

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**Tesis presentada para  
optar al grado de  
Licenciado en Biología**

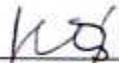
**DESCRIPCIÓN DE LAS COMUNIDADES ARRECIFALES DEL PARQUE  
NACIONAL MARINO BALLENA, PACÍFICO CENTRAL-SUR DE COSTA RICA**

**JUAN JOSÉ ALVARADO BARRIENTOS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO**

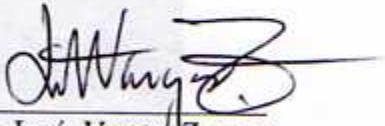
**2004**

“Esta tesis fue aceptada por la comisión de estudios finales de graduación de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura”.

  
Dr. Jorge Cortés Nuñez  
Director de Tesis

  
Dr. Carlos Jiménez Centeno  
Miembro del Tribunal

  
MSc. Gerardo Umaña Villalobos  
Miembro del Tribunal

  
Dr. José Vargas Zamora  
Miembro del Tribunal

  
MSc. Daniel Briceño Lobo  
Director de la Escuela de Biología

  
Juan José Alvarado Barrientos  
Postulante

## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis abuelos José María Barrientos, Rogelio Alvarado y Nidia Soto, quienes durante toda su vida me impulsaron y motivaron para seguir estudiando y alcanzar mis metas. A ellos, los que en vida me dijeron siempre: “No se detenga hasta que tenga el título bajo el hombro”. ¡Gracias!



## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio no se hubiera podido realizar sin la colaboración desinteresada de un gran grupo de nobles personas.

Primero, quiero agradecer a la vida por darme la oportunidad de completar un sueño que poseo desde que tengo memoria y que me ha dejado vivirlo a plenitud.

Segundo, deseo agradecer a mi familia, que ha sido un gran apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y de este trabajo, motivándome siempre para seguir adelante.

Asimismo, quiero darle las gracias a todas las personas que de alguna manera participaron en la realización del proyecto: Odalisca Breedy, Ingo Wehrtmann, Daisy Arroyo, Raúl Rojas, Gerardo Umaña, Jenaro Acuña, Rita Vargas, el personal administrativo del CIMAR, Eleazar Ruiz, Luis Obando, Natalia Zamora, Peter Sak, los funcionarios del MINAE que laboran en el Parque Nacional Marino Ballena, Georg Kiechle y a Fernando Monge "Canfin" y toda su familia. También, quiero agradecer a Idea Wild por la donación de equipo para el proyecto, el cual fue de mucha ayuda.

A Don Enrique March, quien nos llevó a conocer y a involucrarnos con esta zona del país donde todavía queda mucho por hacer, por prestarnos su casa y sobre todo por ser una de esas personas que siempre estuvo incentivándonos para trabajar en el Parque Nacional Marino Ballena y a realizar algo de valor para las comunidades.

A Carlos Jiménez, por ser un guía constante, ayudándome y explicándome de la mejor manera como se deben hacer las cosas. A Don Jorge Cortés, por permitir aprender de él, por ser un guía y un profesor de verdad. A ellos dos mis más sinceras gracias por tenerme la paciencia y la sabiduría de explicarme la maravilla del mundo de los arrecifes coralinos.

Quiero dar mis más especiales agradecimientos a las personas que siempre me acompañaron en las giras, que se aguantaron mi temperamento, que toleraron los martillazos, las horas de sol y todo el duro trabajo, además de corregir con sabiduría y paciencia mis errores. A Davis Morera, Jaime Nivia y Cindy Fernández, que demostraron ser los amigos más leales, les doy todas las gracias del mundo.

## ÍNDICE GENERAL

I. Introducción.....	1
1.1 Aspectos históricos del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB).....	1
1.2 Aspectos meteorológicos del Parque Nacional Marino Ballena.....	3
1.3 Aspectos geológicos del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB).....	4
1.4 Antecedentes.....	7
II. Objetivos.....	10
2.1 Objetivo principal.....	10
2.2 Objetivos secundarios.....	10
III. Materiales y métodos.....	11
3.1 Descripción de los arrecifes y de las comunidades coralinas del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB).....	11
3.2 Tamaño de las colonias.....	13
3.3 Fracción no carbonatada del sedimento.....	14
3.4 Análisis estadístico.....	14
IV. Resultados.....	15
4.1 Descripción de los sitios de estudio.....	17
4.2 Estudio de la composición coralina del Parque Nacional Marino Ballena.....	27
4.3 Tamaño de las colonias.....	41
4.4 Estado de los arrecifes y comunidades coralinas del PNMB.....	45
4.5 Fracción no carbonatada (FNC) del sedimento y variables ambientales.....	47
V. Discusión.....	50
VI. Conclusiones.....	63
VII. Bibliografía.....	66
VIII. Anexos.....	77

## RESUMEN

Entre enero y setiembre del año 2003 se estudiaron diez áreas del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB), Pacífico central-sur de Costa Rica, mediante tres transectos de 10 m cada uno, paralelos a la costa y distanciados uno del otro por 5 m, utilizando una cuadrícula de 1 m<sup>2</sup>. En total, se cubrió un área de 300 m<sup>2</sup> mediante buceo SCUBA. Las diez áreas estudiadas fueron: Playa Ballena, las Rocas de las Tres Hermanas, un bajo contiguo a las Rocas de las Tres Hermanas, los sectores noreste y noroeste de la Isla Ballena, el Bajo Ballena, los sectores noreste, sur y noroeste del Tómbolo de Punta Uvita y la Roca la Viuda.

El fondo marino del parque está compuesto, en su mayoría, por rocas basálticas que forman una serie de canales y paredes de poca profundidad, arena (en menor cantidad), y en algunos casos, por estructuras coralinas muertas. Por lo general, es muy regular, encontrándose pliegues en las paredes en las rocas, los que forman cavidades o grutas ideales para el desarrollo de peces u otros invertebrados, así como de algas.

En total, se observaron 15 especies de corales escleractinios, distribuidos en arrecifes y comunidades coralinas, en su mayoría. Sumando las dos especies informadas anteriormente, se tiene un total de 17 especies de corales, situando al PNMB en segundo lugar, luego de la Isla del Caño, en cuanto a riquezas de especies del Pacífico central-sur de Costa Rica.

El coral *Porites lobata* fue la especie más abundante del PNMB, estuvo presente en todas las zonas estudiadas. Se encuentra en todos los tipos de sustrato estudiados, arena y piedra, entre 3 y 12 m de profundidad, logrando tallas que van desde 28.8 a 134.4 cm de largo y 18.2 a 117.2 cm de ancho. Tiene los mayores porcentajes de cobertura (0.5-36.5%) forma parte de todas las comunidades coralinas y es el principal constructor del arrecife coralino de las Tres Hermanas.

*Pavona clavus* es la segunda especie en abundancia y en cobertura (0.2-7.2%). Las otras especies son escasas y tienen porcentajes de cobertura muy bajos.

El mejor desarrollo de las comunidades y los arrecifes coralinos se da en la zona de las Tres Hermanas, el Bajo Ballena y el sector noreste del Tómbolo de Punta Uvita. Los corales pocilopóridos poseen una cobertura muy baja (0.1-1.1%). Al comparar los resultados de este estudio con anteriores, se puede notar como esta especie durante los últimos años ha disminuido su presencia, llegando al punto de ser escasa en ciertas zonas del Parque.

Solamente se observaron tres áreas del parque que presentaron porcentajes de colonias muertas (0.1-1.5%) y de ellos solo uno presentaba blanqueamiento (0.7%). La sección del Tómbolo noreste presentó un 1.5% de cobertura de coral muerto. Es el sitio con mayor porcentaje de todos. El impacto de los sedimentos, las intensas lluvias de la zona y el continuo impacto de fenómenos ambientales como El Niño, han provocado el deterioro de las diferentes comunidades del parque, por lo que disminuye la diversidad y la cobertura de coral vivo.

La información generada en esta tesis, servirá de base para establecer un programa de monitoreo de las comunidades y arrecifes coralinos del parque. Con el fin de determinar con más detalle el impacto de esos problemas naturales y antropogénicos. Así como comprender cuál de ellos está jugando un papel predominante en su desarrollo. De esta manera, se podrían planear estrategias de manejo y de amortiguación de los impactos, para tratar de preservar estos ecosistemas tan valiosos para la zona y para el país.

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Corales escleractíneos hermatípicos y ahermatípicos informados para el Parque Nacional Marino Ballena .....	9
Cuadro 2. Corales escleractíneos hermatípicos y ahermatípicos del Parque Nacional Marino Ballena y su distribución de acuerdo al ambiente.....	29
Cuadro 3. Presencia y abundancia relativa (R= raro, E= escaso, C= común, MC= muy común) por zonas de las especies de corales hermatípicos en los arrecifes coralinos del Parque Nacional Marino Ballena. I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballena noreste; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda.....	32
Cuadro 4. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$ desviación estándar) de cada especie de coral por sitio para el Parque Nacional Marino Ballena. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda (tres transectos/sitio).....	35
Cuadro 5. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$ desviación estándar) de los organismos en los transectos realizados en el Parque Nacional Marino Ballena. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda (tres transectos/sitio).....	37

Cuadro 6. Largo (L)(cm), ancho (A)(cm), desviación estándar (n = número de colonias medidas) y ámbito (máximo y mínimo) de <i>Porites lobata</i> en los sitios de estudio en el PNMB. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....	42
Cuadro 7. Largo (L)(cm), ancho (A)(cm), desviación estándar (n = número de colonias medidas) y ámbito (máximo y mínimo) de <i>Pavona clavus</i> en los sitios de estudio en el PNMB. II = Rocas las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; VI = Bajo Ballena; VIII = Tómbolo sur.....	43
Cuadro 8. Largo (L)(cm), ancho (A)(cm), desviación estándar (n = número de colonias medidas) y ámbito (máximo y mínimo) de <i>Pocillopora</i> sp. en los sitios de estudio en el PNMB. IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste.....	44
Cuadro 9. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$ desviación estándar) (n = número de colonias encontradas) de cada colonia de coral por especie encontradas en los transectos en los sitios de estudio en el PNMB. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....	45
Cuadro 10. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$ desviación estándar) de coral vivo, muerto y blanqueado por sitio (3 transectos/sitio). I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....	46

Cuadro 11. Parámetros ambientales medidos en los diferentes sitios muestreados en el Parque Nacional Marino Ballena. I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballena noreste; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda.....49

Cuadro 12. Lista de las especies de corales Escleractinios del Parque Nacional Marino Ballena.....51

Cuadro 13. Porcentaje de cobertura promedio de coral vivo ( $\pm$  desviación estándar) de cuatro especies de corales en el Tómbolo de Punta Uvita, Parque Nacional Marino Ballena, 1992-2003. n = número de transectos. Transectos con cadena (1992, 1994, 2001: Jiménez & Cortés 2001, 2003a), transectos con cuadrícula de 1 m<sup>2</sup> (2003: este trabajo).....57

Cuadro 14. Porcentaje de cobertura promedio de coral vivo en diferentes zonas del Parque Nacional Marino Ballena, 1995-2003. I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballena noreste; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda (---: sitios no muestreados). Transectos con cadena (Jiménez 1995), transectos con cuadrícula de 1 m<sup>2</sup> (este trabajo).....59

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Fig. 1. Ubicación del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB).....	2
Fig. 2. Promedio de precipitación (mm de lluvia/mes) y de horas de sol por día de la estación meteorológica de Damas, 2002-2003.....	4
Fig. 3. Disposición de la Falla Longitudinal de Costa Rica a lo largo del Parque Nacional Marino Ballena (modificado de Fisher <i>et al.</i> 2004).....	6
Fig. 4. Disposición de los transectos a lo largo de la costa.....	13
Fig. 5. Sitios seleccionados en el PNMB para realizar los estudios de composición y distribución de las comunidades y arrecifes coralinos. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....	16
Fig. 6. Detalle del área de Playa Ballena en donde se observaron colonias de coral aisladas y la salida de la Quebrada Mercedes, febrero 2003.....	18
Fig. 7. Vista área de las Rocas las Tres Hermanas donde se indica la localización del arrecife coralino (círculo) y colonias aisladas de coral (flecha) en las partes someras cercanas a ellas, febrero 2003.....	20
Fig. 8. Vista submarina del arrecife coralino de las Rocas las Tres Hermanas, marzo 2003.....	21

Fig. 9. Parche muerto del coral <i>Pocillopora</i> spp. expuesto en una sección de la zona aledaña a las Rocas las Tres Hermanas, enero 2003.....	22
Fig. 10. Vista área de la parte norte de la Isla Ballena y del canal de arena, febrero 2003.....	23
Fig. 11. Vista área de la sección noreste del Tómbolo de Punta Uvita, en donde se observa una comunidad coralina de <i>Porites lobata</i> , febrero 2003.....	25
Fig. 12. Vista aérea de la Roca la Viuda, PNMB, febrero 2003.....	27
Fig.13. Curva de especies “vs.” área en los diferentes sitios de muestreo en el Parque Nacional Marino Ballena.....	28
Fig. 14. Dendrograma de unión simple basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral observadas en los diferentes sitios de estudio en el PNMB.....	30
Fig. 15. MDS basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral observadas en los diferentes sitios de estudio en el PNMB (nivel de estrés=0.04). I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....	31
Fig. 16. Dendrograma de unión simple basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral halladas en los transectos de los diferentes sitios estudiados en el PNMB.....	33

Fig. 17. MDS basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral halladas en los transectos de los diferentes sitios estudiados en el PNMB (nivel de estrés=0.04). I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballenan; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....34

Fig. 18. Dendrograma de unión simple basado en el índice de similitud de Pearson de la cobertura total de todos los taxones por sitio estudiados en el PNMB. Se indica la diversidad y la equitatividad de cada sitio. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....39

Fig. 19. MDS basado en el índice de similitud de Pearson de la cobertura total de todos los taxones por sitio estudiados en el PNMB. (nivel de estrés =0.03). I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.....40

Fig. 20. Vista aérea de la Boca de Coronado, febrero 2003.....61

Fig. 21. Vista aérea de una lengua de sedimento proveniente de Boca de Coronado llegando a Punta Piñuelas, PNMB, febrero 2003.....62

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Aspectos históricos del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB)

La historia de Bahía, la población más cercana al PNMB, es relativamente reciente. Los primeros pobladores de la comunidad eran empleados de la Compañía Bananera United Fruit Company, la cual permaneció por corto tiempo en la zona. Al retirarse la compañía bananera del área, las familias Lescaro, Bejarano y Garbanzo se adueñaron del terreno, vendieron más tarde sus propiedades al Sr. Fernando Cruz. Hacia 1948, él creó una gran hacienda a la que le dio el nombre de Bahía. Al morir, sus familiares vendieron la finca a ALCOA (Aluminium Company of America), la cual suscitó gran revuelo en el país debido a la explotación de bauxita, por lo cual se desistió de dicha intención. Veinte años más tarde, la compañía cede la hacienda al gobierno el que toma posesión mediante el Instituto de Desarrollo Agrario (IDA). Entre los años 1980 y 1982, el IDA comienza a establecer la parcelación del terreno, otorgando parcelas a las diferentes familias de la localidad (Avilés 1994).

El Parque Nacional Marino Ballena (PNMB) se ubica en el litoral Pacífico de Costa Rica (Fig. 1), entre la desembocadura del Río Higueón o Morete y Punta Piñuelas, en el distrito de Bahía Ballena, del cantón de Osa, provincia Puntarenas. Fue declarado Parque Nacional por decreto Ejecutivo No. 19441 el 6 de febrero de 1989 y fue modificado mediante el decreto de ampliación No. 21294 del 17 de julio de 1992. Su límite terrestre corre por la línea de mojones oficiales que demarcan la zona pública inalienable, con la restricción del borde de los humedales y manglares adyacentes (ASOPARQUE 2000). Posee una extensión terrestre de 115 hectáreas y 5375 hectáreas marinas y pertenece al Área de Conservación Osa (ACOSA) (García 1997). A pesar de ser el primer parque marino de Costa Rica, posee la menor extensión al respecto en comparación con Cahuita (22 400 ha), Tortuguero (50 160 ha), Manuel Antonio (55 000 ha), o Santa Rosa (78 000 ha) (García 1997).

Su declaratoria obedeció al propósito de conservar el rico ecosistema marino, y su alto valor paisajístico. Sin embargo, no se hizo una consulta adecuada a las comunidades aledañas, incluyendo a la creciente cantidad de pescadores que, a raíz de la apertura de la trocha de la Carretera Costanera estaban llegando a formar parte de la nueva comunidad de Bahía y que eran los principales usuarios de los recursos marinos. El uso de métodos represivos y no el poder de convencimiento para hacer cumplir la ley por parte de los funcionarios del MINAE, produjeron conflictos por varios años que culminaron en marzo de 1995, con el incendio del único puesto de control con que se contaba en Playa Uvita. La dirección de ACOSA retira los funcionarios del parque por más de un año, y la comunidad queda a la expectativa (ASOPARQUE 2000). Actualmente, las relaciones entre la comunidad y los funcionarios es buena y se dirigen a la cogestión del parque.

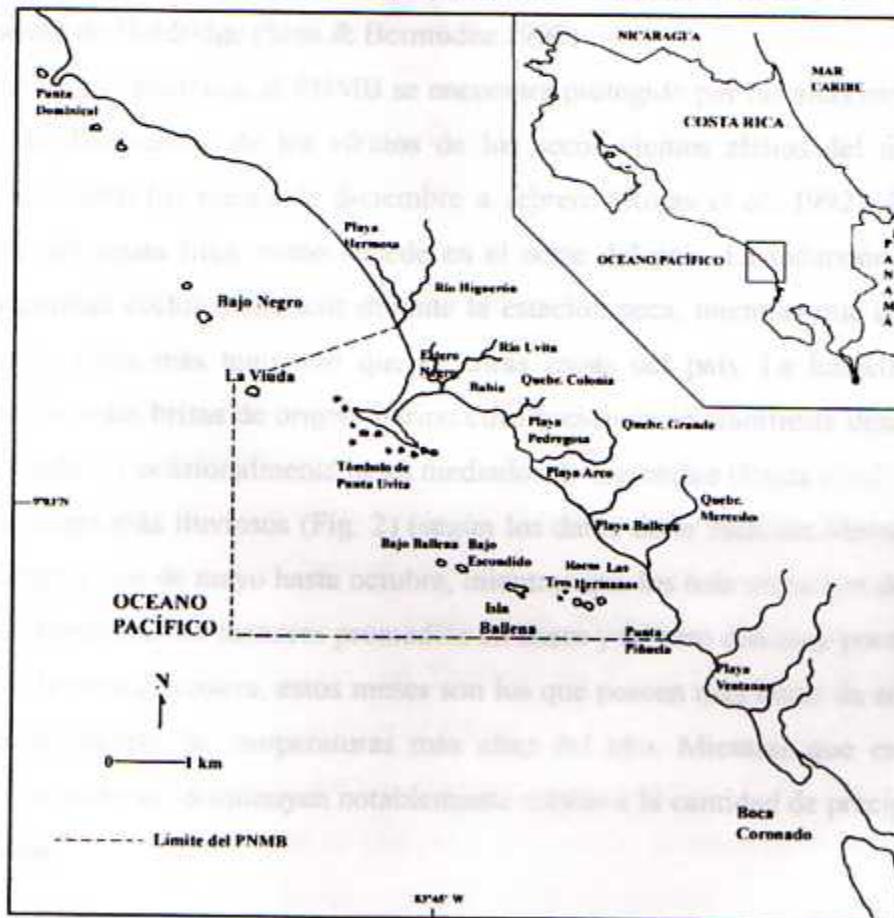


Fig. 1. Ubicación del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB).

## 1.2. Aspectos meteorológicos del Parque Nacional Marino Ballena

La zona en la que se encuentra el PNMB es considerada un área de precipitación moderada a fuerte con un promedio anual de 3000-3500 mm de lluvia. Se caracteriza por ser de clima húmedo, muy caliente, con una estación seca moderada (35-70 días de déficit de agua), con una temperatura media anual entre los 23° y 27°C, con una estación seca que va desde finales de diciembre hasta inicios de mayo (Kappelle *et al.* 2002). El PNMB se puede ubicar en la provincia térmica de piso basal de 0-500 m de altitud (tierras bajas), con una temperatura media anual tropical de 24° a 28°C (Herrera & Gómez 1993), y una humedad relativa alta cercana al punto de saturación (20-100%) (Soto & Bermúdez 1990, Herrera & Gómez 1993). La zona de vida corresponde al Bosque Húmedo Tropical, según la clasificación de Holdridge (Soto & Bermúdez 1990).

Debido a su posición, el PNMB se encuentra protegido por las altas montañas de la Cordillera de Talamanca, de los efectos de los secos vientos alisios del norte, que se manifiestan durante los meses de diciembre a febrero (Rojas *et al.* 1992). Esto evita el afloramiento de aguas frías, como sucede en el norte del país. La incursión de las brisas marinas ocasionan cortos chubascos durante la estación seca, mientras que en la estación lluviosa se presenta más temprano que en otras zonas del país. La humedad proviene básicamente de estas brisas de origen marino cuya presencia se manifiesta desde finales de abril a noviembre, y ocasionalmente hasta mediados de diciembre (Rojas *et al.* 1992).

Los meses más lluviosos (Fig. 2) (según los datos de la estación Meteorológica de Damas, Quepos), son de mayo hasta octubre, mientras que los más secos son de noviembre hasta abril, obteniendo los menores promedios en enero y febrero con muy pocas lluvias (2-24 mm). De la misma manera, estos meses son los que poseen más horas de sol de por día (Fig. 2), manteniendo las temperaturas más altas del año. Mientras que entre mayo y octubre las horas de sol disminuyen notablemente debido a la cantidad de precipitación que hay en la zona.

