

## INTRODUCCIÓN

A partir del año 1981 la Asociación de Pescadores de la Isla de Culebra inició diversos esfuerzos para el establecimiento de un área marina protegida con cierre a la pesca para la recuperación de sus recursos pesqueros significativamente reducidos. También se consideraba en aquel entonces que dicho tipo de reserva tendría un atractivo turístico grande para la isla municipio. Sin embargo, durante espacio de cerca de una década no se logró concretar dicha meta. Durante los años 1989 y 1990 se inició un esfuerzo nuevo por parte de la Asociación, con la colaboración del Programa Sea Grant de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, con miras a establecer una zona con cierre a la pesca en Culebra. El mismo tampoco tuvo el éxito esperado. Finalmente, con la colaboración del Dr. Vance P. Vicente, en aquel entonces Director de la Oficina de Puerto Rico del Servicio Nacional de Pesquerías Marinas, de la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA, por sus siglas en inglés), la Asociación vuelve a presentar, en esta ocasión, una propuesta más concreta para designar como Reserva Marina una porción del Canal de Luis Peña. Durante el período entre 1995 y 1998 se llevan a cabo una serie de reuniones entre la Asociación y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) para negociar y llegar a un consenso sobre la extensión superficial y el tipo de reserva que se designaría en el área. A la misma vez, durante ese mismo período de tiempo el Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras, llevó a cabo una serie de estudios que apoyaron dicha designación.



FIGURA 1. Miembros de la Junta de Directores de la Asociación de Pescadores de la Isla de Culebra, desde la izquierda: Don Manuel Méndez, Tesorero; Don Anastacio Soto Ayala, Presidente; Don Ramón Feliciano Encarnación, Vice-Presidente; parcialmente oculto, Don Felo Ortiz, Vocal. Faltan en la foto: Lourdes Feliciano, Secretaria; y Mary Soto, Directora del Proyecto Pesquero. La Asociación ha estado muy activa en el desarrollo de diversos proyectos dirigidos a la educación popular y a la educación de niños sobre la conservación de los recursos marinos. Además, se ha involucrado en proyectos de maricultura de peces, restauración de manglares, restauración de arrecifes de coral y de las pesquerías marinas de Culebra, y sobre la elaboración de un plan de manejo para la Reserva Natural del Canal de Luis Peña (foto tomada el 24 de octubre de 2002).

El Programa de Manejo de la Zona Costanera de Puerto Rico (PMZCPR) del DRNA identificó la zona de la Reserva Natural del Canal Luis Peña (RNCLP) como un área de valor ecológico alto, la cual ameritaba protección de forma particular (Pagán-Villegas, Hernández-Delgado y Vicente, 1999). Además, diversos estudios llevados a cabo en la misma zona demostraron el valor ecológico de esa localidad (Hernández-Delgado, 1994a,b; 2000; Hernández-Delgado y Sabat, 1998; Hernández-Delgado et al., 1998), la cual ameritaba protección como Reserva Natural con cierre a la pesca. A esos efectos, se sometió a la consideración de la NOAA una propuesta para incluir este sector del municipio de Culebra en la lista de áreas para designarse como Reserva Natural bajo uno de los cuatro (4) elementos principales del PMZCPR: guiar el desarrollo en la propiedad pública y privada. Dicha agencia federal aprobó la solicitud y el DRNA preparó en mayo de 1999 el *Documento de Designación de la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra* (Pagán-Villegas, Hernández-Delgado y Vicente, 1999).

El esfuerzo de designar el Canal Luis Peña como una Reserva Natural respondió a un movimiento histórico de parte de la comunidad culebrense, iniciado originalmente por la Asociación de Pescadores de la Isla de Culebra (Figura 1) y apoyados por la comunidad científica, la academia y por los vecinos de esta Isla municipio. Su meta fue la de proteger los recursos marinos de estas aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo éstas y la zona marítimo-terrestre. El DRNA, en respuesta a este interés y esfuerzo ciudadano, realizó los procesos pertinentes a la designación de dicha zona como Reserva Natural. La Junta de Planificación de Puerto Rico aprobó finalmente su designación mediante la Resolución Número PU-002-99-77-01, del 11 de junio de 1999. Para cumplir con la solicitud original de la

Asociación de Pescadores de la Isla de Culebra, el entonces Secretario del DRNA, Ing. Daniel Pagán, aprobó el cierre permanente a la pesca mediante la Orden Administrativa Núm. 99-15, del 30 de septiembre de 1999, según enmendada por la Orden Administrativa Núm. 2003-14 el 14 de agosto de 2003, bajo la facultad otorgada por virtud del Artículo 5, inciso (e) de la Ley Núm. 278 de 29 de diciembre de 1998, conocida como la Ley de Pesquerías de Puerto Rico. Este tipo designación convirtió a la Isla de Culebra en la primera jurisdicción en Puerto Rico, así como a nivel de cualquier estado o territorio de los Estados Unidos en poseer una zona (no federal) con un cierre permanente a la pesca. También sentó el precedente de ser la primera reserva pesquera marina *de facto* recomendada originalmente por una comunidad de pescadores en Puerto Rico o los Estados Unidos.

Habiendo transcurrido ya cuatro (4) años de la designación de la RNCLP, el DRNA, en su compromiso por la protección de los recursos coralinos de Puerto Rico, se comprometió con el Gobierno Federal de los Estados Unidos a convertir la RNCLP en una de las zonas de mayor prioridad en Puerto Rico para el establecimiento de un programa de manejo para su conservación y recuperación. Además, se comprometió a mejorar los esfuerzos de vigilancia y enforzamiento de las leyes en sus sistemas de Reservas Naturales, incluyendo a Culebra. Una de las recomendaciones del documento de designación original fue la de que el modelo de manejo de la RNCLP fuese uno compartido con la comunidad culebrense, particularmente, con la Asociación de Pescadores y cualesquiera otros sectores interesados. En respuesta a dicho compromiso, la Autoridad de Conservación y Desarrollo de Culebra (ACDEC), asumió la iniciativa de identificar fuentes de financiamiento para dar inicio a un proyecto para desarrollar, junto al DRNA, un Plan de Manejo para la RNCLP que incluyera la participación efectiva de la

comunidad culebrense y cualquier grupo de interés en todas sus fases de desarrollo estratégico, la identificación de problemas, planificación, redacción, edición, aprobación y su implantación. Este proyecto es uno de naturaleza innovadora ya que el proceso a seguir para la elaboración de dicho Plan de Manejo será uno “de abajo hacia arriba”, es decir, desde la comunidad hacia la agencia de gobierno. Este proceso es uno que nunca se ha utilizado previamente en el manejo de los recursos marinos en Puerto Rico o en los Estados Unidos.

Como parte del esfuerzo para la elaboración del Plan de Manejo, se requiere la elaboración de una serie de documentos técnicos que provean la información necesaria para apoyar dicho Plan. El objetivo principal de la primera fase del *Documento Técnico para el Plan de Manejo de la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, Puerto Rico* es la de caracterizar los hábitats naturales de la RNCLP, identificar su distribución geográfica e identificarlos mediante mapas.



FIGURA 2. Colonia del coral Cuerno de Alce, *Acropora palmata*, en la Playa Carlos Rosario. Esta especie de coral se encuentra actualmente en la lista federal de candidatos a especies en peligro de extinción, aunque en la República de México está protegida como tal desde el año 1996. Dentro y fuera de la Reserva sus poblaciones han disminuido significativamente debido a diversos factores naturales y de origen humano. Sin embargo, aun sobreviven algunas colonias saludables, lo que sugiere que puede tener un potencial alto de recuperación en el futuro bajo un manejo apropiado (fotografía cortesía de Ian James).

## **METODOLOGIA**

### **Caracterización geográfica de las áreas de estudio.**

Este estudio se llevó a cabo dentro de los límites geográficos de la RNCLP, en la Isla Municipio de Culebra (Figuras 3 y 4). Culebra se localiza aproximadamente a 27 km al noreste de Puerto Rico, al norte del Pasaje de Vieques. Como parte de la caracterización geográfica de las áreas de estudio se hizo una descripción física de los límites geográficos de la RNCLP, así como de su área de superficie y de sus coordenadas geográficas. La caracterización geográfica se basó en la descripción cualitativa y cuantitativa (donde fue posible) de 22 áreas geográficas naturales en las cuales se subdividió la RNCLP y que se enumeran en la Figura 5.

### **Caracterización de los hábitáculos bénticos y litorales.**

Se definieron todos los tipos de hábitáculos bénticos de la RNCLP basado en las definiciones de Kendall et al. (2001). Para cada una de las categorías identificadas se describen varias de sus características principales, distribución de profundidad, especies dominantes y sus valores naturales principales. Además, se describen las comunidades litorales principales de la RNCLP.

### **Clasificación y distribución de hábitats bénticos.**

Se realizó una evaluación y corrección de los mapas bénticos disponibles de la RNCLP. Para ésto se realizó un análisis comparativo entre los diferentes tipos de análisis de los hábitats bénticos de la RNCLP realizados previamente por Hernández-Delgado et al. (1998); Pagán-Villegas et al. (1999), Kendall et al. (2001) y Hernández-Delgado et al. (2002), y el

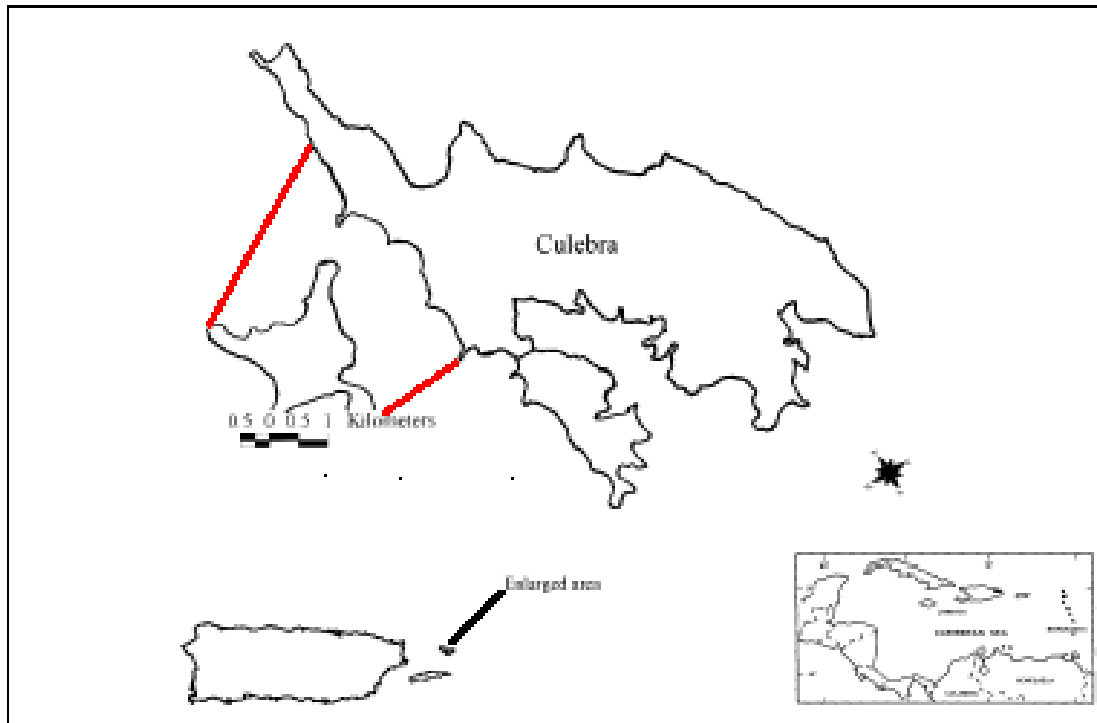


FIGURA 3. Localización de la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, P.R.

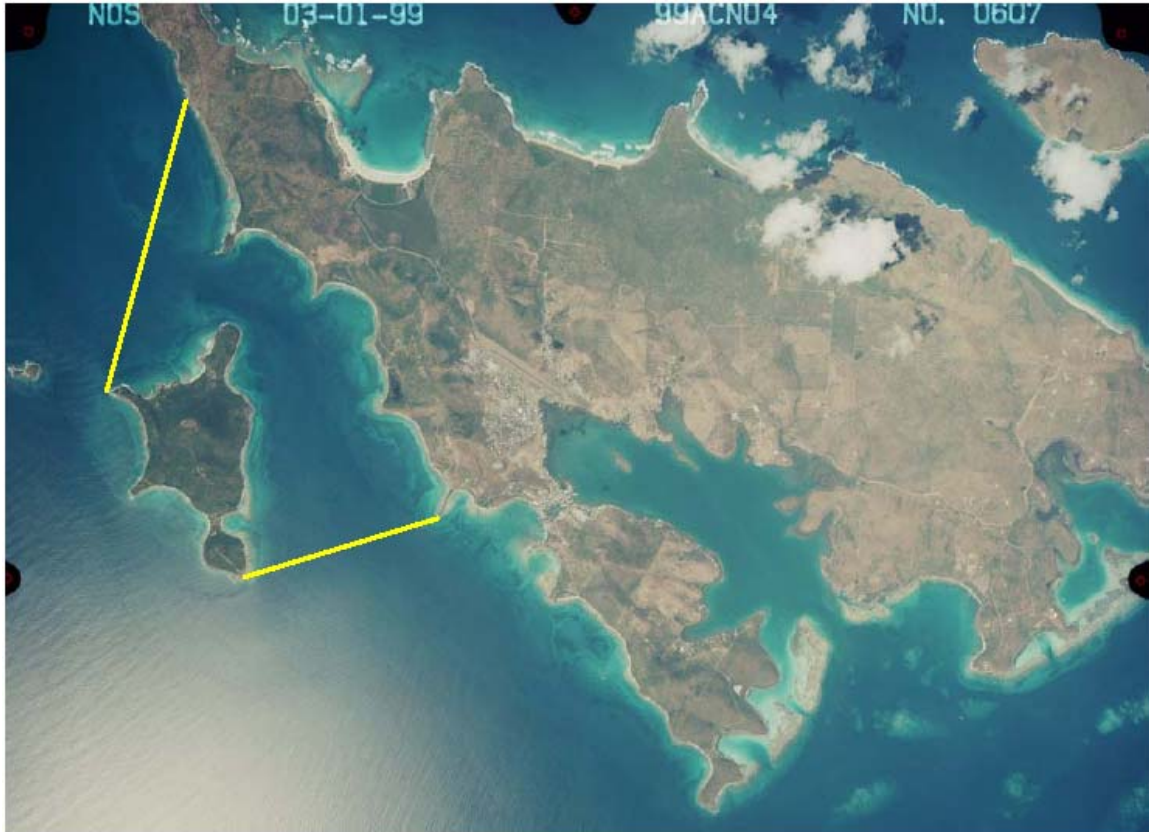


FIGURA 4. Foto aérea de la Isla de Culebra modificada para ilustrar la localización de los límites geográficos de la Reserva Natural del Canal Luis Peña.

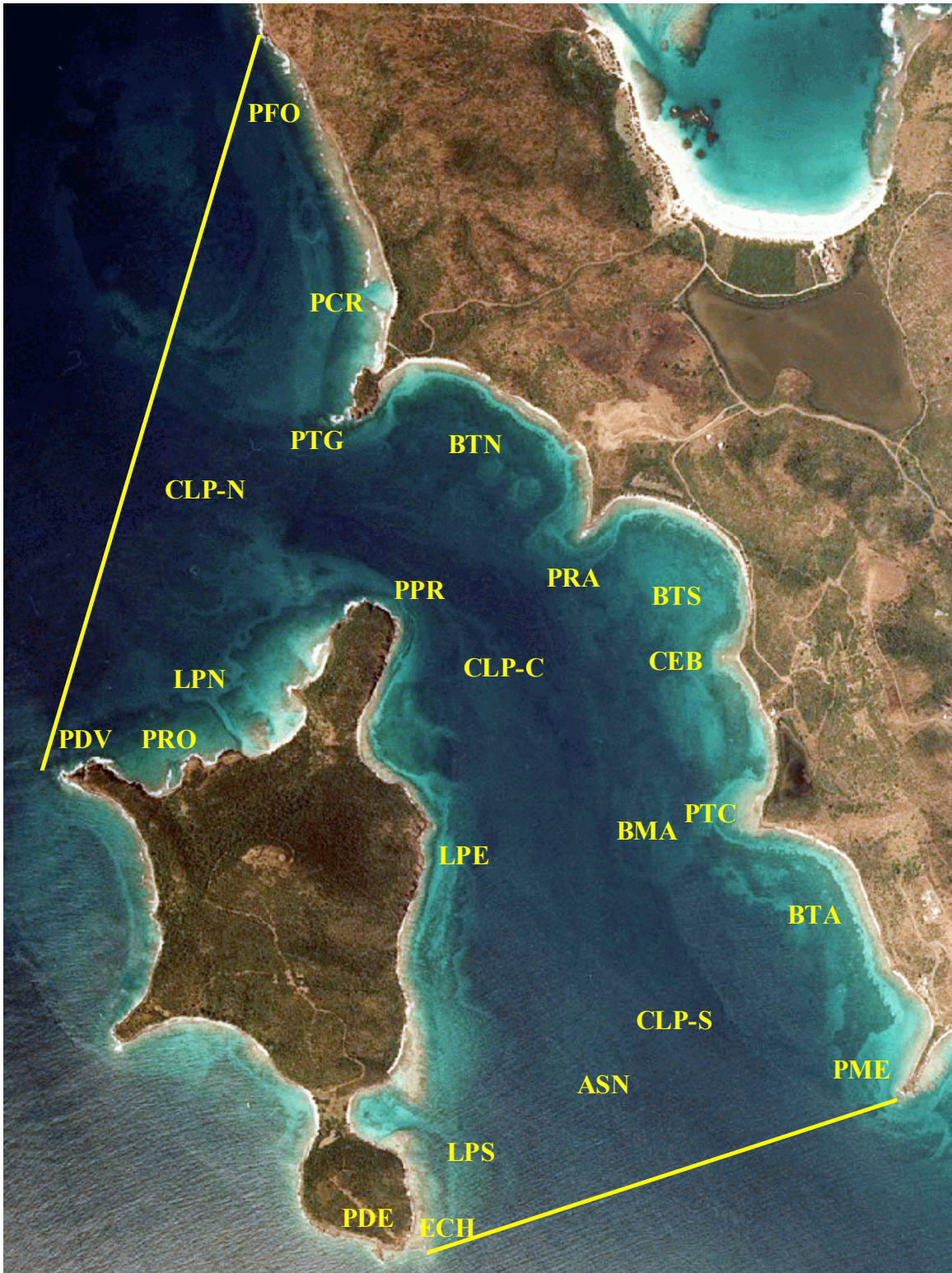


FIGURA 5. Áreas geográficas naturales de la RNCLP (ver leyenda en la próxima página).

