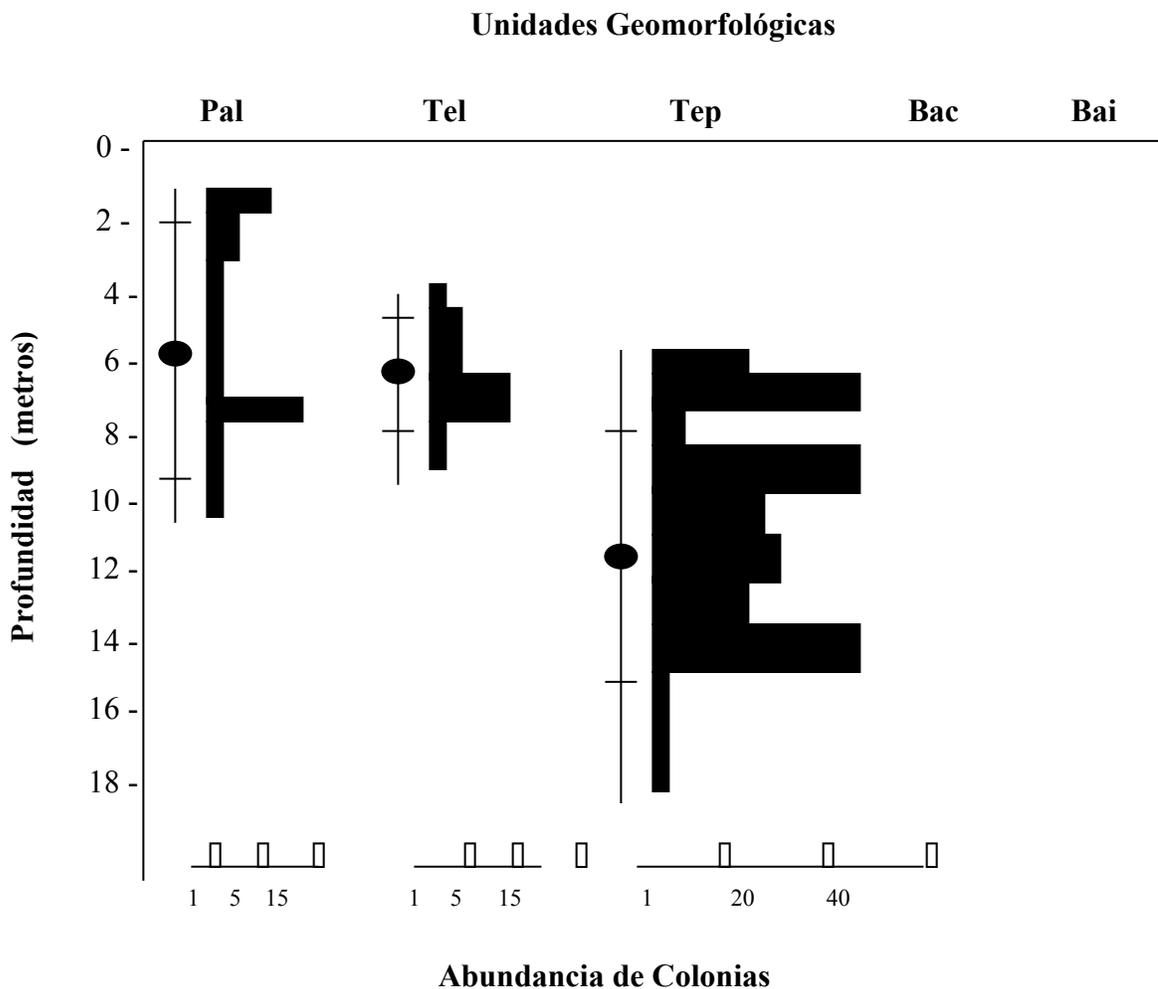
**Figura 12.** Densidad de *Dendrogyra cylindrus* en las cinco unidades geomorfológicas. Tep (terrace prearrecifal, n = 246), Pal (cuenca lagunar con arrecifes de parche, n = 25) y Tel (terrace lagunar, n = 12). La barrera arrecifal interna (Bai) y la barrera arrecifal continua (Bac) no presentaron colonias.

La unidad ecológica de octocorales presento las mayores densidades de *Dendrogyra* 1336 ind/km<sup>2</sup>, siendo sin embargo la unidad con la menor área disponible 4.10 km<sup>2</sup> (Fig. 13). Las otras unidades ecológicas con mayor área disponible como arena, corales mixtos y macroalgas presentan bajas densidades de esta especie.



**Figura 13.** Densidad de *Dendrogyra cylindrus* en las unidades ecológicas del complejo arrecifal de Providencia. Note como la mayor densidad se encuentra hacia las zonas en verde claro que corresponden a la unidad ecológica de octocorales.

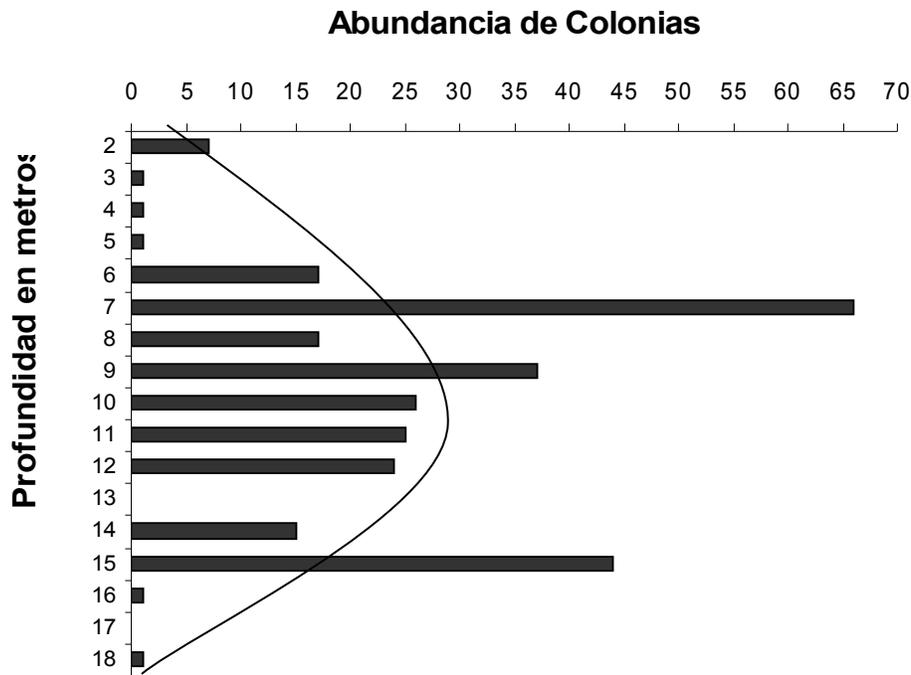
El rango de distribución vertical de *Dendrogyra cylindrus* en Providencia fue entre 1.5m y 18m de profundidad logrando mayores abundancias relativas a 7, 9 y 15m (Fig. 14). El promedio de profundidad para la especie en todo el complejo arrecifal fue de  $9.94 \pm 3.25$  m (n = 283). La distribución vertical de la especie esta limitada por la geomorfología del fondo y la escasa profundidad de la terraza lagunar.



**Figura 14.** Distribución vertical y abundancia de *D. cylindrus* respecto a la profundidad en cada unidad geomorfológica. Se encontraron diferencias

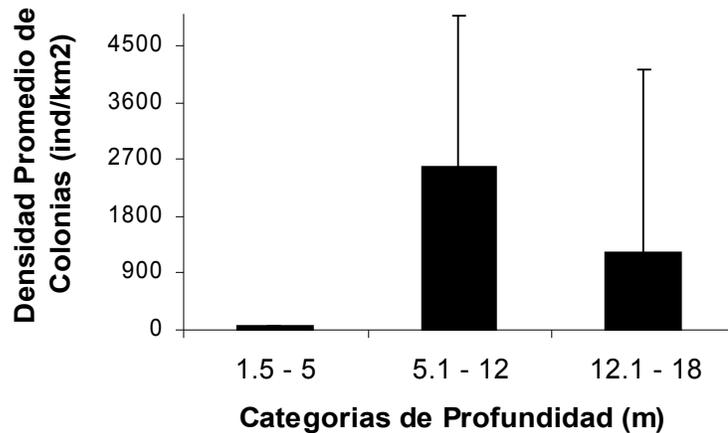
significativas entre la profundidad de *D. cylindrus* y las unidades geomorfológicas ( $p = 1.565 \times 10^{-14}$ , Kruskal Wallis,  $n = 283$ ;  $p = 2.996 \times 10^{-21}$ , ANOVA simple,  $n = 283$ ). Siendo mayor en terraza prearrecifal ( $10.55 \pm 2.93$ ,  $n = 246$ ) que en terraza lagunar ( $6.41 \pm 1.56$ ,  $n = 12$ ) y cuenca lagunar con arrecifes de parche ( $5.60 \pm 2.41$ ,  $n = 25$ ;  $p < 0.05$  T'-Tukey Kramer y GT2,  $n = 283$ ; Sokal & Rohlf, 1995). En líneas verticales se indican los promedios, desviaciones estándar y valores máximos y mínimos de profundidad por unidad geomorfológica. Las barras en negro muestran la abundancia de colonias por profundidad. Pal (Cuenca lagunar con arrecifes de parche;  $n = 25$ ), Tel (Terraza lagunar;  $n = 12$ ) y Tep (Terraza prearrecifal;  $n = 246$ ). La barrera arrecifal continua (Bac) y barrera arrecifal interna (Bai) no presentaron colonias de *Dendrogyra cylindrus*.

La abundancia de *D. cylindrus* con la profundidad parecería seguir un patrón de distribución normal; con pocas colonias en los extremos a menos de 5m y a más de 16m de profundidad y gran número de colonias entre 6 y 15m (Fig. 15).



**Figura 15.** Abundancia de colonias de *Dendrogyra cylindrus* con relación a la profundidad. Los datos incluyen 3 de las 5 unidades geomorfológicas donde la especie estuvo presente ( $n = 283$ ).

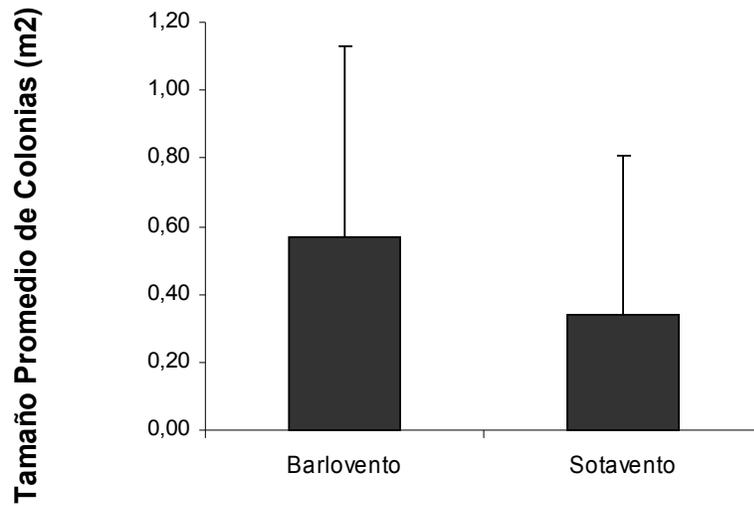
La densidad de *Dendrogyra*, al igual que la abundancia no presento diferencias significativas en cuanto a la profundidad, sin embargo la mayor densidad de colonias se obtuvo entre 5.1 – 12m con  $2500 \pm 2396$  ind/km<sup>2</sup> (Fig. 16).