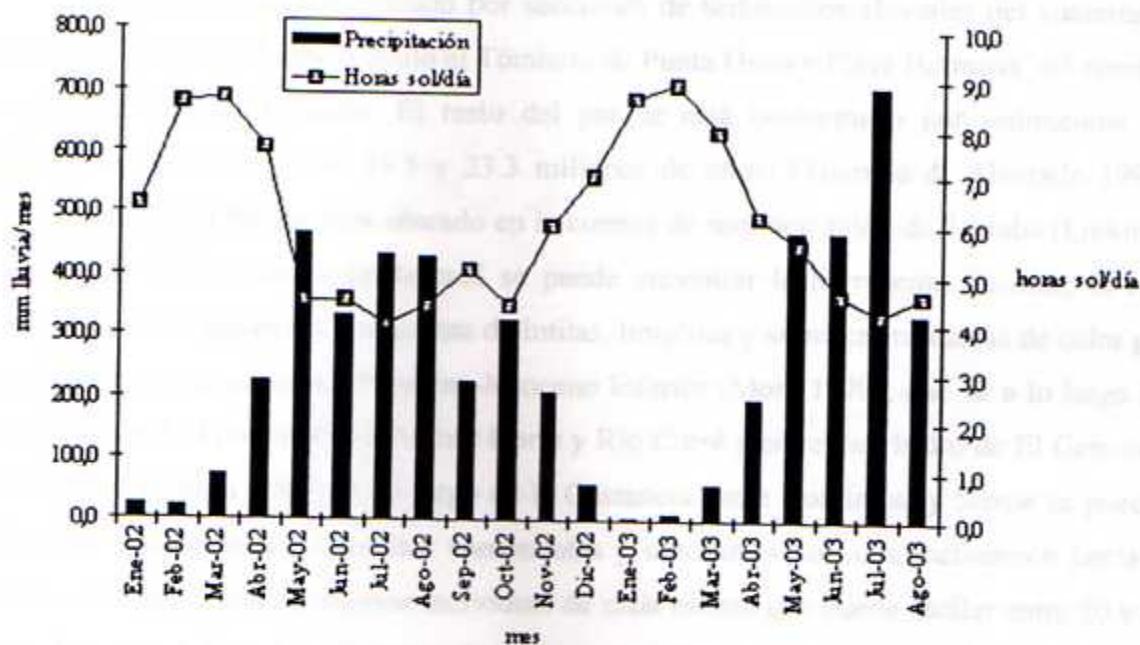


Fig. 2. Promedio de precipitación (mm de lluvia/mes) y de horas de sol por día de la estación meteorológica de Damas, 2002-2003.

### 1.3. Aspectos geológicos del Parque Nacional Marino Ballena (PNMB)

Los estudios sobre la geología de esta zona del país son escasos. La información se encuentra dispersa, abarcando un área más extensa, dando generalidades de la zona. De estos trabajos se puede destacar cierta información que puede ser muy valiosa para la zona.

El PNMB geomorfológicamente posee tres secciones: 1) De origen tectónico y erosivo (Playa Hermosa y la sección desde Playa Pedregosa hasta Playa Ventana); 2) Litorales de origen marino (sección del Tómbolo de Punta Uvita); y 3) Sedimentación aluvial (Boca de Coronado) (Kappelle *et al.* 2002).

Las costas del parque se pueden dividir en dos secciones: 1) De Playa Hermosa al Tómbolo de Punta Uvita, la cual es una costa de erosión de material rocoso, y 2) Desde Bahía hasta Boca Coronado, la que es una costa de erosión de material rocoso con intercalación de playas arenosas (Denyer & Cárdenes 2000).

El parque está conformado por secciones de sedimentos aluviales del cuaternario (hace 1.6 millones de años) como el Tómbolo de Punta Uvita y Playa Hermosa, así como la sección de Boca Coronado. El resto del parque está conformado por sedimentos del Oligoceno-Mioceno (entre 35.5 y 23.3 millones de años) (Tournon & Alvarado 1995). Toda la zona del Parque está ubicada en la cuenca de sedimentación de Térraba (Linkimer & Aguilar 2000), dentro de la cual se puede encontrar la Formación Térraba, la cual consiste en una secuencia compuesta de lutitas, limolitas y areniscas calcáreas de color gris a negro, con una edad de Oligoceno-Mioceno Inferior (Mora 1979), que va a lo largo del Río Grande de Térraba, entre Palmar Norte y Río Curré y entre San Isidro de El General y Dominical (Dengo 1960). A lo largo de la Costanera entre Dominical y Sierpe se pueden observar secuencias de turbiditas consistentes y constantes con una inclinación hacia el norte a noroeste, con un espesor individual de cada estrato que puede oscilar entre 20 y 40 cm. Las rocas ígneas a lo largo de la zona costera son escasas, y solo se observan intrusiones de tipo gabroico a lo largo de la línea costera de Punta Chimenea (Luis Obando, com.pers. noviembre 2003).

La Falla Longitudinal de Costa Rica recorre gran parte del parque así como varias secciones de la costa. Esta es una falla activa, en la cual ha ocurrido una buena parte de los movimientos de levantamiento e inclinación de capas que han afectado la Fila Costeña durante el Cuaternario (Cowan *et al.* 1997). Esta falla inversa recorre el arco de Rocas de las Tres Hermanas, la parte exterior de la Isla Ballena, la parte exterior del Tómbolo de Punta Uvita hasta Punta Dominical, formando un arco que se desplaza hacia el norte (Fig. 3) (Fisher *et al.* 2004), formando una zona de depósito de sedimentos en su parte interna, que está sufriendo un proceso de levantamiento y donde los puntos de mayor tensión se encuentran en la zona de la parte externa de la Isla Ballena, creando un tipo de barrera rocosa alejada de la costa donde se desarrollan los corales (Peter Sak, com. pers. julio 2003).

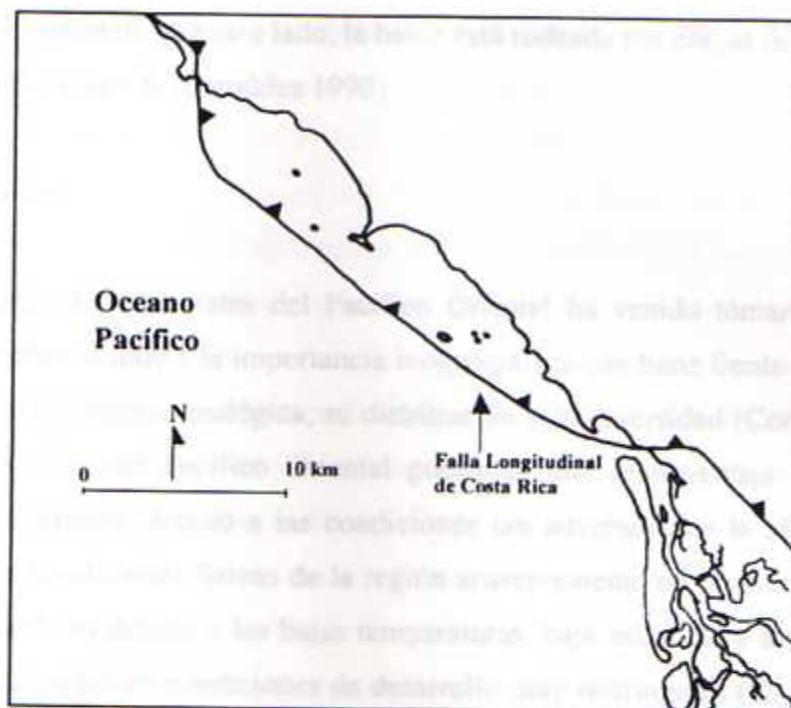


Fig. 3. Disposición de la Falla Longitudinal de Costa Rica a lo largo del Parque Nacional Marino Ballena (modificado de Fisher *et al.* 2004).

El PNMB está bordeado en su parte externa por un arco sumergido de rocas y pequeñas islas y rocas emergentes. En el extremo noroeste está limitado por el Tómbolo de Punta Uvita, el cual es la formación geológica más notable e interesante en el extremo norte del Parque. Este se ha formado por la deposición de arenas terrígenas y biogénicas entre la cresta de rocas que forman la cabeza del Tómbolo y la costa (Soto & Bermúdez 1990), y mide 70 m de largo y 50 m de ancho (Denyer & Cárdenes 2000). En Costa Rica, solamente existen dos tómbolos, el de Punta Uvita y el de Punta Catedral, en el Parque Nacional Manuel Antonio (Denyer & Cárdenes 2000). Desde este punto hacia el sur se extiende un arco de rocas, en su mayor parte sumergido. La Isla Ballena y las Rocas de las Tres Hermanas, están conectados por un arco de rocas más profundo y sus terrazas albergan una

gran cantidad de hábitats. Por otro lado, la bahía está rodeada por playas de arena, playas de roca y acantilados (Soto & Bermúdez 1990).

#### 1.4. Antecedentes

El estudio de los corales del Pacífico Oriental ha venido tomando auge en los últimos veinte años debido a la importancia biogeográfica que tiene frente al Indo-Pacífico y el Caribe, por su historia geológica, su distribución y su diversidad (Cortés 1997, Glynn 1997). Los arrecifes del Pacífico Oriental presentan una gran ventaja para interpretar estudios biogeográficos, debido a las condiciones tan adversas que la afectan (Glynn & Ault 2000). Las condiciones físicas de la región aparentemente no favorecen el desarrollo de arrecifes coralinos debido a las bajas temperaturas, baja salinidad y altas descargas de nutrientes, ubicándolos en condiciones de desarrollo muy restringidas (Glynn *et al.* 1983). Además, tradicionalmente se ha considerado a la costa occidental de América pobre en cuanto a formaciones de arrecifes coralinos (Wells 1957, Rosenblatt 1963, Yonge 1963). Sin embargo, estos existen y están creciendo. Se ha determinado que el mejor desarrollo de los arrecifes coralinos se da a lo largo de las costas protegidas por altas montañas, que reducen el viento que causa el afloramiento de aguas frías (Cortés 1997). Panamá y Costa Rica presentan los sitios con la mayor diversidad y desarrollo del Pacífico de América (Guzmán & Cortés 1993).

Glynn *et al.* (1983) presentan la primera visión sobre los arrecifes del Pacífico de Costa Rica, encontrando 44 formaciones arrecifales a lo largo de la costa, de tamaño pequeño, a profundidades de 5 a 15 m, y con muy pocas especies de corales (entre tres y nueve). Además, estas comunidades poseen una distribución discontinua, poco desarrollo y algunas se establecen en áreas cercanas a desembocaduras de los ríos. Posteriormente, Cortés y Murillo (1985) hacen una revisión de los arrecifes y comunidades coralinas de la costa Pacífica de Costa Rica. Los trabajos realizados han sido más continuos a partir de ese momento, cabe mencionar entre ellos: Isla del Caño (Guzmán 1986, Guzmán & Cortés 1989a-b 2001), Golfo Dulce (Cortés 1990a-b, 1992, Cortés *et al.* 1994), Isla del Coco

(Guzmán & Cortés 1992), la zona costera del Parque Nacional Corcovado (Cortés & Jiménez 1996), la zona marina del Área de Conservación Guanacaste (Cortés 1996/1997a), y Bahía Culebra (Jiménez 1997, 1998, Jiménez *et al.* 2001, Jiménez & Cortés 2003a-b). Se han identificado en los arrecifes del Pacífico de Costa Rica 22 especies de corales formadores de arrecifes (Cortés & Guzmán 1998), 27 especies de corales ahermatípicos (Cairns 1991a, Cortés 1996/1997b) y solamente cinco especies de hidrocorales para la Isla del Coco (Cairns 1991b).

Para el Parque Nacional Marino Ballena, los estudios enfocados en sus arrecifes y comunidades coralinas son escasos. Glynn *et al.* (1983) señalan la presencia de comunidades arrecifales en Punta Uvita. Cortés y Murillo (1985), lo confirman y mencionan los problemas de sedimentación de la zona. Además, informan de siete especies de corales desde Punta Dominical hasta Punta Mala, pero solamente tres especies para Punta Uvita: *Porites lobata*, *Pocillopora damicornis* y *Dendrophyllia gracilis*. Soto y Bermúdez (1990) amplían la lista de especies, incluyendo *Tubastrea coccinea* y restos de *Psammocora* spp. Jiménez (1995), como parte del plan de Manejo del Parque, hace la primera descripción de las comunidades arrecifales de éste encontrando en total ocho especies de corales, sumando *Pavona gigantea*, *P. clavus*, *P. varians* y *Oulangia bradleyi* a la lista. Finalmente, Cortés (1996/1997b) señala que se ha observado en una sección del parque al coral *Pavona maldivensis*. Este recuento da un total de 12 especies de corales (nueve hermatípicas y tres ahermatípicas) (Cuadro 1). Jiménez (1995) presenta además, una lista de las características de las comunidades arrecifales: 1) La cobertura de corales masivos y ramificados es baja (entre 1.1 y 19% del fondo está cubierto con coral vivo); 2) *Porites lobata* domina en todas las profundidades; 3) Dominancia de octocorales en sitios de oleaje y turbidez, con coberturas de hasta 72%; y 4) el mayor porcentaje de cobertura de corales es de 19% para la Isla Ballena, seguido por las Tres Hermanas (12.5%) y los bajos Ballena (11.9%) y Escondido (8.5%), mientras que la menor cobertura la presentaron las secciones externas (1.1%) y la parte noroeste del Tómbolo (1.2%).

Cuadro 1. Corales escleractineos hermatípicos y ahermatípicos informados para el PNMB.

Especie	Referencia
Hermatípicos	
<i>Pavona clavus</i> Dana, 1846	Jiménez 1995
<i>Pavona gigantea</i> Verrill, 1864	Jiménez 1995
<i>Pavona maldivensis</i> (Gardiner, 1905)	Cortés 1996-1997b
<i>Pavona varians</i> Verrill, 1864	Jiménez 1995
<i>Pocillopora damicornis</i> (Linnaeus, 1758)	Cortés y Murillo 1985
<i>Pocillopora elegans</i> (Dana, 1846)	Jiménez & Cortés 2003
<i>Porites lobata</i> Dana, 1846	Cortés & Murillo 1985
<i>Porites panamensis</i> Verrill, 1866	J. Cortés com. pers. mayo 2002
<i>Psammocora stellata</i> Verrill, 1864	Jiménez & Cortés 2003
Ahermatípicos	
<i>Dendrophyllia gracilis</i> Milne Edwards & Haime, 1860	Cortés & Murillo 1985
<i>Oulangia bradleyi</i> Verrill, 1866	Jiménez 1995
<i>Tubastrea coccinea</i> Lesson, 1829	Soto & Bermúdez 1990

Durante estos primeros 13 años de estudio, se destaca que las comunidades arrecifales del PNMB están muy alteradas, especialmente por la actividad de barcos camaroneros que arrastran sus redes por el fondo y por los ríos que acarrearán sedimentos debido a la construcción de la Carretera Costanera (Cortés & Murillo 1985, Soto & Bermúdez 1990). Es común ver áreas de coral cubiertas por sedimentos (Avilés 1994). Asimismo, por la pesca y extracción ilegal de organismos arrecifales, y por la visitación sin control por parte de los turistas y boteros que anclan en cualquier lugar (Jiménez 1995). Pero el impacto más devastador lo está produciendo el calentamiento de las aguas producto del fenómeno de El Niño. El Niño 1991-1992 produjo en promedio un 57% de blanqueamiento en las colonias existentes del parque, siendo los géneros *Pocillopora* con un 18% de muerte y *Psammocora* un 88% de blanqueamiento los más afectados (Jiménez & Cortés 2001). Para enero del 2001, la cobertura de coral vivo en el Tómbolo fue menor (13.3%), que en otros años (1992: 20.3%, 1994: 26.7%), indicando una disminución en la cobertura de coral vivo como resultado del calentamiento de las aguas debido a El Niño durante esos años. Igualmente, las áreas muertas se mantuvieron cubiertas por algas filamentosas por más de tres años luego de los episodios de calentamiento (Jiménez &

Cortés 2003a). Sin embargo, es probable que estas poblaciones se estén recuperando mejor en estos últimos años y haya una mayor cobertura de coral vivo debido a tres factores primordiales: 1) La conclusión de la Carretera Costanera-Sur, la cual producía una gran cantidad de sedimentos (Jiménez & Cortés 2003a), 2) La relativa estabilidad térmica del agua, debido a la ausencia de fenómenos de El Niño entre 1992 y 1997 y 3) La resistencia adquirida al mismo fenómeno (Jiménez & Cortés 2001).

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo principal

El objetivo principal del presente trabajo es describir los arrecifes y las comunidades coralinas, su distribución y abundancia en el Parque Nacional Marino Ballena.

### 2.2. Objetivos secundarios

1. Determinar cuáles son los sitios del PNMB que presentan comunidades y arrecifes coralinos.
2. Describir las diferentes zonas donde se observan comunidades y arrecifes coralinos en el PNMB.
3. Determinar la cobertura de coral vivo, muerto, y blanqueado en las diferentes comunidades y arrecifes coralinos del PNMB.
4. Medir el tamaño de las colonias en las diferentes zonas con el fin de establecer las zonas del PNMB con mejor desarrollo de corales.
5. Describir la diversidad de algunos organismos asociados a los arrecifes y comunidades coralinas.
6. Señalar cuáles son los procesos que están mediando en el desarrollo de las diferentes comunidades y arrecifes coralinos del PNMB.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó desde la desembocadura del río Morete en Playa Hermosa hasta Boca Coronado, incluyendo el Parque Nacional Marino Ballena, entre enero y setiembre del 2003, por medio de giras regulares cada mes y con una estadía mínima de cinco días durante cada una.

#### 3.1. Descripción de los arrecifes y comunidades coralinas del Parque Nacional Marino Ballena

Para determinar la presencia y distribución de los arrecifes y de las comunidades coralinas del Parque Nacional Marino Ballena se tomaron fotografías aéreas desde un avión ultraligero perteneciente a la compañía Skyline, y se realizaron arrastres manta (UNEP/AIMS 1993, Cintrón *et al.* 1994, Rogers *et al.* 2001), observaciones *in situ* y entrevistas a los pescadores y buzos de la zona. Se determinó la abundancia de las especies de coral y de otros organismos por medio de buceo SCUBA. La escogencia de los sitios de estudio fue el resultado del análisis de las observaciones anteriores.

En los sitios de estudio se realizaron descripciones de las características morfológicas (puntas, bajos, canales, relieve, sustrato). Además, se tomaron datos de salinidad (mediante un refractómetro manual ATAGO, modelo S/Mill-E), temperatura (mediante un termómetro de mercurio manual) y penetración de la luz (mediante un disco de Secchi). Así mismo, se anotó la abundancia relativa de las especies de coral clasificándolas como raro (una única observación), escaso (muy pocas observaciones), común (varias observaciones) y muy común (abundantes observaciones) (Jiménez 1998).

En el presente estudio se consideraron arrecifes coralinos, cuando ocurre un crecimiento de colonias de coral sobre una estructura basal formada principalmente por esqueletos de coral, mientras que se consideraron comunidades coralinas cuando la estructura basal coralina está ausente y el sustrato es arena o roca (Kleypas *et al.* 1999, Harriott & Banks 2002). Esta es una distinción importante debido que permite conocer la

contribución de los corales existentes en la construcción de las características topográficas y averiguar la vitalidad de los conjuntos coralinos a través del tiempo (Glynn & Wellington 1983).

Para estudiar la composición y la abundancia de los arrecifes coralinos y de las comunidades asociadas a estos, se realizaron observaciones cualitativas y cuantitativas, entre enero y mayo del 2003, mediante transectos permanentes por zona fisiográfica (Cintrón *et al.* 1994) luego de determinar la cantidad mínima de transectos por área mediante la curva de área por especies (Rogers *et al.* 2001), a lo largo de todo el parque. Los transectos consistieron en colocar una cuadrícula de PVC de 1 m<sup>2</sup>, subdividida en cuadrículas de 0.01 m<sup>2</sup>, a lo largo de un transecto paralelo a la costa de 10 m de largo medidos con una cinta métrica (Weinberg 1981). En cada sitio se realizaron tres transectos paralelos a la costa separados uno del otro por 5 m siguiendo una línea perpendicular a la costa (Fig. 4). En cada cuadrícula se contaron todas las colonias de coral presentes, así como otros organismos como macroalgas, algas calcáreas, equinodermos, octocorales, gasterópodos, poliquetos, tunicados y esponjas. De la misma manera, se cuantificó el tipo de sustrato en el que se encontraban (roca o arena) obteniendo una estimación del porcentaje de cobertura de cada categoría u organismo. Finalmente, se contó en todos los transectos todas las colonias que estaban muertas o blanqueados con el fin de determinar y comparar el estado de las comunidades y arrecifes coralinos del PNMB. Se escogió la técnica de la cuadrícula debido a que ella genera los mejores resultados de estimación de cobertura relativa, densidad de poblaciones, así como cuál es la especie dominante en cada sustrato, ya que este es el método más robusto y versátil para estudiar comunidades y arrecifes coralinos (Weinberg 1981).

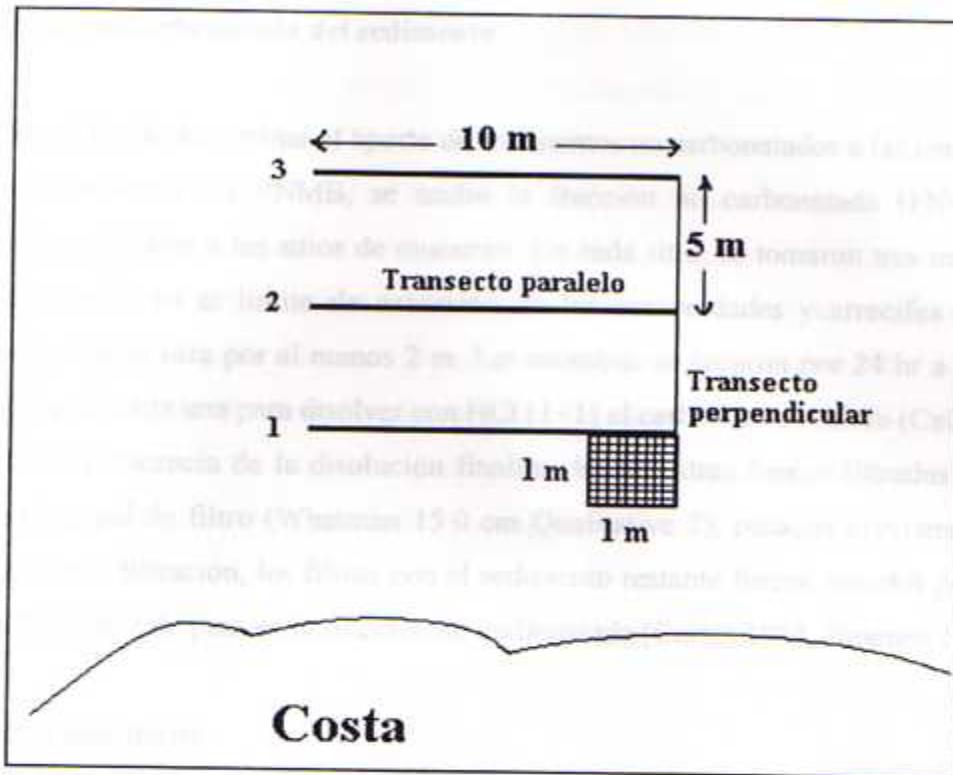


Fig. 4. Disposición de los transectos a lo largo de la costa.