*Leyenda detallada de la FIGURA 5:*

PFO= Punta Flamenco-Peste; PCR= Playa Carlos Rosario; PTG= Punta Tamarindo Grande (*sensu*=NOAA Nautical Chart 25655; junio 27, 1992; también conocido antiguamente como Punta Tamarindo Recostao); BTN= Bahía Tamarindo-Nore; PRA= Punta Rompeanzuelos (también conocido como Punta Tamarindo *sensu*=NOAA Nautical Chart 25655; junio 27, 1992); BTS= Bahía Tamarindo-Sur; CEB= Cayo El Banderote (nombre antiguo); PTC= Punta Tamarindo Chico; BMA= Bajo de Magoyo (nombre antiguo); BTA= Bahía Tarja (*sensu*=NOAA Nautical Chart 25655; junio 27, 1992); PME= Punta Melones; PDV= Punta de Vapor (nombre antiguo); PRO= Punta Rociada (*sensu*=NOAA Nautical Chart 25655; junio 27, 1992); PPR= Punta Prieta (nombre antiguo); LPE= Cayo Luis Peña-Este; LPS=Cayo Luis Peña-Sureste; PDE= Punta del Este (nombre antiguo); ECH= El Cayito Hondo (nombre antiguo); ASN= Arrecife Sin Nombre; CLP-S= Canal Luis Peña-Sur; CLP-C= Canal Luis Peña-Central; y CLP-N= Canal Luis Peña-Norte.

análisis llevado a cabo de la foto aerea 608 de NOAA, verificado con rectificación de campo. Se utilizó un análisis multi-variables similar al descrito arriba, además, mediante un análisis ANOSIM (Clark y Warwick, 2001), para probar la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas en la proporción de las comunidades bénticas entre el mapa de NOAA (2001) y la versión corregida durante este estudio. Se utilizó un análisis SIMPER (Clark y Warwick, 2001) para corroborar qué tipos de hábitats bénticos mostraron la mayor diferencia entre ambos mapas.

### **Estructura de la comunidad en las áreas geográficas.**

Se utilizaron los datos de presencia/ausencia de especies de corales para llevar a cabo un análisis Bray-Curtis de disimilitud de comunidades (Bray and Curtis, 1957) con el objetivo de determinar cuán diferente es la estructura de las comunidades coralinas entre las diversas áreas geográficas con desarrollo arrecifal dentro de la RNCLP. Se realizaron análisis por separado para las especies de octocorales, corales pétreos (Hidrocorales + Escleractíneos), y para el total de las especies de corales. Se utilizaron las matrices de disimilitud para construir dendrogramas de ordenación espacial usando análisis tipo “Cluster” y de Escalas Multi-dimensionales No-métricas (Clark y Warwick, 2001) para discriminar patrones espaciales en la estructura de la comunidad entre las diversas áreas. Ésto permitió someter a prueba la hipótesis nula de que no existen diferencias en la estructura de la comunidad coralina entre las diversas áreas geográficas naturales de la RNCLP.

## **Resultados**

### **Caracterización de la RNCLP.**

#### **Caracterización de los tipos de hábitáculos benthicos.**

La caracterización de los tipos de hábitáculos de la RNCLP se llevó a cabo utilizando las definiciones desarrolladas por NOAA (Kendall et al., 2001), las cuales se resumen en la Tabla 1. En total, se han identificado 12 categorías diferentes de hábitáculos benthicos principales dentro de los límites de la RNCLP. Éstos incluyen los arrecifes lineares, fondos rocosos colonizados, pavimentos colonizados, fondos de corales y rocas dispersas, pavimentos colonizados con canales, arrecifes de parchos, comunidades hierbas marinas continuas, hierbas con cobertura de 70 a 90%, de 50 a 70%, y de 30 a 50%, planicies de macroalgas de baja cobertura (10-50%) y los fondos arenosos. Sin embargo, existen otros 5 tipos de hábitáculos benthicos, los cuales no están identificados en los mapas existentes, principalmente, debido a que su extensión superficial es tan limitada que no pueden ser identificados en los mapas. Estas categorías adicionales incluyen a los sistemas de surcos y espolones de los arrecifes de coral. Aunque dentro de la RNCLP existen arrecifes lineares presentando este tipo de sistemas, en este estudio los mismos se incluyen dentro de la categoría de arrecifes lineares. Los otros tipos de hábitáculos de poca extensión identificados incluyen los fondos de carricoche (=fragmentos de corales muertos), los pavimentos no colonizados (=fondos rocosos calizos de poco relieve cubiertos solo por una capa fina de algas filamentosas y sedimentos), los fondos rocosos no colonizados (=fondos rocosos de alto relieve cubiertos solo por una capa fina de algas filamentosas y sedimentos) y los pavimentos no colonizados con canales (=similar al anterior, pero con la presencia de canales de

TABLA 1. Definiciones de las categorías principales de habitáculos béticos identificados dentro de la RNCLP.

<b>Categorías de habitáculos</b>	<b>Definiciones</b>
<b><i>Arrecife linear</i></b>	Formaciones coralinas lineares paralelas a la línea de orilla, siguiendo el contorno de la costa. Definición utilizada para identificar Arrecifes bordeantes, zonas de antearrecifes y arrecifes de plataforma. En este estudio dicha definición incluyó los sistemas de surcos y espolones.
<b><i>Fondo rocoso colonizado</i></b>	Fondo rocoso contiguo a la costa cubierto por macroalgas, corales pétreos, octocorales, esponjas y otros invertebrados sésiles en densidades lo suficientemente altas como para cubrir las rocas del sustrato. Generalmente, posee un relieve estructural alto.
<b><i>Pavimento colonizado</i></b>	Fondo de roca caliza plana, con poco relieve y cubierto por macroalgas, corales pétreos, octocorales, esponjas y otros invertebrados sésiles en densidades lo suficientemente altas como para cubrir la roca calcárea del sustrato.
<b><i>Fondo de rocas y corales dispersos</i></b>	Fondos arenosos, de hierbas o rocas con colonias de corales pequeños muy dispersos para identificarse como otro tipo de habitáculo.
<b><i>Pavimento colonizado con canales</i></b>	Fondo de pavimentos colonizados alternados con canales de arena con orientación perpendicular a la costa, pero con menor estructuración que los sistemas de surcos y espolones.
<b><i>Arrecifes de parchos</i></b>	Formaciones coralinas aisladas del resto de cualquier formación arrecifal por otros tipos de habitáculos como hierbas marinas, arena, etc., los cuales no tienen una estructuración definida. Pueden estar constituidos por agregaciones coralinas lo suficientemente difusas como para ser separadas de forma individual.
<b><i>Hierbas marinas (contínuas)</i></b>	Hierbas marinas con una cobertura mayor de 90% del fondo (independiente de la densidad de vástagos). Puede incluir áreas de aperturas sin hierbas (“blowouts”) en el fondo que no excedan de 10% del área total del lugar.
<b><i>Hierbas marinas (70-90%)</i></b>	Hierbas marinas discontinuas, con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 70 a 90% del fondo. Parchos de hierbas son muy dispersos para definirse como hierbas contínuas.
<b><i>Hierbas marinas (50-70%)</i></b>	Hierbas marinas discontinuas, con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 50 a 70% del fondo. Parchos de hierbas son muy dispersos para definirse como hierbas contínuas.
<b><i>Hierbas marinas (30-50%)</i></b>	Hierbas marinas discontinuas, con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 30 a 50% del fondo. Parchos de hierbas son muy dispersos para definirse como hierbas contínuas.
<b><i>Planicie de macroalgas de baja cobertura (10-50%)</i></b>	Sustrato cubierto por macroalgas discontinuas (independiente de la densidad de vástagos) con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 10 a 50% del fondo. Parchos de algas son muy dispersos para definirse como macroalgas contínuas. Puede ser un fondo arenoso o un pavimento rocoso. Se desarrolla en aguas profundas.
<b><i>Arena</i></b>	Depósito de sedimentos no consolidados expuestos al efecto de las corrientes y el oleaje.

arena).

### **Tipos de habitáculos en la RNCLP.**

La zona del Canal de Luis Peña, localizado en la costa oeste de la Isla de Culebra, sostiene un desarrollo extenso de comunidades bénticas y litorales. Las primeras totalizan 16 categorías, mientras que las segundas totalizan 3 categorías. En las siguientes secciones se describen brevemente algunas de las características generales de cada categoría.

*Arrecife linear:* Los arrecifes lineares son aquellas formaciones coralinas bordeando paralelamente a la línea de orilla, siguiendo el contorno de la costa. Además, en esta categoría se encuentran aquellos arrecifes de coral de origen biogénico con alta estructuración y con zonas bien definidas, incluyendo las zonas de antearrecifes, frontones, trasarrecifes, así como las zonas de surcos y espolones. Este tipo de arrecifes de coral en la RNCLP se encuentra bajo condiciones mucho más saludables que la inmensa mayoría de las comunidades arrecifales en la Isla de Puerto Rico (Hernández Delgado y Sabat, 1998; Hernández-Delgado, 2000). Éstos son representativos de esta región del Caribe, tanto en términos de diversidad de especies de corales, como de peces (Hernández Delgado et al., 1998; Pagán-Villegas et al., 1999; Hernández-Delgado, 2000; Hernández-Delgado y Rosado-Matías, 2003). El tipo de arrecife de coral predominante en la RNCLP es de tipo marginal o bordeante (Pagán-Villegas et al., 1999). Dichos arrecifes, por su definición, bordean la línea de costa. El desarrollo más extenso y de mayor complejidad estructural lo encontramos entre la costa oeste de la Península de Flamenco hasta Punta Tamarindo Grande, incluyendo la Playa Carlos Rosario. La profundidad de los Arrecifes lineares de esta zona fluctúa entre 1 y 14 m. El extremo norte de esta zona recibió los

impactos más intensos del bombardeo durante las prácticas militares que culminaron en el año 1975 (IDEA, 1970). La comunidad arrecifal linear entre “Impact Beach”, la zona conocida localmente como La Rajá y la Playa Carlos Rosario se caracteriza por un desarrollo amplio de arrecifes lineares y de pavimentos coralinos, con una abundancia alta de octocorales y esponjas. En esta zona también se encuentran varios cráteres en el fondo arrecifal, los cuales en ocasiones exceden los 20 metros de diámetro. La cobertura de corales entre esta zona promedia entre 40% y 60%, con algunas zonas con promedios mayores (Hernández-Delgado, 2000). Sin embargo, se han documentado disminuciones significativas en el promedio de cobertura de corales vivos durante los últimos años (Hernández-Delgado, 2001 y 2002). Dentro de las zonas más impactadas por las actividades militares, la cobertura de corales no excede de 1 a 5% (Hernández-Delgado, datos no publicados).

Otra zona que presenta un desarrollo extenso de arrecifes lineares lo es la zona sureste del Cayo Luis Peña, los cuales sostienen una cobertura promedio de corales vivos de 40 a 70% (Hernández-Delgado, en preparación). En menor grado, podemos encontrar este tipo de estructura bordeando Bahía Tamarindo Norte, en Punta Rompeanzuelo y bordeando Bahía Tarja, aunque estos últimos presentan un desarrollo estructural más limitado y una limitación batimétrica que no excede de 5 m en promedio. Su cobertura de corales vivo fluctúa entre 1 y 25%, aproximadamente. Las especies de corales más comunes en los arrecifes lineares incluyen al complejo de especies de los 3 morfotipos de *Montastraea annularis*, los cuales incluyen las especies recientemente redescritas, *M. faveolata* y *M. franksi*. Además, son comunes especies como *M. cavernosa*, *Diploria clivosa*, *D. strigosa*, *D. labyrinthiformis*, *Agaricia* spp., *Porites astreoides* y *P. porites*, así como los hidrocorales, *Millepora complanata* y *M. alcicornis*. El

complejo de especies de *M. annularis* es por mucho el componente dominante de este tipo de arrecifes de coral en la RNCLP (Hernández-Delgado, 2002). Los arrecifes lineares constituyen el hábitaculo principal de muchas especies de peces e invertebrados de gran importancia comercial pesquera, tales como los cotorros (Scaridae), pargos (Lutjanidae) y meros (Serranidae), así como para la Langosta, *Pannulirus argus*.

*Fondo rocoso colonizado*: El fondo rocoso colonizado es un tipo de hábitaculo béntico contiguo a la costa cubierto por macroalgas, corales pétreos, octocorales, esponjas y otros invertebrados sésiles en densidades lo suficientemente altas como para cubrir las rocas del sustrato. Generalmente, este tipo de fondos posee un relieve estructural alto, creando múltiples microhábitaculos para diversas especies de peces e invertebrados. Este tipo de hábitaculo se desarrolla sobre promontorios rocosos basálticos o de eolianita, sobre los cuales se establece una comunidad coralina muy parecida a un arrecife de coral. Sin embargo, en el caso de los promontorios rocosos basálticos, tales como Punta Tamarindo Grande, Punta Tamarindo Chico, Punta Melones, y la Punta del Este, Punta Prieta y Punta Vapor, en el Cayo Luis Peña, se desarrollan comunidades coralinas sobre fondos rocosos de alta en energía de oleaje. Las mismas se caracterizan por el desarrollo de colonias de corales pequeñas y achatadas debido al efecto del oleaje y corrientes fuertes. En éstas dominan principalmente los hidrocorales y los zoántidos, grupos adaptados a desarrollarse bajo regímenes de perturbaciones ambientales fuertes asociadas al oleaje y corrientes marinas. Además, en algunas de las comunidades coralinas (ej. Punta Tamarindo Chico, Punta Tamarindo Grande, Bahía Tamarindo y Punta Melones) se puede observar una alta abundancia de colonias juveniles (reclutas) de corales, inclusive, especies de corales masivos caracterizados por poseer de forma natural tasas bajas de

reclutamiento, tales como *Montastraea annularis*, *Montastraea cavernosa*, *Diploria* spp. y *Meandrina meandrites*, entre otras. Estas zonas son también vitales para la crianza y refugio de especies con un valor comercial alto, tales como los pargos, *Lutjanus* spp., la Langosta, *Pannulirus argus*, el Langostino, *Pannulirus guttatus*, y los pulpos, *Octopus* spp.

*Fondo rocoso no colonizado*: Los fondos rocosos no colonizados son estructuralmente el mismo tipo de fondo rocoso de alto relieve pero cubiertos sólo por una capa fina de algas filamentosas y de sedimentos. A pesar de su extensión superficial limitada, este tipo de hábitaculo es relativamente común, particularmente, en zonas asociadas a mucho movimiento sedimentario. Por tanto, se consideran hábitaculos marginales y transicionales con un valor muy alto como hábitaculo para reclutas de peces e invertebrados.