**Figura 16.** Densidad promedio de colonias de *Dendrogyra cylindrus* por profundidad. La densidad no presento diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las categorías de profundidad: 1.5-5m ( $n = 10$ ), 5.1-12m ( $n = 211$ ) y 12.1-18m ( $n = 62$ ).

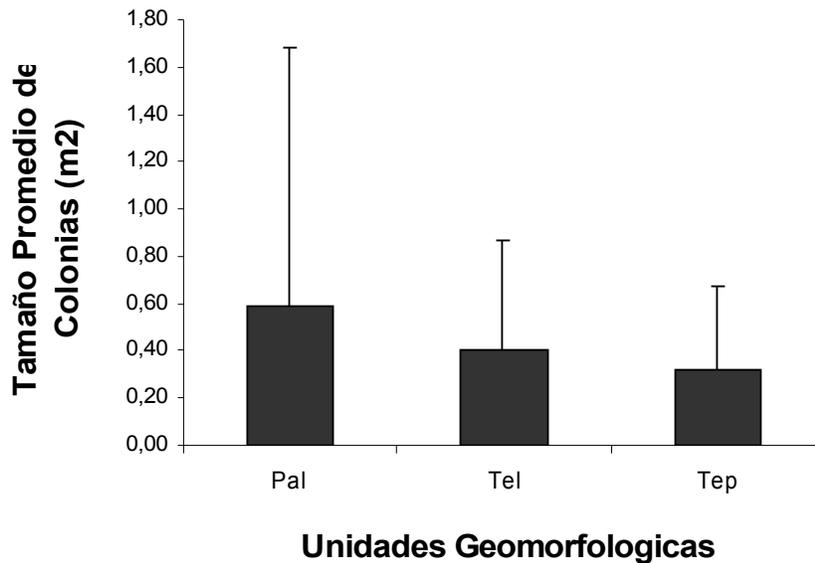
### Tamaño de Colonias

El tamaño de las colonias tuvo un área promedio de  $0.346 \pm 0.476$  m<sup>2</sup> en el complejo arrecifal. Las colonias en barlovento aunque fueron pocas, obtuvieron un tamaño mayor por colonia, ( $0.57 \pm 0.56$  m<sup>2</sup>,  $n = 10$ ) respecto a sotavento ( $0.34 \pm 0.47$  m<sup>2</sup>,  $n = 273$ ; Fig. 17).



**Figura 17.** Tamaño promedio de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* entre Barlovento (n = 10) y Sotavento (n = 273). Se encontraron diferencias significativas en el tamaño de las colonias siendo mayor en barlovento ( $p = 3.41 \times 10^{-15}$ , t-Student, n = 283;  $p = 0.0132$ , Mann Whitney, n = 283).

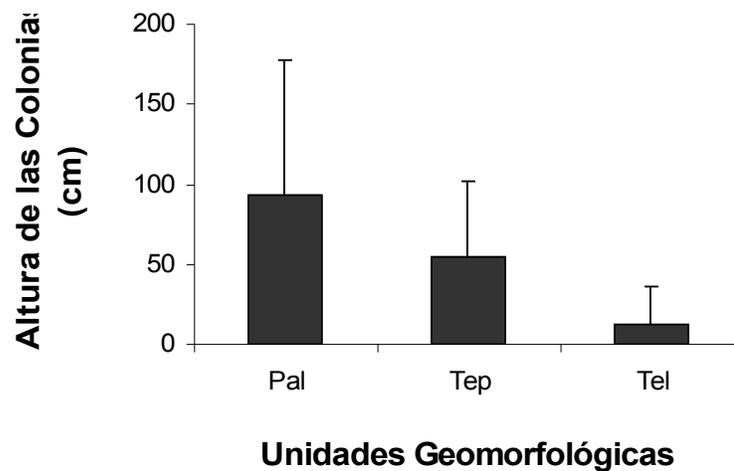
El tamaño de las colonias entre las unidades geomorfológicas fue significativamente mayor para los individuos encontrados en cuenca lagunar con arrecifes de parche (n = 25; Fig. 18).



**Figura 18.** Comparación del área promedio de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* en cada una de las unidades geomorfológicas. El tamaño de las colonias fue

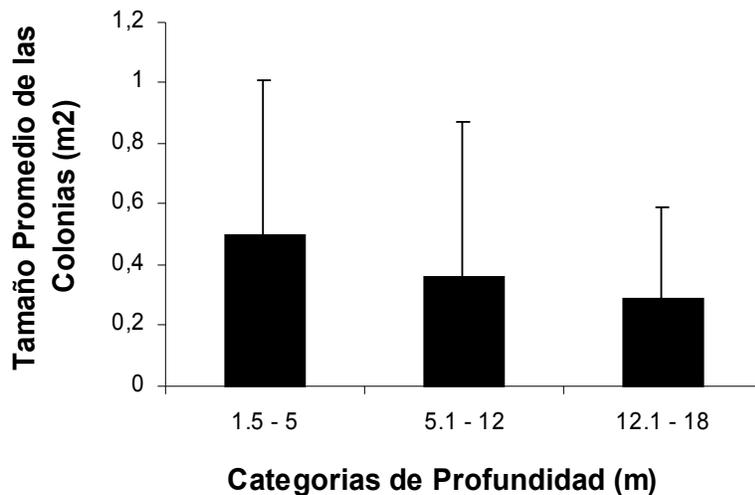
significativamente diferente entre las unidades geomorfológicas ( $p = 0.0007$ , Kruskal-Wallis,  $n = 283$ ;  $p = 0.0005$ , ANOVA simple,  $n = 283$ ); siendo mayor en cuenca lagunar con arrecifes de parche ( $0.59 \pm 1.09 \text{ m}^2$ ,  $n = 25$ ) seguido por terraza lagunar ( $0.40 \pm 0.47 \text{ m}^2$ ,  $n = 12$ ) y la terraza prearrecifal ( $0.32 \pm 0.36 \text{ m}^2$ ,  $n = 246$ ;  $p < 0.05$  T'-Tukey Kramer y GT2,  $n = 283$ ; Sokal & Rohlf, 1995). Pal (cuenca lagunar con arrecifes de parche), Tel (terracea lagunar) y Tep (terracea prearrecifal).

La altura de las colonias también fue significativamente diferente entre unidades geomorfológicas. Con un promedio para el complejo de  $55.80 \pm 50.82 \text{ cm}$ , donde las colonias de parche en la laguna evidenciaron las mayores alturas ( $65.84 \pm 62.83 \text{ cm}$ ,  $n = 25$ ; Fig. 19).



**Figura 19.** La altura promedio de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* fue significativamente diferente entre unidades geomorfológicas ( $p = 0.0167$ , Kruskal-Wallis,  $n = 236$ ;  $p = 0.0114$ , ANOVA simple,  $n = 236$ ). Siendo mayor en cuenca lagunar con arrecifes de parche ( $93.75 \pm 84.33 \text{ cm}$ ,  $n = 8$ ) que en terraza prearrecifal ( $54.47 \pm 47.53 \text{ cm}$ ,  $n = 221$ ) y terraza lagunar ( $12.88 \pm 23.60 \text{ cm}$ ,  $n = 7$ ;  $p < 0.05$  T'-Tukey Kramer y GT2  $n = 236$ ; Sokal & Rohlf, 1995). Pal (cuenca lagunar con arrecifes de parche), Tel (terracea lagunar) y Tep (terracea prearrecifal).

El tamaño de las colonias presento sin embargo una relación inversa con la profundidad, encontrando las colonias mas grandes entre 1.5 – 5 m (Fig. 20).



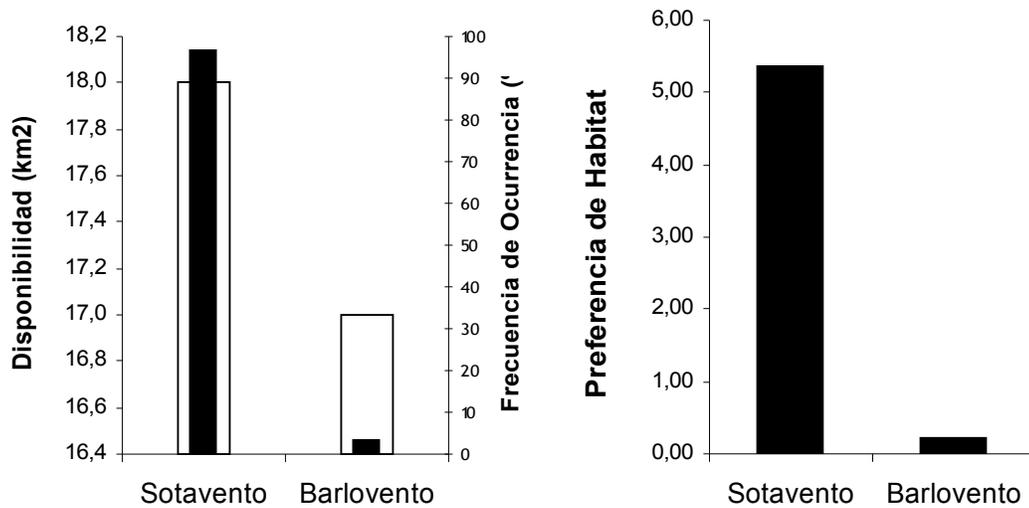
**Figura 20.** Tamaño promedio de las colonias (m<sup>2</sup>) por categorías de profundidad. El área de las colonias fue significativamente diferente con la profundidad ( $p = 0.0035$ , Kruskal-Wallis,  $n = 283$ ;  $p = 0.0014$ , ANOVA simple,  $n = 283$ ). Siendo mayor entre 1.5 y 5 m ( $0.50 \pm 0.51$  m<sup>2</sup>,  $n = 10$ ) que a 5.1 y 12 m ( $0.36 \pm 0.51$  m<sup>2</sup>,  $n = 211$ ) y entre 12.1 y 18 m de profundidad ( $0.29 \pm 0.30$  m<sup>2</sup>,  $n = 62$ ;  $p < 0.05$  T'-Tukey Kramer y GT2  $n = 283$ ; Sokal & Rohlf, 1995).

### Preferencia de Hábitat

*Dendrogyra cylindrus* prefiere sotavento, ya que el área disponible de esta zona respecto a barlovento fue de 51% y la frecuencia de uso en sotavento por la especie fue del 96%, lo cual se ajusta al criterio de preferencia según el cual un hábitat que constituya el 20 % de disponibilidad en área y este siendo usado más del 20% de las veces por la especie, esta siendo preferido por esta (Fig. 21).