### 3.2. Tamaño de las colonias

En cada sitio se midieron con una cinta métrica diez colonias de cada especie, en el caso de que hubiesen los diez individuos, en caso contrario se midieron las colonias presentes. A cada colonia se le midió el largo y el ancho y se obtuvo un promedio de talla de cada especie para cada sitio. La talla de cada colonia va a servir como un estimador indirecto de la edad de las colonias masivas (ej. *Porites lobata* o *Pavona clavus*) al ser comparadas con otros estudios previos de talla y crecimiento de otros sitios de las mismas especies de coral (ej. Potts *et al.* 1985, Guzmán & Cortés 1989b, Macintyre *et al.* 1992).

### 3.3. Fracción no carbonatada del sedimento

Con el fin de determinar el aporte de sedimentos no carbonatados a las comunidades y arrecifes coralinos del PNMB, se midió la fracción no carbonatada (FNC) en los sedimentos inmediatos a los sitios de muestreo. En cada sitio, se tomaron tres muestras (> 100 g) del fondo en el límite de extensión de las comunidades y arrecifes coralinas, distanciadas una de otra por al menos 2 m. Las muestras se secaron por 24 hr a 60°C y se tomaron 50 g de cada una para disolver con HCl (1+1) el carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Una vez que la efervescencia de la disolución finaliza, las muestras fueron filtradas con agua destilada en papel de filtro (Whatman 15.0 cm Qualitative 2), pesados previamente. Una vez terminada la filtración, los filtros con el sedimento restante fueron secados por 24 hr a 60°C. La diferencia de peso es la fracción no carbonatada (Cortés 1981, Jiménez 1998).

### 3.4. Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó a través de comparación de estadística descriptiva (promedios, desviaciones estándares y porcentajes) y a través de estadística paramétrica. Se construyeron dos matrices basadas en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia, el cual da más respaldo a las coincidencias (Crisci 1983) de las especies observadas en el parque y otro de las especies encontradas en los transectos, para determinar si el patrón de distribución de los corales en el parque se mantiene.

Se realizó una serie de pruebas de Análisis de Varianza (ANDEVA) (Daniel 1982) entre la cobertura coralina, algal y de octocorales halladas en los transectos, con el fin de determinar si existen diferencias con respecto a ellas entre los sitios estudiados. Se realizó una prueba *a posteriori* de Tukey, con el fin de determinar cuáles son los sitios que explican mejor esa diferencia.

Con el fin de observar la similitud entre los sitios estudiados, se realizó un dendrograma y un MDS tomando las coberturas totales de los transectos para todos los taxones encontrados basados en el índice de similitud de Pearson. El dendrograma muestra

las relaciones entre los grupos y el MDS analiza las relaciones individuales. Si los dos métodos complementarios concuerdan, las discontinuidades de los datos pueden ser aceptadas y tomadas como reales (Field *et al.* 1982). Para cada sitio se calculó el índice de diversidad  $H'$  de Shannon-Wiener utilizando todos los taxones que aparecieron en los transectos (Krebs 1989).

Finalmente, se realizó otra serie de análisis de varianza tomando las tallas (ancho y largo) de los corales (*Porites lobata*, *Pavona clavus* y *Pocillopora* sp.) medidos en los sitios y otro utilizando los valores de la fracción no carbonatada del sedimento. Para cada prueba de ANDEVA se realizó su respectiva prueba *a posteriori* de Tukey. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo a través de los programas Excel Microsoft 2000 y el paquete estadístico Systat 8.0.

#### IV. RESULTADOS

En febrero del 2003, durante la época seca, se realizó un sobrevuelo del área del PNMB, cubriendo una sección de la costa que abarca desde la boca del Río Morete o Higuieron, hasta la Roca la Viuda, hacia Boca Coronado, tomando en cuenta todos los islotes del parque y la costa (Fig. 1). El sobrevuelo se realizó en la marea baja del 1 de febrero del 2003, entre las 8:10 a.m. y las 9:10 a.m., con el máximo de marea baja a las 8:50 a.m. de 0 cm. Se utilizó una cámara Canon EOS RebelX con un lente de 52 mm y un filtro polarizador de luz para reducir los reflejos del mar, utilizando películas Fujichrome 100 ISO y AGFA pro 200.

Luego, los diferentes sitios observados en el sobrevuelo fueron visitados en las giras siguientes mediante buceo SCUBA o mediante arrastre manta, que consiste en remolcar con una embarcación pequeña de motor externo a una persona con equipo de buceo libre por encima del arrecife. Se hacen paradas periódicas para anotar datos (Rogers *et al.* 2001). En total se seleccionaron 10 sitios de estudio (Fig. 5). No se escogió ningún sitio en las zonas rocosas de la costa del parque, debido a la poca visibilidad (menos de 1 m), el fuerte

oleaje en ciertas partes, la ausencia de colonias de coral y por la gran cantidad de sedimentos en resuspensión.

El fondo marino del P.N.M.B. está compuesto en su mayoría por rocas basálticas (de origen volcánico) que llegan a formar una serie de canales y paredes de poca profundidad, alternando con arena (en menor cantidad), y en algunos casos segmentos de estructura coralina muerta. Por lo general, es muy regular, encontrándose pliegues en las paredes de las rocas, los cuales forman cavidades o grutas ideales para el desarrollo de peces u otros invertebrados.

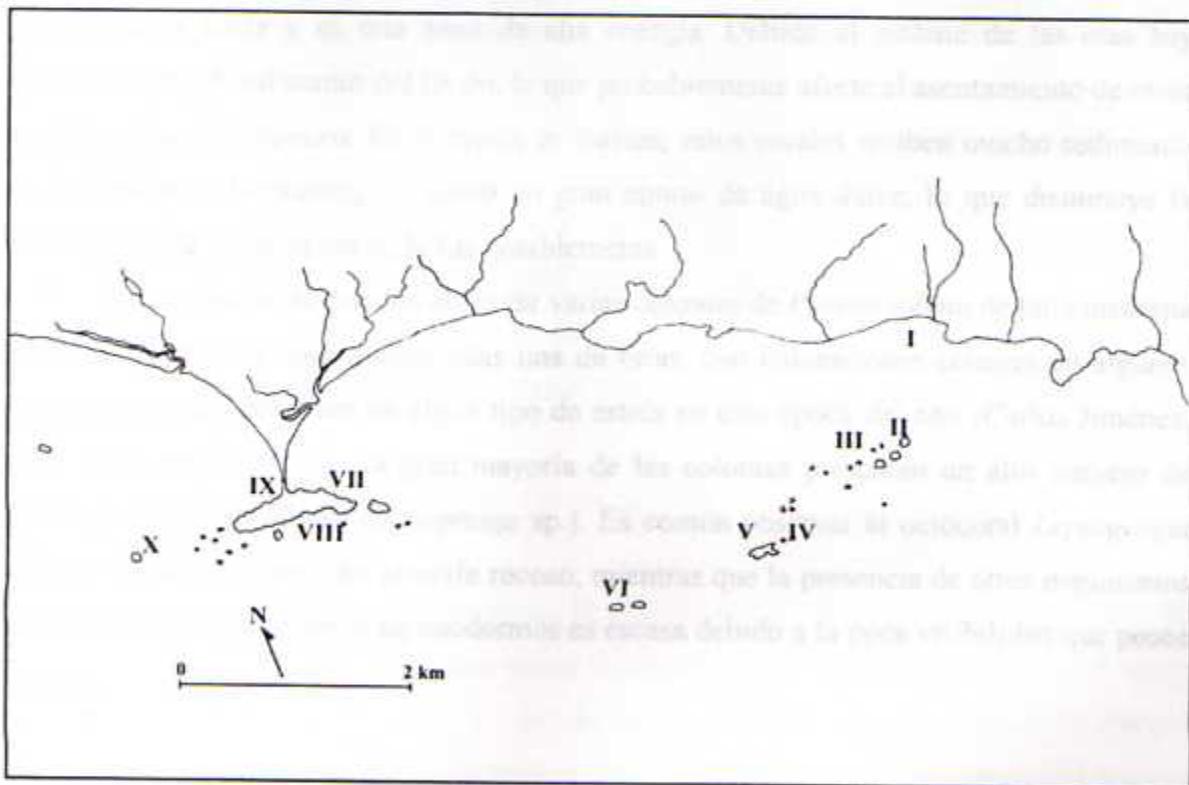


Fig. 5. Sitios seleccionados en el PNMB para realizar los estudios de composición y distribución de las comunidades y arrecifes coralinos. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.

#### 4.1. Descripción de los sitios de estudio

##### Playa Ballena (Sitio 1)

El sector de Playa Ballena (Fig. 6) es una zona de fuerte oleaje prácticamente todos los meses del año, lo que dificulta su acceso para trabajar en ella. Su profundidad es de entre 3 y 5 m, en la cual predomina el sustrato rocoso (basaltos). Las comunidades coralinas se encuentran frente al sector este de la playa, al frente de la desembocadura de la Quebrada Mercedes (Fig. 1 y 6). Esta comunidad coralina se encuentra alrededor de unos 100 m de la costa y es una zona de alta energía. Debido al embate de las olas hay resuspensión del sedimento del fondo, lo que probablemente afecte el asentamiento de otros corales como *Pocillopora*. En la época de lluvias, estos corales reciben mucho sedimento de la Quebrada Mercedes, así como un gran aporte de agua dulce, lo que disminuye la visibilidad y la penetración de la luz notablemente.

En este sector se pueden observar varias colonias de *Porites lobata* de talla mediana (entre 40 y 70 cm) muy distanciadas una de otras, con coloraciones celestes en algunos casos, lo que es indicativo de algún tipo de estrés en esta época del año (Carlos Jiménez, pers. com. mayo 2003). La gran mayoría de las colonias presentan un alto número de bivalvos bioerosionadores (*Lithophaga* sp.). Es común observar al octocoral *Leptogorgia alba* en varias secciones del arrecife rocoso, mientras que la presencia de otros organismos en el arrecife, como peces o equinodermos es escasa debido a la poca visibilidad que posee el sitio.



Fig. 6. Detalle del área de Playa Ballena en donde se observaron colonias de coral aisladas y la salida de la Quebrada Mercedes, febrero 2003.

#### Rocas las Tres Hermanas y alrededores (Sitios II y III)

La zona de las Tres Hermanas es la sección del PNMB con mejor desarrollo de arrecife coralino. Al frente de las tres rocas principales (Fig. 7) se puede observar el único arrecife coralino del Parque (Fig. 8), siendo una zona en la cual las colonias de *Porites lobata* son abundantes, de gran tamaño (entre 1 y 3 m de diámetro) y creciendo una encima de la otra. Algunas colonias alcanzan más de los 3 m de diámetro y se observan teniendo diferentes formas de crecimiento, como hongos, platos, domos o costras. En su mayoría, son colonias de tipo de platos sobrepuestos unos sobre otros, en los cuales sus bordes muestran mordeduras de peces. Estas mordeduras son agentes muy importantes en la

dispersión de las colonias mediante la fragmentación (Guzmán 1986), y juegan un papel muy importante en la bioerosión del arrecife (Guzmán 1988, Fonseca 1999).

En este arrecife, conformado prácticamente en su totalidad por *Porites lobata* se pueden observar también otros corales formando parches definidos o mezclándose con otros corales. El coral *Pavona clavus* es bastante común en varias secciones del arrecife, mientras que los corales *Pavona gigantea*, *Pocillopora damicornis*, *P. elegans*, y *Psammocora stellata* se observan pero en menor cantidad. Debajo de varias colonias de *Porites*, se pueden observar colgando el octocoral *Carijoa* sp. en altas densidades, y en otras secciones del arrecife se pueden observar otros octocorales como *Pacifigorgia* spp. Dentro de varias cuevas y grietas se puede observar al erizo de mar *Diadema mexicanum*.

Durante la época seca, la visibilidad (entre 7 y 10 m) es muy buena, pero en la época lluviosa disminuye (entre 1 y 3 m) debido los sedimentos que son arrastrados desde la Boca de Coronado. La profundidad de este arrecife es de 6 m y por lo general es una zona de muy fácil acceso.

Hacia el oeste de estas tres rocas principales, se extiende una zona rocosa que durante marea baja se expone y posee una profundidad no superior a los 5 m. En ella se pueden encontrar varias colonias de *P. lobata* de varios metros de diámetro, así como micro-atolones dispersos. El fondo es una mezcla de zonas arenosas muy planas y roca, y en varias secciones se pueden observar fragmentos de un arrecife muerto de *Pocillopora* spp. (Fig. 9). Este arrecife posee una área de aproximadamente 8750 m<sup>2</sup> y en algunas partes se pueden observar fragmentos del mismo coral de hasta de 1 m de longitud. En esta sección se pueden observar también colonias de *P. clavus* y de *Pocillopora* spp., pero en muy baja cantidad y muy dispersas

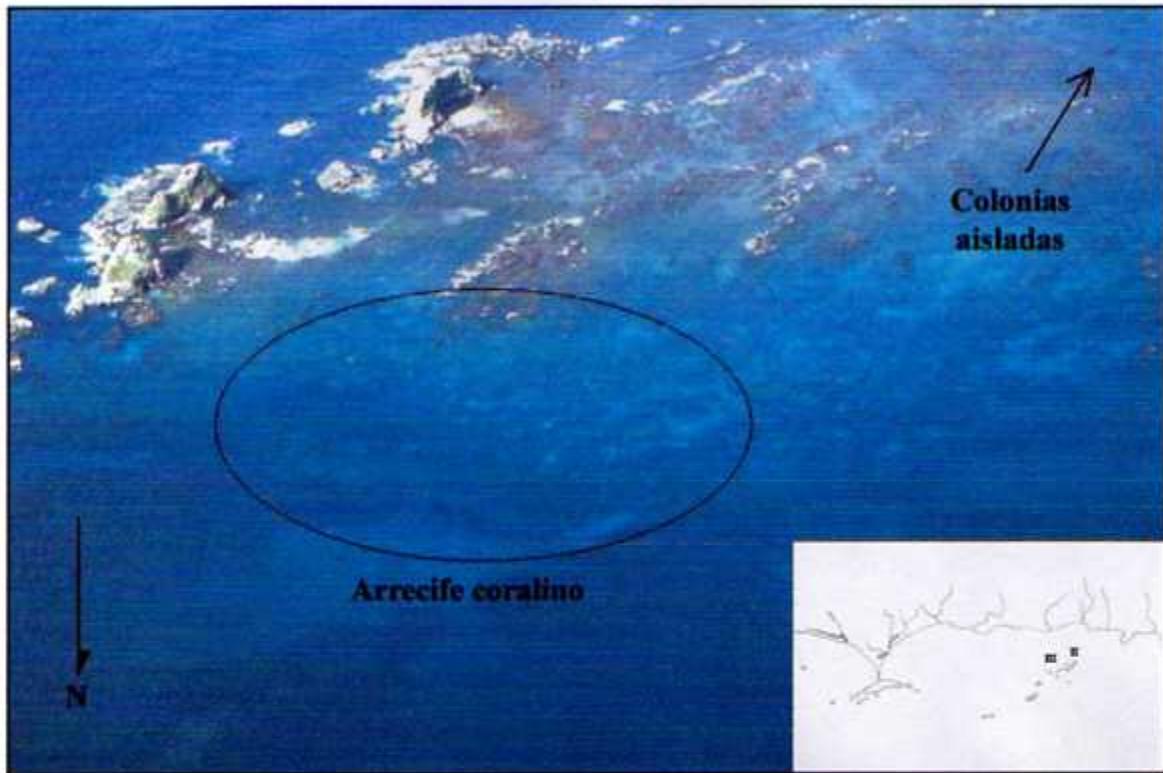


Fig. 7. Vista área de las Rocas las Tres Hermanas donde se indica la localización del arrecife coralino (círculo) y colonias aisladas de coral (flecha) en las partes someras cercanas a ellas, febrero 2003.



Fig. 8. Vista submarina del arrecife coralino de las Rocas las Tres Hermanas, marzo 2003.



Fig. 9. Parche muerto del coral *Pocillopora* spp. expuesto en una sección de la zona aledaña a las Rocas las Tres Hermanas, enero 2003.

#### Isla Ballena (sitios IV y V)

La Isla Ballena puede dividirse en dos secciones. La parte norte que da hacia la costa y la parte sur que da hacia mar abierto. La segunda sección se caracteriza por poseer un declive muy fuerte, en donde la profundidad cae rápidamente hasta los 20 m y donde el fondo está conformado por arena. En las paredes se pueden observar algunas colonias pequeñas de los corales *Pavona varians* y *P. gigantea*, también algunas colonias de los corales ahermatípicos *Oulangia bradleyi* y *Astrangia* sp. En esta zona hay mucha corriente y entre las rocas existen zonas muy peligrosas para el buceo.

La parte norte de la isla es más somera (6 m), en la que se observan rocas con una fuerte inclinación hacia el norte y se pueden hallar colonias aisladas de *P. lobata*, *P. damicornis*, *P. elegans*, *P. gigantea*, *P. clavus*, *P. stellata*, y *P. superficialis*. Sin embargo,

estas colonias son pequeñas y dispersas. En las colonias de *P. lobata*, se notan mordeduras de peces. En esta zona es común encontrar las estrellas de mar *Phataria unifascialis*, *Pharia pyramidata* entre las rocas y *Pentaceraster cumingi* en la zona de arena. En las zonas rocosas se encuentran colonias del octocoral *Leptogorgia alba* en las cuales se pueden observar altas densidades de estrellas quebradizas (*Ophiactis savignyi* y *Ophiothela mirabilis*).

A lo largo de la sección de rocas del lado norte, hay un canal de arena (Fig. 10), interrumpido por rocas, que llega hasta la sección rocosa cercana a las Tres Hermanas. Esta es una zona un poco más profunda (8 m), en la que se pueden observar varias colonias de una esponja anaranjada.

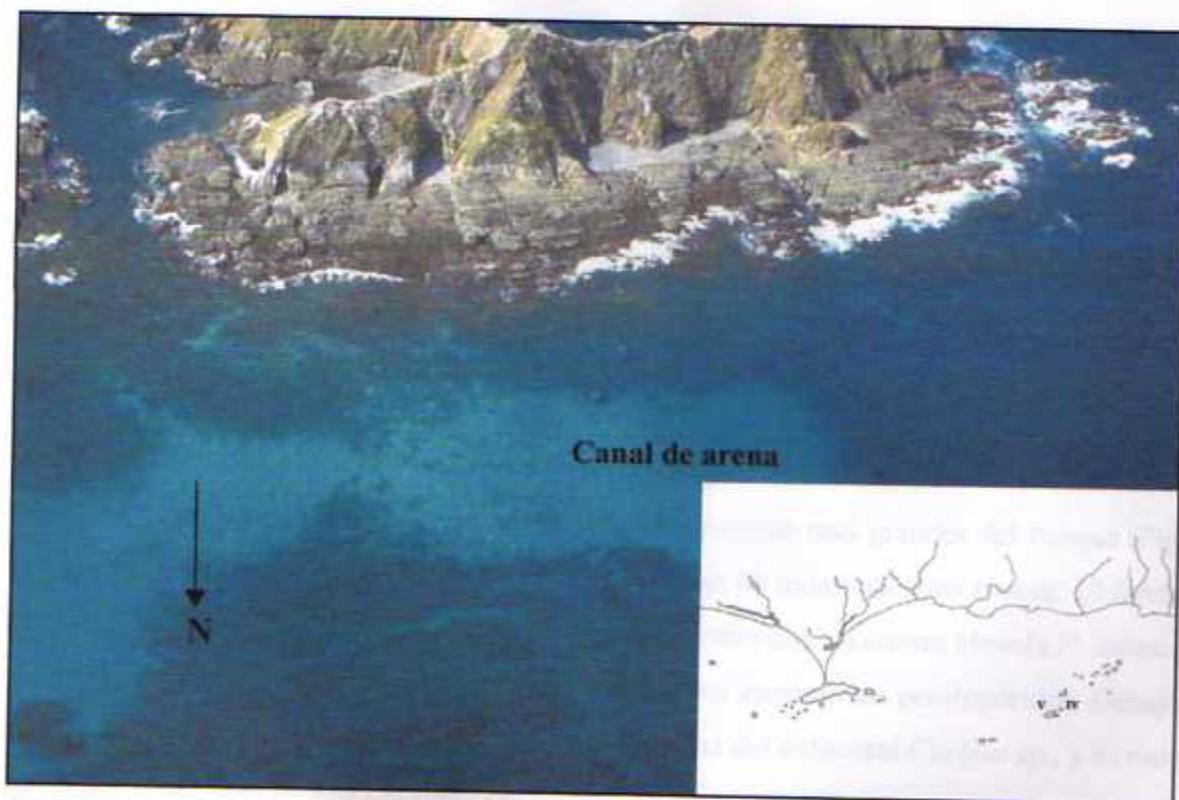


Fig. 10. Vista área de la parte norte de la Isla Ballena y del canal de arena, febrero 2003.