*Pavimento colonizado*: Los pavimentos coralinos son fondos de roca caliza con poco relieve estructural, cubierto por macroalgas, corales pétreos, octocorales, esponjas y otros invertebrados sésiles en densidades lo suficientemente altas como para cubrir la roca calcárea del sustrato. Los fondos que constituyen pavimentos coralinos presentan una estructuración menor que aquellos arrecifes de origen biogénico y están constituidos principalmente por octocorales y esponjas. Las especies de octocorales más comunes de octocorales incluyen a los abanicos de mar, *Gorgonia flabellum*, *G. ventalina* y *G. mariae*, así como el gorgonáceo incrustante, *Erythropodium caribaeorum*. Otros grupos abundantes incluyen géneros como *Plexaura* spp., *Pseudoplexaura* spp., *Plexaurella* sp., *Pterogorgia* spp., *Pseudopterogorgia* spp. y *Muricea* spp., entre otros. En la RNCLP se desarrollan varias zonas de pavimentos coralinos. Por ejemplo, en la Península Flamenco-Oeste se desarrolla un pavimento coralino con una cobertura estimada

entre 10 y 40%, y con una diversidad alta de corales, octocorales y esponjas. Su profundidad promedio varía entre 5 y 13 m. Existe otro pavimento de corales de gran extensión frente a Punta Tamarindo Chico, extendiéndose hasta el Bajo Magoyo, a profundidades fluctuantes entre 3 y 12 m. En el Cayo de Luis Peña se desarrolla un pavimento coralino en su extremo sureste a una profundidad de 10 a 14 m y otro en el norte, con profundidades de 3 a 10 m. Las zonas de pavimentos coralinos son también muy importantes para la crianza de peces de alto valor comercial, tales como el Mero Cabrilla, *Epinephelus guttatus*, y el Capitán, *Lachnolaimus maximus*.

*Pavimentos no colonizados*: Los pavimentos no colonizados son fondos rocosos calizos de poco relieve cubiertos solo por una capa fina de algas filamentosas o sedimentos). Este tipo de sustrato tiene una distribución muy limitada y generalmente está asociado a los márgenes de fondos arenosos o sustratos de corales y rocas colonizadas dispersas. Su presencia está, además, asociada a los patrones cíclicos del desplazamiento de los sedimentos no consolidados. Generalmente, su exposición es una efímera, con períodos emergiendo sobre el sustrato arenoso que pueden fluctuar entre días y meses. En otros casos, algunos de estos fondos se encuentran expuestos permanentemente, pero por su localización próxima a áreas de mucho movimiento de sedimentos, el desarrollo de fauna sésil sobre éstos es muy limitado. Dichos fondos se encuentran a profundidades muy variables y tienen un rol valioso como hábitculo de reclutamiento de diversas especies de peces.

*Fondo de rocas y corales dispersos*: Este tipo de fondos está dominado por sustrato arenoso, de hierbas o rocas con colonias de corales pequeños muy dispersos para identificarse como otro tipo

de habitáculo. Éstos son fondos muy parecidos a los pavimentos coralinos, con la excepción de que el tipo de sustrato duro es uno de naturaleza dispersa. Su densidad y cobertura de corales vivos es muy limitada (<1%). Las colonias esporádicas están principalmente constituídas por especies de corales masivos, como *Siderastrea siderea*, *Diploria* spp. Y *Montastraea* spp., las cuales forman pequeños parchos aislados (<1 m diámetro). Generalmente, dichos parchos también presentan el crecimiento aislado de diversas especies de octocorales y esponjas. La densidad de la fauna de este tipo de habitáculo béntico no es muy alta. Sin embargo, éstos son habitáculos muy valiosos para muchas especies con gran valor comercial como el Mero Cabrilla, *E. guttatus*, el Mero Cherna o Blanco, *E. striatus*, el Peje Puerco, *Balistes vetula*, y el Carrucho, *Strombus gigas*.

*Pavimento colonizado con canales:* Este es un tipo de fondo de pavimentos colonizados alternados con canales de arena con una orientación perpendicular a la costa, pero con una estructuración menor que la de los sistemas de surcos y espolones en algunos de los arrecifes lineares. Sus características son, esencialmente, similares a las de los pavimentos coralinos, pero con un nivel de estructuración tridimensional mayor, lo que le permite sostener una fauna más abundante y diversa que aquella de los pavimentos coralinos sin canales. Este sistema se desarrolla, principalmente, en la costa norte del Cayo Luis Peña, entre profundidades de 3 a 12 m, aproximadamente.

*Pavimentos no colonizados con canales:* Estructuralmente, este tipo de habitáculo es similar al anterior, incluyendo la presencia de canales de arena. Sin embargo, el mismo sostiene apenas una capa fina de algas filamentosas, algún crecimiento limitado de macroalgas y una capa de

sedimentos. Típicamente, constituye un hábitáculo marginal a zonas de mucho movimiento de agua y sedimentos, por lo que el desarrollo de fauna coralina o de otro tipo de fauna béntica es muy limitado.

*Arrecifes de parcho:* Éstos son formaciones coralinas aisladas del resto de cualquier formación arrecifal por otros tipos de hábitáculos como hierbas marinas, carricoche, fondos arenosos, etc., los cuales no tienen una estructuración definida. Pueden estar constituídos por agregaciones coralinas lo suficientemente difusas como para ser separadas de forma individual. En la mayoría de los casos, los arrecifes de parcho son parte intrínseca de los sistemas de arrecifes bordeantes en la RNCLP. Generalmente, su tamaño es pequeño (<5 m diámetro) y su morfología es aproximadamente circular. La mayoría de estos parchos están localizados en aguas llanas (1-4 m) y están constituídos principalmente por *Montastraea annularis*. Sin embargo, existe un arrecife de parcho profundo de sobre 200 m de extensión en medio de la porción sur del Canal Luis Peña, el cual se extiende entre 13 y 29 m (42 y 96 pies) de profundidad. El mismo no posee un nombre conocido y se desarrolla sobre un promontorio rocoso aislado de otras formaciones arrecifales por un fondo de arena, rocas dispersas y macroalgas. Los arrecifes de parcho llanos tienen un rol muy valioso como criadero de diversas especies de peces en sus estadíos juveniles. En el caso del arrecife de parcho profundo, este constituye uno de los hábitáculos más importantes para la Langosta, *Pannulirus argus*.

*Comunidades de carricoche:* Este tipo de fondos de fragmentos de corales muertos, el cual no aparece identificado en ninguno de los mapas de hábitáculos bénticos de la RNCLP debido a su naturaleza altamente dispersa, es uno muy común. Generalmente, éstos están asociados a las comunidades arrecifales en aguas llanas (0.1-5.0 m) y se caracterizan por poseer un bajo relieve

estructural y por no sostener prácticamente ningún coral vivo, a excepción de algunos fragmentos y colonias desprendidas del sustrato durante eventos ciclónicos u oleaje fuerte. Sin embargo, en los mismos se desarrollan céspedes de algas filamentosas y de macroalgas. Además, poseen una amplia abundancia y diversidad de microhabitáculos muy importantes para el reclutamiento y crianza de diversas especies de peces e invertebrados, incluyendo aquellas con un valor comercial alto.

*Hierbas marinas (continuas)*: Comunidad de hierbas marinas con una cobertura mayor de 90% del fondo (independiente de la densidad de vástagos). Puede incluir áreas de aperturas sin hierbas (“blowouts”) en el fondo que no excedan de 10% del área total del lugar. Éstas están dominadas por la Hierba de Tortuga, *Thalassia testudinum*. Otras especies de hierbas observadas en la RNCLP incluyen la Hierba de Manatí, *Syringodium filiforme*, y las hierbas *Halodule wrightii*, *Halophila descipiens* y *Ruppia maritima*. Las hierbas marinas continuas se extienden a través de una amplia porción del Canal Luis Peña, principalmente, en Bahía Tamarindo (norte y sur) y en Bahía Tarja. Estos yerbazales también sostienen algas macrofíticas de alta diversidad y fondos de arena y cienos, los cuales también constituyen áreas muy productivas e importantes para la crianza y alimentación de especies con alto valor comercial. Estos sistemas proveen alimento y refugio a dos especies protegidas, el Peje Blanco, *Chelonia mydas*, y el Carey de Concha, *Eretmochelys imbricata*. Ambas especies se encuentran en la lista de especies en peligro de extinción tanto por legislación federal y estatal. Otra especie que se encuentra en peligro de extinción que utiliza esporádicamente estas praderas de hierbas marinas para alimento es el Manatí, *Trichechus manatus*. Su distribución batimétrica fluctúa desde profundidades de 3 m a 12 m, aproximadamente.

*Hierbas marinas (70-90%)*: Hierbas marinas discontinuas, con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 70 a 90% del fondo. Parchos de hierbas son muy dispersos para definirse como hierbas continuas. Este tipo de hábitáculos está asociados a zonas de profundidades moderadas (5-10 m) o de mucha circulación de agua. Las demás características son similares a la de las hierbas marinas continuas.

*Hierbas marinas (50-70%)*: Hierbas marinas discontinuas, con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 50 a 70% del fondo. Parchos de hierbas son muy dispersos para definirse como hierbas continuas. Son sistemas que se encuentran en profundidades moderadas (5-10 m).

*Hierbas marinas (30-50%)*: Hierbas marinas discontinuas, con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 30 a 50% del fondo. Parchos de hierbas son muy dispersos para definirse como hierbas continuas. Este tipo de hábitáculos puede observarse en algunas de las zonas profundas del Canal Luis Peña (10-15 m), así como en las zonas llanas de lagunas arrecifales y de trasarrecifes (<1 m). Este tipo de comunidad de hierbas tiene un rol muy importante en estabilizar sustratos blandos en zonas de mucho movimiento de agua.

*Planicie de macroalgas (10-50%)*: Las planicies de macroalgas son un sustrato cubierto por macroalgas discontinuas (independiente de la densidad de vástagos), con parchos de crecimiento difuso e irregular con una cobertura de 10 a 50% del fondo. En este caso los parchos de algas son muy dispersos para definirse como macroalgas continuas. Puede ser un fondo arenoso o un

pavimento rocoso. Estos se desarrollan en aguas profundas (15-25 m) y constituyen habitáculos muy importantes para el reclutamiento y dispersión de peces e invertebrados. Además, son uno de los habitáculos principales del Carrucho, *Strombus gigas*.

*Arena*: Este tipo de habitáculos está constituido por depósitos de sedimentos no consolidados expuestos al efecto de las corrientes y el oleaje. La mayoría se desarrolla en fondos llanos (<5 m). Sin embargo, existen fondos arenosos en las zonas profundas del canal (>15 m). Muchos de dichos habitáculos ocurren marginales a playas arenosas (ej. Playa Carlos Rosario) o marginales a otros tipos de habitáculos como los arrecifes lineares, fondos rocosos colonizados, pavimentos coralinos, hierbas marinas y planicies de macroalgas. Éstos son utilizados como habitáculo de forrajeo o fondos para la crianza de muchas especies de peces.

*Litoral rocoso basáltico*: Este es el tipo de litoral rocoso de más desarrollo estructural en la RNCLP. El mismo posee un perfil muy pronunciado y se caracteriza por ser sistemas de alta energía de oleaje con zonaciones biológicas claramente definidas (Hernández-Delgado et al., en preparación). Éstos se desarrollan en las penínsulas rocosas dentro de la RNCLP (ej. Punta Tamarindo Grande, Punta Tamarindo Chico, Punta Melones, Punta Vapor). En su zona más seca y alejada de la costa encontramos una zona de rocío con poca densidad de organismos, la cual está dominada principalmente por el caracol *Tectarius muricatus*. La misma está seguida de una zona de chapoteo, donde dominan numéricamente los caracoles del género *Littorina*. Al moverse más hacia el mar, puede encontrarse una zona litoral, o zona entremareal, la cual se caracteriza por ser la zona de barrida e impacto directo del oleaje y que sólo queda expuesta parcialmente durante marea baja. En ocasiones, puede observarse en esta zona la formación de pozas de marea pequeñas. Las especies dominantes en la misma incluyen a los caracoles del

género *Nerita* spp., e individuos juveniles del caracol conocido como Burgao, *Cittarium pica*. Entre las especies numéricamente dominantes en esta zona encontramos también a los quitones (ej. *Acanthopleura granulata*, *Chiton marmoratus*, *Ceratozona squalida*) y el Erizo Negro, *Echinometra lucunter*. En esta zona, además, comienzan a proliferar las algas. Finalmente, encontramos una zona sumergida o sublitoral, la cual presenta una comunidad de algas e invertebrados sésiles (ej. zoántidos, corales incrustantes, hidrocorales, esponjas), además, de poblaciones densas de erizos y de otros invertebrados. Este tipo de habitáculo litoral se encuentra al nivel del mar y generalmente se extiende hacia zonas profundas formando comunidades de fondos rocosos colonizados. El mismo es uno muy interesante, de alta diversidad de especies y que posee muchos microhabitáculos utilizados por un gran número de especies durante diversas etapas de su desarrollo.

*Litoral rocoso de eolianita*: Este tipo de litoral rocoso es, generalmente, un litoral de menor energía de oleaje. Éste se desarrolla en las orillas de las bahías como Bahía Tamarindo-Sur y entre Bahía Tarja y Punta Melones. El mismo tiende a formar una barra rocosa de arena cementada por la acción del agua, la sal y el viento, la cual se localiza paralela a la línea de orilla. Su estructuración es mínima, al igual que su zonificación. Típicamente, están dominados por la presencia de algas incrustantes, algas filamentosas y algunas macroalgas, así como por algunas especies de corales efímeros como *Siderastrea radians*. Ésto se debe a que, en muchas ocasiones, es un tipo de sustrato efímero, el cual se encuentra parcial o totalmente cubierto de arena, guijarros, rocas u otro tipo de sustrato no consolidado durante parte del año. Sin embargo, en aquellas zonas donde se mantiene expuesto, puede, inclusive, sostener varias especies de corales. Sus hendiduras constituyen, además, uno de los habitáculos primarios del Erizo

Gigante, *Diadema antillarum*, especie cuyas poblaciones se encuentran en proceso de recuperación dentro de la RNCLP. Además, este tipo de sustratos tiene un gran valor como habitáculo de reclutamiento de peces e invertebrados (ej. langostas).

*Litoral arenoso*: Este tipo de comunidad litoral está dominado por sustratos no consolidados de diversa granulometría, desde arenas finas y gruesas, hasta guijarros, carricoche y rocas pequeñas. Además de su valor paisajista y recreacional, los bolsillos de playa arenosa que se encuentran dentro de la RNCLP poseen un valor significativo como habitáculos potenciales para la reproducción de especies de tortugas en peligro de extinción como lo es el Tinglar (*Dermochelys coriacea*) y el Carey de Concha, *Eretmochelys imbricata*.

### **Caracterización y distribución geográfica de los habitáculos béticos.**

Hasta el presente, Kendall et al. (2001) produjeron el único mapa disponible de clasificación de habitáculos béticos de la RNCLP en la Isla de Culebra. Sin embargo, éste no fue el primer esfuerzo de caracterización de los fondos marinos de Culebra. Cintrón et al. (1974) realizaron una clasificación de habitáculos béticos de la Ensenada Honda, Cayo Dákity y Ensenada Malena. En este trabajo también se realizó un perfil batimétrico de la comunidad arrecifal de la localidad. El primer esfuerzo de clasificación de habitáculos béticos en la zona de la RNCLP se llevó a cabo por Hernández-Delgado et al. (1998). Sin embargo, este esfuerzo se limitó solo a describir las comunidades béticas dentro de una franja de 200 m desde la costa oeste de Culebra utilizando fotografías oblicuas a color de baja altura (152 m ó 500 pies). Para ésto se utilizó el método de cuadrantes con 200 puntos aleatorios (“dot grids”) proyectados sobre cada foto (n=3,098 puntos). La franja estudiada se subdividió en tres zonas: Zona 1 (Punta

Noroeste a Punta Tamarindo Grande), Zona 2 (Punta Tamarindo Grande a Punta Tamarindo Chico) y la Zona 3 (Punta Tamarindo Chico a Punta Melones). Este estudio se llevó a cabo previo a la designación de la RNCLP y se utilizó como referencia por Pagán-Villegas et al. (1999) en la preparación del *Documento de Designación de la Reserva Natural del Canal Luis Peña*.

Según Hernández-Delgado et al. (1998), el tipo de hábitaculo béntico predominante fueron las hierbas marinas (42%), seguido de los arrecifes de coral (27%), fondos arenosos (11%), pavimentos coralinos (8%), arrecifes rocosos (6%) y las llanuras arrecifales (5%) (Figura 6). Los arrecifes de coral fueron el tipo de comunidad dominante (51%), seguida de las hierbas marinas (14%). En la zona 2 lo fueron las hierbas marinas (62%), seguidas de los arrecifes de coral (20%). Las hierbas marinas fueron el hábitaculo dominante en la Zona 3 (51%), seguido de los fondos arenosos (17%). Además, estos autores mencionaron que la zona más profunda del Canal Luis Peña aledaña al área estudiada presentaba desarrollos extensos de hierbas marinas, mientras que la costa este del Cayo Luis Peña sostenía sistemas importantes de arrecifes de coral y arrecifes rocosos, así como de pavimentos coralinos.