**A**

**B**

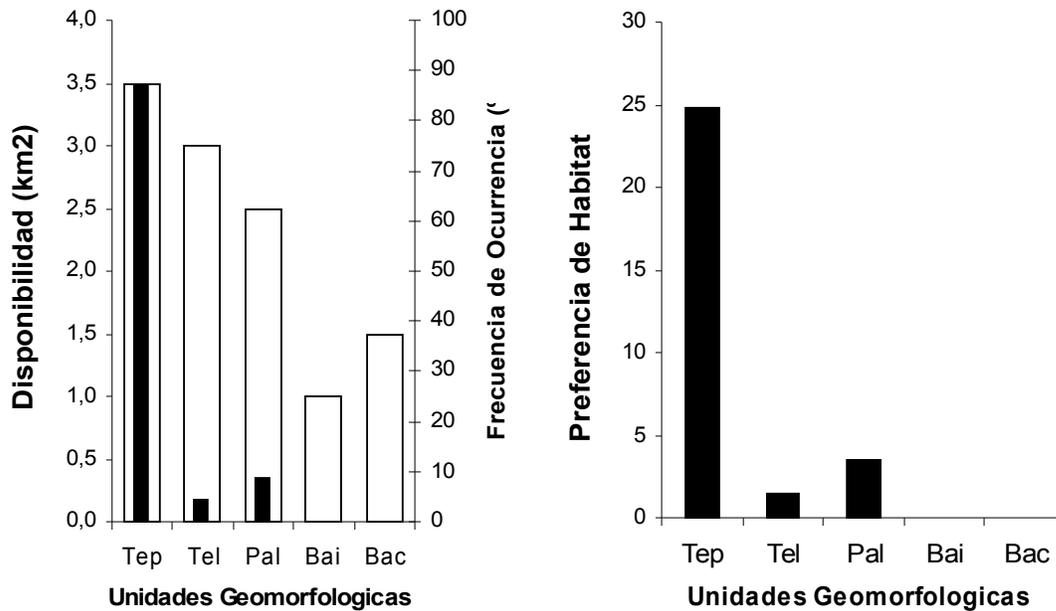


**Figura 21.** A. Disponibilidad de área (km<sup>2</sup>) para sotavento y barlovento (barras en blanco) y frecuencia de ocurrencia de *Dendrogyra cylindrus* (barras negras). B. preferencia de hábitat de *D. cylindrus* por el lado protegido. Note la preferencia de *Dendrogyra* por sotavento pese a que esta zona es equivalente en área disponible a barlovento. La preferencia de hábitat resulta de dividir el porcentaje de ocurrencia entre el área disponible.

Entre las unidades geomorfológicas *Dendrogyra cylindrus* prefiere la terraza prearrecifal, la cual tiene un 30.4% de área disponible y esta siendo utilizada en un 86.9 % (Fig. 22). En esta unidad se encontró la mayor abundancia de colonias de todo el arrecife (1000-1500 ind/km<sup>2</sup>).

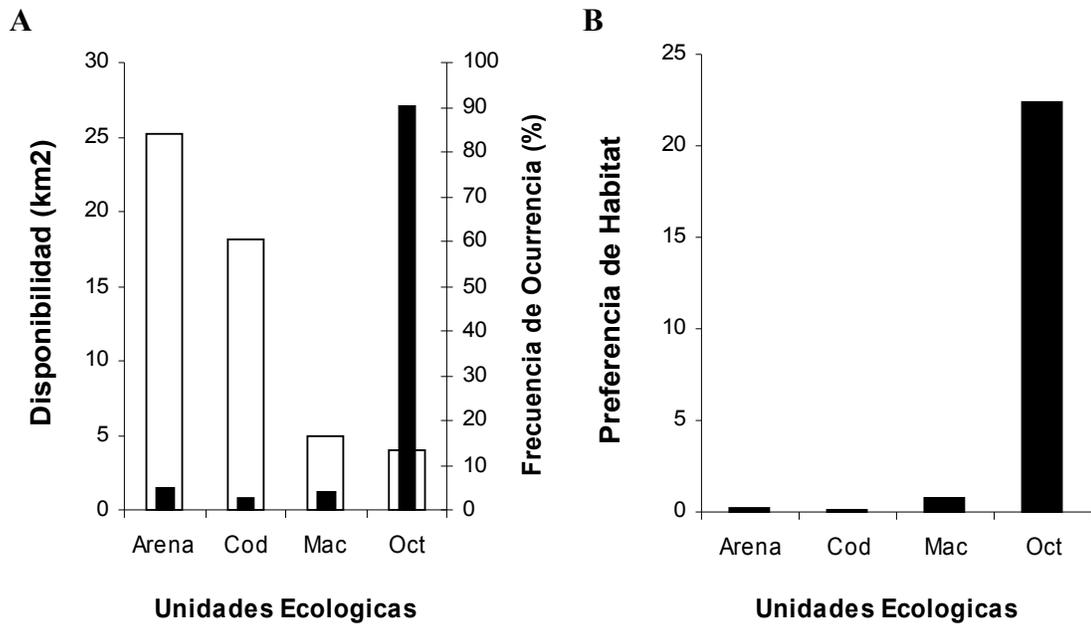
**A**

**B**



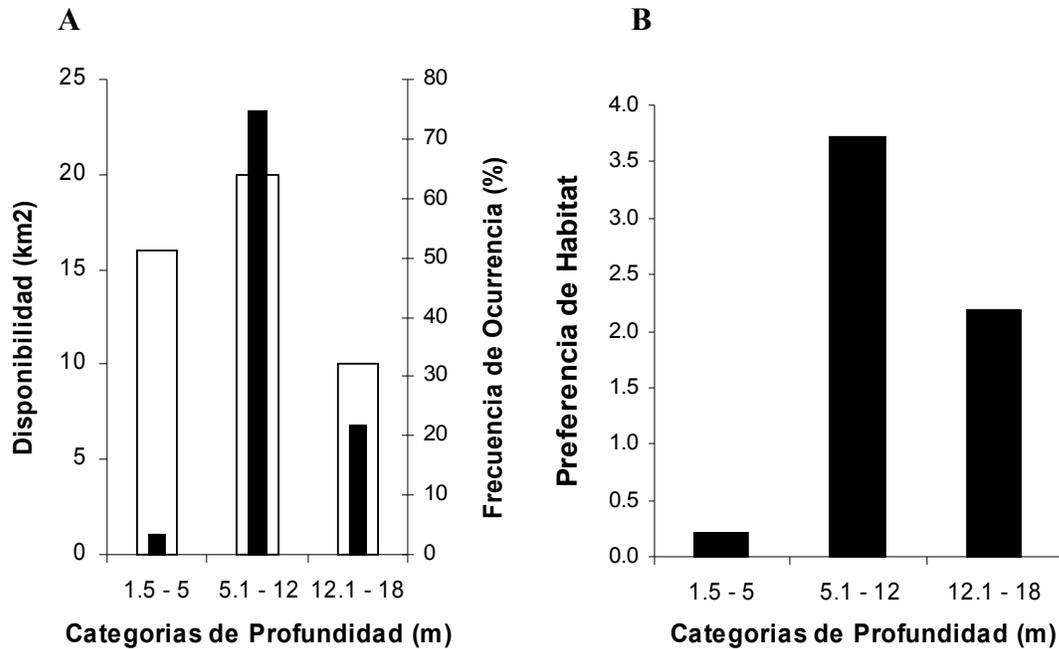
**Figura 22.** A. Disponibilidad de área (km<sup>2</sup>) para las unidades geomorfológicas (barras en blanco) y frecuencia de ocurrencia de *Dendrogyra cylindrus* (barras negras). B. Preferencia de hábitat de *D. cylindrus* por la terraza prearrecifal. Las unidades geomorfológicas donde la especie estuvo presente fueron: Tep (terrace prearrecifal; n = 246), Tel (terrace lagunar; n = 12) y Pal (cuenca lagunar con arrecifes de parche; n = 25). En barrera arrecifal interna (Bai) y barrera arrecifal continua (Bac) no se presentaron colonias de *D. cylindrus*.

El hábitat preferido por *D. cylindrus* se encontró principalmente en la unidad ecológica compuesta por octocorales (Fig. 23). Esta unidad que solo se encuentra en la zona de sotavento, tiene un área disponible del 4.4% frente a las otras unidades ecológicas y su porcentaje de uso por parte del coral es del 89.8 %, lo cual claramente indica su preferencia.



**Figura 23.** A. Disponibilidad de área (km<sup>2</sup>) para las unidades ecológicas (barras en blanco) y frecuencia de ocurrencia de *Dendrogyra cylindrus* (barras negras). B. Preferencia de hábitat de *D. cylindrus* por octocorales. Las unidades ecológicas donde la especie estuvo presente fueron: Arena (n = 13), Cod (corales mixtos; n = 6), Mac (macroalgas; n = 11) y Oct (Octocorales; n = 253).

*Dendrogyra cylindrus* prefiere dos de las tres categorías arbitrarias de profundidad, principalmente entre 5.1-12m y 12.1-18m (Fig. 24).



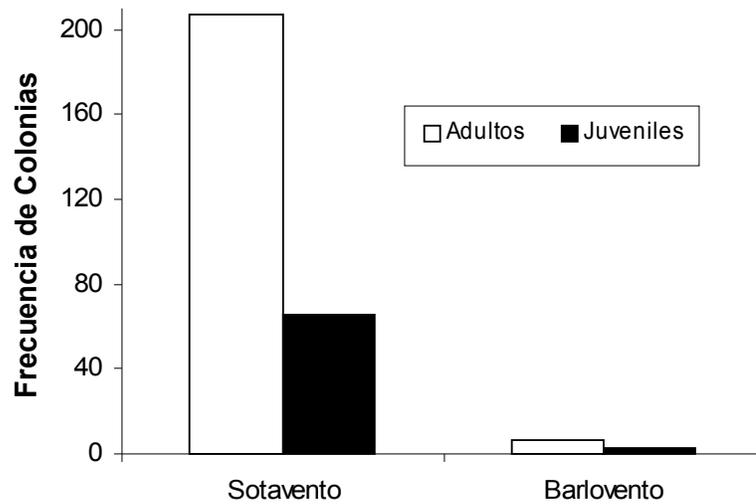
**Figura 24.** A. Disponibilidad de área (km<sup>2</sup>) para las categorías de profundidad (barras en blanco) y frecuencia de ocurrencia de *Dendrogyra cylindrus* (barras negras). B. Preferencia de hábitat de *D. cylindrus* por profundidad entre 5.1 y 18m, ya que los utiliza mas del 20% de las veces.

Las colonias de *Dendrogyra cylindrus* colonizan con igual abundancia cascajo coralino (n = 151) y coral muerto (n = 132; p = 0.9124 t-Student, n = 283; p = 0.4320, Mann Whitney, n = 283).