## Bajo Ballena (Sitio VI)

Este bajo, de aproximadamente 11 m de profundidad, presenta uno de los sitios más diversos de todo el parque y el segundo arrecife coralino de la zona. Se encuentran varias colonias, de gran tamaño, de varias especies de coral (*P. lobata*, *P. clavus*, *P. gigantea*, *P. elegans*, *P. damicornis*, *P. stellata*, *P. superficialis* y *Pavona frondifera*). *P. clavus* es el coral predominante, seguido por *P. lobata* y *P. superficialis*. Las otras especies son poco abundantes. También se observan muchos erizos de mar (*D. mexicanum*) y varias especies de peces. Sin embargo, este es un sitio muy dinámico, donde las corrientes imperan todo el tiempo. Este es el punto más alejado de la costa que posee el parque y está más influenciado por condiciones oceánicas.

## Tómbolo de Punta Uvita (sitios VII, VIII y IX)

El tómbolo de Punta Uvita es la formación más sobresaliente del PNMB. En ella se pueden encontrar tres sectores: el costado noroeste, el costado noreste y el costado sur (Fig. 5).

El costado noroeste y noreste morfológicamente son muy parecidos. Ambos poseen una baja profundidad, están compuestos de pequeñas rocas que forman una serie de canales poco profundos y que quedan expuestos en marea baja. Sin embargo, el sector noreste, al estar más protegido posee una de las comunidades coralinas más grandes del Parque (Fig. 11). Esta sección del tómbolo alberga corales a lo largo de toda su zona rocosa. El fondo es rocoso, seguido por una zona grande de arena. En estas dos secciones abunda *P. lobata*, mientras que otras especies son escasas o muy raras, por ejemplo los pocilopóridos. Debajo de las colonias de *P. lobata* se pueden observar colonias del octocoral *Carijoa* sp., y es muy común apreciar al octocoral *Leptogorgia alba*.

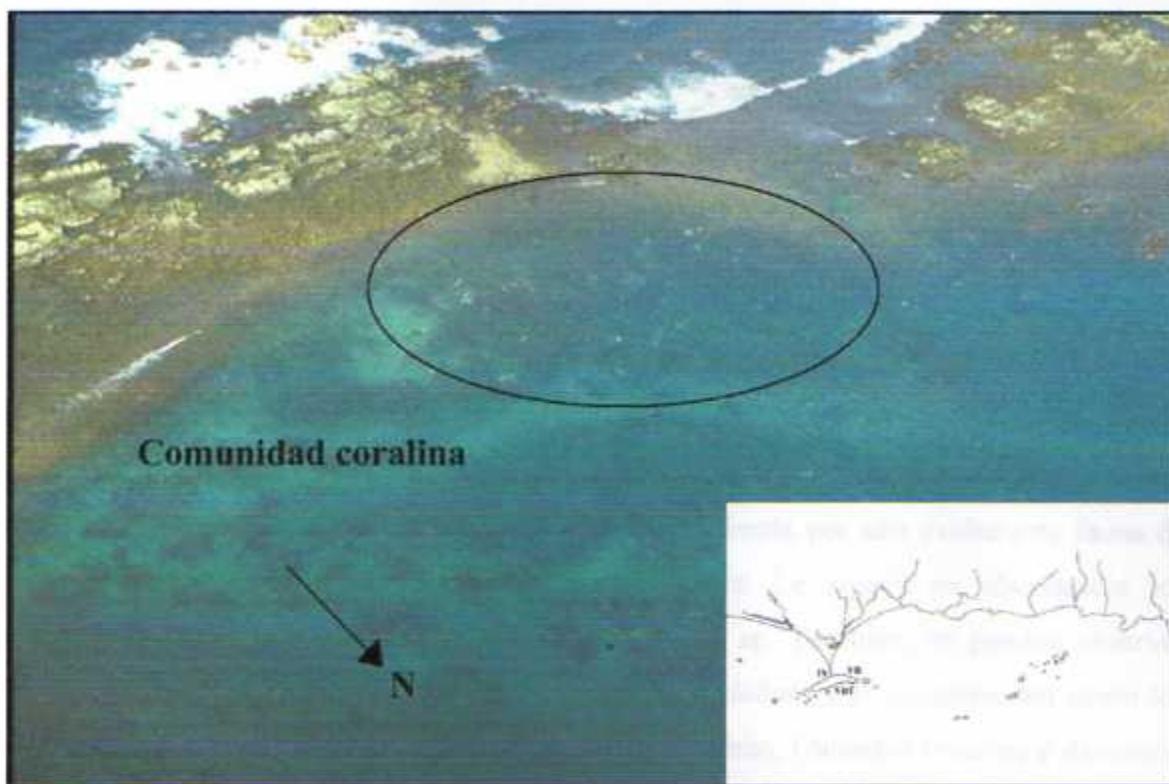


Fig. 11. Vista área de la sección noreste del Tómbolo de Punta Uvita, en donde se observa una comunidad coralina de *Porites lobata*, febrero 2003.

Sin embargo, esta zona fue en la cual se observaron la mayor cantidad de colonias blanqueadas en verano, debido a la baja profundidad (3 m) y la presencia de los ríos Uvita y Morete que traen sus sedimentos directamente a ellos. En la época lluviosa estas zonas se vuelven muy turbias y la visibilidad disminuye notablemente.

La sección sur del tómbolo es una zona de alta energía donde el embate de las olas es constante, y en donde las corrientes son fuertes. En ésta, se pueden observar colonias, de tamaño pequeño (entre 30 y 50 cm de diámetro), de *P. clavus*, *P. gigantea*, *P. elegans*, *P. stellata* y *P. lobata*. Todas las especies de coral son escasas, con excepción de la última. El fondo es irregular, de 8 m de profundidad, con zonas de arena en la parte más profunda. El sustrato está dominado por el octocoral *Leptogorgia alba*, aunque se pueden observar colonias de *Pacifigorgia* spp.

## Roca la Viuda (sitio X)

La Roca la Viuda (Fig. 12) está localizado en el extremo oeste del PNMB. Es el punto más extremo del parque hacia ese sector. La Roca la Viuda se caracteriza por ser un islote con una fuerte pendiente hacia el sur, en la que se puede observar una pared que cae abruptamente hasta unos 20 m de profundidad. En esta es común encontrar varias especies de octocorales, y por su morfología pocas o ninguna especie de coral. El norte, posee una pendiente menos fuerte que alcanza unos 15 m de profundidad. Es una zona de mucha corriente, lo que dificulta el trabajo de investigación, pero bajo condiciones de época seca es un sitio ideal para el buceo. Esta sección está dominada por una exuberante fauna de octocorales, el género *Pacifigorgia* es el dominante. Le siguen en abundancia los octocorales *Leptogorgia alba*, *Carijoa* sp. y *Muricea* sp. También, se pueden observar algunas colonias pequeñas y aisladas de los corales *P. lobata* y *P. gigantea*, así como los corales ahermatípicos *Tubastrea coccinea*, bastante común, *Oulangia bradleyi* y *Astrangia cf. dentata*.

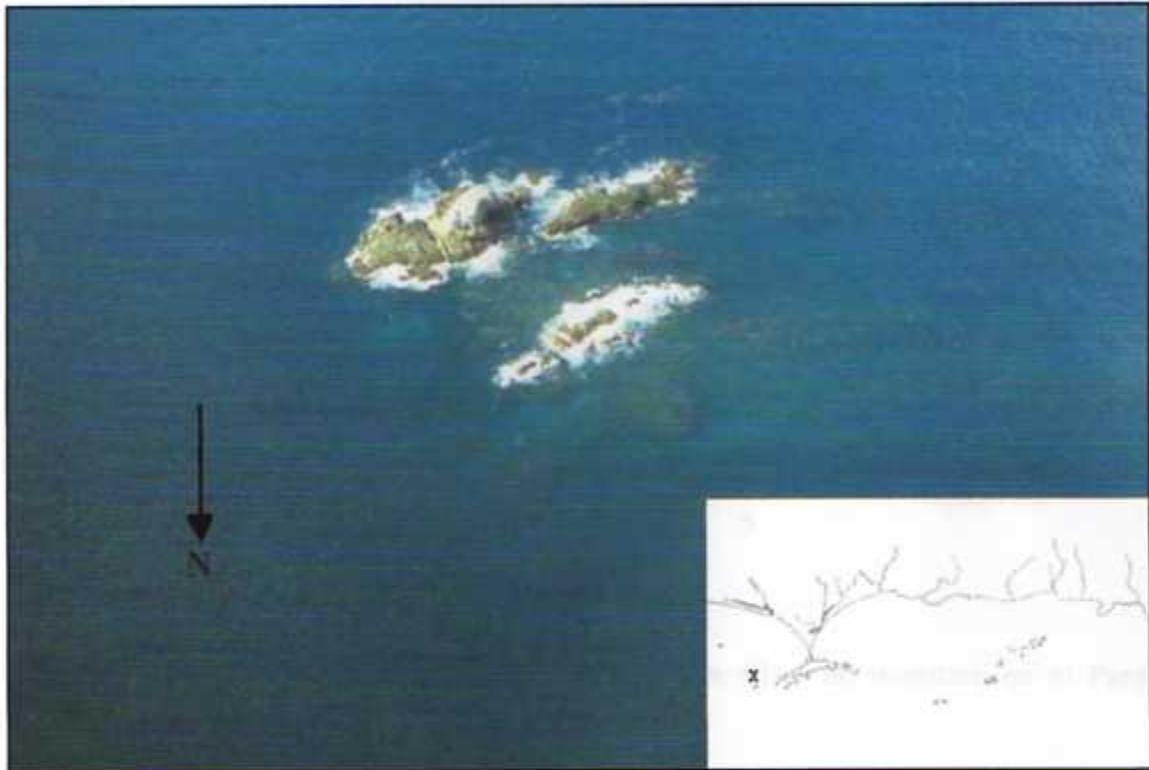


Fig. 12. Vista aérea de la Roca la Viuda, PNMB, febrero 2003.

#### 4.2. Estudio de la composición coralina del Parque Nacional Marino Ballena

Para cada sitio se realizaron tres transectos (n), debido a que la curva de especies por área (Fig. 13) se estabilizó en todos los sitios con tres o menos transectos, ya que en la mayoría de ellos solo aparecieron entre dos y tres especies de corales y, en todos ellos dominó el coral *P. lobata*. En total se realizaron 30 transectos de 10 m de largo cada uno, con lo cual se cubrió un área total de 300 m<sup>2</sup>. Los transectos se realizaron entre marzo y mayo, y luego se efectuaron visitas a los sitios de estudio entre junio y septiembre con el fin de ver cómo cambian las condiciones ambientales.

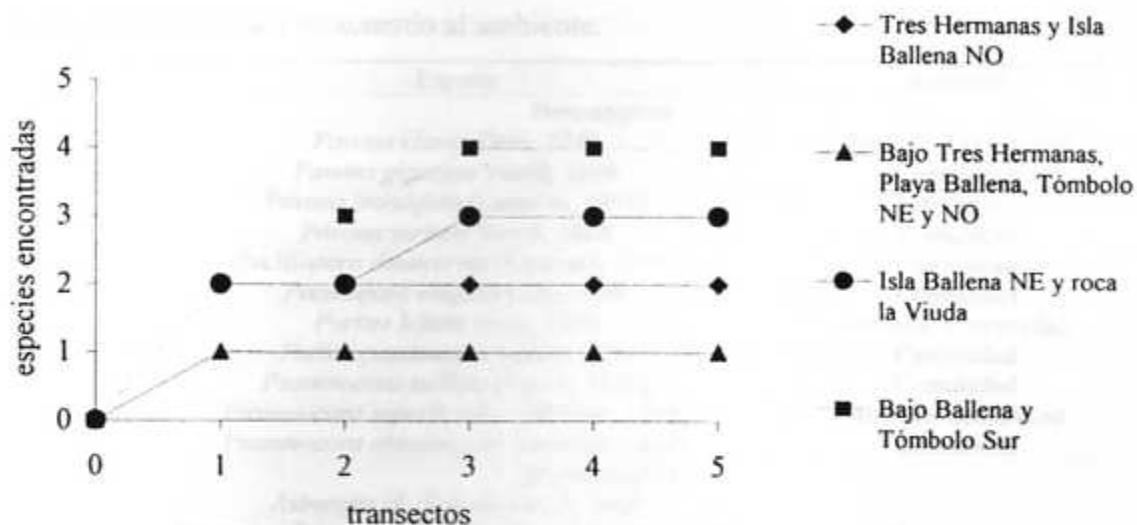


Fig. 13. Curva de especies vs. área en los diferentes sitios de muestreo en el Parque Nacional Marino Ballena.

En el transcurso del estudio, se observaron 15 especies de corales escleractinios (Cuadro 2), para un total de 17 especies para el parque, en cuatro géneros de corales hermatípicos y cuatro géneros de corales ahermatípicos. El género *Pavona* es el que presenta más especies (cinco), seguido por *Psammocora* (tres) y por último con igual número *Porites* y *Pocillopora*, con dos cada uno. En el caso de los ahermatípicos, el género *Astrangia* fue el que presentó el mayor número de especies (dos), mientras que el resto solo mostró una especie. Las dos especies de *Astrangia* (*A. cf. equatorialis* y *A. cf. dentata*) y los corales hermatípicos, *Pavona frondifera*, *Psammocora superficialis* y *Psammocora obtusangula* son nuevos informes para el PNMB. En la mayoría, de los casos todas las especies se encontraron en comunidades coralinas, mientras que solo tres, son elementos comunes o abundantes de los arrecifes coralinos del parque (Cuadro 2)

Cuadro 2. Corales escleractíneos hermatípicos y ahermatípicos del Parque Nacional Marino Ballena y su distribución de acuerdo al ambiente.

Especie	Ambiente
Hermatípicos	
<i>Pavona clavus</i> Dana, 1846	Arrecife, Comunidad
<i>Pavona gigantea</i> Verrill, 1869	Comunidad
<i>Pavona frondifera</i> (Lamarck, 1816)	Arrecife
<i>Pavona varians</i> Verrill, 1864	Comunidad
<i>Pocillopora damicornis</i> (Linnaeus, 1748)	Comunidad
<i>Pocillopora elegans</i> Dana, 1846	Comunidad
<i>Porites lobata</i> Dana, 1846	Arrecife, Comunidad
<i>Porites panamensis</i> Verrill, 1870	Comunidad
<i>Psammocora stellata</i> (Verrill, 1860)	Comunidad
<i>Psammocora superficialis</i> (Gardiner, 1898)	Arrecife, comunidad
<i>Psammocora obtusangula</i> (Lamarck, 1816)	Comunidad
Ahermatípicos	
<i>Astrangia</i> cf. <i>dentata</i> Verrill, 1866	
<i>Astrangia</i> cf. <i>equatorialis</i> Durham and Barnard, 1952	Comunidad
<i>Oulangia bradleyi</i> Verrill, 1866	Comunidad
<i>Tubastrea coccinea</i> Lesson, 1829	Comunidad

El sitio en el cual se observaron más especies de corales fue el Bajo Ballena con nueve especies de corales (Cuadro 3), seguido por la sección noreste de la Isla Ballena, la sección noreste del tómbolo y las rocas las Tres Hermanas con siete especies. La roca la Viuda, El sector sur del tómbolo, y el bajo cerca de las Tres Hermanas con seis, cinco y cuatro especies respectivamente. Mientras que los sitios más pobres son el sector noroeste del tómbolo con tres especies, la sección noroeste de la Isla Ballena con dos especies y la zona cerca de Playa Ballena con solamente una especie.

El Bajo Ballena es el sitio que posee prácticamente todas las especies de corales hermatípicos del parque, con excepción de *P. panamensis*, el cual no se observó, pero es probable que se encuentre en muy bajas cantidades. En general, los demás sitios del parque presentan las mismas especies de corales. *P. lobata* es el único coral que está presente en todos los sitios, mientras que *Psammocora obtusangula*, *P. panamensis*, *Astrangia* spp. y *Oulangia bradleyi* se observaron en un solo sitio.

Los análisis de similitud de presencia y ausencia de las especies de coral entre los sitios estudiados indicaron que hay cuatro grupos en el PNMB (Fig. 14 y 15). El primero

compuesto por la roca la Viuda, la cual es la zona con las mayores diferencias, ya que fue en esta parte en donde se observaron las diferentes especies de corales ahermatípicos. El segundo grupo lo conforma el sitio número 1 (Playa Ballena), ya que en éste solo se observó al coral *P. lobata*. Los sitios que más se asemejan en cuanto a la presencia de especies son los costados noroeste de la Isla Ballena y del tómbolo y el bajo cerca de las Tres Hermanas, los cuales forman el tercer grupo por poseer tan pocas especies de coral, mientras que el Bajo Ballena, el sector noreste de la Isla Ballena y las Tres Hermanas forman el último grupo, debido a la riqueza de especies observadas. El sector noroeste del tómbolo es un punto intermedio en el cual se encuentra pocas especies. De manera general, la mayoría de los corales son escasos en todo el parque (Cuadro 3), solamente los corales *P. lobata* en las Tres Hermanas y en el tómbolo noreste y *P. clavus* en el Bajo Ballena son muy comunes. El único coral común en todas las zonas estudiadas fue *P. lobata*, mientras que a lo largo del parque los otros corales son escasos.

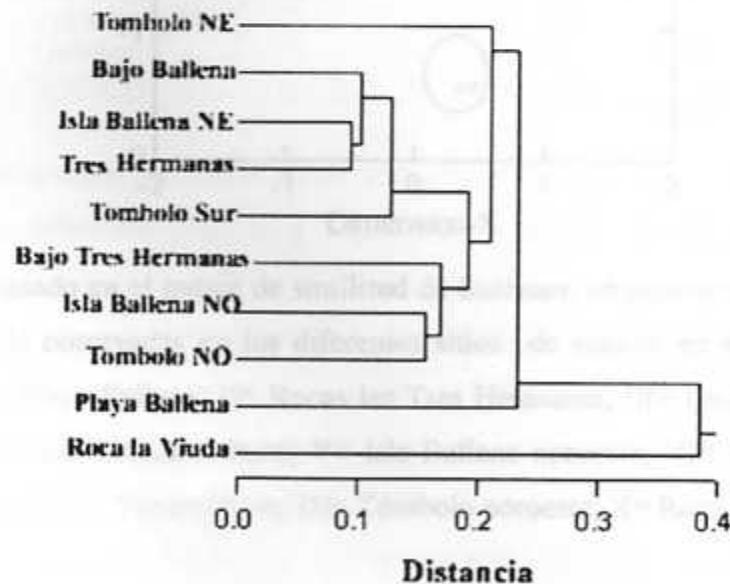


Fig. 14. Dendrograma de unión simple basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral observadas en los diferentes sitios de estudio en el PNMB.

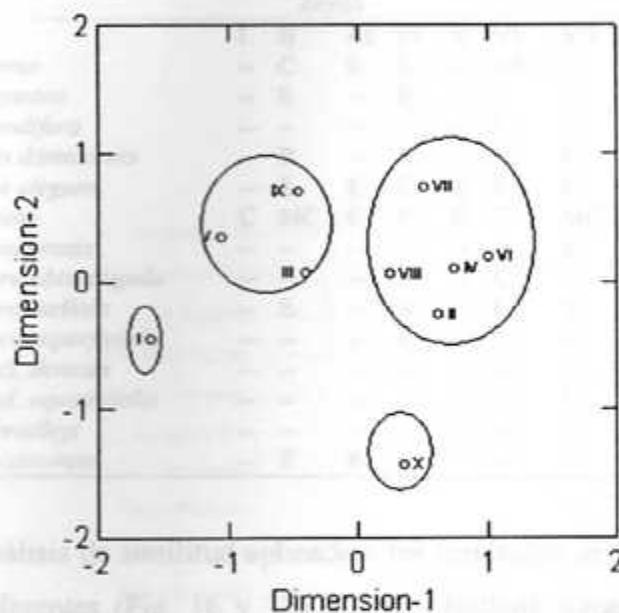


Fig. 15. MDS basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral observadas en los diferentes sitios de estudio en el PNMB (nivel de estrés=0.04). I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballena noreste; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda.

Cuadro 3. Presencia y abundancia relativa (R= raro, E= escaso, C= común, MC= muy común) por zonas de las especies de corales hermatípicos en los arrecifes coralinos del Parque Nacional Marino Ballena. I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballena noreste; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda.

Especie	Zonas									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Pavona clavus</i>	--	C	E	C	--	MC	E	E	--	E
<i>Pavona gigantea</i>	--	E	--	E	--	E	--	E	--	E
<i>Pavona frondifera</i>	--	--	--	--	--	E	--	--	--	--
<i>Pocillopora damicornis</i>	--	R	--	E	--	E	E	--	--	--
<i>Pocillopora elegans</i>	--	E	E	C	E	E	E	R	E	--
<i>Porites lobata</i>	C	MC	C	C	E	C	MC	C	C	C
<i>Porites panamensis</i>	--	--	--	--	--	--	R	--	--	--
<i>Psammocora obtusangula</i>	--	--	--	--	--	C	--	--	--	--
<i>Psammocora stellata</i>	--	E	--	E	--	C	E	E	E	--
<i>Psammocora superficialis</i>	--	--	--	E	--	C	--	--	--	--
<i>Astrangia cf. dentata</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	R
<i>Astrangia cf. equatorialis</i>	--	--	--	--	--	--	E	--	--	--
<i>Oulangia bradleyi</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	R
<i>Tubastrea coccinea</i>	--	E	E	--	--	--	--	--	--	E

El mismo análisis de similitud aplicado a los resultados de los transectos indicaron valores un poco diferentes (Fig. 16 y 17). El bajo Ballena sigue siendo el sitio donde aparecen más especies de coral (cuatro) (Cuadro 4), al igual que la parte sur del tómbolo. En las secciones de la Isla Ballena noreste, Tres Hermanas, y tómbolo noreste solamente aparecen tres, dos y una especie respectivamente. El bajo cerca de las Tres Hermanas y la parte noroeste del tómbolo disminuyeron a solamente una especie, mientras que La Viuda y la sección noroeste de la Isla Ballena se mantuvieron prácticamente iguales. De nuevo, *Porites lobata* es el único coral que aparece en todas las áreas estudiadas del parque, mientras que *Pavona clavus* aparece solo en cuatro sitios y *Pocillopora elegans* solo en tres. El resto de los corales se observaron una vez o no aparecieron del todo. Sitios como el tómbolo noroeste y, la Playa Ballena, y el bajo de las Tres Hermanas son dominados

completamente por *P. lobata* y son sumamente parecidos. La Isla Ballena y la sección noroeste de la Isla Ballena agrupan en los transectos ciertas especies diferentes, mientras que en el bajo Ballena, el tómbolo sur, y la Isla Ballena noreste la presencia de otros corales es más evidente, lo que los hace bastante similares.