Kendall (2001) publicaron una serie de mapas de hábitaculos bénticos para las Islas Vírgenes Estadounidenses y Puerto Rico, el cual incluyó a la Isla de Culebra. Dichos mapas están disponibles al público en general de forma interactiva a través del internet a través de: <http://biogeo.nos.noaa.gov/projects/mapping/caribbean/startup.htm>. La zona de la RNCLP está subdividida en 4 mapas diversos en el CD-ROM original publicado por Kendall et al. (2001). Éste no contiene ningún tipo de análisis espacial. Sin embargo, Hernández-Delgado et al. (2002)

produjeron un mapa compuesto (Figura 7), el cual analizaron utilizando el método del cuadrante con los puntos al azar para determinar la proporción de habitáculos béticos en la RNCLP (Figura 8). Hernández-Delgado et al. (2002) identificaron sólo 10 de las 12 categorías de habitáculos identificados por Kendall et al. (2001), por lo que el método del cuadrante de puntos aleatorios subestimó aquellos habitáculos con una extensión geográfica menor. Los habitáculos macroalgas de baja cobertura (89.9 ha; 18.92%) y los pavimentos colonizados (83.5 ha; 17.57%) (Tabla 2).

Como alternativa al posible sesgo (“bias”) en la interpretación del mapa de habitáculos béticos de la RNCLP, en este estudio se reanalizó dicho mapa utilizando un método de análisis espacial computadorizado de imágenes digitalizadas (Sigma Scan Pro, Jandel Scientific), el cual es uno de mayor precisión (Tabla 2; Figura 9). En este caso, los tipos de habitáculos dominantes resultaron ser los pavimentos coralinos (140.11 ha; 29.47%), las planicies de macroalgas de baja cobertura (118.55 ha; 24.93%) y las hierbas marinas continuas (59.86 ha; 12.59%). Se realizó un análisis de similitud de Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957) para corroborar el grado de diferencia entre los resultados de ambos tipos de análisis al mapa de Kendall (2001) utilizando los datos transformados a la raíz cuadrada de la proporción de las diversas categorías de habitáculos béticos. Se obtuvo una diferencia de 14.4% entre ambos análisis, resultando el análisis espacial computadorizado el método más preciso. La mayoría de las diferencias entre ambos tipos de métodos de análisis resultó en aquellas categorías con áreas superficiales pequeñas, tales como la categoría de los arrecifes de parcho estimados en 0.5% del área superficial mediante el método de análisis espacial, pero

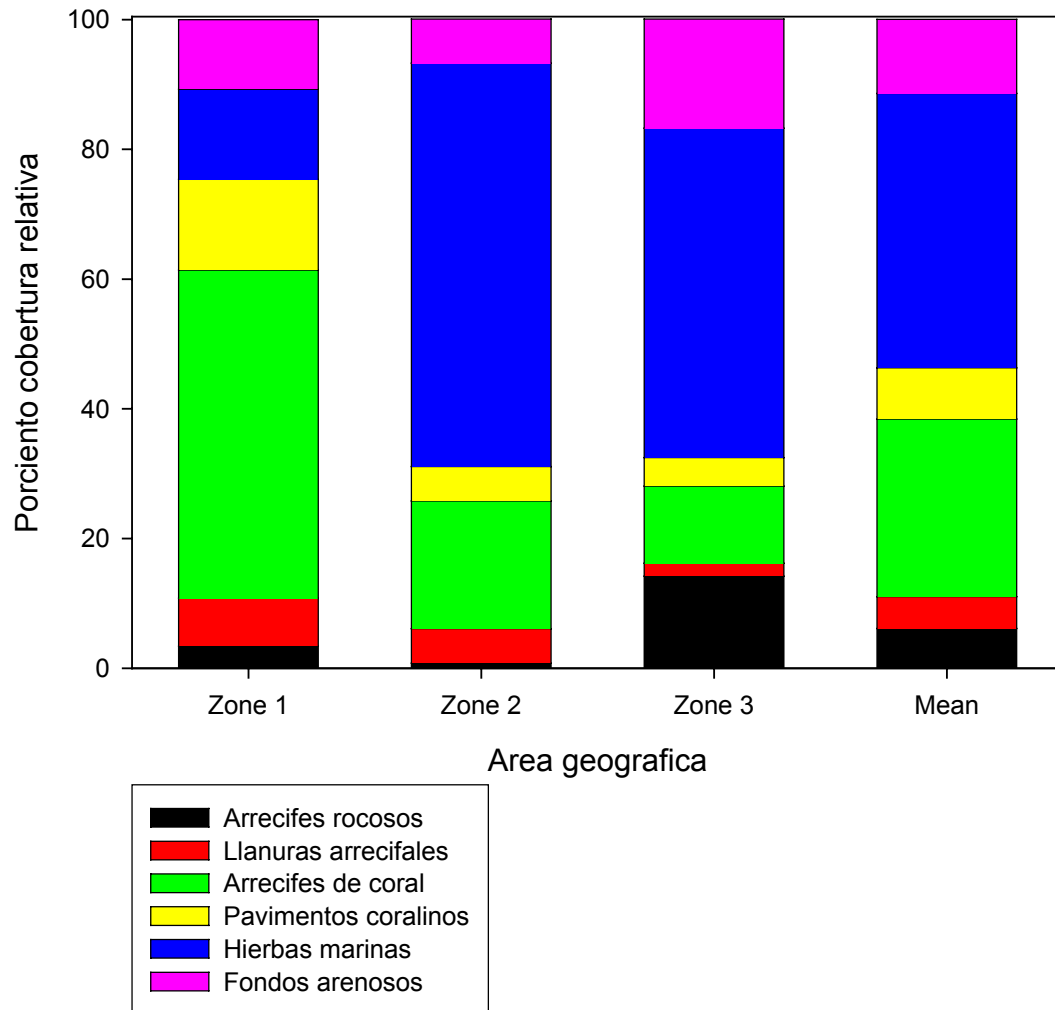


FIGURA 6. Caracterización parcial de los habitáculos bénticos de la costa oeste de Culebra (Hernández-Delgado et al., 1998).

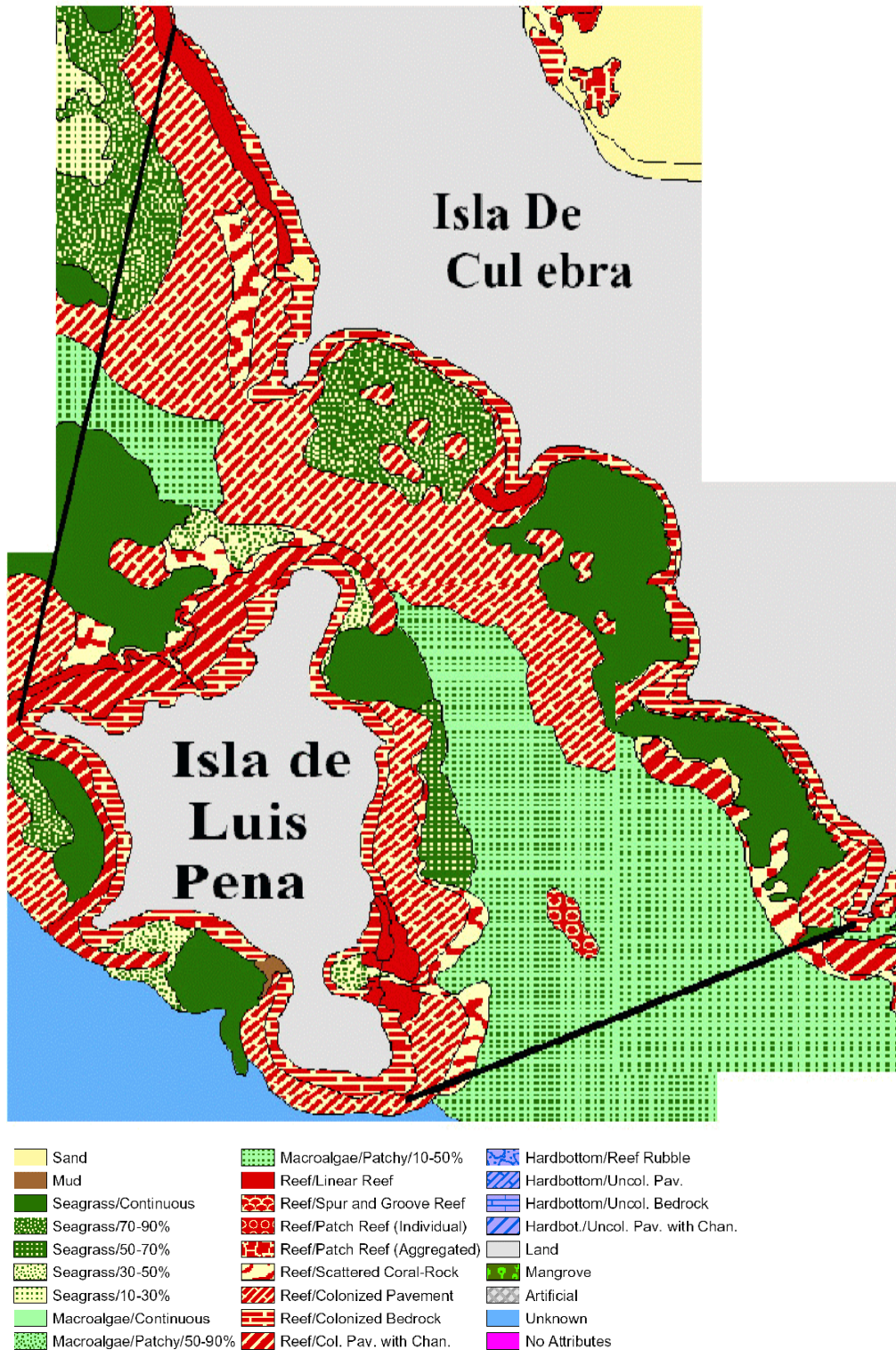


FIGURA 7. Clasificación de hábitacos bénticos de la RNCLP basado en los mapas de Kendall et al. (2001).

TABLA 2. Área superficial de las diversas categorías de habitáculos bénticos de acuerdo al tipo de análisis y a la fuente de información\*.

<b>Fuente de información y método de análisis</b>	Kendall et al. (2001)	Dot Grid	Kendall et al. (2001)	Scan Map	Foto aérea **	Análisis espacial comp.
<b>Categorías bénticas</b>	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Arrecife lineal	19.2	4.05	13.99	2.94	26.72	5.59
Fondo rocoso colonizado	51.4	10.81	48.07	10.11	31.89	6.67
Pavimento colonizado	83.5	17.57	140.11	29.47	94.34	19.75
Rocas y corales dispersos	32.1	6.76	22.10	4.65	3.13	0.65
Pavimento colonizado + canales	44.9	9.46	20.09	4.22	15.76	3.30
Arrecife de parcho	0.0	0.0	2.46	0.52	4.13	0.86
Hierbas marinas (continuas)	102.7	21.62	59.86	12.59	135.46	28.36
Hierbas marinas (70-90%)	19.2	4.05	39.55	8.32	5.73	1.20
Hierbas marinas (50-70%)	12.8	2.70	2.71	0.57	0.0	0.0
Hierbas marinas (30-50%)	19.2	4.05	7.31	1.54	3.71	0.78
Planicie de macroalgas (10-50%)	89.9	18.92	118.55	24.93	142.77	29.89
Arena	0.0	0.0	0.70	0.15	14.07	2.95

\*Área superficial medida en hectáreas (ha); una ha equivale a 10,000 m<sup>2</sup>.

\*\*Análisis espacial de la foto incluyó correcciones basadas en verificación de campo.

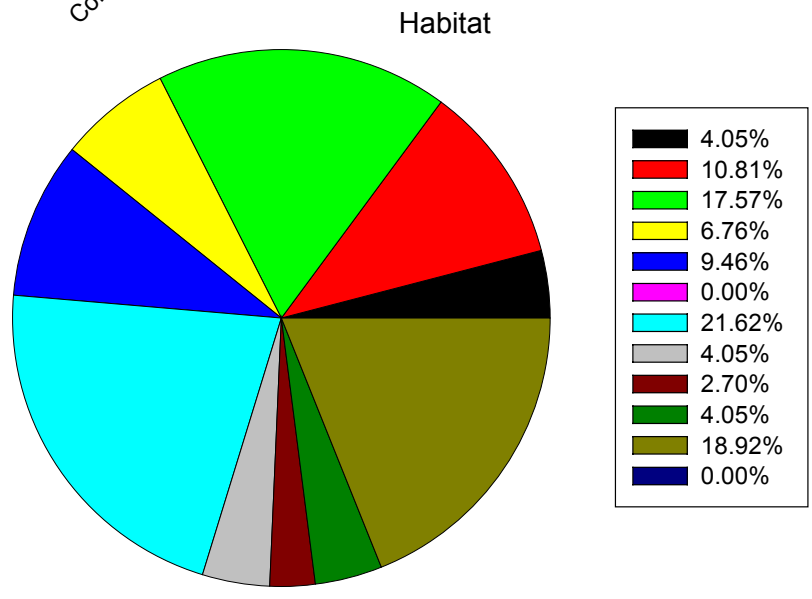
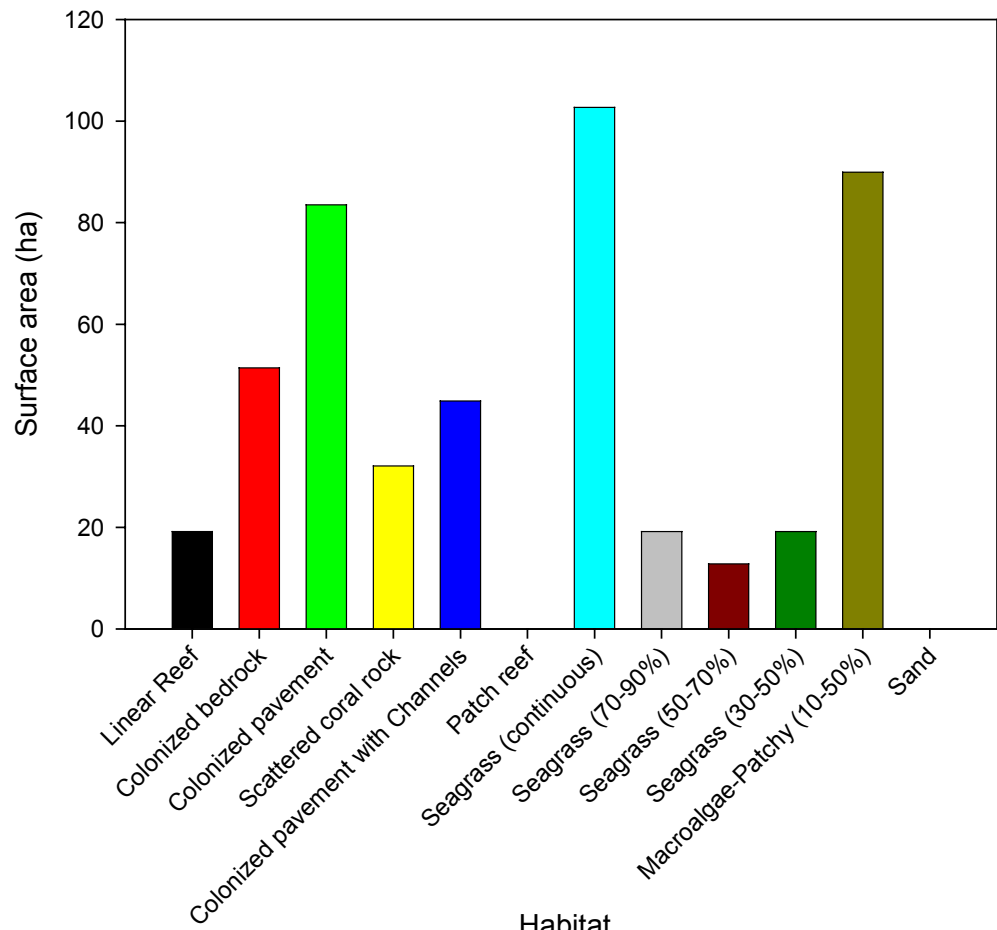


FIGURA 8. Caracterización de los hábitculos bénticos de la RNCLP (Hernández-Delgado et al., 2002) basado en los mapas de Kendall et al. (2001) mediante “dot grids”.

ausentes en el método del cuadrante de puntos al azar (Tabla 2). Igualmente, los fondos arenosos se estimaron en 0.15% con el primer método, pero ausentes con el segundo. Por otro lado, el método de los puntos al azar sobreestimó aquellos habitáculos con áreas superficiales grandes, como los pavimentos colonizados, que se estimaron en 29.5% con este método, pero en sólo 17.6% utilizando métodos de análisis espacial computadorizado. Tal fue el caso también de las diferencias documentadas en las hierbas marinas continuas y de los pavimentos colonizados con canales estimados en 12.6% y 4.2%, respectivamente, usando los puntos al azar, pero en 21.6% y 9.5%, respectivamente, mediante el análisis espacial computadorizado.