La comunidad de *D. cylindrus* no depende de la comunidad asociada (p = 0.6436, Análisis de frecuencia Rx C, n = 283). No obstante, el mayor número de colonias se encontró presente en hábitats dominados por octocorales (n = 133 colonias)

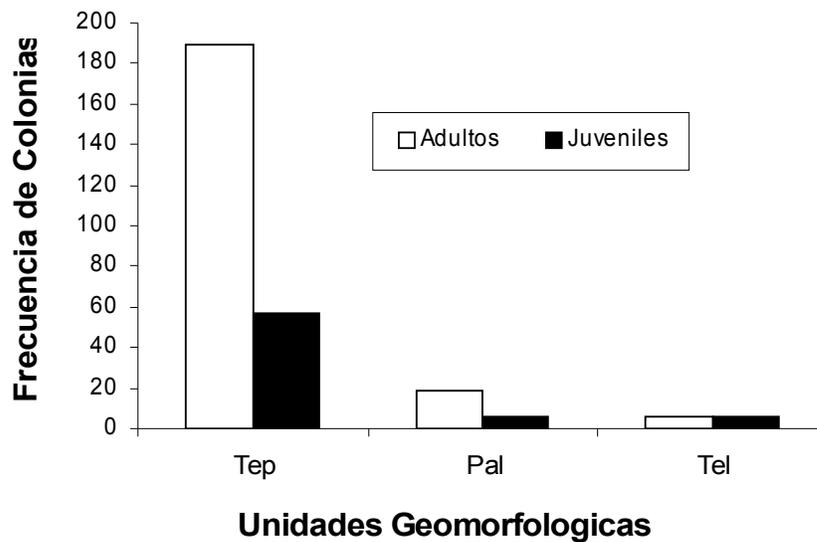
### Estructura Poblacional

La mayor parte de la población muestreada estuvo compuesta por adultos 71.7 % (n = 283) o colonias mayores a 16 cm de alto (n = 203) y por muy pocos juveniles (28.26%; < 15 cm de alto, n = 80). La relación entre adultos y juveniles en sotavento fue 1: 3.1 y para barlovento 1: 2.3 (Fig. 25). La frecuencia de colonias (adultos y juveniles) depende de su ubicación en el arrecife (p = 0.0436, Análisis de frecuencia Rx C, n = 283).



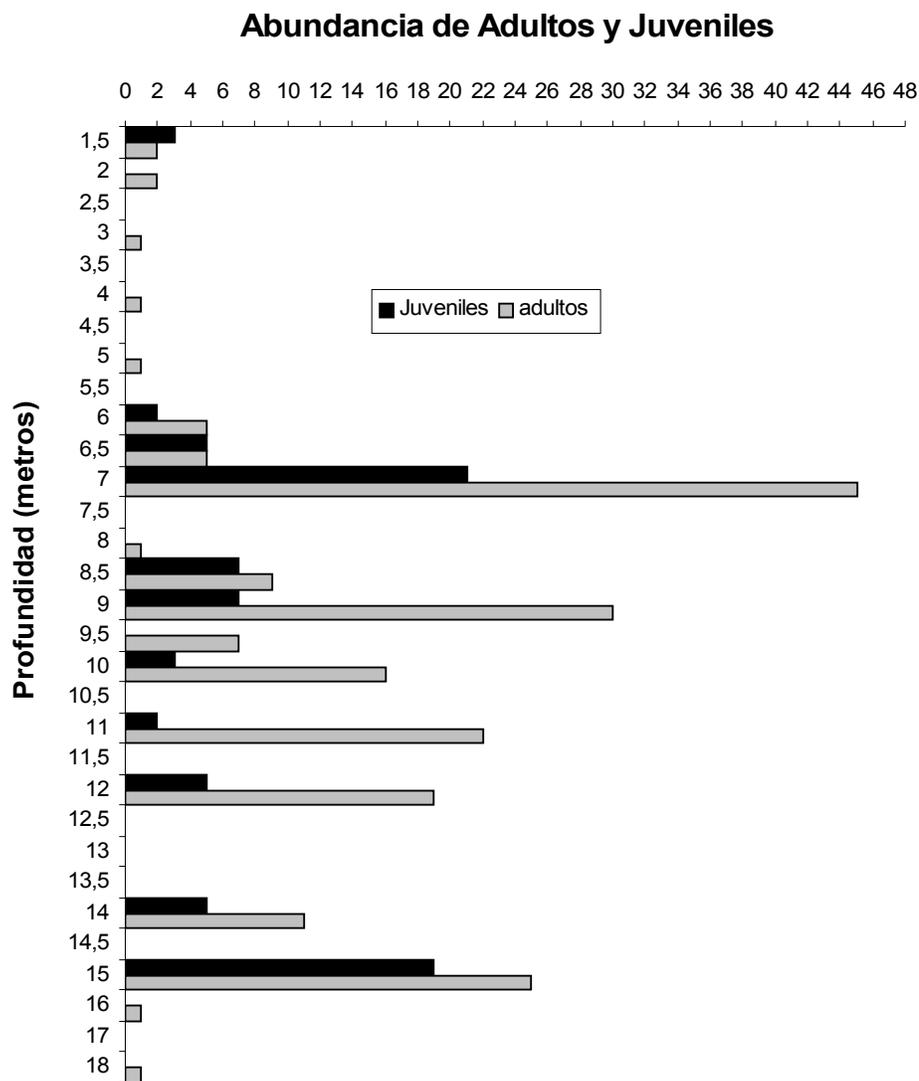
**Figura 25.** Comparación de la abundancia de adultos y juveniles entre sotavento y barlovento.

De igual forma la frecuencia de colonias (adultos y juveniles) depende de la unidad geomorfológica ( $p = 0.037$ , Análisis de frecuencia RxC,  $n = 283$ ), siendo mayor en la terraza prearrecifal (Fig. 26)



**Figura 26.** Comparación de la frecuencia de colonias por categorías de tamaños entre unidades geomorfológicas. (Tep) terraza prearrecifal, Pal (cuenca lagunar con arrecifes de parche) y Tel (terrazza lagunar).

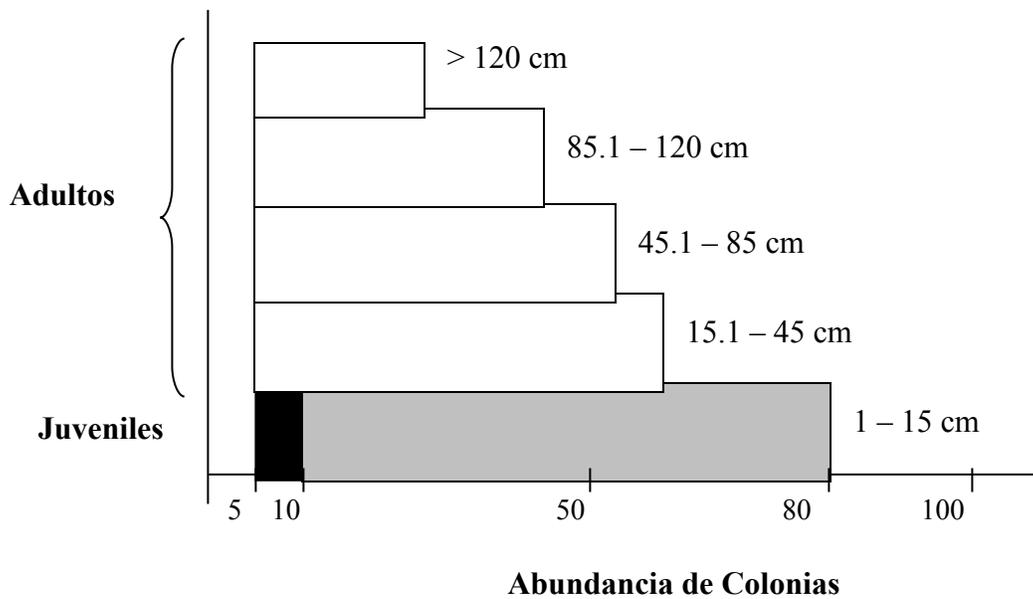
Los juveniles (incluyendo fragmentos) fueron mas abundantes a los 7 y 15m de profundidad (Fig. 27) y coincidieron con el patrón de abundancia presentado por los adultos.



**Figura 27.** Abundancia total de juveniles (n = 80) y adultos (n = 203) de *Dendrogyra cylindrus* y su relación con la profundidad. Los datos incluyen 3 de las 5 unidades geomorfológicas donde la especie estuvo presente (n = 283).

El lugar en el complejo arrecifal con mayor numero de juveniles fue Tete's Place, ubicado a sotavento sobre la terraza prearrecifal, a una profundidad de 7 m con dominancia de octocorales y cascajo coralino. El 87.5% de los juveniles (n = 70 de

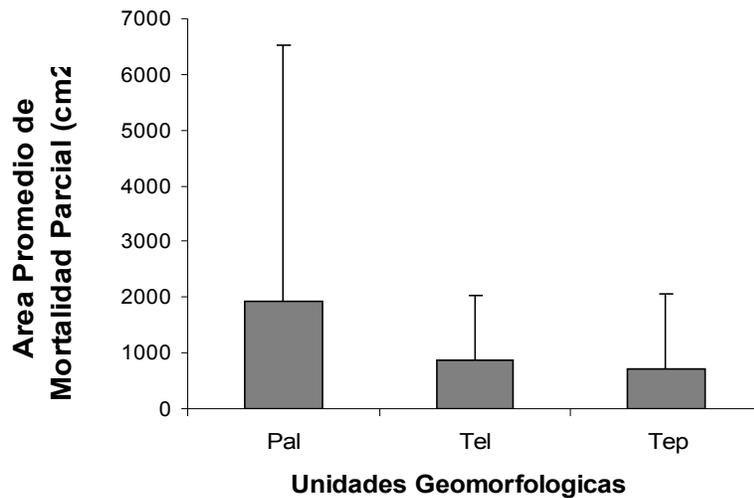
283) han sido originados mediante fragmentación o rompimiento de columnas. La caída de las colonias de mayor tamaño fue causada por *Diadema antillarum* y el de las columnas por huracanes, tormentas y acción antrópica como por ejemplo anclas de botes. Del total de los juveniles se cree que 10 se originaron por reproducción sexual debido a su forma de crecimiento, en donde la base de la colonia era incrustante y no columnar. La estructura de tamaños de la población de *Dendrogyra cylindrus* sugiere que la población esta en crecimiento, ya que los juveniles podrán en el tiempo reemplazar a los adultos (Fig. 28). Además la estructura de tamaños apunta a que la reproducción asexual es el mecanismo que mantiene las poblaciones de *Dendrogyra cylindrus* en Providencia.



**Figura 28.** Estructura poblacional de *Dendrogyra cylindrus*. Se consideraron juveniles las colonias menores a 15 cm de alto. En gris se presentan los reclutas originados mediante fragmentación (n = 70). En negro se observan los posibles reclutas por reproducción sexual (n = 10). Los adultos fueron divididos arbitrariamente en cuatro categorías de altura: 15-45 cm (n = 67), 45.1-85 cm (n = 60), 85.1-120 cm (n = 47) y > 120 cm (n = 30 colonias).

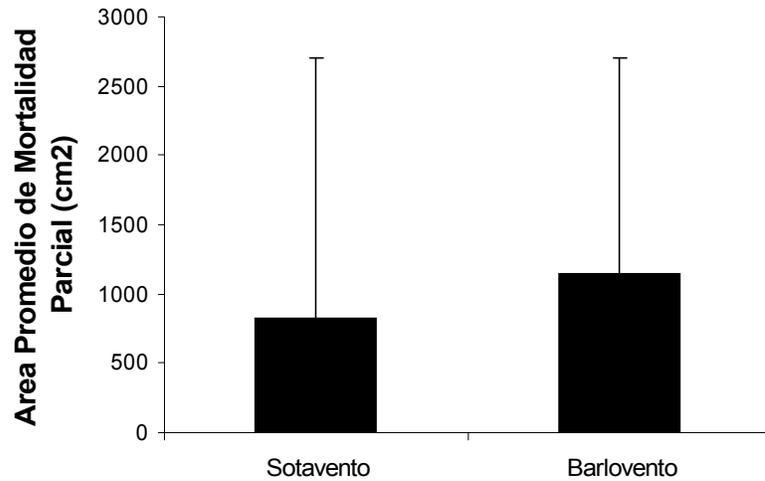
### Estado de salud

El 65.3% de las colonias en la población (n = 185 de 283) presentó algún grado de mortalidad parcial. Sin embargo el porcentaje de tejido muerto por colonia fue bajo (3.2%). El área de mortalidad parcial en las colonias de *D. cylindrus*, presentó valores promedios de  $835.79 \pm 1870.13 \text{ cm}^2$  y disminuyó respecto a las unidades geomorfológicas en el siguiente orden: cuenca lagunar con arrecifes de parche, terraza lagunar y con menor mortalidad parcial la terraza prearrecifal (Fig. 29). No se observó ninguna colonia muerta en pie o con mortalidad total.