En ambos análisis de MDS se encontraron valores de nivel de estrés inferiores a 0.05. Valores de este tipo indican una excelente representación grafica de los datos (Clarke & Warwick 1994).

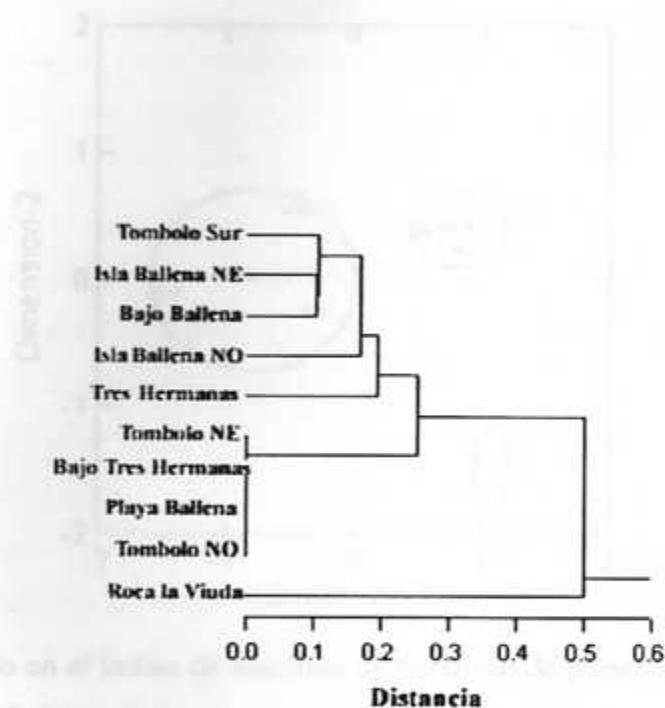


Fig. 16. Dendrograma de unión simple basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral halladas en los transectos de los diferentes sitios estudiados en el PNMB.

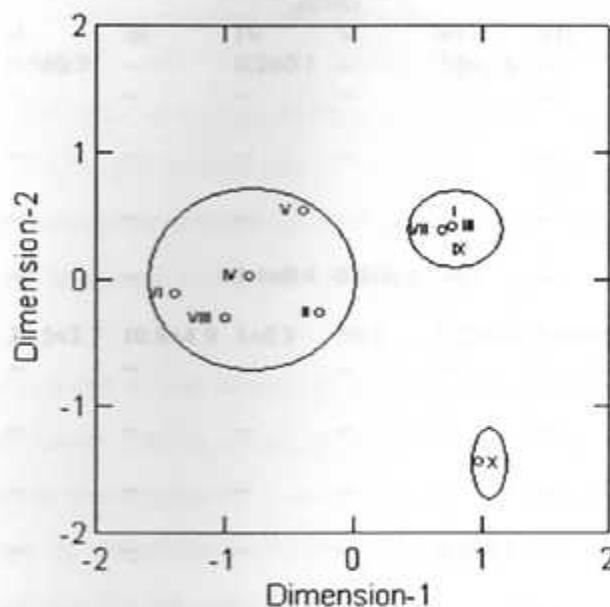


Fig. 17. MDS basado en el índice de similitud de Sorensen de presencia y ausencia de las especies de coral halladas en los transectos de los diferentes sitios estudiados en el PNMB (nivel de estrés=0.04). I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballenan; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda.

Cuadro 4. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$  desviación estándar) de cada especie de coral por sitio para el Parque Nacional Marino Ballena. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda (tres transectos/sitio).

Especie	Zonas									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Pavona clavus</i>	--	0.5 $\pm$ 0.3	--	0.2 $\pm$ 0.1	--	7.2 $\pm$ 1.6	--	0.2 $\pm$ 0.1	--	--
<i>Pavona gigantea</i>	--	--	--	--	--	--	--	<0.1	--	--
<i>Pavona frondifera</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Pocillopora damicornis</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Pocillopora elegans</i>	--	--	--	1.1 $\pm$ 0.4	0.2 $\pm$ 0.1	<0.1	--	--	--	--
<i>Porites lobata</i>	3 $\pm$ 0.8	36.5 $\pm$ 3.7	10.8 $\pm$ 4.9	1 $\pm$ 0.3	<0.1	1.2 $\pm$ 0.6	5.9 $\pm$ 0.9	1.2 $\pm$ 0.2	5.5 $\pm$ 1.9	0.5 $\pm$ 0.3
<i>Porites panamensis</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Psammocora obtusangula</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Psammocora stellata</i>	--	--	--	--	--	--	--	0.2 $\pm$ 0.1	--	--
<i>Psammocora superficialis</i>	--	--	--	--	--	0.1 $\pm$ 0.1	--	--	--	--
<i>Astrangia dentata</i> cf.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.1
<i>Astrangia equatorialis</i> cf.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<i>Oulangia bradleyi</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.1
<i>Tubastrea coccinea</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

La zona de las Tres Hermanas (Sitios II y III) es la que presenta la mayor cobertura de coral vivo (Cuadro 5). El sitio II es el que presenta el mayor porcentaje de todo el parque. Esta zona es seguida por el bajo Ballena, el cual posee una cobertura intermedia comparada con la primera. Los costados norte del tómbolo poseen una cobertura de coral

vivo muy similares y son menores que las anteriores. Las coberturas más bajas se encuentran en la Playa Ballena, la Isla Ballena, el sector sur del tómbolo y La Viuda.

Contrariamente a este patrón, el mayor porcentaje de algas se encontró en el sector noroeste de la Isla Ballena, donde algas del género *Padina* fueron bastante abundante. El fondo está conformado en un 50% por rocas y recubierto por pequeñas algas filamentosas. Este sitio es el que posee la menor cobertura de corales de todo el parque y el mayor porcentaje de arena. Zonas de cobertura intermedia de algas se encuentran en las zonas de cobertura intermedia de corales como el bajo Ballena, la Playa Ballena y el bajo de las Tres Hermanas. El tómbolo mostró una cobertura baja de algas y corales, sin embargo, su fondo es muy rocoso y está cubierto por un tipo de algas filamentosas.

La Viuda fue el sitio que mostró una de la menores coberturas de algas y corales, su fondo tiene un alto porcentaje de arena y rocas, y las Rocas las Tres Hermanas presentó una cobertura muy baja de algas, un porcentaje de rocas intermedio y el mayor porcentaje de cobertura de coral.

El coral *P. lobata* fue el que obtuvo el mayor porcentaje de cobertura de coral vivo (Cuadro 4), y fue el único que se encontró en todos los sitios. En las Rocas las Tres Hermanas es la especie predominante y es prácticamente ella la que construye todo el arrecife. Su porcentaje de cobertura disminuye en el bajo de las Tres Hermanas, y en los sectores norte del tómbolo. En las otras zonas de estudio, su cobertura fue bastante baja, y solo se observaron colonias aisladas. En todos los sitios estudiados con excepción del VI, esta especie es la más sobresaliente de las comunidades coralinas del parque.

El único sector en que otra especie de coral es abundante es la zona del bajo Ballena, donde el coral *P. clavus* es el principal constructor. Este posee una cobertura muy baja en otras zonas del parque y prácticamente apareció muy poco en los transectos. Corales como *Psammodora* o *Pocillopora* poseen una escasa cobertura, y los únicos sectores donde se encontraron fueron las zonas del Bajo Ballena, y ambos sectores de la Isla Ballena (Cuadro 4).

Cuadro 5. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$  desviación estándar) de los organismos en los transectos realizados en el Parque Nacional Marino Ballena. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda (tres transectos/sitio)

Organismos	Sitios									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Algas	11.1 $\pm$ 0.8	1.8 $\pm$ 0.5	5.2 $\pm$ 0.9	6 $\pm$ 0.7	33.2 $\pm$ 0.7	14.4 $\pm$ 1.0	0.7 $\pm$ 0.4	3.2 $\pm$ 0.7	2 $\pm$ 0.5	0.3 $\pm$ 0.2
Corales	3 $\pm$ 0.8	36.9 $\pm$ 3.9	10.8 $\pm$ 4.9	2.3 $\pm$ 0.2	0.2 $\pm$ 0.1	8.6 $\pm$ 1.5	5.9 $\pm$ 0.9	1.6 $\pm$ 0.3	5.5 $\pm$ 1.9	0.5 $\pm$ 0.3
Octocorales	0.5 $\pm$ 0.1	--	--	0.4 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.3	<0.1	4.8 $\pm$ 0.7	<0.1	7 $\pm$ 1.0
Erizos	--	--	--	--	0.2 $\pm$ 0	0.4 $\pm$ 0.1	--	--	--	--
Pepinos de mar	--	--	--	--	<0.1	--	--	--	--	--
<i>Pinctada mazatlanica</i>	--	--	--	--	<0.1	<0.1	<0.1	--	--	<0.1
<i>Strombus galeatus</i>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	<0.1
Esponjas	--	--	--	--	0.3 $\pm$ 0.1	<0.1	<0.1	0.2 $\pm$ 0.1	--	0.2 $\pm$ 0.1
Tunicados	--	--	--	--	0.4 $\pm$ 0.1	<0.1	<0.1	<0.1	--	<0.1
Poliquetos	--	--	--	--	<0.1	--	--	--	--	--
Coral	--	--	--	--	--	--	0.7 $\pm$ 0.2	--	--	--
Blanqueado										
Coral	--	1.8 $\pm$ 0.6	--	0.1 $\pm$ 0.1	--	<0.1	1.5 $\pm$ 0.5	0.3 $\pm$ 0.2	--	--
Muerto										
Arena	--	1.1 $\pm$ 0.3	--	0.6 $\pm$ 0.2	11.4 $\pm$ 0.9	2 $\pm$ 0.4	2.2 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 1.1	0.3 $\pm$ 0.2	10.2 $\pm$ 3.9
Roca/ arena	--	--	81.3 $\pm$ 4.1	--	--	--	--	--	--	--
Roca / alga	85.1 $\pm$ 1.5	60.3 $\pm$ 3.9	--	90.7 $\pm$ 0.8	51.9 $\pm$ 0.7	73.1 $\pm$ 1.2	88.9 $\pm$ 2.2	88.1 $\pm$ 1.2	92.3 $\pm$ 2.4	81.6 $\pm$ 2.7

Los análisis de varianza dieron diferencias significativas en cuanto a las coberturas de corales ( $F = 8.5111$ ; prob.<0.05), algas ( $F = 76.028$ ; prob.<0.05) y octocorales ( $F = 12.281$ ; prob.<0.05). Las pruebas  $\alpha$  posteriori (ver anexos) indicaron que con respecto a los

corales las mayores diferencias se dan entre el sitio II (Rocas las Tres Hermanas) y el resto del parque. Con respecto a las algas, las mayores diferencias se dan entre los sitios V y VI con todos los sitios del PNMB, mientras que con respecto a los octocorales las mayores diferencias se dan entre los sitios VII y X con la mayoría de los sitios del parque. El análisis de similitud y el MDS (Fig. 18 y 19) indicaron la presencia de tres grupos en el PNMB con respecto a los resultados de las coberturas de todos los taxones en los sitios estudiados.

El sitio más diverso de todo el parque es la sección sur del tómbolo de Punta Uvita (Fig. 18), zona en la cual se puede encontrar varios tipos de organismos (cuadros 5) con una cobertura importante. Esta zona es seguida por la Roca la Viuda, y el bajo Ballena en donde también se encuentra un grupo importante de organismos asociados a las comunidades coralinas. La Viuda y la sección sur del tómbolo se destacan por poseer una fauna de octocorales bastante rica, lo que hace a los sitios muy heterogéneos en cuanto a la composición del fondo. Mientras que el Bajo Ballena y la sección sur del tómbolo comparte un número alto de especies de coral, pero estos dos sitios difieren en la cobertura de coral y en la cantidad de especies. A esta zona le sigue la sección noroeste de la Isla Ballena en la cual se pueden encontrar diferentes especies de organismos y una cobertura muy baja de coral.

A esta zona le continua, las zonas de Playa Ballena y la sección noreste de la Isla Ballena, que poseen una cobertura intermedia de coral, una alta cobertura de algas y una serie de organismos asociados, que los hace bastante similares en cuanto a diversidad, aunque no así en composición.

Los sitios del sector noroeste del tómbolo y del bajo de las Tres Hermanas poseen una menor diversidad que los anteriores y una equitatividad baja, lo que es signo de la existencia de más especies de corales u organismos asociados en la zona. Estas dos zonas, poseen coberturas de coral (Cuadro 4) de intermedias a bajas, y una cobertura algal alta. Sin embargo, no presentaron coberturas altas de fauna asociada.

Finalmente, los sitios menos diversos y con las equitatividades más bajas son el sector noreste del tómbolo y las Rocas las Tres Hermanas, los cuales estuvieron compuestos prácticamente por el coral *P. lobata* en toda su extensión. Ambas zonas,

presentan muchas grietas y pequeñas cuevas, en las cuales otros organismos pueden encontrarse y por el tipo de muestreo no aparecieron. Lo tridimensional del arrecife de la zona de las Tres Hermanas es un sitio ideal para el desarrollo de varias especies de organismos al igual que lo irregular y quebrado de la zona rocosa de la comunidad coralina del tómbolo noreste, son demostrativos de la posible riqueza de la zona, lo que se demuestra en la baja equitatividad.

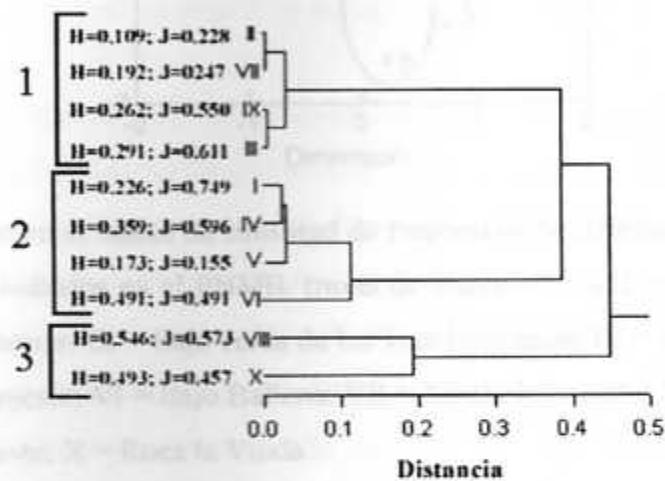


Fig. 18. Dendrograma de unión simple basado en el índice de similitud de Pearson de la cobertura total de todos los taxones por sitio estudiados en el PNMB. Se indica la diversidad y la equitatividad de cada sitio. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.

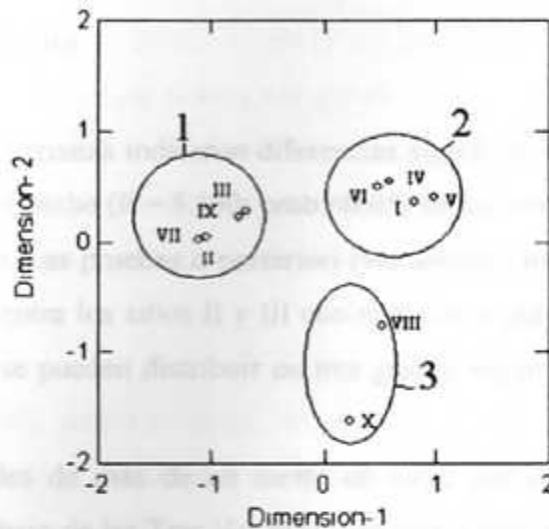


Fig. 19. MDS basado en el índice de similitud de Pearson de la cobertura total de todos los taxones por sitio estudiados en el PNMB. (nivel de estrés =0.03). I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.

En cuanto a la diversidad de especies formadora de arrecifes, de manera general el parque presenta una diversidad muy baja o nula en algunos sitios. Sectores como la Playa Ballena, ambos sectores norte del tómbolo, La Viuda y el Bajo de las Tres Hermanas están compuestos solamente por *P. lobata*, y en los transectos realizados no apareció otra especie de coral. Otros sectores como el bajo Ballena, las Tres Hermanas o la sección noroeste de la Isla Ballena, presentan una diversidad intermedia con respecto a otras zonas del parque, mientras que la mayor diversidad se halló en el sector noreste de la Isla Ballena donde en los transectos aparecieron varias especies de coral, así como otros organismos.

#### 4.3. Tamaño de las colonias

Los análisis de varianza indicaron diferencias significativas en cuanto al largo ( $F = 5.122$ ; prob.  $<0.05$ ) y el ancho ( $F = 5.160$ ; prob.  $<0.05$ ) de las colonias de *P. lobata* medidas en los sitios de estudio. Las pruebas *a posteriori* (ver anexos) indicaron que la mayoría de las diferencias se dan entre los sitios II y III con respecto a grande parte de los otros. Las colonias de *P. lobata* se pueden distribuir en tres grupos según el tamaño de las colonias (Cuadro 6):

- 1) Colonias grandes de más de un metro de largo por cerca de 80 cm de ancho, ubicadas en el bajo de las Tres Hermanas, el sector noreste del tómbolo y las Rocas las Tres Hermanas. Ocupan gran parte del espacio en donde se encuentran, e indican que ya llevan muchas decenas de años creciendo ahí.
- 2) Colonias moderadas de entre 40 y 80 cm de largo y cerca de 50 cm de ancho, ubicadas en el sector noroeste del tómbolo, la Playa Ballena y el bajo Ballena. Los dos primeros sitios son zonas de alto oleaje, y mucha sedimentación a lo largo de todo el año, que probablemente provocan la disminución en el crecimiento. El caso del bajo Ballena es diferente, ya que este sitio posee las colonias de *Pavona clavus* más grandes del parque (según los datos aquí tomados).
- 3) Colonias pequeñas menores a los 30 cm de largo y ancho, ubicadas en los sectores norte de la Isla Ballena, la sección sur del tómbolo y la Roca la Viuda.

En el caso del coral *P. clavus*, se midieron colonias en cuatro sitios (Cuadro 7) y se encontró que existe una diferencia significativa en el largo ( $F = 6.079$ ; prob.  $<0.05$ ) y ancho ( $F = 6.466$ ; prob.  $<0.05$ ) de las colonias. Las pruebas *a posteriori* (ver anexos) indicaron diferencias se dan entre los sitios IV y VI. El bajo Ballena es el que presenta las mayores tallas alcanzando casi el metro de largo, seguido por las Tres Hermanas, que presentan una condición similar que el anterior, el sector noreste de la Isla Ballena y la sección sur del tómbolo. *Pocillopora* spp. solo pudo ser medida en dos sitios, los cuales presentan las tallas

más pequeñas de todos los corales (Cuadro 8) y no existió una diferencia entre ellos en cuanto a largo ( $F = 1.170$ ;  $\text{prob.} > 0.05$ ) y ancho ( $F = 0.299$ ;  $\text{prob.} > 0.05$ ).

Es importante destacar que el sitio noreste de la Isla Ballena fue el único en donde se midieron cerca y dentro de los transectos las tres especies de coral. En este sitio las tres especies presentan tallas de moderadas a pequeñas ocupan gran parte del sustrato y dejan espacio para el asentamiento o reclutamiento de otras, debido a que este es un sitio rocoso de poca arena.

Cuadro 6. Largo (L)(cm), ancho (A)(cm), desviación estándar (n = número de colonias medidas) y ámbito (máximo y mínimo) de *Porites lobata* en los sitios de estudio en el PNMB. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.

Sitio	Especie	<i>Porites lobata</i>
I	L:	58.10±29.54 (max=112; min=11)
	A:	51.40±28.02 (max=98; min=12)
		(n=10)
II	L:	110.80±81.83 (max=320; min=34)
	A:	73.10±43.38 (max=140; min=21)
		(n=10)
III	L:	134.40±74.65 (max=260; min=47)
	A:	117.20±55.38 (max=186; min=38)
		(n=10)
IV	L:	37.10±26.13 (max=98; min=9)
	A:	36.70±31.83 (max=98; min=7)
		(n=10)
V	L:	28.80±18.47 (max=61; min=14)
	A:	18.20±11.19 (max=37; min=8)
		(n=5)
VI	L:	46.50±40.73 (max=155; min=18)
	A:	38.10±35.20 (max=136; min=14)
		(n=10)

VII	L: 126.0±81.37 (max=283; min=47) A: 98.60±72.76 (max=250; min=29) (n=10)
VIII	L: 38.40±12.08 (max=55; min=11) A: 28.90±15.60 (max=51; min=5) (n=10)
IX	L: 72.60±34.78 (max=143; min=33) A: 55.80±27.56 (max=107; min=22) (n=10)
X	L: 29.50±26.16 (max=48; min=11) A: 25.50±24.75 (max=43; min=8) (n=2)

Cuadro 7. Largo (L)(cm), ancho (A)(cm), desviación estándar (n = número de colonias medidas) y ámbito (máximo y mínimo) de *Pavona clavus* en los sitios de estudio en el PNMB. II = Rocas las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; VI = Bajo Ballena; VIII = Tómbolo sur.

Sitio	Especie <i>Pavona clavus</i>
II	L: 62.70±18.58 (max=81; min=30) A: 49.20±21.34 (max=90; min=21) (n=10)
IV	L: 40.88±19.66 (max=66; min=13) A: 27.13±18.19 (max=62; min= 5) (n=10)
VI	L: 83.80±28.55 (max=125; min=36) A: 71.90±28.34 (max=16; min=7) (n=10)
VIII	L: 39.67±29.0 (max=68; min=16) A: 26.31±18.08 (max=46; min=10) (n=3)

Cuadros 8. Largo (L)(cm), ancho (A)(cm), desviación estándar (n = número de colonias medidas) y ámbito (máximo y mínimo) de *Pocillopora* sp. en los sitios de estudio en el PNMB. IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste.