A pesar del avance en la precisión del análisis de distribución espacial de los habitáculos béticos de la RNCLP, encontramos que existían serias incongruencias entre lo ilustrado en el mapa de Kendall (2001) y lo existente en muchas localidades. Por tal razón, utilizando la foto aérea de NOAA número 608 de la Isla de Culebra, combinada con la verificación en el campo, desarrollamos un mapa nuevo de clasificación de los habitáculos béticos de la RNCLP (Figura 10). Bajo esta nueva clasificación de habitáculos béticos las planicies de macroalgas de baja cobertura son el tipo de habitáculo dominante con 28.9% (Figura 11). A ésta le siguen las hierbas marinas continuas (28.4%) y los pavimentos colonizados (19.8%). Además, se documentaron 6.7% de fondos rocosos colonizados y 5.6% de arrecifes lineares, lo que contrasta significativamente con el estimado basado en los mapas de Kendall et al. (2001) (Figuras 7 y 9) de 10.1% para los fondos rocosos colonizados y de sólo 2.9% para los arrecifes lineares. El reanálisis de la foto aérea, combinado con la verificación de campo, corroboró y corrigió dicho error de cálculo. Otra de las diferencias grandes entre ambos tipos de análisis fue la distribución de los fondos arenosos. El mapa de Kendall et al. (2001) subestimó la proporción de fondos

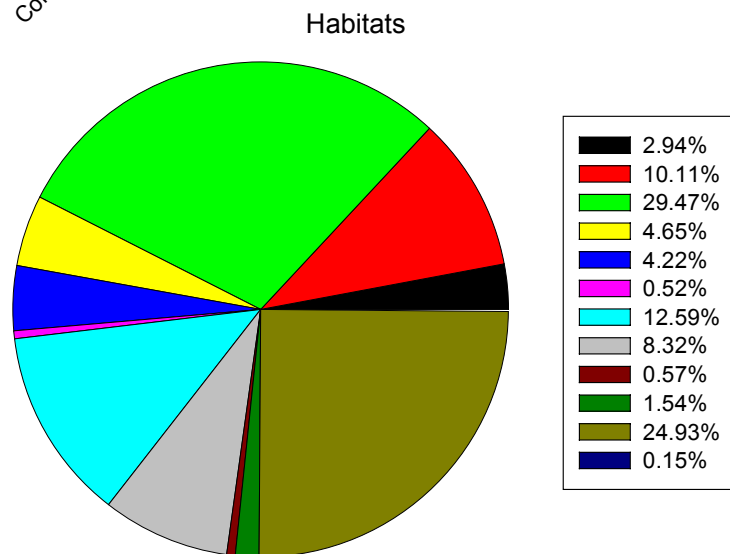
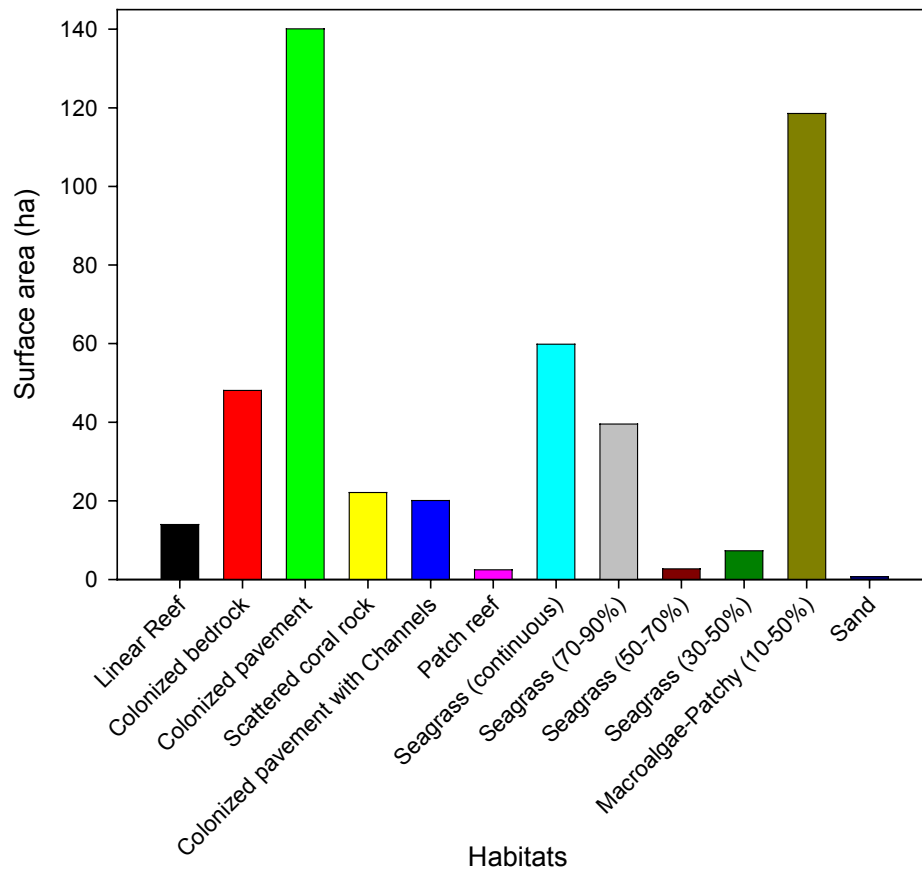


FIGURA 9. Caracterización de los hábitculos bénticos de la RNCLP basado en los mapas de Kendall et al. (2001) mediante métodos de análisis espacial computadorizado.

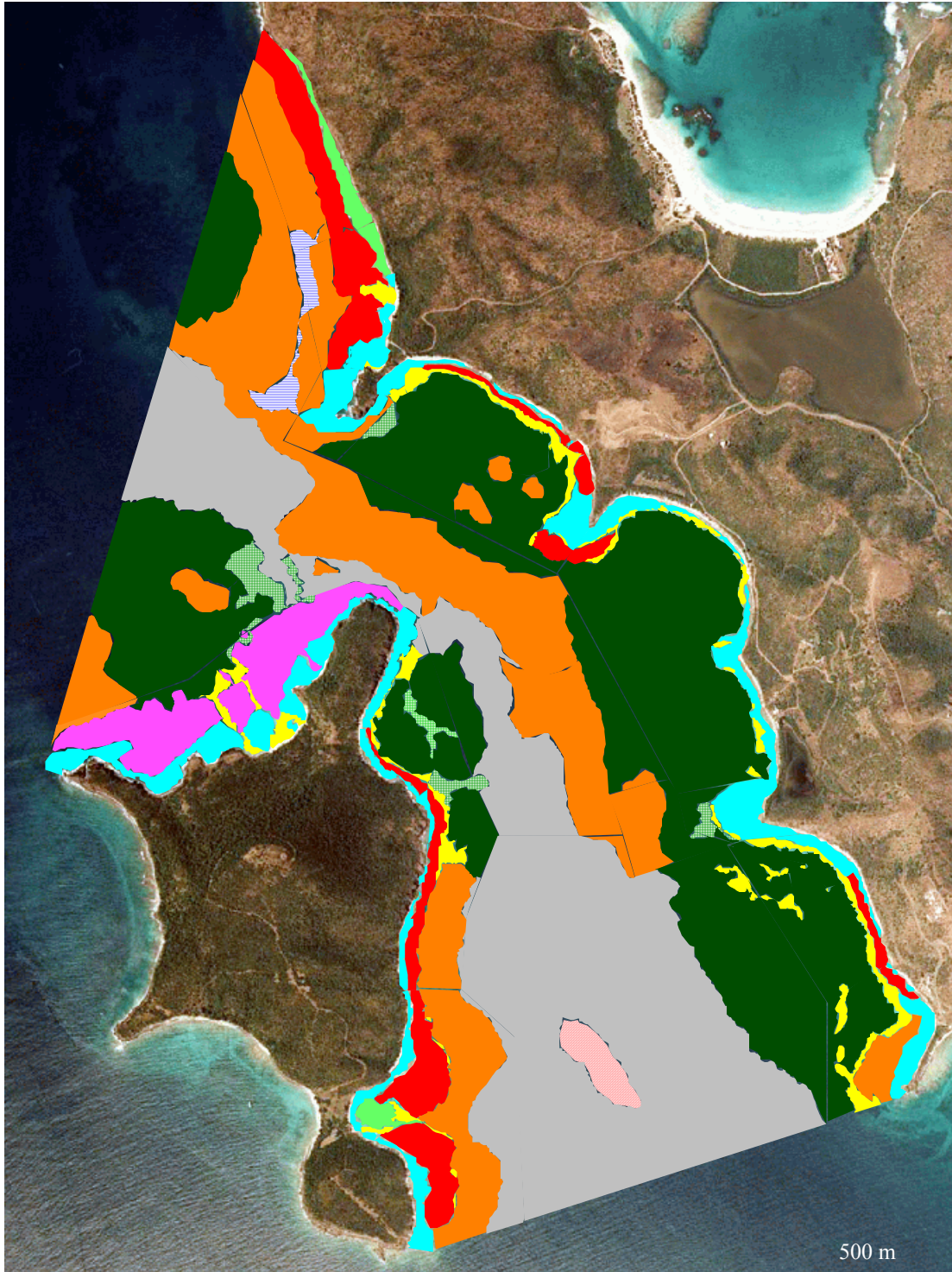
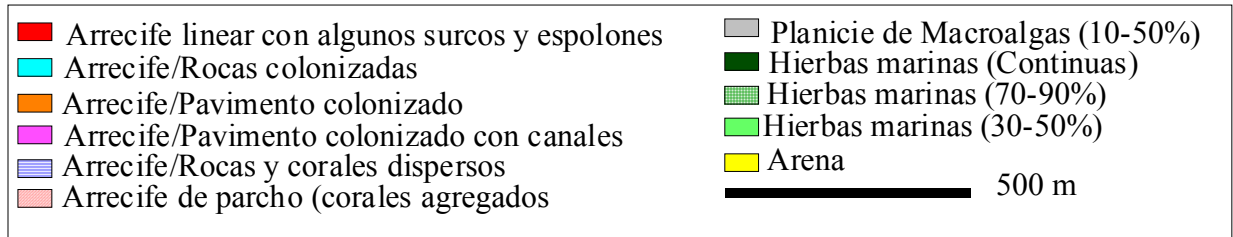


FIGURA 10. Clasificación propuesta de los hábitats benthicos de la RNCLP.

*Leyenda para la interpretación del mapa en la Figura 10.*



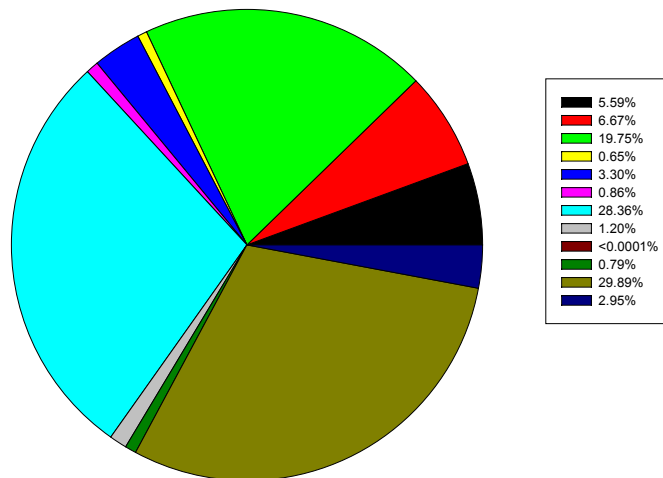
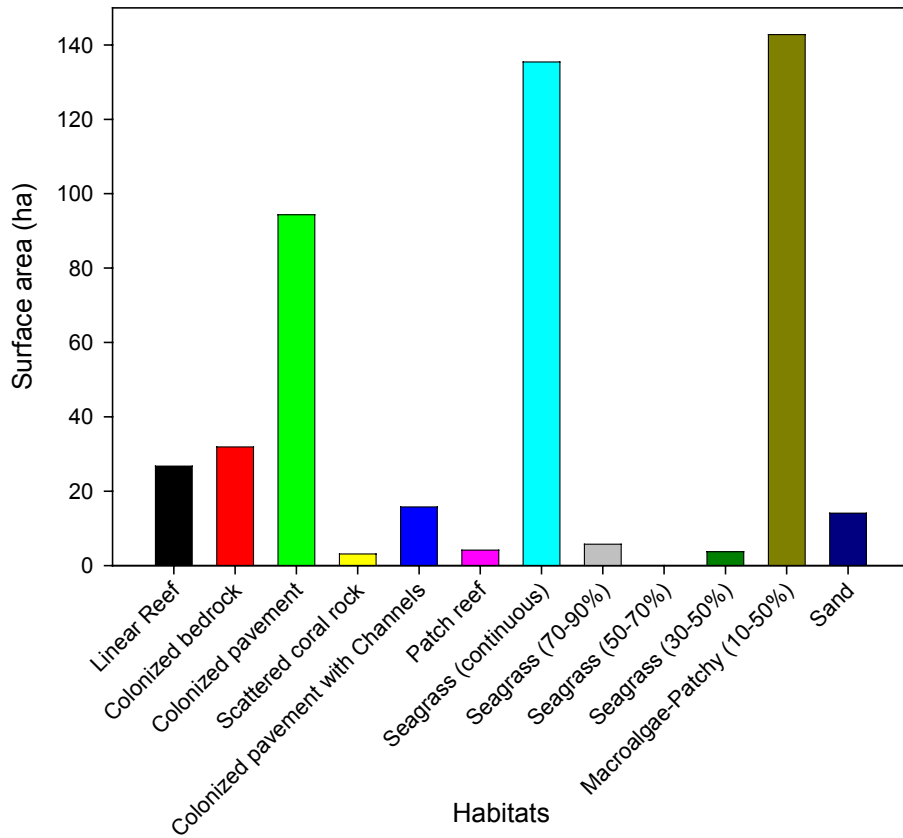


FIGURA 11. Caracterización de los hábitáculos benthicos de la RNCLP basado en la foto aérea 608 mediante métodos de análisis espacial computadorizado y verificación de campo.

arenosos a sólo 0.15% del área superficial de la RNCLP, mientras que el reanálisis de la foto aérea, combinada con verificación de campo, aumentó dicho estimado a 2.9%.

### **Patrones espaciales en la estructura de los hábitáculos bénticos en la RNCLP.**

Se realizó un análisis de patrones espaciales para verificar si existen diferencias en la estructura de las comunidades bénticas entre las diversas áreas geográficas. El mismo tuvo como meta corroborar si las clasificaciones de las áreas propuestas para facilitar la identificación de las diferentes zonas dentro de la RNCLP sostienen diferencias naturales entre sí en términos de la proporción de sus hábitáculos bénticos. Este análisis se realizó inicialmente a los mapas bénticos desarrollados por Kendall et al. (2001). (Figura 12) Mediante un análisis de ordenación espacial Bray-Curtis (Figura 13) puede observarse un dendrograma donde se separan las diversas áreas geográficas de la RNCLP de acuerdo a su grado de disimilitud, es decir, al grado de diferencia entre sí, basado en la proporción de los diversos hábitáculos. Las agrupaciones de áreas en el dendrograma responden a una mayor similitud entre sí (=menor disimilitud). Este patrón se puede observar con mayor claridad en la gráfica inferior de la Figura 13 que ilustra el resultado de un análisis espacial de escalas multi-dimensionales. Este ilustra la “distancia” existente entre las diversas áreas geográficas o agrupaciones de áreas en función al grado de disimilitud o diferencias entre sí. Por ejemplo, al nivel del 25% de disimilitud, las 15 áreas incluídas en este análisis se agregaron en 10 grupos diferentes (círculos de color negro). Esto significa que hubo áreas, tales como Playa Carlos Rosario y Punta Flamenco-Oeste, las cuales se alinearon juntas, sugiriendo que no existen diferencias entre sí en cuanto a los tipos de hábitáculos presentes y sus proporciones. Al nivel de

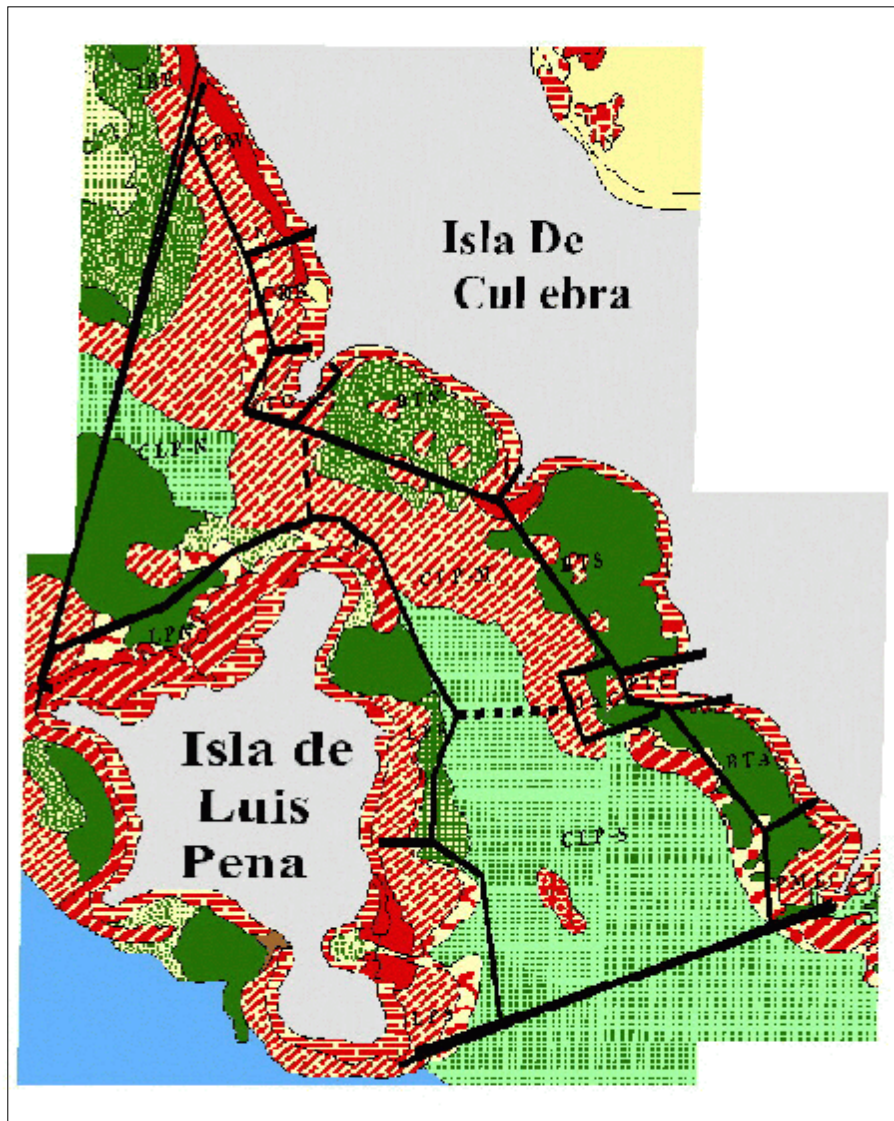


FIGURA 12. Clasificación de habitáculos bénticos por area geográfica, según Kendall et al. (2001).