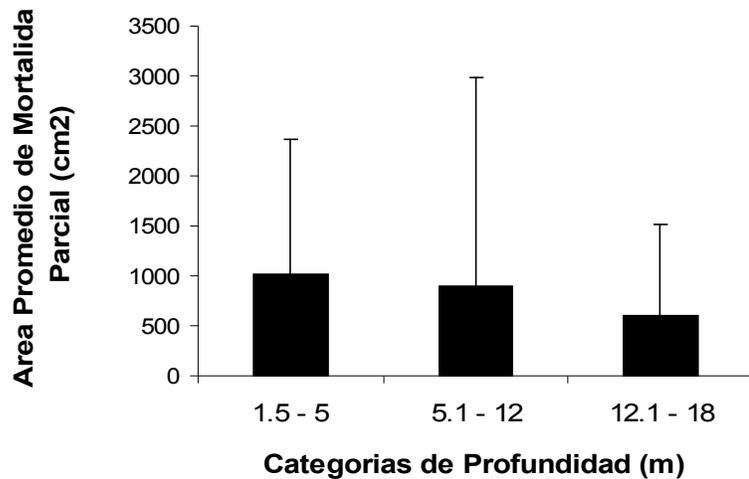
**Figura 29.** Área promedio de mortalidad parcial de las colonias de *D. cylindrus* por unidad geomorfológica. La mortalidad parcial fue significativamente diferente entre las unidades geomorfológicas ( $p = 0.0453$ , ANOVA simple,  $n = 236$ ). Siendo mayor en cuenca lagunar con arrecifes de parche ( $1935.84 \pm 4583.59 \text{ cm}^2$ ,  $n = 8$ ) que en terraza lagunar ( $865.18 \pm 1174.07 \text{ cm}^2$ ,  $n = 7$ ) y terraza prearrecifal ( $722.56 \pm 1330.13 \text{ cm}^2$ ,  $n = 221$ ;  $p < 0.05$  T'-Tukey Kramer y GT2,  $n = 283$ ; Sokal & Rohlf, 1995). Las categorías para las unidades geomorfológicas fueron: cuenca lagunar con arrecifes de parche (Pal), terraza prearrecifal (Tep) y terraza lagunar (Tel).

El área de mortalidad parcial no presentó diferencias significativas entre sotavento ( $n = 273$ ) y barlovento ( $n = 10$ ; Fig. 30). Sin embargo la mayor proporción de colonias afectadas se encontró en barlovento.



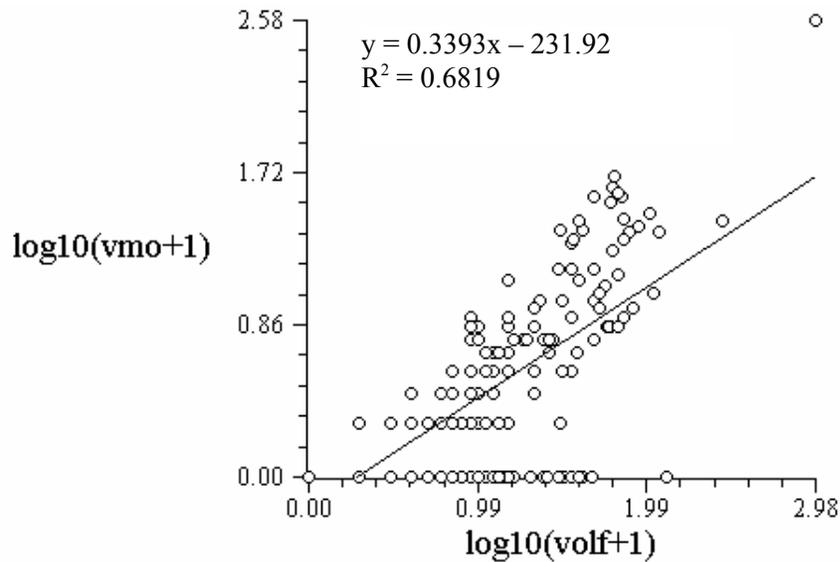
**Figura 30.** Área promedio de mortalidad parcial de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* en sotavento (n = 178) y barlovento (n = 7). No hay diferencias significativas entre las dos zonas (p = 0.114, t-Student, n = 283; p = 0.132, Mann Whitney, n = 283).

La frecuencia y área de colonias de *Dendrogyra cylindrus* con mortalidad parcial no presento diferencias significativas con la profundidad (Fig. 31).



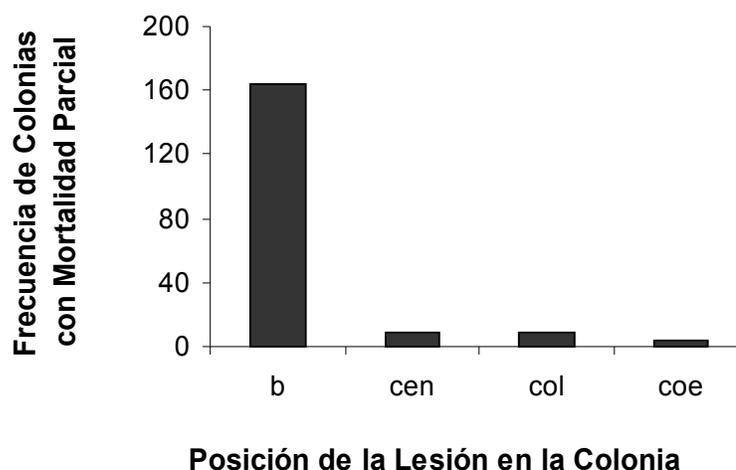
**Figura 31.** Área promedio de mortalidad parcial de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* por rangos de profundidad. No se encontraron diferencias significativas entre el área de mortalidad parcial y la profundidad (p = 0.230, ANOVA simple, n = 283). La abundancia de colonias para las tres categorías fue 6, 146 y 33 respectivamente.

La mortalidad parcial se correlacionó directa y positivamente con el tamaño de las colonias (Fig. 32).



**Figura 32.** Relación entre el área de mortalidad parcial en colonias de *Dendrogyra cylindrus* (vmo; m<sup>2</sup>) y el área total de la colonia (volf; m<sup>2</sup>). Se encontró una relación lineal positiva y significativa entre las dos variables ( $p = 6.232 \times 10^{-50}$ , regresión lineal simple,  $n = 283$ ).

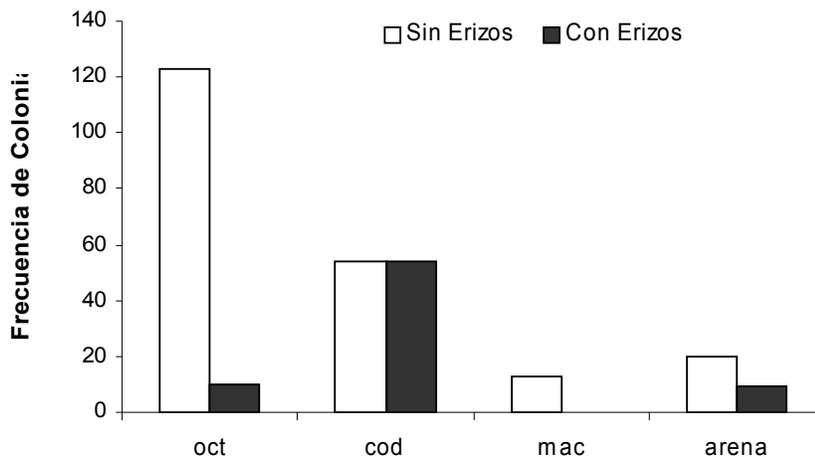
El 58% de las colonias ( $n = 164$  de 185) presentaron mortalidad parcial en la base y muy poca mortalidad parcial en otras zonas de la colonia (Fig. 33).



**Figura 33.** Frecuencia total de colonias de *Dendrogyra cylindrus* con lesión en la base de la colonia (b; n = 164), entre columnas (cen; n = 9), en la columna (col; n = 9) y en las columnas emergentes (coe; n = 4).

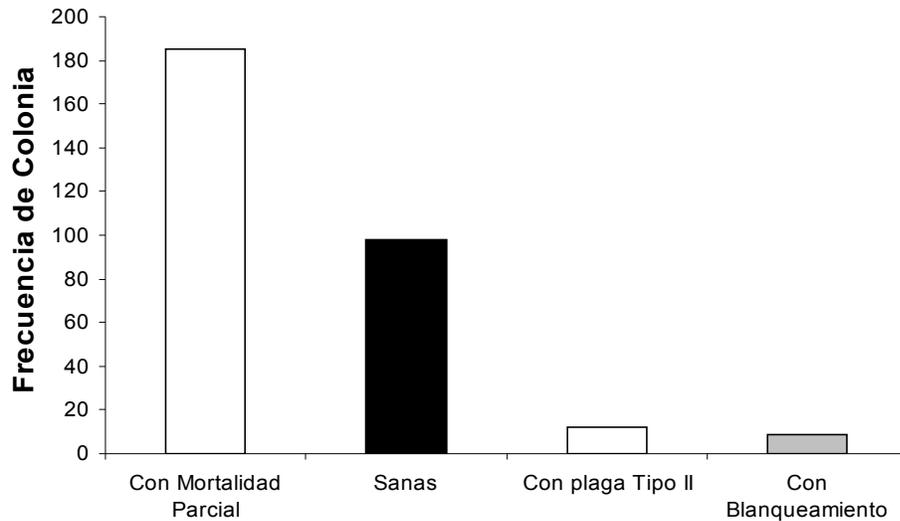
El 25.8% de las colonias (n = 73 de 283) de *Dendrogyra cylindrus* presentaron *Diadema antillarum* bioerosionando las bases. La bioerosión causa grandes huecos, lo que debilita la base de soporte de la colonia y conlleva a su caída y posible muerte total o parcial de las colonias y fragmentos en el tiempo.

La presencia de *Diadema antillarum* fue observada únicamente en colonias de *Dendrogyra cylindrus* en sotavento. Se comprobó la dependencia entre la presencia de *Diadema antillarum* y la comunidad asociada entorno a las colonias, siendo el hábitat de coral mixto disperso donde se observó mayor presencia de erizos en las colonias. El hábitat dominado por octocorales presentó relativamente baja incidencia de *Diadema antillarum* (Fig. 34).