Sitio	Especie	<i>Pocillopora</i> sp.
IV		L: 27.70±19.97 (max=69; min= 9) A: 16.40±8.62 (max=28; min= 6) (n=10)
V		L: 17.80±3.27 (max=28; min=14) A: 12.0±3.54 (max=16; min=7) (n=5)

*Porites lobata* ocupa gran parte del sustrato muestreado (Cuadro 9). En Playa Ballena, las Rocas las Tres Hermanas, el Bajo de las Tres Hermanas, y en ambos sectores norte del tómbolo cada colonia de esta especie abarca entre 7 y 16% del sustrato, debido a que estos sitios presentan tallas grandes y moderadas (Cuadro 6). Sitios con un porcentaje de cobertura por colonia bajo se encuentran en zonas que poseen otras especies de coral de cobertura media a alta

Cuadro 9. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$  desviación estándar) (n = número de colonias encontradas) de cada colonia de coral por especie encontradas en los transectos en los sitios de estudio en el PNMB. I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.

Sitio	Especie de coral	% promedio	n
I	<i>P. lobata</i>	11.8 $\pm$ 11.4	6
II	<i>P. lobata</i>	10.2 $\pm$ 17	110
	<i>P. clavus</i>	14	1
III	<i>P. lobata</i>	16.25 $\pm$ 19.4	20
IV	<i>P. lobata</i>	1.7 $\pm$ 2.0	15
	<i>P. clavus</i>	1.5 $\pm$ 1.3	3
	<i>P. elegans</i>	3.25 $\pm$ 2.6	10
V	<i>P. lobata</i>	1	1
	<i>P. elegans</i>	0.91 $\pm$ 0.8	6
VI	<i>P. lobata</i>	7.1 $\pm$ 11.7	5
	<i>P. clavus</i>	9.8 $\pm$ 9.0	22
	<i>P. superficialis</i>	0.6 $\pm$ 0.2	6
	<i>P. elegans</i>	1	1
VII	<i>P. lobata</i>	4.13 $\pm$ 5.8	43
VIII	<i>P. lobata</i>	4 $\pm$ 2.7	9
	<i>P. clavus</i>	7	1
	<i>P. gigantea</i>	1	1
IX	<i>P. lobata</i>	9.11 $\pm$ 13.3	18
X	<i>P. lobata</i>	7 $\pm$ 8.4	2

#### 4.4. Estado de los arrecifes y comunidades coralinas del PNMB

Los datos de los transectos indican que las comunidades y arrecifes coralinos del PNMB se encuentran en este momento en buen estado (poca mortalidad y blanqueamiento).

Prácticamente no se observó coral muerto en los parches estudiados, ni blanqueamiento, con excepción del sector noreste del tómbolo donde se obtuvo el porcentaje más alto de coral muerto y de blanqueamiento con respecto al porcentaje de cobertura de coral vivo (Cuadro 10). Los otros sitios donde se observó coral muerto son: el sector sur del tómbolo y el bajo Ballena. En el primer caso el porcentaje es bastante alto con respecto al de coral vivo, mientras que el segundo es muy bajo.

Cabe recalcar aquí, que los muestreos se realizaron en su mayoría en la época seca, donde las aguas son bastante cálidas y transparentes, además de que son las épocas del año con mayores horas promedio de luz al día y con las mayores temperaturas superficiales del agua de mar, lo que hace pensar que estos corales están resistiendo bien a estas condiciones o que las condiciones observadas este año no fueron tan fuertes como años anteriores. Sin embargo, es importante mencionar que en algunos sitios sí se observaron colonias con coloraciones diferentes a las normales, como tonos celestes o cafés muy claros, lo que puede ser signo de algún tipo de estrés.

Cuadro 10. Porcentaje de cobertura promedio ( $\pm$  desviación estándar) de coral vivo, muerto y blanqueado por sitio (3 transectos/sitio). I = Playa Ballena; II = Rocas las Tres Hermanas; III = Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV = Isla Ballena noreste; V = Isla Ballena noroeste; VI = Bajo Ballena; VII = Tómbolo noreste; VIII = Tómbolo sur; IX = Tómbolo noroeste; X = Roca la Viuda.

Zona	Cobertura total de coral (%)	Cobertura de coral muerto (%)	Cobertura de coral blanqueado (%)	Especie predominante
I	3 $\pm$ 0.8	--	--	<i>Porites lobata</i>
II	36.9 $\pm$ 3.9	--	--	<i>Porites lobata</i>
III	10.8 $\pm$ 4.9	--	--	<i>Porites lobata</i>
IV	2.2 $\pm$ 0.2	--	--	<i>Pocillopora elegans</i>
V	0.2 $\pm$ 0.1	--	--	<i>Pocillopora elegans</i>
VI	8.6 $\pm$ 1.5	< 0.1	--	<i>Pavona clavus</i>
VII	5.9 $\pm$ 0.9	1.5 $\pm$ 0.5	0.7 $\pm$ 0.2	<i>Porites lobata</i>
VIII	1.6 $\pm$ 0.3	0.3 $\pm$ 0.2	--	<i>Porites lobata</i>
IX	5.5 $\pm$ 1.9	--	--	<i>Porites lobata</i>
X	0.5 $\pm$ 0.3	--	--	<i>Porites lobata</i>

#### 4.5. Fracción no carbonata (FNC) del sedimento y variables ambientales

El aporte de sedimentos no carbonatados en los sitios de estudio indicó que existe una diferencia significativa entre ellos ( $F = 35.633$ ;  $\text{prob.} < 0.05$ ). Las pruebas *a posteriori* (ver anexos) indicaron que el sitio de la Playa Ballena fue el que mostró la mayor diferencia. Éste posee la mayor presencia de ellos (82.5%) (Cuadro 11) esto, probablemente debido a su cercanía con la desembocadura de la Quebrada Mercedes, la que acarrea muchos sedimentos de origen terrestre y que se depositan ahí.

Otra zona con un aporte importante de sedimentos, es la zona del bajo cerca de las Tres Hermanas, donde la cantidad de sedimentos no carbonatos alcanzó el 42%. Aquí las condiciones son un poco diferentes, ya que es una zona expuesta, de manera que recibe más sedimentos que provienen de otros ríos cercanos a la zona. Este mismo hecho parece que afecta también la zona de Playa Ballena, debido a que en la época lluviosa las lenguas de sedimento del Terraba que salen por Boca Coronado alcanzan esa playa y hasta la zona del Bajo de las Tres Hermanas, cubriendo a su vez las Rocas las Tres Hermanas. Este último sitio posee el tercer lugar en cantidad de sedimento no carbonatado, el cual alcanza un 23%. Toda esta zona es bastante afectada por las lenguas de sedimento, pero debido a la morfología del fondo de las Tres Hermanas, una zona relativamente encerrada y un poco más protegida, el aporte es menor en comparación con otras zonas como el bajo cerca de ellas. A esta le continúan los sectores norte de la Isla Ballena donde el aporte es de entre 16 y 17%. Aquí la fracción no carbonatada disminuye bastante, pero todavía sigue siendo importante el aporte de los sedimentos de la Boca de Coronado.

Otros dos sitios con un aporte importante de sedimentos no carbonatados y que se encuentran en situaciones similares a las anteriores, son los sectores noroeste y sur del Tómbolo, con 21.5% y 19% respectivamente. Estos dos sitios se encuentran muy cerca de la desembocadura del Río Morete o Higuerón, el cual trae muchos sedimentos.

Los sitios que presentaron menor aporte de sedimentos no carbonatados fueron La Viuda con 12.3%, el Bajo Ballena con un 10% y el sector noreste del Tómbolo con 8.2%. Estos tres sitios presentan condiciones muy diferentes, pero que les ayuda a protegerse del

aporte de sedimento. La Roca la Viuda y el bajo Ballena son los sitios más alejados de la costa donde imperan condiciones un poco más oceánicas y, donde el alcance de los ríos es menor. Ambos se encuentran bastante alejados de la Boca de Coronado, y el aporte del río Morete no es lo suficiente como para alcanzar estos sitios. Finalmente, el sector noreste del tómbolo es el que posee el menor aporte de sedimentos no carbonatados debido a que es una zona sumamente protegida al estar encerrada por el tómbolo, lo que la protege en alguna medida del aporte del río Morete. De la misma manera, esta zona se encuentra bastante alejada de la Boca Coronado, y las quebradas que descargan los sedimentos en ésta son muy pocas o muy pequeñas.

De enero a mayo, la temperatura del agua se mantuvo estable entre 29 y 31°C, mientras la salinidad si mostró una disminución de 34 a 29‰, lo que corresponde con la salinidad de época de verano y la transición a época lluviosa, ya que el aporte de la lluvias es intenso lo que provoca una dilución de ellas (Cuadro 11). El sitio con los menores valores de claridad del agua (disco de Secchi) y visibilidad en el buceo es el sector de la Playa Ballena. Mientras que en la mayoría de los sitios la penetración de la luz corresponde aproximadamente al 50% de la profundidad de todos los sitios, con excepción del islote de las Tres Hermanas donde la penetración de la luz corresponde a un 30% de la profundidad y al Bajo de las Tres Hermanas que corresponde prácticamente al 100%. Sin embargo, la gran mayoría de las medidas son propias de las condiciones de la época seca y la entrada de la estación lluviosa.

Cuadro 11. Parámetros ambientales medidos en los diferentes sitios muestreados en el Parque Nacional Marino Ballena. I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballena noreste; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda.

Condiciones ambientales	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Fecha de muestreo	28/3/03	28/3/03	29/3/03	29/3/03	22/5/03	22/5/03	26/4/03	25/4/03	26/4/03	25/4/03
Temperatura (°C)	30.2	30.4	30.2	31	29	29.2	30	30	29	30
Salinidad(‰)	33.83	34	34	34	27	25	31.33	30.67	30.07	31
Disco de Secchi (m)	2.5	3.4	5.2	5.4	4	5	2.5	4.6	4.7	5.3
Visibilidad (m)	1	7	7	10	4	5	1.5	7	4	7
Fracción no carbonatada del sedimento (%)	82.5±5.8	23.6±7.7	42.8±1.3	16±2	17.8±0.8	10±1.1	8.2±0.5	19±0.6	21.5±1.4	12.3±1.1
Profundidad máxima (m)	5.28	8.91	5.28	7.26	8.58	11.88	4.62	7.59	3.63	10.23

## V. DISCUSIÓN

A lo largo del Parque Nacional Marino Ballena se pueden encontrar ocho comunidades coralinas y dos arrecifes coralinos. Ambos compuestos en su mayoría por cuatro especies de corales formadores de arrecifes: *Porites lobata*, *Pavona clavus*, *Pocillopora elegans* y *Psammocora stellata*. Estas cuatro especies son bastante comunes en todo el país (Cortés & Guzmán 1998), y se encuentran en varias zonas del Pacífico central y sur: Isla del Caño (Guzmán & Cortés 1989a), Corcovado (Cortés & Jiménez 1996), Golfo Dulce (Cortés 1992) y Punta Cambutal (Jiménez & Cortés 2003a).

El PNMB posee un total de 17 especies de corales (12 hermatípicos y cinco ahermatípicos) (Cuadro 12), lo cual convierte a este parque en una de las zonas del Pacífico central-sur con mayor número de especies. Ocupando el segundo lugar después de la Isla del Caño, la que posee un total de 18 especies de corales (15 especies hermatípicas y tres ahermatípicas) (Cortés & Guzmán 1998, Cortés & Jiménez 2003). A estas dos zonas les sigue en riqueza de especies, el Parque Nacional Corcovado con 11 especies de corales hermatípicos (Cortés & Jiménez 1996) y Golfo Dulce con nueve especies (seis hermatípicos y tres ahermatípicos) (Cortés 1992). Las diferencias radican en la presencia de dos especies que se encuentran en todas esas zonas, pero que en el PNMB no se han encontrado o no se encuentran del todo como lo son *Gardineroseris planulata* y *Pocillopora eydouxi* (Cortés 1992, Cortés & Jiménez 1996, Cortés & Guzmán 1998). Asimismo, la Isla del Caño posee otra especie de coral que solo se encuentra en este sitio para toda la zona, *Pocillopora capitata* (Cortés & Guzmán 1998). Aunque hasta el momento el PNMB es el sitio con mayor número de especies de corales ahermatípicos de la región, con cinco especies, es probable que las otras zonas posean un número mayor o similar que puede ser evidente con nuevos trabajos en esos sitios.

Cuadro 12. Lista de las especies de corales Escleractinios del Parque Nacional Marino Ballena.

Especie
Hermatípicos
<i>Pavona clavus</i> Dana 1846
<i>Pavona frondifera</i> (Lamarck, 1816)
<i>Pavona gigantea</i> Verrill, 1864
<i>Pavona maldivensis</i> (Gardiner, 1905)
<i>Pavona varians</i> Verrill, 1864
<i>Pocillopora damicornis</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Pocillopora elegans</i> (Dana, 1846)
<i>Porites lobata</i> Dana, 1846
<i>Porites panamensis</i> Verrill, 1866
<i>Psammocora stellata</i> Verrill, 1864
<i>Psammocora obtusangula</i> (Lamarck, 1816)
<i>Psammocora superficialis</i> (Gardiner, 1898)
Ahermatípicos
<i>Astrangia</i> cf. <i>dentata</i> Verrill, 1866
<i>Astrangia</i> cf. <i>equatorialis</i> Durham and Barnard, 1952
<i>Dendrophyllia gracilis</i> Milne Edwards & Haime, 1860
<i>Oulangia bradleyi</i> Verrill, 1866
<i>Tubastrea coccinea</i> Lesson, 1829

Las zonas estudiadas del PNMB están dominadas por el coral *P. lobata*. Esta especie se encuentra en todos los tipos de sustrato estudiados, arena y piedra, entre 3 y 12 m de profundidad y alcanzando tallas que van desde 28.8 a 134.4 cm de largo y de 18.2 a 117.2 cm de ancho, formando parte de todas las comunidades coralinas y siendo el principal constructor del arrecife coralino de las Tres Hermanas. Condiciones similares se observan en la Isla del Caño donde este coral se encontró en todas las zonas estudiadas, en profundidades que van desde 1 hasta 17 m (Guzmán & Cortés 1989a). El segundo coral más abundante en el PNMB es *P. clavus*, el cual es el principal constructor del arrecife del Bajo Ballena, y es segundo en importancia en el arrecife de las Tres Hermanas.

A lo largo de la costa Pacífica de América, es común encontrar arrecifes monoespecíficos formados por estas dos especies (Glynn 2001). De manera general, los arrecifes de *P. clavus* se encuentran en hábitats expuestos a corrientes (Veron 2000). En la

Isla de Malpelo, esta especie se encuentra en profundidades entre los 14 y 20 m de profundidad y con una cobertura promedio de 11.88% (Garzón-Ferreira & Pinzón 1999). En Costa Rica, en Bahía Culebra se encuentra en el arrecife coralino más grande del país construido por *Pavona clavus*, cubriendo un área de 1100 m<sup>2</sup> y alcanzando una profundidad máxima de 13 m (Jiménez 1998).

En otras zonas del Pacífico Oriental como la Isla de Malpelo en Colombia, el coral más abundante es *P. lobata* desarrollándose entre los 14 y 30 m de profundidad y tiene una cobertura promedio de 26.25% (Garzón-Ferreira & Pinzón 1999). En Hawai, esta especie es la más abundante en todos los sectores suroeste de los archipiélagos, alcanzando coberturas de hasta un 50% en la Isla de Hawai (Grigg 1983).

*P. lobata* ha demostrado ser una de las especies más tolerantes a oleaje fuerte (Grigg 1983), bajas salinidades (Marcus & Thorhaug 1981, Jokiel *et al.* 1993), al impacto de tormentas (Dollar & Tribble 1993), y su reproducción por fragmentación aumenta su reclutamiento (Glynn *et al.* 1994). Se ha observado en la costa occidental de México, que esta especie posee mayor proporción de cobertura en sitios que reciben cargas abundantes o frecuentes de sedimento (Reyes-Bonilla *et al.* 1999), posiblemente debido a que la morfología de sus colonias impide que el material sedimentario se deposite en exceso sobre el coral (Cortés 1990b). Además, la acumulación de material sobre el fondo causa daños a las colonias, puesto que sus bases están desprovistas de tejido vivo (DeVantier & Endean 1989) pero su talla evita que el sedimento llegue a cubrirlas, como ha ocurrido con corales de otros géneros (Reyes-Bonilla *et al.* 1999).

En el PNMB, se pueden observar diferentes formas de crecimiento de *P. lobata*, masivas, en platos, incrustantes, con muchas protuberancias o lisas, lo que posiblemente es el resultado a los diferentes niveles de exposición al oleaje y a la luz (Ketchum & Reyes-Bonilla 2001). Situación similar se ha observado en el Archipiélago de Revillagigedo, México, donde se pueden encontrar diferentes morfologías del género *Porites* (Ketchum 1988, Ketchum & Reyes-Bonilla 2001).

A lo largo de la costa pacífica de América la mayoría de las comunidades coralinas y arrecifes coralinos están contruidos o formados por especies ramificadas (Glynn 2001)

del género *Pocillopora*. En Bahía Culebra, *Pocillopora damicornis* aporta hasta un 42% de la cobertura en los arrecifes y *Pocillopora elegans* hasta un 68% en las comunidades coralinas (Jiménez 2001). Este mismo hecho, ocurre en otras áreas del Pacífico Oriental donde *Pocillopora* es el principal constructor de arrecifes como en el Golfo de Panamá (Glynn & Stewart 1973). Específicamente en la zona del Pacífico central-sur de Costa Rica, se han informado arrecifes compuestos exclusivamente de *Pocillopora damicornis* en Punta Llorona, Península de Osa, cubriendo un área de 250 m<sup>2</sup> (Cortés & Jiménez 1996), y en la Isla del Caño se han descrito cinco terrazas arrecifales construidas principalmente por *Pocillopora* spp. (Guzmán & Cortés 1989a). Sin embargo, en otras áreas de esta parte del país, este coral se encuentra formando parches aislados y es poco común (Guzmán & Cortés 1989a).

A pesar que el PNMB agrupa varios de los requisitos para el desarrollo de los corales pertenecientes al género *Pocillopora*, como por ejemplo costas rocosas protegidas de mar abierto, en bahías, o en sectores en las islas que dan hacia la costa (Glynn 2001), se observa que son escasas, y presentan poca cobertura. Probablemente, esto se debe a varios factores ambientales que imperan en el PNMB.

Primero, los corales pocilopóridos requieren altas intensidades lumínicas para su metabolismo y no habitan en lugares donde la luz incidente es menor al 40% de la que llega a la superficie (Spencer-Davies 1991, Titlyanov & Latypov 1991), hecho que no ocurre a lo largo de todo el año, debido a la alta sedimentación y las lluvias, produciendo un oscurecimiento que afecta el desarrollo de esta especie, como observó Wellington (1982) en Panamá. Segundo, especies de este género tienen bajas tasas de reclutamiento larval en el Pacífico Oriental (Glynn *et al.* 1991), y las plánulas no se asientan en zonas con sedimento fino, aunque el espacio esté disponible (Hodgson 1990). Aunque Marsahll y Orr (1931) hayan demostrado que el coral *Pocillopora* cuando es adulto es muy resistente a grandes cantidades de sedimento. Los puntos mencionados anteriormente no permiten el desarrollo de nuevos reclutas, por lo que no alcanzan las tallas adultas. Además, la alta mortalidad de colonias pequeñas se debe a su pobre habilidad de recuperarse de heridas, a sus bajas reservas energéticas que puedan colaborar con la reparación o recuperación de

pólipos, proceso que es lento y poco exitoso, por lo que estas colonias pequeñas terminan muriendo (Connell 1973). Todo esto, sumado, a la disminución en los últimos años por el impacto de El Niño (Jiménez & Cortés 2003a) hacen que poco a poco las colonias de *Pocillopora* del PNMB sean más escasas y se conviertan en especies raras para el sitio. Sin embargo, en un pasado, en las cercanías de las Rocas las Tres Hermanas existió un arrecife construido principalmente por *Pocillopora*, que cubría una gran extensión (0.87 ha). Arrecifes muertos de *Pocillopora* se han encontrado en otras regiones del Pacífico de Costa Rica, más específicamente en la zona de Guanacaste (Glynn *et al.* 1983) Glynn *et al.* (1983) encuentran seis arrecifes muertos entre la bahía de Santa Elena y playa Sámara, y proponen que la posible muerte de estos fue el resultado de las bajas temperaturas del agua debido a una intensificación del afloramiento costero como resultado de la migración de fuertes vientos durante la Pequeña Edad del Hielo (1675-1800 D.C). Mencionan que un incremento en las lluvias y en la escorrentía, provocarán un aumento en la turbidez y en la sedimentación, y que estos factores también son la posible causa de estas muertes. Sin embargo, ellos no encontraron evidencia para este último punto. En el caso del PNMB, al encontrarse en una zona de no afloramiento, es difícil saber si existió un impacto por disminución en las temperaturas del agua, o más bien que haya sido un incremento en las lluvias y en la escorrentía lo que haya provocado esta muerte. Aunque, según lo observado en este estudio, la sedimentación y la turbidez son factores determinantes en el desarrollo de los arrecifes, esta última posibilidad es más factible.

La fauna asociada a los arrecifes coralinos y comunidades coralinas del PNMB es bastante diversa. Se destaca un alto número de pepinos de mar, estrellas de mar, cambutes, murícidos, ostras, tunicados y octocorales. El octocoral más representativo de la zona es *Leptogorgia alba*, el cual es abundante y común en varias secciones del parque, se encuentra en sustratos rocosos de profundidades que alcanzan los 7 m. Otro octocoral que es bastante común es *Carijoa* sp., en zonas bastantes someras como el arrecife de las Tres Hermanas o en zonas más profundas como la Roca La Viuda. En Bahía Culebra, *Carijoa* es un miembro bastante común de las comunidades coralinas y es encontrado a profundidades que superan los 20 m de profundidad (Jiménez 2001). Igualmente, dentro del parque se

pueden encontrar ocho especies del género *Pacifigorgia* (*P. adamsii*, *P. bayeri*, *P. cairnsi*, *P. eximia*, *P. firma*, *P. irene*, *P. samarensis* y *P. stenobrochis*)(Breedy & Guzmán 2003), lo que indica la alta diversidad de abanicos de mar que posee el PNMB.