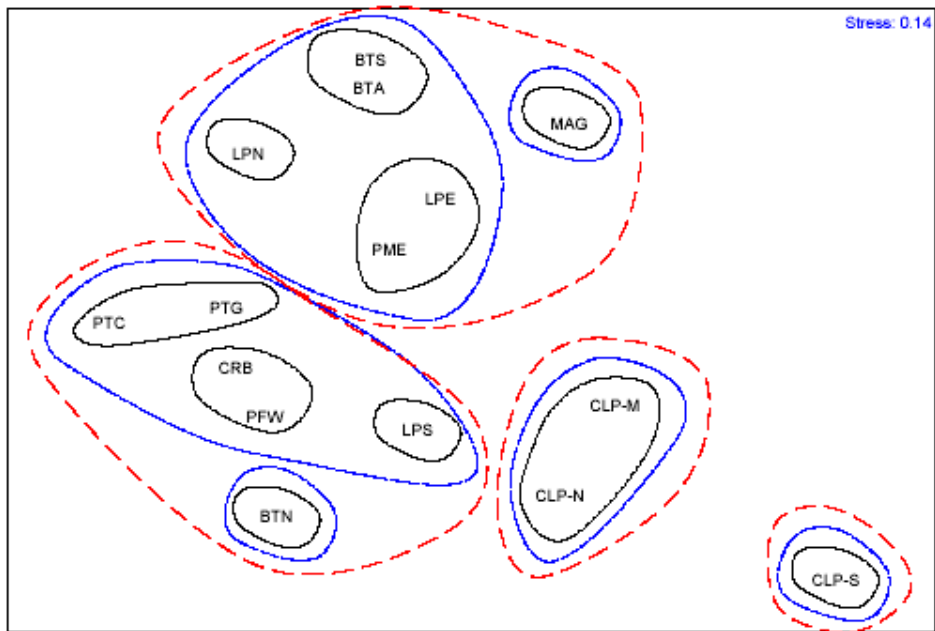
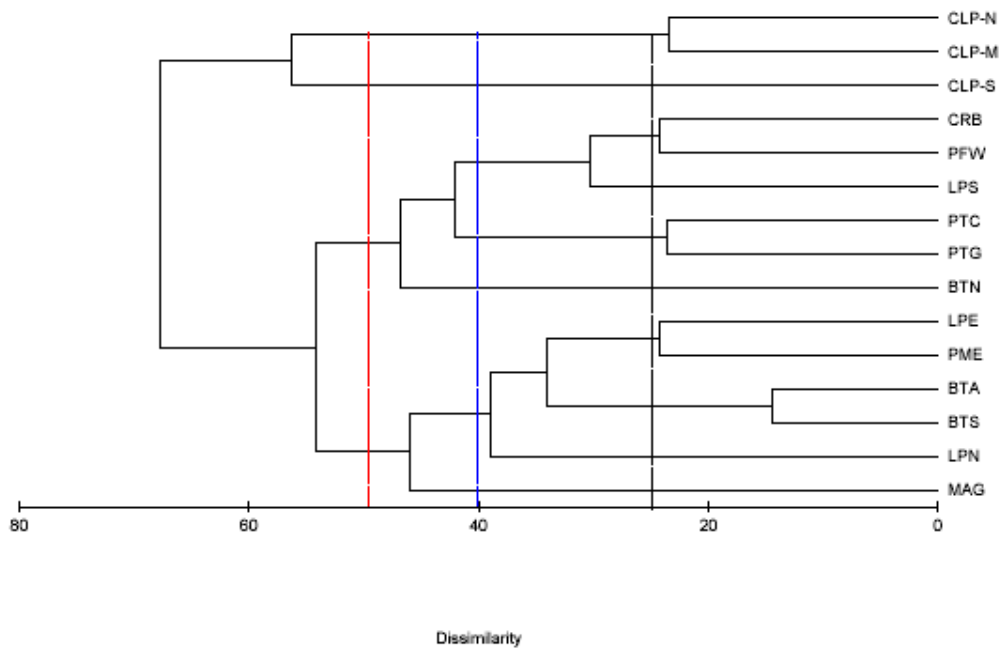


FIGURA 13. Análisis de ordenación espacial Bray-Curtis y de escalas multi-dimensionales basados en el porcentaje de disimilitud entre la estructura de las diversas áreas geográficas de la RNCLP (basado en la proporción relativa de las categorías de hábitáculos béticos según Kendall et al, 2001). Niveles de disimilitud: 25% (negro); 40% (azul); y 50% (rojo).

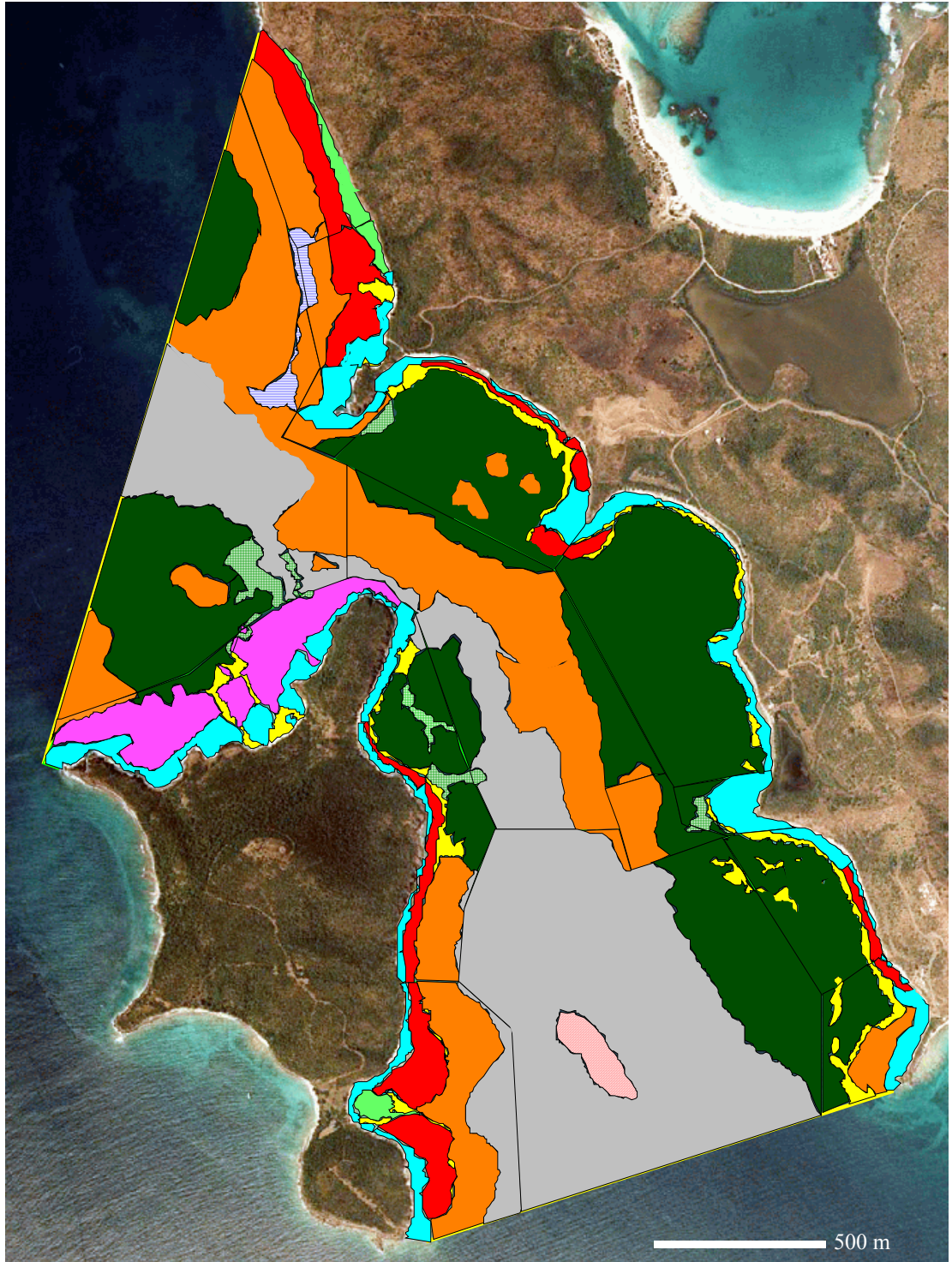


FIGURA 14. Mapa propuesto de hábitulos béticos de acuerdo a las áreas geográficas.

40% de disimilitud se observaron 6 grupos diferentes, mientras que al nivel de 50% se observaron solo 4 grupos. A medida que aumenta el nivel de disimilitud, resulta más difícil separar las áreas entre sí. El nivel de estrés del análisis de escalas multi-dimensionales fue de 0.14, valor considerado como un indicador aceptable de cuán estadísticamente robusto y confiable es el resultado obtenido. Sin embargo, cabe señalar que dadas las deficiencias documentadas en cuanto a la identificación incorrecta de algunos tipos de habitáculos en algunas localidades dentro de la RNCLP, este análisis se repitió utilizando los datos del reanálisis de la foto aérea 608, en combinación con la verificación de campo.

Mediante un análisis de ordenación espacial Bray-Curtis realizado a los datos obtenidos directamente de la foto aérea 608 (Figura 14), en combinación con la verificación de campo, puede observarse un patrón de separación espacial más claro entre las diversas áreas en función de la proporción de los habitáculos béticos (Figura 15). Este patrón se puede observar con mayor claridad en la gráfica inferior de la Figura 15 que ilustra el resultado de un análisis espacial de escalas multi-dimensionales. Por ejemplo, al nivel del 25% de disimilitud, las 15 áreas incluidas en este análisis se agregaron en sólo 8 grupos diferentes (círculos de color negro). Esto significa que hubo áreas, tales como Bahía Tamarindo-Norte, Bahía Tamarindo-Sur y Bahía Tarja, las cuales se alinearon juntas, sugiriendo que no existen diferencias entre sí en cuanto a los tipos de habitáculos presentes y sus proporciones. Al nivel de 40% de disimilitud se observaron 6 grupos diferentes, mientras que al nivel de 50% se observaron 5 grupos. En comparación, el análisis de patrones espaciales basado en el reanálisis con verificación de campo hecho en este estudio presentó un nivel de estrés de sólo 0.10, lo que lo hace estadísticamente más robusto y confiable. El esquema de clasificación de habitáculos

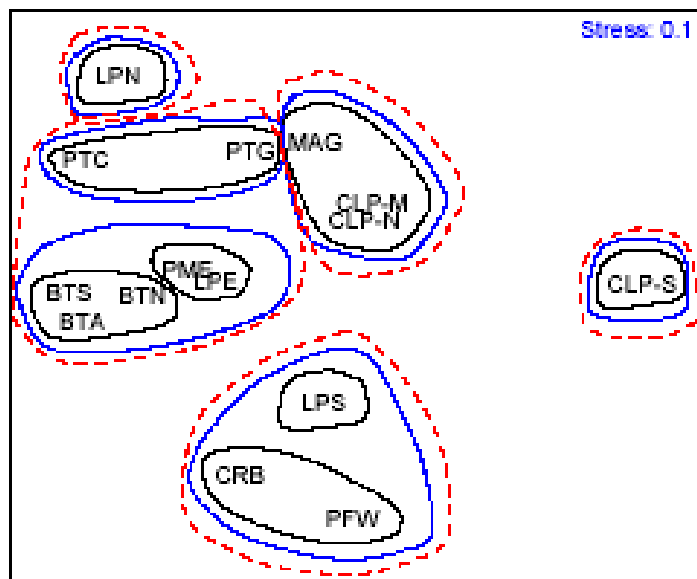
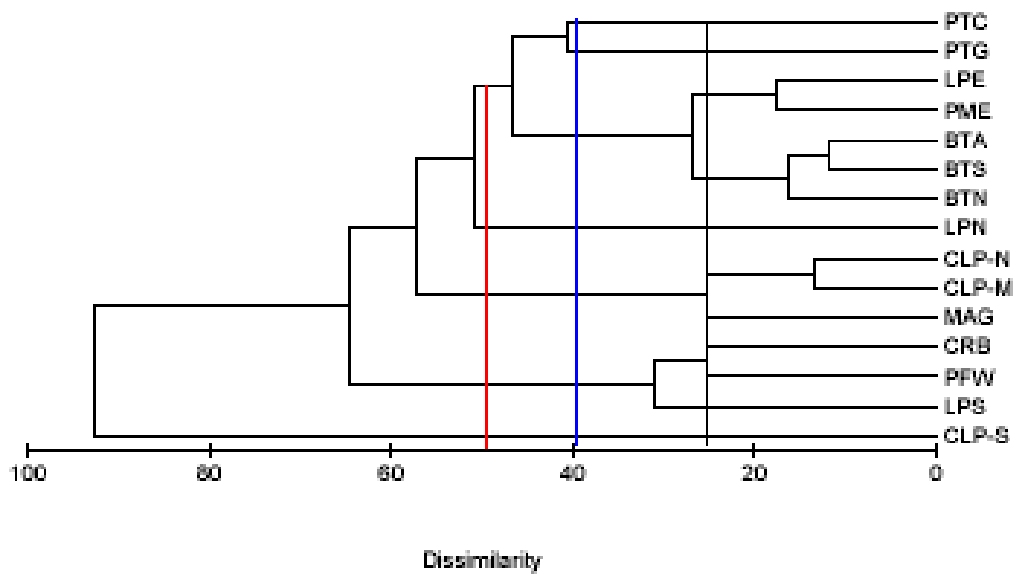


FIGURA 15. Análisis de ordenación espacial Bray-Curtis y de escalas multi-dimensionales basados en el porcentaje de disimilitud entre la estructura de las diversas áreas geográficas de la RNCLP (basado en la proporción relativa de las categorías de hábitáculos béticos según la foto aérea 608 y verificación de campo). Niveles de disimilitud: 25% (negro); 40% (azul); y 50% (rojo).

bénticos propuesto en este estudio permite una separación más precisa de los patrones espaciales de distribución de habitáculos bénticos entre las áreas.

### **Comparación entre los modelos.**

Utilizando un método similar de análisis de patrones espaciales, se compararon los modelos de distribución espacial de las categorías de habitáculos bénticos por área geográfica de la RNCLP basado en los mapas de Kendall et al. (2001) y en el mapa propuesto en este estudio. Se realizó un análisis de ordenación espacial Bray-Curtis para separar las áreas geográficas mediante ambos tipos de análisis (Figura 16). En el caso donde, por ejemplo, no se observaran diferencias significativas en los patrones espaciales de la estructura de los habitáculos bénticos en una misma área geográfica analizada mediante ambos métodos, se observan agregadas en el dendrograma. Ésto significa que, para dicha área en particular, el análisis realizado a los mapas de Kendall et al. (2001) y al mapa propuesto en este estudio no arroja diferencias en cuanto a la distribución y estructura de los habitáculos bénticos. Tal es el caso de la área del sureste del Cayo Luis Peña. Este patrón puede observarse con una definición mejor en el análisis de escalas multidimensionales en la parte inferior de la Figura 16. Sin embargo, de existir discrepancias entre ambos análisis para alguna área en particular, ésto se debería a la existencia de errores en la identificación y clasificación de los habitáculos bénticos de dicha área en los mapas originales de Kendall et al. (2001). Tal es el caso de la área de Bahía Tamarindo-Norte. El nivel de estrés de dicho análisis fue de 0.16, el cual se considera aceptable.