**Figura 34.** Frecuencia de colonias de *Dendrogyra cylindrus* con y sin *Diadema antillarum* en la base de las colonias según la comunidad asociada. La presencia de *D. antillarum* depende de la comunidad asociada ( $p = 2.387 \times 10^{-14}$ , Análisis de frecuencia RxC,  $n = 283$ ). Las comunidades asociadas fueron: octocorales (oct), corales mixtos (cod), macroalgas (mac) y arena como entorno dominante. Note que la presencia de *Diadema antillarum* en las colonias de *Dendrogyra cylindrus* fue mayor en hábitats dominados por corales mixtos.

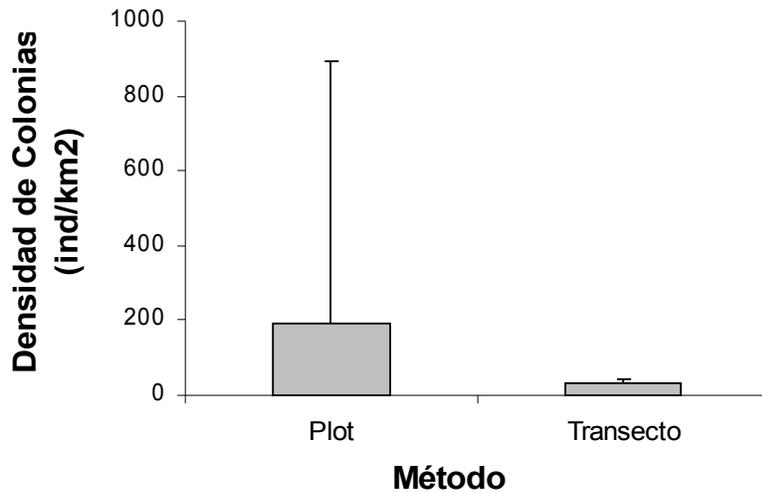
El 88.4% ( $n = 262$  de 283) de la población corresponde a colonias sanas. Solo el 7.4% ( $n = 21$  de 283) de las colonias presentaron enfermedades, de las cuales 12 exhibieron plaga tipo II y 9 con blanqueamiento (Fig. 35).



**Figura 35.** Frecuencia total de colonias de *Dendrogyra cylindrus* con mortalidad parcial (n = 185), sanas (n = 98), con plaga tipo II (n = 12) y con blanqueamiento (n = 9).

### Comparación de metodologías

Se encontraron diferencias significativas entre la densidad y el método de muestreo, plots vs. transectos de banda (Fig. 36). Igualmente, se comprobó la dependencia entre la densidad de colonias cuantificadas y la técnica de muestreo empleada ( $p = 1.517 \times 10^{-8}$ ,  $n = 44$ , Análisis de frecuencia RxC). La técnica de plots circulares generó un estimativo mas preciso de densidad. No obstante, la técnica menos precisa de Manta tow permitió una rápida localización de la población en un complejo arrecifal de gran extensión.



**Figura 36.** Densidad promedio de colonias de *Dendrogyra cylindrus* según la metodología utilizada durante los 44 muestreos realizados. Existe una diferencia significativa entre densidad de colonias y el método empleado ( $p = 9.510 \times 10^{-6}$   $n = 44$ , t-Student;  $p = 1.029 \times 10^{-8}$ ,  $n = 44$ , Mann-Whitney).

## 8. Discusión

Los datos obtenidos demuestran claramente que esta especie coralina prefiere las condiciones de sotavento, zona caracterizada por las leves corrientes. Una razón para mostrar esta marcada preferencia de *Dendrogyra cylindrus* es la baja tolerancia a la exposición al oleaje y a las fuertes corrientes, reafirmando las bajas densidades encontradas por Geister (1977) en barlovento en Providencia. Mientras que en la zona de sotavento en San Andrés, *Dendrogyra cylindrus* es un elemento característico de la fauna (Geister 1972). Las pocas colonias presentes en barlovento se encontraron en la unidad geomorfológica arrecifes de parche en la laguna la cual está protegida por la barrera, creando así condiciones similares a sotavento.

De acuerdo con Geister (1972), una de las razones que limita la existencia de *Dendrogyra* en barlovento no es precisamente el que el esqueleto del coral no esté bien adaptado a las condiciones de la zona, sino más bien, el gran tamaño de sus pólipos que se encuentran continuamente expandidos durante el día, contrario a los demás corales pétreos (Cairns 1982). A causa de las fuertes corrientes de barlovento

sería normal que los pólipos deban estar retraídos la mayor parte del tiempo; lo cual fue un evento común en las zonas donde las corrientes eran fuertes y constantes (Geister 1972). Mantener los pólipos retraídos por mucho tiempo implica menor alimento y por lo tanto el coral no logra prosperar (Geister 1972).

Igualmente *Dendrogyra* puede estar prefiriendo sotavento para evitar la fragmentación de sus columnas, la cual podría ser ocasionada por las corrientes de barlovento. De acuerdo con Highsmith (1982), si la fragmentación no es adaptativa, es de esperarse que el coral este presente en hábitats protegidos de fuertes corrientes y de la acción de las olas donde la presencia de tormentas y huracanes sea muy rara. Por otra parte la forma de crecimiento columnar del coral y el gran peso de cada columna (esqueleto de gran densidad), podría sugerir una adaptación para favorecer la reproducción asexual como si sucede en el caso de *Acropora palmata* (De Vantier & Endean 1989).

La distribución espacial característica de *Dendrogyra* a sotavento puede deberse también a que la unidad ecológica que el coral esta prefiriendo que es octocorales, se encuentra restringida a esta zona protegida en Providencia, no encontrando la especie condiciones similares en el hábitat de barlovento que le permitan sobrevivir. Estas desigualdades en los patrones de distribución pueden ser el resultado de las diferencias en los requerimientos ecológicos y las preferencias de hábitat de una especie (Raymond & Robertson 1980), tanto de octocorales como de *Dendrogyra*.

La preferencia de hábitat de *Dendrogyra cylindrus* se concentro en la unidad ecológica de octocorales, la cual tiene la menor disponibilidad de área dentro del arrecife respecto a las otras unidades ecológicas. La unidad de octocorales, característica de la parte profunda de las terrazas prearrecifales de los complejos oceánicos, consiste en un hábitat dominado principalmente por sedimentos y escombros sobre los que se desarrollan abundantemente octocorales, esponjas y muy pocos corales escleractineos (Díaz *et al.* 2000).

La preferencia de *Dendrogyra cylindrus* por zonas con octocorales puede deberse a la menor probabilidad de competencia con corales petreos ya que estos últimos no pueden sobrevivir en zonas con altas tasas de sedimentación y resuspensión. Dentro de ciertos límites, *Dendrogyra cylindrus* se libera del sedimento mediante la secreción de mucus y la acción ciliar de sus tentáculos. Igualmente, los pólipos de gran tamaño propios de esta especie (Cairns 1982) se reportan como más eficientes en la expulsión de las partículas de sedimento (Dodge & Vaisnys 1977). La alta sedimentación no solo favorecería la ausencia de otros corales sino que maximizaría la presencia de *Dendrogyra* dada su habilidad por el tamaño de pólipos y forma colonial para deshacerse del sedimento (Bak & Elgershuizen 1976). Entre los factores mas importantes que determinan la abundancia, tamaño y distribución espacial de los corales se encuentra la sedimentación (Dodge & Vaisnys 1977). Si *Dendrogyra cylindrus* soportara altos niveles de sedimentación, lo cual aun no se ha demostrado del todo, le daría a la especie una gran ventaja competitiva sobre las otras especies coralinas.

Otro factor que puede incidir en la preferencia de *Dendrogyra* por la unidad ecológica de octocorales con baja presencia de corales, es la dependencia existente entre *Diadema antillarum* y la comunidad de corales mixtos. Este erizo, que busca refugio entre los corales, puede destruir adicionalmente en el proceso las colonias y esqueletos a largo plazo. *Diadema antillarum* es considerado un agente bioerosionador ya que causa el fraccionamiento de las colonias como se observo en *Dendrogyra cylindrus*. Este erizo es clasificado como “croppers” por la forma en que se alimenta y el efecto que tiene sobre las colonias de coral, al partirlas y separarlas en fragmentos. Este tipo de organismo consume el tejido y el esqueleto durante el proceso (Hiatt & Strasburg 1960). Risk (1978) sugiere que la bioerosión puede determinar el tamaño máximo que alcancen las colonias mediante la destrucción de sus bases, lo cual las hace menos resistentes ante un huracán o tormenta. De acuerdo con Lessios *et al.* (1984), el erizo negro *Diadema antillarum* normalmente es muy

abundante en los arrecifes del Caribe. Sus hábitos alimenticios afectan directamente la geomorfología y ecología de los arrecifes de coral. Se cree que *Diadema* erosiona mas carbonato de calcio del esqueleto de un arrecife que cualquier otro organismo que se alimente de coral vivo (Sammarco & Williams 1982). El daño observado en colonias de *Dendrogyra cylindrus* es impresionante al punto que se podría postular como hipótesis que este erizo determina el proceso de crecimiento de la colonia y sucesión de la comunidad asociada a esta.

La preferencia de *Dendrogyra* por hábitats donde dominan comunidades de octocorales pudo causar el patrón de distribución agrupada que presento la especie. Este tipo de distribución refleja un patrón de heterogeneidad del hábitat como por ejemplo la concentración espacial del recurso ya que puede obedecer a la ubicación en parches de esta unidad que el coral esta seleccionando (Brower *et al.* 1998).

En la terraza prearrecifal *D. cylindrus* logro la mayor densidad respecto a las otras unidades geomorfológicas ya que contiene las colonias mas pequeñas dentro del complejo arrecifal. El menor tamaño de las colonias puede deberse al alto reclutamiento (hábitat favorable) o a la mayor cantidad de disturbios presentes que ocasionan una mayor fragmentación (hábitat desfavorable). De acuerdo con DeVantier & Enean (1989), el daño ocasionado por disturbios es considerado ser el mejor mecanismo para la disminución del tamaño de las colonias por fisión, fragmentación y mortalidad parcial de los corales. Además la especie *Dendrogyra cylindrus* puede estarse viendo afectada por el disturbio de tipo antropogénico como el trafico de lanchas, anclas y buzos. Por todo ello no se puede asegurar que la terraza sea el hábitat optimo para *Dendrogyra*, ya que altas densidades pueden también estar presentes en pobres pero no mejores hábitats (Stanley & Gutzwiller 1994). Estudios de monitoreo son necesarios para saber cual de las dos alternativas es la correcta.

El menor tamaño de las colonias también puede afectar la reproducción. De acuerdo con Szmant (1986), especies como *D. cylindrus*, aparentemente retardan su

reproducción hasta que la colonia haya alcanzado un tamaño mínimo, mientras el coral incrementa las opciones de sobrevivir, por lo tanto el esfuerzo reproductivo de *D. cylindrus* puede estar severamente limitado por el menor tamaño de las colonias (Szmant 1986).