Las tallas más grandes de corales se encuentran en zonas donde la sedimentación o el aporte de sedimentos al fondo, es bajo. En sitios como el tómbolo noreste, el bajo Ballena y las Tres Hermanas se encuentran las colonias más grandes del parque, lo que corresponde a su vez con los sitios más protegidos, donde también se da el mejor desarrollo de los corales. En sitios donde se encuentran las colonias de talla mediana o grandes, donde el aporte de sedimentos es alto y donde la cantidad de especies es poca, el espacio disponible para el asentamiento de nuevos reclutas de coral es bajo. Estos espacios ya están ocupados, por lo que no se encuentran colonias pequeñas de otras especies de coral. Esto a su vez, puede indicar que el crecimiento de las colonias presentes se esté deteniendo (Hughes & Jackson 1985). Mientras que en sitios con una sedimentación, entre baja a moderada, con tallas pequeñas y con un alto número de especies, el espacio para el asentamiento de nuevos reclutas de coral es más alto, ya que la competencia por espacio es menor.

El estudio de las tallas y en más detalle, el crecimiento de los corales, pueden indicar la edad de las colonias y aproximadamente desde cuando están creciendo (Potts *et al.* 1985). Un buen ejemplo sería en el bajo cerca de la Tres Hermanas, donde se encuentran las colonias más grandes de *P. lobata* del parque (137 x 117 cm). Dimensiones similares se pueden encontrar en la Isla del Caño, donde alcanzan hasta 2.7 m de alto (Macintyre *et al.* 1992) y crecen en promedio 1.53 cm/año (Guzmán & Cortés 1989b), lo que indica edades de entre 180 y 210 años (Macintyre *et al.* 1992), por lo que algunas colonias del parque vienen creciendo desde hace aproximadamente 200 años.

El hecho de que la mayoría de las comunidades y arrecifes coralinos se encuentren en las rocas e islas, en el tómbolo y no en las zonas rocosas de la costa se puede deber a dos factores: a la sedimentación y a la forma del fondo marino. Estos dos factores están muy relacionados. Las partes costeras del parque son muy someras (entre 2-4 m profundidad), luego hacia la parte media de la bahía la profundidad aumenta un poco (10-20 m

profundidad), y al acercarse a la zona de rocas e islas disminuye de nuevo (5-10 m profundidad). Al pasar estas zona y entrar en aguas abiertas la profundidad aumenta (15-40 m), lo que hace que la parte media a la costa sea un sitio para el depósito de sedimentos que provienen de los ríos (Peter Sak, com. pers. julio 2003) . Esto produce que el mejor desarrollo de arrecifes se encuentre en aquellas zonas más alejadas o protegidas como las Tres Hermanas, el Tómbolo noreste o el Bajo Ballena. Esto puede favorecerse por el levantamiento paulatino de la costa provocado por la presencia de la falla Longitudinal de Costa Rica (Fisher *et al.* 2004).

En el transcurso del presente estudio no se observó ningún evento o periodo intenso de blanqueamiento ni de muerte de coral, como en años anteriores (Jiménez & Cortés 2001, 2003a). Solamente un sitio de los estudiados mostró blanqueamiento en colonias de *P. lobata*, mientras tres sitios mostraron porcentajes bajos de muerte de los corales *Pavona*, *Pocillopora* y *Porites*. De estos tres, el único que presentó un porcentaje alto fue el sector noreste del tómbolo donde el porcentaje de cobertura de coral muerto representa 25% del total de coral vivo (Cuadro 12). Sin embargo, es importante notar que a principios del año, cuando hay mayores horas de sol por día, la presencia de colonias blanqueadas y de otros tonos, es normal en varias secciones del parque. Estas colonias no llegan a morir debido a que no hay un proceso de incremento en las temperaturas del agua, como sucede en años de El Niño, y que la cantidad de horas de sol por día solamente dura dos meses, por lo que no da oportunidad a un deterioro mayor en los corales.

El sector noreste del tómbolo de Punta Uvita ha sido bastante afectado por los últimos eventos de El Niño (Jiménez & Cortés 2001, 2003a). Durante el evento de El Niño 1991-1992, se observó un blanqueamiento de cerca de un 50% de las colonias de coral, y de ellas solamente se observó un 9% de mortalidad, porcentaje menor al de eventos anteriores. Cerca del 66% de los corales muertos, fueron especies perteneciente al género *Psammocora*, mientras que el resto corresponde a especies masivas (*P. lobata* y *Pavona* spp.) y ramificadas (*Pocillopora* spp.) para el Pacífico central en general. En el PNMB, el mayor blanqueamiento se observó en colonias pertenecientes a *Psammocora stellata* y *Pocillopora* spp. Así mismo estas especies fueron las que mostraron el mayor porcentaje

de muerte, mientras que en colonias masivas como *P. lobata* el blanqueamiento correspondió a cerca del 50% de las colonias pero la mortalidad fue baja (Jiménez & Cortés 2001).

Para los años siguientes al fenómeno de El Niño 1991-1992, se ha observado una disminución notable en cuanto al porcentaje de cobertura de coral vivo de ciertas especies en el tómbolo de Punta Uvita (Cuadro 13). Las dos especies más importantes de esta comunidad coralina (*P. lobata* y *Pocillopora elegans*) han disminuido su porcentaje de cobertura de coral vivo hasta un 50% en el caso de *Pocillopora* y hasta un 75% en el caso de *Porites lobata*. En el presente estudio no se encontraron en los transectos colonias de las especies *P. elegans*, *P. stellata*, o *P. clavus*, lo que hace pensar que sus poblaciones se han diezmado mucho en los últimos años, a pesar de que se pueden observar en otras secciones del arrecife.

Cuadro 13. Porcentaje de cobertura promedio de coral vivo ( $\pm$  desviación estándar) de cuatro especies de corales en el Tómbolo de Punta Uvita, Parque Nacional Marino Ballena, 1992-2003. n = número de transectos. Transectos con cadena (1992, 1994, 2001: Jiménez & Cortés 2001, 2003a), transectos con cuadrícula de 1 m<sup>2</sup> (2003: este trabajo).

Coral	Año			
	1992	1994	2001	2003
<i>P. lobata</i>	20.3 $\pm$ 17.9 n = 20	26.7 $\pm$ 13.8 n = 19	13.3 $\pm$ 6.2 n = 20	5.9 $\pm$ 0.9 n = 3
<i>P. elegans</i>	1.1 n = 1	0.3 $\pm$ 0.1 n = 6	0.5 $\pm$ 0.3 n = 4	---
<i>P. stellata</i>	0.6 $\pm$ 0.6 n = 3	0.5 $\pm$ 0.5 n = 10	0.8 $\pm$ 0.6 n = 5	---
<i>P. clavus</i>	---	0.3 $\pm$ 0.1 n = 2	0.2 $\pm$ 0.2 n = 2	---

El panorama es un poco diferente para otras áreas del parque (Cuadro 14) en las que se observa una disminución de la cobertura total de coral vivo, mientras que en otras se observa un aumento. La Isla Ballena muestra la disminución más alta, la sección del bajo Ballena muestra una disminución baja, mientras que sectores como el tómbolo y la zona de las Tres Hermanas muestran un aumento. Es importante destacar que aunque las técnicas de estudio fueron diferentes, siempre se estudiaron las mismas zonas, aunque no así los mismos puntos, por lo que hay que ser cuidadoso a la hora del análisis. Los primeros estudios se realizaron mediante la técnica de cadena con eslabones (Jiménez 1995, Jiménez & Cortés 2001, 2003a) y los realizados en este estudio mediante la técnica de cuadrícula de 1 m<sup>2</sup>. El primer método es uno de los más utilizados en estudios de arrecifes coralinos alrededor del mundo, pero tiene el defecto que genera las menores estimaciones de densidades de población, de porcentaje de cobertura y de número de especies (Weinberg 1981), pero es uno de los más prácticos ya que permite realizar más transectos por sitio y obtener una estimación de la morfología del fondo (Rogers *et al.* 2001). Mientras que el método de transectos con cuadrículas de 1 m<sup>2</sup>, genera las mejores estimaciones de cobertura relativa, densidad de poblaciones, especialmente con respecto a la especie dominante, es el más versátil, práctico y seguro (Weinberg 1981). A pesar de este hecho, es importante hacer una comparación del cambio en la cobertura de coral vivo que sufre el PNMB y tomar medidas al respecto para evitar un mayor deterioro. Es importante estandarizar un método de estudio para el PNMB, con el fin de tener, en años futuros, una comparación más real, ya que ambos métodos son iguales de válidos.

Cuadro 14. Porcentaje de cobertura promedio de coral vivo en diferentes zonas del Parque Nacional Marino Ballena, 1995-2003. I= Playa Ballena; II= Rocas las Tres Hermanas; III= Bajo cerca de las Tres Hermanas; IV= Isla Ballena noreste; V= Isla Ballena noroeste; VI= Bajo Ballena; VII= Tómbolo noreste; VIII= Tómbolo sur; IX= Tómbolo noroeste; X= Roca la Viuda (---: sitios no muestreados). Transectos con cadena (Jiménez 1995), transectos con cuadrícula de 1 m<sup>2</sup> (este trabajo).

Zona	Año	
	1995	2003
I	---	3
II	12.5	37
III	---	10.85
IV	6.88	2.3
V	---	0.23
VI	11.87	8.53
VII	4.15	5.9
VIII	1.14	1.63
IX	1.21	5.5
X	---	0.52

La pérdida de cobertura de coral vivo observada en el tómbolo de Punta Uvita (Cuadro 13) no se da en todas las zonas del PNMB que se han estudiado (Cuadro 14) y no ocurre bajo las mismas condiciones. Debido a que el parque presenta ambientes tan diferentes, los problemas que los afectan pueden ser una combinación de factores o la presencia de solo uno. En este caso, los factores que parecieran tener un papel más importante en el desarrollo de las comunidades coralinas del PNMB son la sedimentación, el calentamiento de las aguas por la presencia de eventos de El Niño y la baja salinidad por el aporte de los ríos y de la lluvia. En Panamá, se ha visto que factores físicos como la sedimentación y altas cantidades de agua dulce son los factores limitantes en varias áreas (Glynn *et al.* 1972). El impacto de la sedimentación en la zona es tan intenso debido a la

cercanía de Boca de Coronado (Fig. 20), que incluso en verano, produce lenguas de sedimento (Fig. 21) que alcanzan el sector de Punta Piñuela.

Estos factores funcionan en conjunto. Por ejemplo, en zonas como Playa Ballena donde la profundidad no excede los 6 m, la incidencia de luz y el calentamiento de las aguas puede que tengan menor consecuencia debido al efecto de barrera que produce el sedimento que entra, así como la presencia de agua dulce que al ser menos densa que la salada absorba más calor, evitando que este penetre en aguas un poco más profundas. Esto podría también estar ocurriendo en zonas como el sector noroeste del tómbolo o de las Tres Hermanas. Mientras que en zonas como el bajo Ballena y el sector noreste del tómbolo el calentamiento de las aguas y la radiación solar esté produciendo un mayor daño, al ser zonas muy claras y limpias de sedimentos.

Este conjunto de factores hace que todas las zonas del parque jueguen un papel muy importante entre sí al ser fuentes de larvas (en el caso de reproducción sexual), o al ser refugio para ellas mismas permitiendo mantener las poblaciones del parque. La adaptación que puedan sufrir algunas especies a la sedimentación, y la adaptación de otras al calentamiento (Jiménez & Cortés 2001), funciona sinérgicamente para mantener sanas las poblaciones del parque y de las zonas aledañas a él.

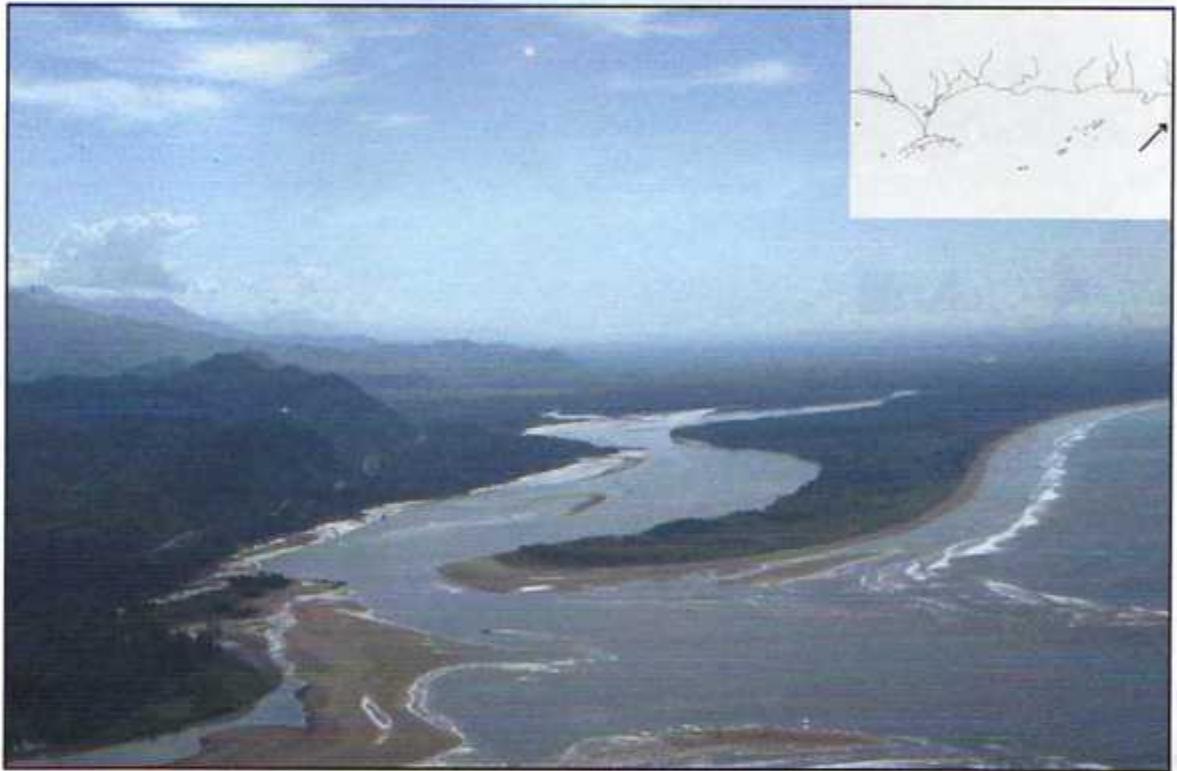


Fig. 20. Vista aérea de la Boca de Coronado, febrero 2003.

## ALICORNOS NEGROS

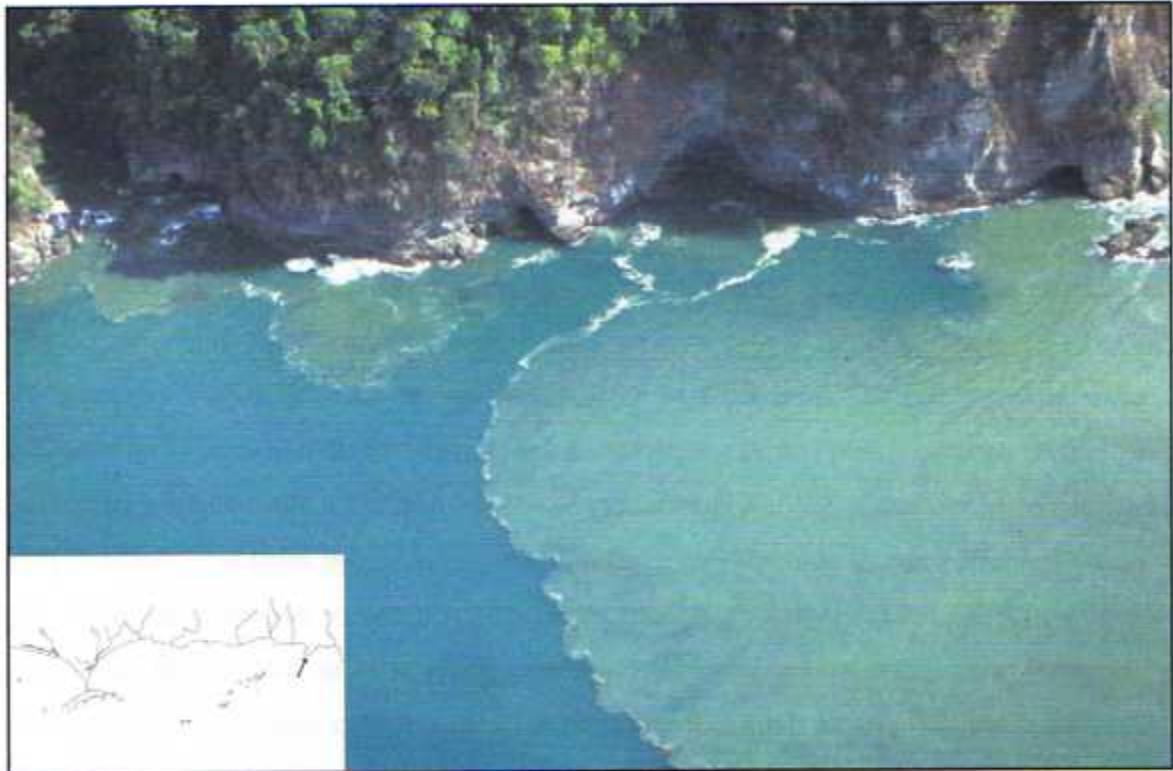


Fig. 21. Vista aérea de una lengua de sedimento proveniente de Boca de Coronado llegando a Punta Piñuelas, PNMB, febrero 2003.

## VI. CONCLUSIONES

Las comunidades y arrecifes coralinos del Parque Nacional Marino Ballena poseen un alto número de especies, pero son pobres en cuanto a cobertura y diversidad. Conforme se realizan más estudios en la zona, se obtiene una mejor apreciación del número de especies de coral, ya que a través de 10 años de estudio ha visto un incremento. Sin embargo, de manera inversa la cobertura de los corales disminuye debido al incremento en disturbios tanto naturales como antropogénicos, en ciertas zonas. Entre los disturbios naturales se pueden citar: el calentamiento de las aguas debido al fenómeno de El Niño, la dilución de las mismas por las fuertes lluvias de la zona, y la poca claridad de las aguas como producto de la sedimentación. Sin embargo, este último punto también es el resultado de prácticas humanas como la construcción de la Costanera Sur que descargó muchos sedimentos directamente al mar (Carlos Jiménez, com. pers. octubre 2003) y la deforestación que están sufriendo los cerros cercanos al Parque. Estos cerros se encuentran muy cercanos a la línea de costa, poseen un relieve pronunciado lo que acelera el lavado de los suelos montañosos y satura los ríos con mucho sedimento. Esto hace pensar en la necesidad de realizar talleres de educación ambiental en la zona para fortalecer el sentimiento de relación estrecha entre la montaña y el mar y cómo ciertas prácticas mal planificadas, pueden llevar al deterioro del futuro turístico de esta zona.

Los impactos del buceo y por anclas son muy bajos ya que estas prácticas apenas están empezando a desarrollarse en el parque. Por el momento solo hay dos compañías que brindan el servicio de buceo con snorkel, y ninguna ofrece el servicio de buceo con SCUBA. Las compañías que ofrecen este servicio se encuentran en playa Dominical o Playa Ventanas. Al entrar la época lluviosa el servicio se transforma en viajes a la Isla del Caño. La industria turística localizada en el PNMB está enfocada a tours para observar delfines y ballenas, pesca deportiva en las afueras del parque o visitas con buceo a pulmón en la parte noreste del tómbolo. En este sitio y en la zona norte de la Isla Ballena han ubicado boyas con el fin de evitar el impacto de sus anclas sobre el fondo marino. Generalmente, se pueden observar entre dos y tres embarcaciones funcionando en el

parque, con un número de turistas por embarcación bastante bajo (entre dos y cinco). Sin embargo, la zona del tómbolo noreste es de muy fácil acceso desde la playa, a la cual cualquier turista puede llegar y golpear con las patas de rana los corales. También, a esta zona desde la rocas se acercan varios pescadores artesanales, que no son de la zona, a “tirar línea”, la cual se engancha en los corales y se queda enredada en ellos, rompiéndolos con el oleaje o con el tirón que le dan. Este hecho se intensifica durante las vacaciones de Semana Santa, donde la visitación alcanza niveles records de hasta 10 mil visitantes durante toda la semana, por lo que se hace muy difícil controlar tal cantidad de personas. Es importante recalcar la poca información que se le brinda al turista con respecto al cuidado y al comportamiento que deben tener en los sitios visitados.

Nace entonces la necesidad de regular un poco más los ingresos de personas a ciertas zonas del parque y tratar de crear una zonificación que responda a los intereses de la comunidad que quiere recibir ingresos económicos por la venta de la belleza de la zona, del parque que fue creado para proteger dicha belleza y valor natural, y de los turistas que vienen hasta aquí para ver esos atributos. Para dicha zonificación es importante tomar en cuenta las coberturas de coral vivo, las tallas, y las susceptibilidades de las zonas con el fin de crear zonas de acceso público y zonas de acceso científico exclusivo. Zonas con un alto valor biológico como las Rocas de las Tres Hermanas o el bajo Ballena deben ser consideradas para un acceso exclusivamente científico, debido que representan los únicos verdaderos arrecifes coralinos del PNMB. La sección noreste del tómbolo debe ser más controlada con respecto a su ingreso por la playa, así como mantener un mínimo de embarcaciones en ella. Por ejemplo, solamente debería estar presente un bote turístico en el sitio, con un máximo de siete personas. Esta zona es muy importante ya que agrupa una de las comunidades coralinas más grandes y de mejor desarrollo del PNMB y está más expuesta a la visitación del público. La sección norte de la Isla Ballena puede ser considerada como zona de acceso público, ya que solamente mediante bote o kayak se puede visitar, lo que limita el número de personas, y por las dimensiones del sitio y su profundidad, el impacto que puedan causar los visitantes no es tan fuerte como el que pueden causar en el tómbolo de Punta Uvita.