Se realizó un análisis ANOSIM de una vía para probar la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas en la clasificación de habitáculos bénticos entre ambos mapas (Tabla

3). El resultado fue altamente significativo (2.5%), por lo que se rechaza dicha hipótesis y se concluye que sí existen marcadas diferencias entre los mapas de Kendall et al. (2001) y el mapa propuesto en este estudio. Al corroborar los porcentos de contribución de las categorías de hábitáculos bénticos entre ambos mapas (Tablas 4 y 5), observamos que existen diferencias. En el mapa de Kendall et al. (2001) los pavimentos colonizados contribuyeron al 45.7% de la superficie de la RNCLP (Tabla 4), seguidos de los fondos rocosos colonizados (25.6%), las hierbas marinas continuas (9.7%), los fondos de corales y rocas dispersas (7.8%) y la planicie de macroalgas de baja cobertura (4.0%). Éstos constituyeron cerca del 93% de la superficie de los fondos marinos de la RNCLP. Sin embargo, de acuerdo al mapa propuesto en este estudio (Tabla 5), el tipo de hábitáculo dominante fueron las hierbas marinas continuas con cerca de 32%, seguido del pavimento colonizado (25.9%), los fondos rocosos colonizados (17.4%), los fondos arenosos (8.5%) y los arrecifes lineares (7.9%). Éstos constituyeron cerca del 92% de la superficie de los fondos marinos de la RNCLP.

Se realizó una prueba SIMPER para determinar cuáles variables (=categorías de hábitáculos bénticos) contribuyeron principalmente a las diferencias observadas entre ambos mapas (Tabla 6). La categoría de mayor influencia resultó ser las hierbas marinas continuas, con una contribución de 17.9%. Ésto se debió, principalmente, a la reclasificación de las hierbas marinas (70-90%) a una categoría de continua en Bahía Tamarindo-Norte. Las demás categorías con mayor influencia fueron los fondos rocosos colonizados (14.0%), los pavimentos colonizados (13.8%), planicies de macroalgas de baja cobertura (12.1%) y los arrecifes lineares

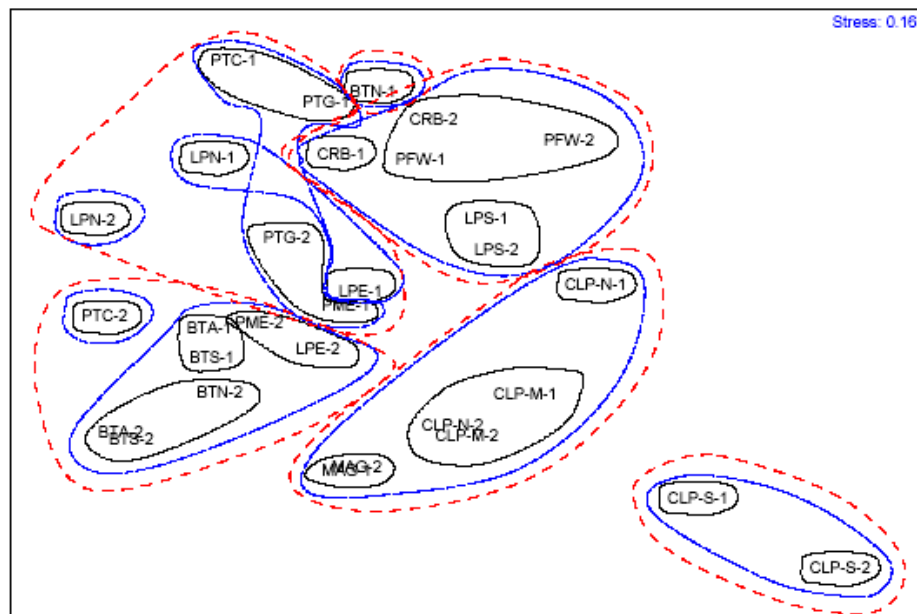
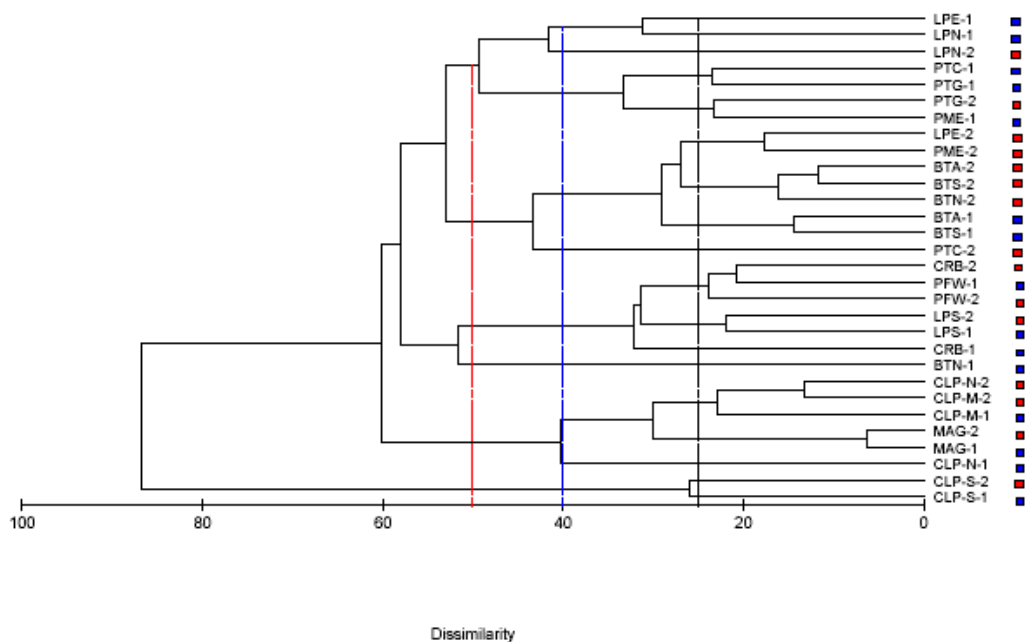


FIGURA 16. Análisis de ordenación espacial Bray-Curtis y de escalas multi-dimensionales para determinar la distancia entre los mapas de hábitculos bénticos de la RNCLP de Kendall et al. (2001) (Método 1: cuadros azules) y el mapa propuesto en este estudio (Método 2: cuadros rojos). Análisis basado en la proporción de las categorías de hábitculos bénticos. Niveles de disimilitud: 25% (negro); 40% (azul); y 50% (rojo).

TABLA 3. Prueba ANOSIM de una vía para probar la hipótesis nula de la ausencia de diferencia en la clasificación de habitáculos bénticos entre los mapas.

<b>Factor</b>	<b>Estadística Global</b>	<b>Significancia</b>
<i>Mapa de referencia</i>	0.104	2.5%

\*Basado en la transformación a la raíz cuarta de la proporción de las categorías de habitáculos bénticos por área geográfica. Análisis basado en 5000 permutaciones.

TABLA 4. Porcientos de contribución de las categorías de habitáculos bénticos según Kendall et al. (2001) (basado en una prueba SIMPER).

<b>Categorías bénticas (Kendall et al., 2001)</b>	<b>% Contrib.</b>
<b>Similitud promedio: 45.88%</b>	
<i>Pavimento colonizado</i>	45.65
<i>Fondo rocoso colonizado</i>	25.55
<i>Hierbas marinas (continuas)</i>	9.73
<i>Fondo de corales y rocas dispersas</i>	7.75
<i>Planicie de macroalgas (10-50%)</i>	3.96
<i>Arrecife linear</i>	2.75
<i>Hierbas marinas (70-90%)</i>	2.38
<i>Pavimento colonizado con canales</i>	1.18
<i>Hierbas marinas (30-50%)</i>	1.05
<i>Hierbas marinas (50-70%)</i>	<0.01
<i>Arena</i>	<0.01
<i>Arrecife de parcho</i>	<0.01

TABLA 5. Porcentos de contribución de las categorías de habitáculos bénticos según el mapa propuesto en este estudio (basado en una prueba SIMPER).

<b>Categorías bénticas (Mapa propuesto)</b> <b>Similitud promedio: 42.52%</b>	<b>% Contrib.</b>
<i>Hierbas marinas (continuas)</i>	31.98
<i>Pavimento colonizado</i>	25.89
<i>Fondo rocoso colonizado</i>	17.38
<i>Arena</i>	8.51
<i>Arrecife linear</i>	7.90
<i>Planicie de macroalgas (10-50%)</i>	4.46
<i>Hierbas marinas (70-90%)</i>	2.69
<i>Hierbas marinas (30-50%)</i>	0.66
<i>Fondo de corales y rocas dispersas</i>	0.51
<i>Pavimento colonizado con canales</i>	0.03
<i>Arrecife de parcho</i>	<0.01
<i>Hierbas marinas (50-70%)</i>	0.00

TABLA 6. Prueba SIMPER de la diferencia en la clasificación de las categorías bénticas entre ambos mapas.

<b>Categorías bénticas</b> <b>Disimilitud promedio: 58.12%</b>	<b>% Contrib.</b>
<i>Hierbas marinas (continuas)</i>	17.86
<i>Fondo rocoso colonizado</i>	14.04
<i>Pavimento colonizado</i>	13.84
<i>Planicie de macroalgas (10-50%)</i>	12.09
<i>Arrecife linear</i>	9.77
<i>Fondo de corales y rocas dispersas</i>	7.45
<i>Arena</i>	6.93
<i>Hierbas marinas (70-90%)</i>	6.79
<i>Pavimento colonizado con canales</i>	5.43
<i>Hierbas marinas (30-50%)</i>	3.80
<i>Arrecife de parcho</i>	1.17
<i>Hierbas marinas (50-70%)</i>	0.83

(9.8%). Éstas categorías contribuyeron en conjunto al 68% de las diferencias observadas entre ambos mapas.

Este método ha permitido determinar el nivel de similitudes y diferencias entre ambos mapas, sugiriendo que el mapa propuesto contribuye a clarificar algunas lagunas de información y errores de clasificación de los habitáculos béticos de la RNCLP. Ésto ayudará a facilitar la interpretación de la información disponible para el desarrollo del Plan de Manejo.

### **Caracterización geográfica de las áreas de estudio.**

La RNCLP se localiza en la costa oeste de la Isla de Culebra (Figura 3), a aproximadamente 28 km al noreste de Punta Cabezas de San Juan, Fajardo, PR. Por el este, la RNCLP colinda con la costa oeste de Culebra, por el oeste con la costa este y norte del Cayo Luis Peña, por el sur con la Sonda de Vieques, y por el norte con el Océano Atlántico (Figura 4). Los márgenes de la RNCLP están demarcados por un sistema de 11 boyas de demarcación (Figura 17) localizadas en las coordenadas descritas en la Tabla 7.

La RNCLP se extiende desde la porción superior de la zona marítimo-terrestre hasta el punto más profundo documentado de aproximadamente 29 m (96 pies). Éste se localiza justo al este de un arrecife sin nombre (ASN) sumergido frente a la costa sureste del Cayo Luis Peña (Figura 5), cual se extiende desde una profundidad aproximada de 13 m (42 pies) hasta 29 m (96 pies). La extensión total de la RNCLP coincide con la extensión total del área de veda permanente a la pesca, alcanzando 1,208 cuerdas (Pagán-Villegas et al., 1999), lo que equivale a 474.7918 ha. Dentro de esta zona existen unas 23 áreas geográficas naturales (Figura 5) las

cuales se pueden subdividir en 15 áreas (Figura 18) basado en sus características topográficas submarinas o por las características geomorfológicas de la costa. Para facilitar el proceso del establecimiento de cualquier medida de manejo, a continuación se describen las características principales de las diversas áreas.

TABLA 7. Coordenadas del sistema de boyas de demarcación de la RNCLP, según la Orden Administrativa 2003-14 del Secretario del DRNA, del 14 de agosto de 2003.

<b>Boya</b>	<b>Localización</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	Punta Vapor, Cayo Luis Peña (norte)	18°18'35.88"N	65°20'29.38"W
2	Canal - norte	18°18'53.54"N	65°20'22.81"W
3	Canal - norte	18°19'10.34"N	65°20'20.29"W
4	Canal - norte	18°19'30.27"N	65°20'18.51"W
5	Canal - norte	18°19'42.12"N	65°20'16.53"W
6	Península Flamenco, Culebra (oeste)	18°20'05.31"N	65°20'10.73"W
7	Punta Melones, Culebra	18°18'01.68"N	65°18'43.07"W
8	Canal – sur	18°17'56.04"N	65°18'57.24"W
9	Canal – sur	18°17'50.49"N	65°19'12.14"W
10	Canal – sur	18°17'43.18"N	65°19'23.79"W
11	Punta del Este, Cayo Luis Peña (sur)	18°17'37.43"N	65°19'41.18"W



FIGURA 17. Ejemplo del tipo de boya de demarcación de los márgenes de la RNCLP.

*Península Flamenco-Oeste (PFO)*: Ésta es la área geográfica localizada más al norte en la RNCLP (Figuras 10, 18-22). La misma tiene un área estimada en 14.62 ha, lo que equivale al 3.08% del total del área de la RNCLP (Tabla 8), tiene una forma semi-rectangular y profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 15 m (50 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona incluyen 6.60 ha de pavimentos colonizados (“hard grounds”) a profundidades fluctuantes entre unos 3 m (10 pies) hasta 15 m (50 pies). Además, hay 5.66 ha de arrecifes lineares con un porcentaje de cobertura alto (>50%) de tejido vivo en los corales, 1.66 ha de hierbas marinas (cobertura de 30 a 50%) en la zona de la laguna arrecifal y 0.40 ha de fondos con rocas o corales dispersos. El tipo de biotopo más significativo es el desarrollo una terraza extensa en la zona del antearrecife (3-8 m) dominada por el complejo de especies del Coral Estrella, *Montastraea annularis*, que ahora incluye una reclasificación de dos de sus morfotipos como especies separadas. Esto incluye al morfotipo laminar, *M. faveolata*, y el morfotipo masivo, *M. franksi*. Así mismo, en las zonas llanas se desarrolla un sistema de arrecifes que forman un pequeño sistema de surcos y espolones. El tercer biotopo particular es la zona del frontón arrecifal dominada por el Coral Cuerno de Alce, *Acropora palmata*. Sin embargo, apenas queda la estructura física, ya que la inmensa mayoría de las colonias, al igual que en otras localidades en esta región del Caribe, están muertas en su posición original de crecimiento. En cuanto a su diversidad de especies de corales (Tabla 9), se han identificado hasta ahora 65 especies (25 octocorales, 4 hidrocorales y 36 escleractínios). Esto representa un 78.3% de la riqueza total de especies de la RNCLP (n=83), incluyendo un 80.6% de los octocorales, 100% de los hidrocorales y 75.0% de los escleractínios.