La menor talla podría también deberse a factores fisiológicos relacionados con la fotosíntesis que causan una menor tasa de crecimiento por menor exposición a la luz (Prahl & Erhardt 1985), lo cual podría estar explicando el menor tamaño promedio de las colonias de *Dendrogyra cylindrus* que se encuentran a mayor profundidad en la terraza prearrecifal. Esta situación cobra importancia durante la época de lluvias donde la visibilidad del agua es pobre llegando a ser inferior a los 20 cm, disco secchi (Acosta obs. pers.). Los datos sugieren que a menor profundidad mayor es el tamaño de las colonias, lo cual es atribuido a la mayor disponibilidad de luz. Sin embargo a poca profundidad existen mayores disturbios, lo que implica una amenaza para estas colonias que podrían poseer el mayor esfuerzo reproductivo. Existe un trade-off entre la mayor cantidad de luz y el disturbio que determinan en la parte somera, el crecimiento y sobrevivencia de colonias de *Dendrogyra*. No obstante, las colonias grandes a baja profundidad se encontraron en los parches en la laguna, donde el tráfico de botes es menor así como el disturbio causado por estos (anclas). A mayores profundidades, entre 5 y 18m se encontró el rango de preferencia para *Dendrogyra*, debido tal vez a un menor impacto de disturbios naturales (corrientes, huracanes) lo que favorecería el reclutamiento (colonias pequeñas) y la baja tasa de mortalidad parcial encontrada.

*Dendrogyra cylindrus* puede estar prefiriendo la terraza por el tipo de sustrato (caliza) que este siendo seleccionando para el asentamiento de las larvas, lo cual explicaría por que la terraza prearrecifal tiene el mayor número de juveniles. El tipo de sustrato es uno de los mas importantes factores demostrados en la distribución espacial de los peces *Pomacentridae* (Raymond & Robertson 1980). Un particular tipo de sustrato

puede sostener diferentes especies a diferentes profundidades, o sitios con diferentes grados de inclinación y exposición al oleaje.

La menor área de mortalidad parcial encontrada en la terraza prearrecifal frente a las otras unidades geomorfológicas, puede estar favoreciendo la presencia de la especie en este hábitat. La mortalidad parcial es un elemento crucial en la regulación del tamaño de las colonias (Hughes 1984), una mayor tasa de mortalidad parcial implica un menor tamaño de las colonias. La mortalidad parcial en los corales depende y se incrementa con el tamaño de la colonia (Acosta 2001, Hughes & Jackson 1980), tal como se corroboró en este estudio para *Dendrogyra cylindrus*. En colonias pequeñas de *Dendrogyra* la mortalidad parcial fue de poca importancia. No obstante en juveniles el daño causado normalmente implica la muerte total de la colonia (Soong 1993).

Nunca antes se había registrado para Colombia colonias de *D. cylindrus* con plaga tipo II, siendo las primeras las reportadas en este estudio. El bajo porcentaje de blanqueamiento y plaga tipo II, únicas fuentes de mortalidad parcial por enfermedad conocidas en *Dendrogyra*, la hacen una especie con un alto grado de resistencia a enfermedades frente a otras especies coralinas como *Montastrea annularis*, *Siderastrea siderea*, *Acropora cervicornis* y *A. Palmata* (Porter *et al.* 2001, Santavy *et al.* 2001). Entre junio y octubre de 1997 la plaga tipo II infectó 17 especies de escleractinios, entre las más susceptibles se encontraron *Colpophyllia natans*, *Montastera annularis*, *Stephanocoenia michelini* y el hidrocoral *Millepora alcicornis*. Poblaciones de *Dichocoenia stokesi*, la especie más afectada, presentó mortalidades de hasta 38% (Richardson *et al.* 1998).

En cuanto a la distribución vertical de *Dendrogyra*, el rango batimétrico encontrado ratifica lo registrado anteriormente por Cairns (1982) y Goreau & Wells (1967).

La distribución de tamaños sugiere que la población de *D. cylindrus* estaría creciendo al mostrar una curva sesgada a la derecha con la mayor proporción de colonias en las clases más pequeñas de tamaño (Bak & Meesters 1999). Consecuentemente, un alto número de colonias juveniles sugiere un mayor reclutamiento o un reclutamiento exitoso en el pasado reciente (Bak & Meesters 1999). Finalmente, la distribución de tamaños que presentó *Dendrogyra* indica que la población se encontraría en un hábitat estable con bajo nivel de estrés, pues en lugares deteriorados la tasa de reclutamiento decrecería y la mortalidad de las colonias más pequeñas se incrementaría, obteniendo un patrón de distribución de tamaños sesgado a la izquierda (Bak & Meesters 1999).

Debido a la forma de crecimiento de *Dendrogyra cylindrus* se sugiere que de los 80 individuos considerados juveniles por tener menos de 15cm de altura, diez colonias provengan de reproducción sexual. De acuerdo con Geister (1972), el coral construye inicialmente una incrustación sobre suelo liso, la cual puede alcanzar hasta 1m. Una vez en este estado, en el centro de la incrustación se observa una o varios montículos de poco tamaño, los cuales comienzan a crecer mientras que la base alcanza su tamaño definitivo el cual puede alcanzar varios metros cuadrados.

Considerando que *Dendrogyra* crece 2 cm/año (Hudson & Goodwin 1997), las colonias juveniles (sexuales) encontradas en Providencia no provenientes de fragmentos o columnas caídas (posición horizontal), podrían provenir de un reclutamiento exitoso en los últimos 7 a 8 años si las condiciones de crecimiento han sido estables. De ser esto cierto la tasa de reclutamiento sexual sería de 6 reclutas por 1 km<sup>2</sup>/año o de  $6 \times 10^{-6}$  reclutas sexuales por 1m<sup>2</sup>/año. Tomando en cuenta las 10 colonias provenientes de reproducción sexual en 1.6 km<sup>2</sup> de muestreo, se sugeriría un éxito reproductivo muy bajo para la especie.

La relación entre reproducción sexual (10 colonias) y asexual (70 colonias) en Providencia para *Dendrogyra cylindrus* sería 1:7, lo cual indicaría la gran

importancia para esta especie de reproducción asexual en su dinámica poblacional. La alta regeneración y crecimiento vertical observado de los fragmentos sobre el sustrato hacen a esta especie favorable para la repoblación de ecosistemas deteriorados (Hudson & Goodwin 1997).

A pesar de ser una especie poco conocida y estudiada y de no tenerse datos registrados para comparar su abundancia y densidad con otros sitios, esta especie se considera común y abundante en varios arrecifes del Caribe. De acuerdo con lo observado por diferentes investigadores entre el 2000 y 2001, *Dendrogyra cylindrus* se encuentra en abundancia en Barbados (Hourigan com. pers.), Curazao (Piontek com. pers.), Honduras (Guzmán com. pers.) y las Islas Guadalupe y San Martín (Laborel com. pers.). Actualmente la densidad registrada de *Dendrogyra cylindrus* en Providencia es bastante alta, mas de 1500 ind/km<sup>2</sup>, siendo considerablemente mayor a la obtenida en Florida por Chiappone & Sullivan (1996), sin embargo en lugares como Puerto Rico se le considera rara (Hernández-Delgado com. pers.). Han habido varios intentos para reconocer y a veces clasificar diferentes formas de rareza. De todas las mas conocida es la de Rabinowitz *et al.* (1986), quien categoriza las especies de plantas de acuerdo a su rango geográfico (grande o pequeño), tamaño de la población local y especificidad del hábitat (amplio o estrecho). Después de revisar las siete formas de rareza que Rabinowitz reconoce, *Dendrogyra cylindrus* fue catalogada como una especie localmente abundante en un amplio rango de distribución con una alta selección por el hábitat que ocupa. La anterior conclusión se obtiene de un rango geográfico grande, una marcada especificidad de hábitat y un tamaño poblacional grande donde puede llegar a ser dominante en algunos sitios.

## **8. Conclusiones**

*Dendrogyra cylindrus* no es una especie rara en Providencia, logrando altas densidades en los hábitats que prefiere, los cuales se caracterizan por ser protegidos de la corriente, con profundidades entre 5-18m, poca presencia de otras especies coralinas y dominancia de octocorales.

El tamaño de las colonias, el bajo porcentaje de mortalidad parcial y la estructura poblacional de *D. cylindrus* sugiere que es una población joven, en crecimiento.

Las diferencias encontradas entre la abundancia, densidad, mortalidad parcial y tamaño de las colonias comprueban claramente la preferencia de hábitat por sotavento, la unidad geomorfológica terraza prearrecifal, la unidad ecológica de octocorales y profundidades entre 5 a 18m.

El alto porcentaje de fragmentación podría indicar la importancia de la reproducción asexual en la dinámica poblacional.

## **9. Recomendaciones**

Realizar monitoreos para determinar la dinámica poblacional, para lo cual se necesita conocer el ciclo reproductivo, tasas de reclutamiento, sobrevivencia de juveniles, la relación entre reproducción sexual y asexual. Especialmente en las colonias de mayor tamaño, ya que estas podrían presentar el mayor esfuerzo de reproducción.

Si se plantea usar a *Dendrogyra cylindrus* para rehabilitar arrecifes deteriorados estos trasplantes deben hacerse exclusivamente en sotavento, en aguas profundas entre 5-18m y donde la competencia con corales sea baja. *Dendrogyra* puede aprovecharse para recolonizar arrecifes con moderada tasa de sedimentación o con gran cobertura de macroalgas u octocorales.

## **10. Referencias Citadas.**

- Acosta A. 2001. Disease in Zoanthids: dynamic in space and time. Hidrobiología. 460: 113-130.
- Akcakaya H. R., M. A Burgman & Ginzburg. 1997. Applied population ecology: principles and computer exercises using RAMAS Eco Lab 2.0. 2nd ed. Sunderland, Massachusetts: Sinauer. 285 p.
- Alcock J. 1997. Animal behavior. Sixth Edition. Sinauer Associates. 640 p.

- Almy C. & T. Carrion 1963. Shallow-water stony corals of Puerto Rico. *Carib J Sci* 3: 133-162
- Bak R. P. M. 1975. Ecological aspects of the distribution of reef corals in the Netherlands Antilles. *Bijdr Dierk* 45: 181-190.
- Bak R. P. M. & J. H. Elgershuizen 1976. Patterns of oil-Sediment rejection in corals. *Marine Ecol.* 37: 105-113.
- Bak P. M. & H. Meesters. 1999. Population structure as a response of coral communities to global change. *Amer. Zool.* 39: 56-65.
- Begon M., Harper J. L. & C. R. Townsend. 1999. *Ecología, individuos, poblaciones y comunidades*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, Tercera edición. 1021 p.
- Bovee K. D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. Washington, D.C: U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/86.
- Brower J. E., J. H. Zar & C. N. von Ende. 1998. *Field and laboratory methods for general ecology*. Four Edition. Mc Graw-Hill. Boston, USA. 324 p.
- Brown E. 1987. Adaptations of reef corals to physical environmental stress. Academic Press. USA. 299 p.
- Budd A., K. Johnson. & Stemann. 1996. Plio-Pleistocene turnover and extinctions in the Caribbean reef-coral fauna. Pages 168-204 *in* *Evolution & Environment in Tropical America*. The University of Chicago Press. USA.
- Cairns S. D. 1982. Stony corals (*Cnidaria: Hydrozoa, Scleractinia*) of Carrie Bow Cay, Belize. *Smithsonian Contribution. Bull Mar Sci.* 12: 271-302.
- Chiappone M. & K. M. Sullivan. 1996. Distribution, abundance and species composition of juvenile scleractinian corals in the Florida reef tract. *Rev. Mar Sci.* 58 (2): 555-569.
- Chiappone M., K. M. Sullivan & C. Lott. 1996. Hermatypic scleractinian corals of the southeastern Bahamas: A comparison to western atlantic reef system. *Carib J Sci.* 32(1): 1-13.
- Dana F. Thomas. 1976. Reef corals dispersion patterns and environmental variables on a Caribbean coral reef. *Bull Mar Sci.* 26 (1): 1-13