De la misma manera, con el fin de determinar cuáles son los sitios más afectados por actividades naturales y antropogénicas y, poder establecer un manejo adecuado del recurso biológico marino en el PNMB es importante la creación de un sistema de monitoreo de los arrecifes y de las comunidades coralinas. Un programa de monitoreo tiene como objetivo principal realizar un diagnóstico de un recurso, en este caso las comunidades y arrecifes coralinos, con el fin de elaborar estrategias de conservación y aprovechamiento (Cintrón *et al.* 1994). Detectando cambios en la abundancia de un grupo de organismos, descubriendo las posibles relaciones de causa y efecto, con el fin de determinar la efectividad de las estrategias de manejo utilizadas y medir el efecto de los disturbios naturales y causado por actividades humanas (Rogers *et al.* 2001). Parámetros como sedimentación, clorofila, salinidad, temperatura, penetración de la luz, crecimiento y cobertura coralina (Cintrón *et al.* 1994, Rogers *et al.* 2001) son necesarios seguir midiéndolos a lo largo de al menos dos años, para poder explicar dichos patrones y formarse un mejor criterio de los problemas del Parque. Hay que tomar en cuenta que esta zona ha sido afectada por eventos como El Niño (Jiménez & Cortes 2001, 2003a), por fuerte lluvias y alta sedimentación (Cortés & Jiménez 2003). Todos estos factores hacen evidente que el PNMB está frecuentemente sujeto a diferentes tipos de disturbios y con muy poco tiempo para recuperarse entre ellos. Grigg (1983) explica que en lugares donde existen patrones de distribución poco armónicos, diferencias en la abundancia y las tasas de crecimiento son lentas, el proceso de sucesión se va a ver retardado, mientras que el efecto de los disturbios incrementado. Este hecho enfocado en el PNMB hace que sea necesario tomar medidas rápidas para tratar de controlar, en cierta medida, ciertos disturbios para conservar estos ecosistemas coralinos tan valiosos para la zona y para el país.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ASOPARQUE. 2000. Hacia un manejo compartido del Parque Nacional Marino Ballena. Mimeografiado. 6 p.
- Avilés, R. 1994. Parque Nacional Marino Ballena: situación y límites. Servicio de Parques Nacionales, Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas, San José. 22 p.
- Breedy, O. & H.M. Guzmán. 2003. Octocorals from Costa Rica: The genus *Pacifigorgia* (Coelenterata: Octocorallia: Gorginiidae). *Zootaxa* 281: 1-60
- Cairns, S.D. 1991a. A revision of the ahermatypic Scleractinia of the Galápagos and Cocos Island. *Smithsonian Contr. Zool.* 504: 1-45.
- Cairns, S.D. 1991b. New records of Stylasteridae (Hydrozoa: Hydroida) from the Galápagos and Cocos Islands. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 104: 209-228.
- Cintrón, G., J.R. García & F. Geraldés. 1994. Manual de métodos para la caracterización y monitoreo de arrecifes de coral. W.W.F., Washington, D.C. 67 p.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 1994. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Natural Environment Research Council, UK. 144 p.
- Connell, J.H. 1973. Population ecology of reef building corals: 205-245. *In*: O.A. Jones & R. Endean (eds.), *Biology and Geology of Corals Reefs*, Vol. 2. Academic Press, New York.

- Cortés, J. 1981. The Coral Reef at Cahuita, Costa Rica: A Reef Under Stress. Tesis de Maestría, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada. 176 p.
- Cortés, J. 1990a. Coral Reef Decline in Golfo Dulce, Costa Rica, Eastern Pacific: Anthropogenic and Natural Disturbances. Disertación doctoral, Univ. Miami, Miami, Florida. 147 p.
- Cortés, J. 1990b. The coral reefs of Golfo Dulce, Costa Rica: distribution and community structure. *Atoll Res. Bull.* 334: 1-37.
- Cortés, J. 1992. Los arrecifes coralinos de Golfo Dulce, Costa Rica: Aspectos ecológicos. *Rev. Biol. Trop.* 40: 19-26.
- Cortés, J. 1997. Biology and geology of eastern Pacific coral reefs. *Coral Reefs* 16: S39-S46.
- Cortés, J. 1996/1997a. Comunidades coralinas y arrecifes del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44/45: 623-625.
- Cortés, J. 1996/1997b. Biodiversidad marina de Costa Rica: Filo Cnidaria. *Rev. Biol. Trop.* 44/45: 323-334.
- Cortés, J. & H.M. Guzmán. 1998. Organismos de los arrecifes coralinos de Costa Rica: Descripción, distribución geográfica e historia natural de los corales zooxantelados (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico. *Rev. Biol. Trop.* 46: 55-91.
- Cortés, J. & C. Jiménez. 1996. Coastal-marine environments of Parque Nacional Corcovado, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Suppl. 3): 35-40.

- Cortés, J. & C. Jiménez. 2003. Corals and coral reefs of the Pacific of Costa Rica: history, research and status: 361-385. *In*: J. Cortés (ed.), Latin American Coral Reefs, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Cortés, J. & M.M. Murillo. 1985. Comunidades coralinas y arrecifes del Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 33: 197-202.
- Cortés, J., I.G. Macintyre & P.W. Glynn. 1994. Holocene growth history of an eastern Pacific fringing reef, Punta Islotes, Costa Rica. *Coral Reefs* 13: 65-73.
- Cowan, H., W. Montero, G. Salazar, A. Tapia, G. Alvarado & F. Arias. 1997. Active faulting at the Cocos-Nazca-Caribbean plate triple junction, Southern Costa Rica and Western Panama. *Geol. Soc. Amer.* 442.
- Crisci, J.V. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Secretaria General de la OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington, D.C. Monografía 26: 23-68.
- Daniel, W.W. 1982. Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de las salud. Ed. Limusa, México. 485 p.
- Dengo, G. 1960. Notas sobre la geología de la parte central del litoral Pacífico de Costa Rica. *Inst. Geogr. Nac. Inf. Sem.* Julio-Diciembre: 43-63.
- Denyer, P. & G. Cárdenes. 2000. Costas marinas: 185-218. *In*: P. Denyer & S. Kussmaul (eds.), Geología de Costa Rica. Edit. Tecnológica de Costa Rica, Cartago.

- DeVantier, 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: 191-195.
- Dollar, S.J. & G.W. Tribble. 1993. Recurrent storm disturbances and recovery: A long-term study of coral communities in Hawaii. *Coral Reefs* 12: 223-233.
- Field, J.G., K.R. Clarke & R.M. Warwick. 1982. A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 8: 37-52.
- Fisher, D.M., T.W. Gardner, P.B. Sak, J.D. Sanchez, K. Murphy & P. Vannuchi. 2004. Active thrusting in the inner fore arc of an erosive convergent margin, Pacific coast, Costa Rica. *Tectonics* 23: 1464-1475 en prensa.
- Fonseca E., A.C. 1999. Bioerosión y bioacreción en arrecifes coralinos del Pacífico sur de Costa Rica. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, San Pedro. 206 p.
- García, R. 1997. Biología de la conservación y áreas silvestres protegidas: situación actual y perspectivas en Costa Rica. Editorial INBio, Santo Domingo de Heredia. 64p.
- Garzón-Ferreira, J. & J.H. Pinzón. 1999. Evaluación rápida de estructuras y salud de las formaciones coralinas en la Isla de Malpelo (Pacífico Colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.* 28: 137-154.
- Glynn, P.W. 1997. Eastern Pacific reef coral biogeography and faunal flux: Durham's dilemma revisited. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp., Panama* 1: 371-378.

- Glynn, P.W. 2001. Eastern Pacific coral reef ecosystems: 281-305. *In*: U. Seeliger & B. Kjerfve (eds.), Coastal Marine Ecosystems of Latin America, Springer-Verlag, Berlin.
- Glynn, P.W. & J.S. Ault. 2000. A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reefs* 19: 1-23.
- Glynn, P.W. & G.M. Wellington. 1983. Corals and Corals Reefs of the Galápagos Islands. University of California Press, Berkeley. 330 p.
- Glynn, P.W., R.H. Stewart & J.E. McCosker. 1972. Pacific coral reefs of Panama: structure, distribution and predators. *Geol. Rundsch.* 61: 483-519.
- Glynn, P.W. & R.H. Stewart. 1973. Distribution of coral reefs in the Pearl Islands (Gulf of Panama) in the relation to thermal conditions. *Limnol. Oceanogr.* 18: 367-379.
- Glynn, P.W., E.M. Druffel & R.B. Dunbar. 1983. A dead Central American coral reef tract: Possible link with the Little Ice Age. *J. Mar. Res.* 41: 605-637.
- Glynn, P.W., N.J. Gassman, C.M. Eakin, J. Cortés, D.B. Smith & H.M. Guzmán. 1991. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panamá, and Galápagos Islands (Ecuador). I. Pocilloporidae. *Mar. Biol.* 109: 355-368.
- Glynn, P.W., S.B. Colley, C.M. Eakin, D.B. Smith, J. Cortés, N.J. Gassman, H.M. Guzmán, J.B. del Rosario & J.S. Feingold. 1994. Reef coral reproduction in the eastern Pacific: Costa Rica, Panamá, and Galápagos Islands (Ecuador). II. Poritidae. *Mar. Biol.* 118: 191-208.

- Grigg, R.W. 1983. Community structure, succession and development of coral reefs in Hawaii. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 11: 1-14.
- Guzmán, H.M. 1986. Estructura de la comunidad arrecifal de la Isla del Caño y el efecto de perturbaciones naturales severas. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, San Pedro. 179 p.
- Guzmán, H.M. 1988. Distribución y abundancia de organismos coralívoros en los arrecifes coralinos de la Isla del Caño, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 36: 191-207.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1989a. Coral reef community structure at Caño Island, Pacific Costa Rica. *P.S.Z.N.I: Mar. Ecol.* 10: 23-41.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1989b. Growth rates of eight species of scleractinian corals in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 44: 1186-1194.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1992. Cocos Island (Pacific of Costa Rica) coral reef after the 1982-1983 El Niño disturbance. *Rev. Biol. Trop.* 40: 309-324.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 1993. Arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical: Revisión y perspectivas. *Rev. Biol. Trop.* 41: 535-557.
- Guzmán, H.M. & J. Cortés. 2001. Changes in reef community structure after fifteen years of natural disturbances in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 69: 133-149.

- Harriott, V.J. & S.A. Banks. 2002. Latitudinal variation in coral communities in eastern Australia: A qualitative biophysical model of factors regulating coral reefs. *Coral Reefs* 21: 83-94.
- Herrera, W. & L.D. Gómez. 1993. Mapa de unidades bióticas de Costa Rica. Escala 1:685.000 U.S. Fish and Wildlife Service- TNC- INCAFO- CBCCR- INBio - Fundación Gómez-Dueñas. San José.
- Hodgson, G. 1990. Sediment and the settlement of larvae of the reef coral *Pocillopora damicornis*. *Coral Reefs* 9: 41-43.
- Hughes, T.P. & J.B.C. Jackson. 1985. Population dynamics and life histories of foliaceous corals. *Ecol. Monogr.* 55: 141-166.
- Jiménez, C.E. 1995. Capítulo 4: Ambientes marino-costeros: 31-39. *In*: Plan general de manejo, Área de Conservación Osa, Anexo 1, Sondeo ecológico rápido, tomo 2. SPN, FUNDEVI, PROAMBI, ICT.
- Jiménez, C.E. 1997. Corals and coral reefs of Culebra Bay, Pacific coast of Costa Rica: Anarchy in the reef. *Proc. 8<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp., Panamá* 1: 329-334.
- Jiménez, C.E. 1998. Arrecifes y comunidades coralinas de Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica (Golfo de Papagayo). Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, San Pedro. 218 p.
- Jiménez, C.E. 2001. Arrecifes y ambientes coralinos de Bahía Culebra, Pacífico de Costa Rica: aspectos biológicos, económico-recreativos y de manejo. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 215-231.

- Jiménez, C.E. & J. Cortés. 2001. Effects of the 1991-92 El Niño on scleractinian corals of the Costa Rican Pacific coast. *Rev. Biol. Trop.* 49: 239-250.
- Jiménez, C.E. & J. Cortés. 2003a. Coral cover change associated to El Niño, central Pacific coast of Costa Rica, 1992-2001. *Mar. Ecol.* 24:179-192.
- Jiménez, C.E. & J. Cortés. 2003b. Growth of seven species of scleractinian corals in an upwelling environment of the Eastern Pacific (Golfo de Papagayo, Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 72: 187-198.
- Jiménez, C.E., J. Cortés, A. León & E. Ruiz. 2001. Coral bleaching and mortality associated with the 1997-98 El Niño in an upwelling environment in the eastern Pacific (Gulf of Papagayo, Costa Rica). *Bull. Mar. Sci.* 69: 151-169.
- Jokiel, P.L., C.L. Hunter, S. Taguchi & L. Watarai. 1993. Ecological impact of a freshwater "reef kill" in Kaneohe Bay, Oahu, Hawaii. *Coral Reefs* 12: 177-184.
- Kappelle, M., M. Castro, H. Acevedo, L. González & H. Monge. 2002. Ecosistemas del Área de Conservación Osa (ACOSA). Editorial INBio, Santo Domingo de Heredia. 500 p.
- Ketchum, J.T. 1998. Comunidades coralinas del Archipiélago de Revillagigedo, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México. 167 p.
- Ketchum, J.T. & H. Reyes-Bonilla. 2001. Taxonomía de los corales hermatípicos (Scleractinia) del Archipiélago de Revillagigedo, México. *Rev. Biol. Trop.* 49: 803-848.

- Kleypas, J.A., J.W. McManus & L.A.B. Meñez. 1999. Environmental limits to coral reef development: where do we draw the line? *Amer. Zool.* 39: 146-159.
- Krebs, C. 1989. *Ecological Methodology*. Harper & Row, New York. 653 p.
- Linkimer, L. & T. Aguilar. 2000. Estratigrafía sedimentaria: 43-62. *In*: P. Denyer & S. Kussmaul (eds.), *Geología de Costa Rica*. Edit. Tecnológica de Costa Rica, Cartago.
- Macintyre, I.G., P.W. Glynn & J. Cortés. 1992. Holocene reef history in the eastern Pacific: mainland Costa Rica, Caño Island, Cocos Island, and Galápagos Islands. *Proc. 7<sup>th</sup> Int. Coral Reef Symp. Guam* 2: 1174-1184.
- Marcus, J. & A. Thorhaug. 1981. Pacific versus Atlantic responses of the subtropical hermatypic coral *Porites* spp. to temperature and salinity effects. *Proc. 4<sup>th</sup> Int. Coral Reefs Symp., Manila* 2: 15-20.
- Marshall, S.M. & A.P. Orr. 1931. Sedimentation on low Isles reef and its relation to coral growth. *Gt. Barrier Reef Exped. 1928-29. Sci. Rep.* 1: 93-133.
- Mora, C. 1979. Proyecto hidroeléctrico Boruca. Informe de Progreso. Estudio Geológico Regional, I.C.E. 1(5): 193 p.
- Potts, D.C., T.J. Done, P.J. Isdale & D.A. Fisk. 1985. Dominance of a coral community by the genus *Porites* (Scleractinia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 23: 79-84.
- Reyes-Bonilla, H., T.L. Pérez-Vivar & J.T. Ketchum-Mejía. 1999. Distribución geográfica y depredación de *Porites lobata* (Anthozoa: Scleractinia) en la costa occidental de México. *Rev. Biol. Trop.* 47: 273-279.

- Rogers, C.S., G. Garrison, R. Grober, Z.M. Hillis & M.A. Franke. 2001. Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y el Atlántico occidental. T.N.C. & W.W.F., Islas Virgenes, U.S.A. 49 p.
- Rojas, L., J.E. Ramirez, G.A. Strom & C. Gamboa. 1992. Plan regulador del uso del suelo, Playa Ballena. Promotor La Roca, S.A., San José. 180 p.
- Rosenblatt, R.H. 1963. Some aspects of speciation in marine shore fishes: 170-180. *In*: J.P. Harding & N. Tebble (eds), Speciation in the Sea. The Systematics Association, London.
- Soto, R. & M. Bermúdez. 1990. Parque Nacional Marino Ballena, Plan de desarrollo. MINAE, San José. 125 p.
- Spencer Davies, P. 1991. Effects of daylight variations on the energy budgets of shallow-water corals. *Mar. Biol.* 108: 137-144.
- Tournon, J. & G. Alvarado. 1995. Mapa geológico de Costa Rica. Escala 1:500,000. Edit. Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Tytlyanov, E.A. & Y.V. Latypov. 1991. Light dependence in the scleractinian distribution in the sublittoral zone of south China Sea islands. *Coral Reefs* 10:133-138.
- UNEP/AIMS. 1993. Monitoring Coral Reefs for Global Change. Reference Methods for Marine Pollution Studies. UNEP, Cambridge, U. K. No. 61: 72 p.
- Veron, J.E.N. 1995. Corals in Space and Time: The Biogeography and Evolution of the Scleractinia. UNSW Press, Sydney. 321 p.

- Veron, J.E.N. 2000. Corals of the World Vol. 2. AIMS & CRR Qld Pty Ltd, Townsville, Queensland. 429 p.
- Weinberg, S. 1981. A comparison of coral reef survey methods. *Bijdr. Dierk.* 51: 199-218.
- Wellington, G.M. 1982. An experimental analysis of the effects of light and zooplankton on coral zonation. *Oecologia* 52: 311-320.
- Wells, J. W. 1957. Corals. *Mem. Geol. Soc. Am.* 67: 1087-1104.
- Yonge, C. M. 1963. The biology of corals reefs. *Adv. Mar. Biol.* 1: 209-260.

## VIII. ANEXOS

Probabilidad de las pruebas *a posteriori* de Tukey de los análisis de varianza

- Corales

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00									
2	0.000	1.00								
3	0.886	0.003	1.00							
4	1.0000	0.000	0.818	1.00						
5	1.000	0.000	0.600	1.000	1.00					
6	0.984	0.001	1.00	0.963	0.839	1.00				
7	1.00	0.000	0.993	0.999	0.981	1.000	1.00			
8	1.000	0.000	0.764	1.000	1.000	0.940	0.998	1.00		
9	1.000	0.000	0.988	1.000	0.989	1.000	1.000	0.999	1.00	
10	1.000	0.000	0.634	1.000	1.0000	0.864	0.987	1.000	0.993	1.00

- Algas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00									
2	0.001	1.00								
3	0.044	0.585	1.00							
4	0.115	0.310	1.000	1.00						
5	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00					
6	0.628	0.000	0.001	0.002	0.000	1.00				
7	0.000	0.999	0.237	0.099	0.000	0.000	1.00			
8	0.003	0.997	0.965	0.790	0.000	0.000	0.874	1.00		
9	0.001	1.000	0.658	0.370	0.000	0.000	0.998	0.999	1.00	
10	0.000	0.994	0.157	0.062	0.000	0.000	1.000	0.758	0.987	1.00

- Octocorales

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00									
2	1.000	1.00								
3	1.000	1.000	1.00							
4	1.000	1.000	1.000	1.00						
5	0.782	0.782	0.782	0.782	1.00					
6	0.976	0.976	0.976	0.976	1.000	1.00				
7	1.000	1.000	1.000	1.000	0.800	0.980	1.00			
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.108	0.034	0.003	1.00		
9	1.000	1.000	1.000	1.000	0.800	0.980	1.000	0.003	1.00	
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.431	0.000	1.00

- Largo de las colonias *Porites lobata*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00									
2	0.440	1.00								
3	0.052	0.991	1.00							
4	0.996	0.070	0.003	1.00						
5	0.990	0.140	0.016	1.000	1.00					
6	1.000	0.179	0.012	1.000	1.000	1.00				
7	0.128	1.000	1.000	0.011	0.036	0.036	1.00			
8	0.998	0.080	0.004	1.000	1.000	1.000	0.013	1.00		
9	1.000	0.833	0.224	0.885	0.880	0.982	0.421	0.906	1.00	
10	0.999	0.605	0.248	1.000	1.000	1.000	0.360	1.000	0.987	1.00

- Ancho de las colonias de *Porites lobata*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00									
2	0.154	1.00								
3	0.075	1.000	1.00							
4	0.999	0.026	0.010	1.00						
5	0.955	0.021	0.010	0.999	1.00					
6	1.000	0.031	0.013	1.000	0.999	1.00				
7	0.448	1.00	0.997	0.118	0.076	0.137	1.00			
8	0.987	0.008	0.003	1.000	1.000	1.000	0.046	1.00		
9	1.000	0.238	0.124	0.996	0.908	0.998	0.589	0.958	1.00	
10	0.999	0.386	0.286	1.000	1.000	1.000	0.608	1.000	0.998	1.00

- Largo de las colonias de *Pavona clavus*

	2	4	6	8
2	1.00			
4	0.219	1.00		
6	0.201	0.003	1.00	
8	0.447	1.000	0.036	1.00

- Ancho de las colonias de *Pavona clavus*

	2	4	6	8
2	1.00			
4	0.205	1.00		
6	0.147	0.002	1.00	
8	0.550	0.999	0.041	1.00

- Fracción no carbonatada del sedimento

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.00									
2	0.000	1.00								
3	0.000	0.041	1.00							
4	0.000	0.905	0.002	1.00						
5	0.000	0.979	0.004	1.000	1.00					
6	0.000	0.296	0.000	0.974	0.891	1.00				
7	0.000	0.165	0.000	0.0881	0.718	1.000	1.00			
8	0.000	0.996	0.007	1.000	1.000	0.782	0.574	1.00		
9	0.000	1.00	0.018	0.986	0.999	0.505	0.314	1.000	1.00	
10	0.000	0.527	0.000	0.999	0.986	1.000	0.998	0.984	0.761	1.00