- De Vantier L. M. & R. Endean. 1989. Observations of colony fission following ledge formation in massive reef corals of the genus *Porites*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 58: 191-198.
- Díaz J., J. Garzón-Ferreira & S. Zea. 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés, Colombia: estado actual y perspectivas para su conservación. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Santa Fé de Bogotá. 151 p.
- Díaz J., L. Barrios, M. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. Victoria, G. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Angel, F. Zapata & S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia, INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta. 176 p.
- Dodge R. & R. Vaisnys. 1977. Coral population and growth patterns. J. Mar. Research. 35(4): 715-730.
- Edmunds P. J., D. A. Roberts & R. Singer. 1990. Reefs of the northeastern Caribbean I. Scleractinian populations. Bull Mar Sci 46(3): 780-789.
- Ehrenberg C. G. 1834. Beiträge zur physiologischen kenntniss der corallenthiere im allgemeinen und besonders des rothen meeres. Abhand Akad Wiss der DDR: 250-380.
- Fenner D. P. 1988. Some leeward reefs and corals of Cozumel, Mexico. Bull Mar Sci. 41: 133-144.
- Garzón-Ferreira J. 1993. Extensive mortality of corals in the Colombian caribbean during the last two decades. En: Univ. of Miami. Global Aspects Coral Reefs: A15-A21.
- Gaston J. Kevin. 1994. Rarity. Chapman & Hall. Nueva York. 205p.
- Geister J. 1977. The influence of wave exposure on the ecological zonation of Caribbean coral reefs. Proc 3<sup>th</sup> Int Coral Reef Sym 1: 23-28.
- Geister J. 1972. Zur Okologie and Wucksform der Saulenkoralle *Dendrogyra cylindricus* Ehrenberg Beobachtungen in den Riffen der Insel San Andres (Karibisches Meer, Kolumbien). Mitt. Inst. Colombo-Aleman Invest. Cient. 6: 77-87.
- Geister J. & Díaz J. 1997. A field guide to the oceanic barrier reefs and atolls of the southwestern Caribbean (Archipiélago de San Andres and Providencia, Colombia). Proc 8<sup>th</sup> Int Coral Reef Sym 1: 235 – 262.

- Goreau T. F. 1959. The ecology of Jamaican coral reefs. I. Species composition and zonation. *Ecol.* 40 (1): 67-90.
- Goreau T. F. & J. W. Wells. 1967. The shallow-water Scleractinia of Jamaica: revised list of species and their vertical distribution range. *Bull. Mar. Sci.* 17 (2): 442-453.
- Hiatt R. W. & D. W. Strasburg. 1960. Ecological relationships of the fish fauna on coral reefs of the Marshall Island. *Ecol. Monogr.* 30: 65-127.
- Highsmith R. C. 1982. Reproduction by fragmentation in corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 7: 207-226.
- Highsmith R., R. Lueptow & S. Schonberg. 1983. Growth and bioerosion of three massive corals on the Belize barrier reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 13: 261-271.
- Holst I. & H. M. Guzmán. 1993. Lista de corales hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia; Hydrozoa: Milleporina) a ambos lados del istmo de Panamá. *Rev. Biol. Trop.* 41: 871-875.
- Hudson J. H. & W. B. Goodwin. 1997. Restoration and growth rate of hurricane damage pillar collar (*Dendrogyra cylindrus*) in the Key Largo National Marine Sanctuary, Florida. *Proc 8<sup>th</sup> Int Coral Reef Sym* 1: 24-29.
- Hughes T. P. & J. B. Jackson. 1980. Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission and fusion. *Science* 209: 713 – 715.
- Hughes T. P. 1984. Population dynamics based on individuals size rather than age: A general model with a reef coral example. *Am. Nat.* 123: 778-795.
- Hutchinson G. E. 1953. The concept of pattern in ecology. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phil.* 105: 1-12.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 1998. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad. Tomo I. Maria Elfi Chaves S. & Natalia Arango (eds.). Santa Fe de Bogota. 593 p.
- Jackson J. B. 1997. Competition on marine hard substrata: the adaptive significance of solitary and colonial strategies. *Am. Nat.* 111: 743-767.
- Japp W. C., W. G. Lyons, P. Dustan & J. C. Halas. 1989. Stony corals (Scleractinia and Milleporina) community structure at Bird Key Reef, Ft.

Jefferson national monument, Dry Tortugas, Florida. Fla. Mar. Res. Publ. 46: 1-31.

- Jordan E., M. Moreno & E. Martin. 1981. Community structure of coral reefs in the Mexican Caribbean. Proc 4<sup>th</sup> Int Coral Reef Symp 2: 303-308.
- Kadmon R. 1993. Population dynamics consequences of habitat heterogeneity: an experimental study. Ecol. 74(3): 816-825.
- Krebs C. J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Segunda Edición. Harla, S.A. Mexico. 753 p.
- Krebs C. J. 1989. Ecological methodology. Harper Collins Publishers. New York. 450 p.
- Kruckeberg A. R. & D. Rabinowitz. 1985. Biological aspects of endemism in higher plants. Ann. Rev. Ecol. Syst. 16: 447 – 479.
- Lawton J. H. 1990. Species richness and population dynamics of animal assemblages. Patterns in body size: abundance space. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 330: 283-291.
- Lessios H. A., J. D. Cubit, D. R. Robertson, M. J. Shulman, M. R. Parker, S. D. Garrity & S. C. Levings. 1984. Mass mortality of *Diadema antillarum* on the Caribbean coast of Panama. Coral Reefs. 3: 173-182.
- Lirman D. 2000. Lesion regeneration in the branching coral *Acropora palmata*: effects of colonization, colony size, lesion size, and lesion shape. Mar. Ecol. Prog. Ser. 197: 209-215.
- Pandolfi J. M. 2001. Numerical and taxonomical scale of analysis in paleoecological data sets: examples from neo-tropical pleistocene reef coral communities. Jour Pal. 75(3): 546-563.
- Peters C. & McCarty B. "The Coral Disease Page". [en línea] 9 junio 2000. <[http://ourworld.compuserve.com/homepages/mccarty\\_and\\_peters/Coraldis.htm](http://ourworld.compuserve.com/homepages/mccarty_and_peters/Coraldis.htm)> [Consulta: 9 junio 2000].
- Porter J. W., P. Dustan, W. C. Japp, K. L. Patterson, V. Kosmynin, O. W. Meier, M. E. Patterson & M. Parsons. 2001. Patterns of spread of coral disease in the Florida keys. Hydrobiologia 460: 1-24.
- Prahel H. & H. Erhardt. 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. FEN. Colombia. 295 p.

- Rabinowitz D., S. Cairns & T. Dillon. 1986. Seven forms of rarity and their frequency in the flora of the British Islands. Pages 182-204 *in* Conservation Biology: the science of Scarcity and Diversity. M. E. Soulè ed. Sianuer Associates, Sunderland, MA.
- Raymond E. W. & D. R. Robertson. 1980. Patterns of habitat partitioning by eight species of territorial Caribbean Damsel fish (Pisces: *Pomacentridae*). Bull Mar Sci. 30: 171-186.
- Richardson L., W. M. Goldberg, R. G. Carlton & J. C. Halas. 1998. Coral disease outbreak in the Florida Keys: Plague Type II. Rev. Biol. Trop. 46(5): 187-198.
- Risk J. M. 1978. Aspects of bioerosion of modern Caribbean reefs. Rev. Biol. Trop. 26(1): 85 – 105.
- Roberts H. H. 1971. Environments and organic communities of North Sound, Grand Cayman Island. BWI. Carib J Sci. 11: 67-79.
- Roos P. J. 1971. The shallow-water stony corals of the Netherlands Antilles. Studies on the Fauna of Curaçao and other Caribbean Islands 130: 108 pp.
- Sammarco P. W. & H. Williams. 1982. Damsel fish territoriality: influence on *Diadema* distribution and implications for coral community structure. Mar. Ecol. Prog. Ser. 8: 53-59.
- Santavy D. L., E. Mueller, E. C. Peters, L. MacLaughlin, J. W. Porter, K. L. Patterson & J. Campbell. 2001. Quantitative assessment of coral diseases in the Florida keys. Hydrobiologia. 460: 39-52.
- Scatterday J. W. 1974. Reef and their associates coral assemblages of Bonaire, Netherlands Antilles and their bearing on Pleistocene and recent reef models. Proc 2<sup>nd</sup> Int Coral Reef Symp. 2: 85-106.
- Smith F. G. W. 1971. Atlantic reef corals. University of Miami Press. Coral Gables, Fl. 164 p.
- Sokal R. & F. J. Rohlf. 1995. Biometry : the principles and practice of statistics in biological research. Third ed. New York. 887 p.
- Soong K. 1993. Colony size as a species character in massive reef corals. Coral Reefs. 12: 77-83.

- Sowig P. 1995. Habitat selection and offspring survival rate in three paracoprid dung beetles: the influence of soil type and soil moisture. *Ecography* 18: 147-154.
- Stanley H. A. & K. L. Gutzwiller. 1994. Habitat evaluation methods. Pages 592 – 606 in T. A. Bookhout, ed. *Research and management techniques for wildlife and habitats*. Fifth ed. The Wildlife Society, Bethesda, Md.
- Stiling P. D. 1999. *Ecology : theories and applications*. Second ed. New Jersey. Prentice Hall. 539 p.
- Straw J. A., J. S. Wakeley & J. E. Hudgins. 1986. A model for management of diurnal habitat for American woodcock in Pennsylvania. *J. Wildl. Manage.* 50: 378-383.
- Szmant A. M. 1986. Reproductive ecology of Caribbean reef corals. *Coral Reefs*. 5: 43- 54.
- UNESCO. 1998. CARICOMP – Caribbean coral reefs, seagrass and mangrove sites. Coastal region and small island papers 3. Unesco, Paris. 347 p.
- Van den Hoek C., A. M. Cortel-Breeman & J. B. W. Wanders. 1975. Algal zonation in the fringing reef of Curaçao. Netherlands Antilles, in relation to zonation of corals and gorgonians. *Aquat Bot.* 1: 269 – 308.
- Van Horne B. 1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. *J. Wildl. Manage.* 47: 893-901.
- Van Veghel L. & P. M. Bak. 1994. Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral *Montastrea annularis*. III Reproduction in damaged and regenerating colonies. *Mar Ecol Prog Ser* 109: 229 – 233.
- Veron J. 2000. *Corals of the World*. Tomo II. Australian Institute of Marine Science and CRR Qld Pty Ltd. USA. 429 p.
- Wells J. W. & J. C. Lang. 1973. Systematic list of Jamaican shallow-water Scleractinia. *Bull. Mar. Sci.* 23: 55-58.
- Wheaton J. L. & W. C. Jaap. 1988. Corals and other prominent benthic Cnidaria of Looe Key National Marine Sanctuary. *Fla Mar Res Pub* 43: 1-25.

- Zlatarski V. N. & N. M. Estalella. 1982. Les scleractiniaires de Cuba. Editions Academie Bulgare des Sciences, Sofia. 471 p.