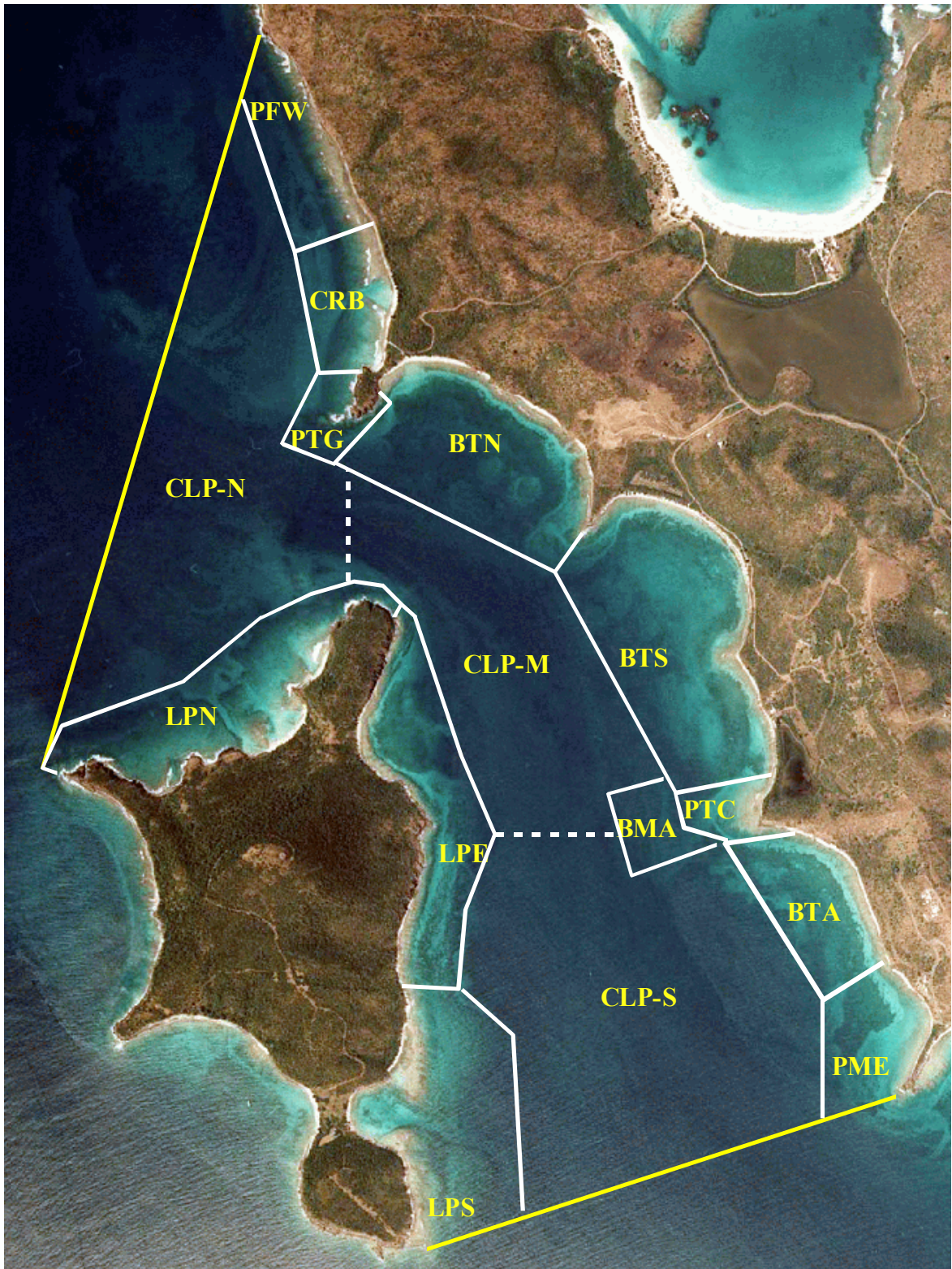


FIGURA 18. Subdivisión de áreas geográficas de la RNCLP (ver detalles de los acrónimos de los nombres en la leyenda de la Figura 5).

TABLA 8. Área superficial estimada (ha) de las 15 áreas geográficas de la RNCLP.

Área geográfica	Área superficial (ha)	Porcentaje relativo
<i>PFO</i>	14.61821	3.078867%
<i>PCR</i>	11.37033	2.394803%
<i>PTG</i>	5.519171	1.16244%
<i>BTN</i>	32.55478	6.856644%
<i>BTS</i>	42.11744	8.870718%
<i>PTC</i>	5.034281	1.060313%
<i>MAG</i>	6.058473	1.276027%
<i>BTA</i>	15.19660	3.200686%
<i>PME</i>	12.78028	2.691765%
<i>LPN</i>	27.52959	5.798244%
<i>LPE</i>	25.79760	5.433454%
<i>LPS</i>	30.68683	6.463218%
<i>CLP-S</i>	102.4563	21.57920%
<i>CLP-C</i>	57.08762	12.02372%
<i>CLP-N</i>	85.98432	18.10990%
<b>TOTAL</b>	<b>474.7918</b>	<b>100%</b>

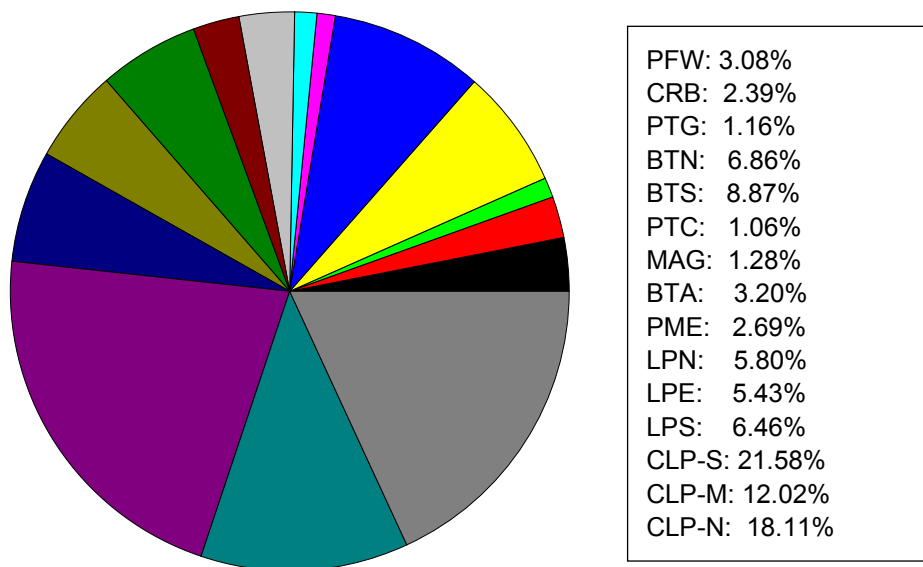
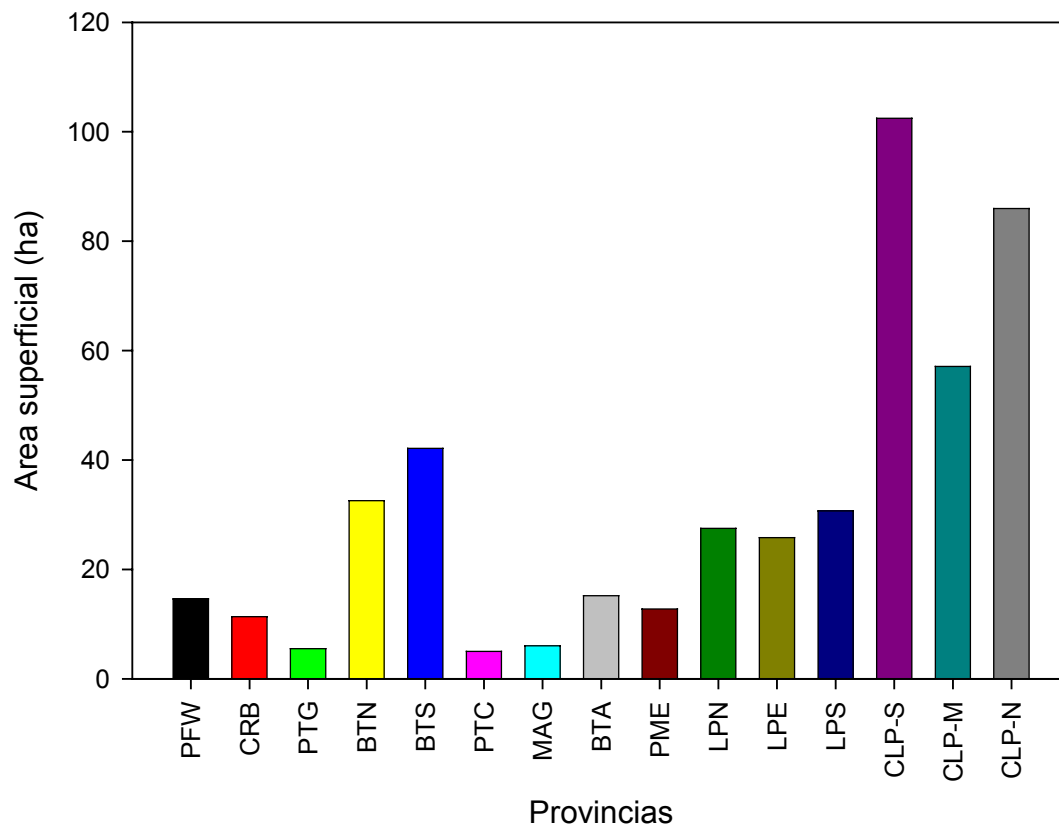


FIGURA 19. Distribución de los valores relativos del area superficial (ha) de las diversas áreas geográficas de la RNCLP.

TABLA 9. Distribución de especies de corales a través de los sistemas de arrecifes de coral más importantes de la RNCLP.

Especies	CLPN	CLPS	CLPE	PFO	IBE	CRB	PTG	BTN	BTS	PTC	BTA	PME
Fílum Cnidaria												
Clase Hydrozoa												
Orden Milleporina												
<i>Millepora alcicornis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
<i>Millepora complanata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Millepora squarrosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Orden Stylasterina												
<i>Stylaster roseus</i>		*	*	*	*	*	*			*	*	
Clase Anthozoa												
Subclase Octocorallia												
Orden Stolonifera												
Familia Telestidae												
<i>Carijoa riisei</i>				*	*	*						
Orden Gorgonacea												
Suborden Scleraxonia												
Familia Briareidae												
<i>Briareum asbestinum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Familia Anthothelidae												
<i>Icilligorgia shrammi</i>	*											
<i>Erythropodium caribaeorum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Suborden Holaxonia												
Familia Plexauridae												
<i>Plexaura homomalla</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Plexaura flexuosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*		*		
<i>Pseudoplexaura porosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Pseudoplexaura flagellosa</i>	*	*	*	*		*						

TABLA 9. Cont.

Epecies	CLPN	CLPS	CLPE	PFO	IBE	CRB	PTG	BTN	BTS	PTC	BTA	PME
<i>Pseudoplexaura wagnaari</i>	*			*								
<i>Eunicea laxispica</i>			*									
<i>Eunicea mammosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Eunicea succinea</i>	*	*	*	*		*	*			*		
<i>Eunicea tourneforti</i>	*		*	*								
<i>Eunicea calyculata</i>	*			*	*							
<i>Eunicea fusca</i>	*		*									
<i>Muriceopsis flavida</i>	*	*	*	*		*						
<i>Plexaurella dichotoma</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Plexaurella nutans</i>	*	*	*	*	*	*	*			*		*
<i>Plexaurella grisea</i>	*	*	*	*		*						
<i>Muricea muricata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*
<i>Muricea atlantica</i>			*									
<i>Muricea pinnata</i>	*		*									
<i>Muricea elongata</i>			*									
Familia Gorgoniidae												
<i>Pseudopterogorgia bipinnata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*
<i>Pseuopterogorgia Americana</i>	*	*	*	*		*						
<i>Gorgonia flabellum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gorgonia ventalina</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Gorgonia mariae</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Pterogorgia citrina</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Pterogorgia anceps</i>	*	*	*	*	*	*				*	*	*
<i>Pterogorgia guadalupensis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

TABLA 9. Cont.

Epecies	CLPN	CLPS	CLPE	PFO	IBE	CRB	PTG	BTN	BTS	PTC	BTA	PME
Clase Anthozoa												
Orden Scleractinia												
Familia Astrocoeniidae												
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*
Familia Pocilloporidae												
<i>Madracis decactis</i>		*	*		*	*	*			*		
<i>Madracis mirabilis</i>						*						
<i>Madracis pharensis</i>						*						
<i>Madracis sp.</i>						*	*					
Familia Acroporidae												
<i>Acropora palmata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Acropora cervicornis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Acropora prolifera</i>	*	*	*			*		*	*	*	*	*
Familia Agaricidae												
<i>Agaricia agaricites</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Agaricia fragilis</i>		*	*	*		*				*		
<i>Agaricia tenuifolia</i>		*	*	*		*				*	*	
<i>Agaricia lamarcki</i>		*				*						
<i>Agaricia humilis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Leptoseris cucullata</i>		*	*	*	*	*	*					
Familia Siderastreidae												
<i>Siderastrea siderea</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Siderastrea radians</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Familia Poritidae												
<i>Porites astreoides</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Porites porites</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

TABLA 9. Cont.

Epecies	CLPN	CLPS	CLPE	PFO	IBE	CRB	PTG	BTN	BTS	PTC	BTA	PME
<i>Porites divaricata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Porites furcata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Porites branneri</i>		*	*							*		
Familia Faviidae												
<i>Cladocora arbuscula</i>	*	*	*							*		
<i>Montastrea annularis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Montastrea faveolata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Montastrea franksi</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Montastrea cavernosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Favia fragum</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Diploria clivosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Diploria strigosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Manicina areolata</i>	*	*	*	*		*			*	*	*	*
<i>Manicina mayori</i>	*	*	*	*		*			*	*	*	
<i>Colpophyllia natans</i>	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	
Familia Rhizangiidae												
<i>Astrangia solitaria</i>					*					*		
Familia Oculinidae												
<i>Oculina diffusa</i>												*
Familia Meandrinidae												
<i>Dendrogyra cylindrus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
<i>Dichocoenia stokesii</i>	*	*	*			*	*	*	*	*	*	
<i>Meandrina meandrites</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

TABLA 9. Cont.

Especies	CLPN	CLPS	CLPE	PFO	IBE	CRB	PTG	BTN	BTS	PTC	BTA	PME
Familia Mussidae												
<i>Scolymia</i> spp.	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	
<i>Mussa angulosa</i>						*						
<i>Isophyllastrea rigida</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Isophyllia sinuosa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>		*	*	*	*	*	*	*		*	*	
<i>Mycetophyllia aliciae</i>		*	*	*		*						
<i>Mycetophyllia danaana</i>		*	*	*		*						
<i>Mycetophyllia ferox</i>	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	
Familia Cariophyllidae												
<i>Eusmilia fastigiata</i>	*	*	*	*	*	*	*			*	*	
Familia Dendrophyllidae												
<i>Tubastrea coccinea</i>	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	
Riqueza total de especies (n=83)	63	67	73	65	51	71	53	46	42	58	52	41
Especies de hidrocorales	27	21	28	25	17	22	16	14	11	16	13	14
Especies de octocorales	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3
Especies de escleractínios	33	42	41	36	30	45	33	29	28	38	35	24

CLPN= Cayo Luis Peña-Norte; CLPS= Cayo Luis Peña-Sur; PFO= Península Flamento-Oeste; IBE= Impact Beach; PCR= Playa Carlos Rosario; PTG= Punta Tamarindo Grande; BTN= Bahía Tamarindo-Norte; BTS= Bahía Tamarindo-Sur; PTC= Punta Tamarindo Chico; BTA= Bahía Tarja; PME= Punta Melones.

*Playa Carlos Rosario- (PCR):* Zona localizada al norte de Punta Tamarindo Grande (Figuras 18, 23 y 24). La misma tiene un área estimada en 11.37 ha (Tabla 8), lo que equivale al 2.39% del total del área de la RNCLP (Figura 19), tiene una forma semi-rectangular y profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 13 m (45 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 4.99 ha de arrecifes lineares, 2.83 ha de pavimentos colonizados (“hard grounds”) a profundidades fluctuantes entre unos 3 m (10 pies) hasta 13 m (45 pies). Además, existe 1.39 ha de fondos rocosos colonizados, 0.82 ha de fondos con rocas o corales dispersos, 0.69 ha de hierbas marinas con una cobertura de 30 a 50%, y 0.65 ha de fondos arenosos. Los tipos de biotopos más significativos son similares. Sin embargo, apenas queda la estructura física, ya que la inmensa mayoría de las colonias, al igual que en otras localidades en esta región del Caribe, están muertas en su posición original de crecimiento. En PCR se han identificado 71 especies (22 octocorales, 4 hidrocorales y 45 escleractínios). Esto representa un 85.5% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 71.0% de los octocorales, 100% de los hidrocorales y 93.8% de los escleractínios. Esta localidad, junto al área este y sureste del Cayo Luis Peña, sostienen la mayor diversidad de especies de corales de la RNCLP.

*Punta Tamarindo Grande- (PTG):* Península que divide la Playa Carlos Rosario de la Bahía Tamarindo (Figuras 25 y 26). La misma tiene un área estimada en 5.52 ha (Tabla 8), lo que equivale al 1.16% del total del área de la RNCLP (Figura 19), tiene una forma aproximadamente cuadrada y profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 12 m (40 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 2.60 ha de fondos rocosos colonizados, 2.28 ha de pavimentos colonizados y 0.64 ha de fondos de



FIGURA 20. Península de Flamenco-Oeste. Esta localidad marca el límite norteste de la RNCLP.



FIGURA 21. Vista aérea parcial del sistema de arrecifes de coral localizado al oeste de la Península de Flamenco.

hierbas marinas continuas. En PTG se han identificado 53 especies (16 octocorales, 4 hidrocorales y 33 escleractínios). Esto representa un 63.9% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 51.6% de los octocorales, 100% de los hidrocorales y 68.8% de los escleractínios. Esta es una de las localidades dentro de la RNCLP con mayor relieve topográfico y que sostiene densidades altas de peces. Además, es una de las áreas no documentadas que se considera funcionan como lugar de agregación para el desove del pez Capitán, *Lachnolaimus maximus* (Labridae) durante los meses de enero y febrero de cada año. PTG también se caracteriza por sus corrientes marinas fuertes y cambiantes, lo que lo hace peligroso para el buceo recreacional.

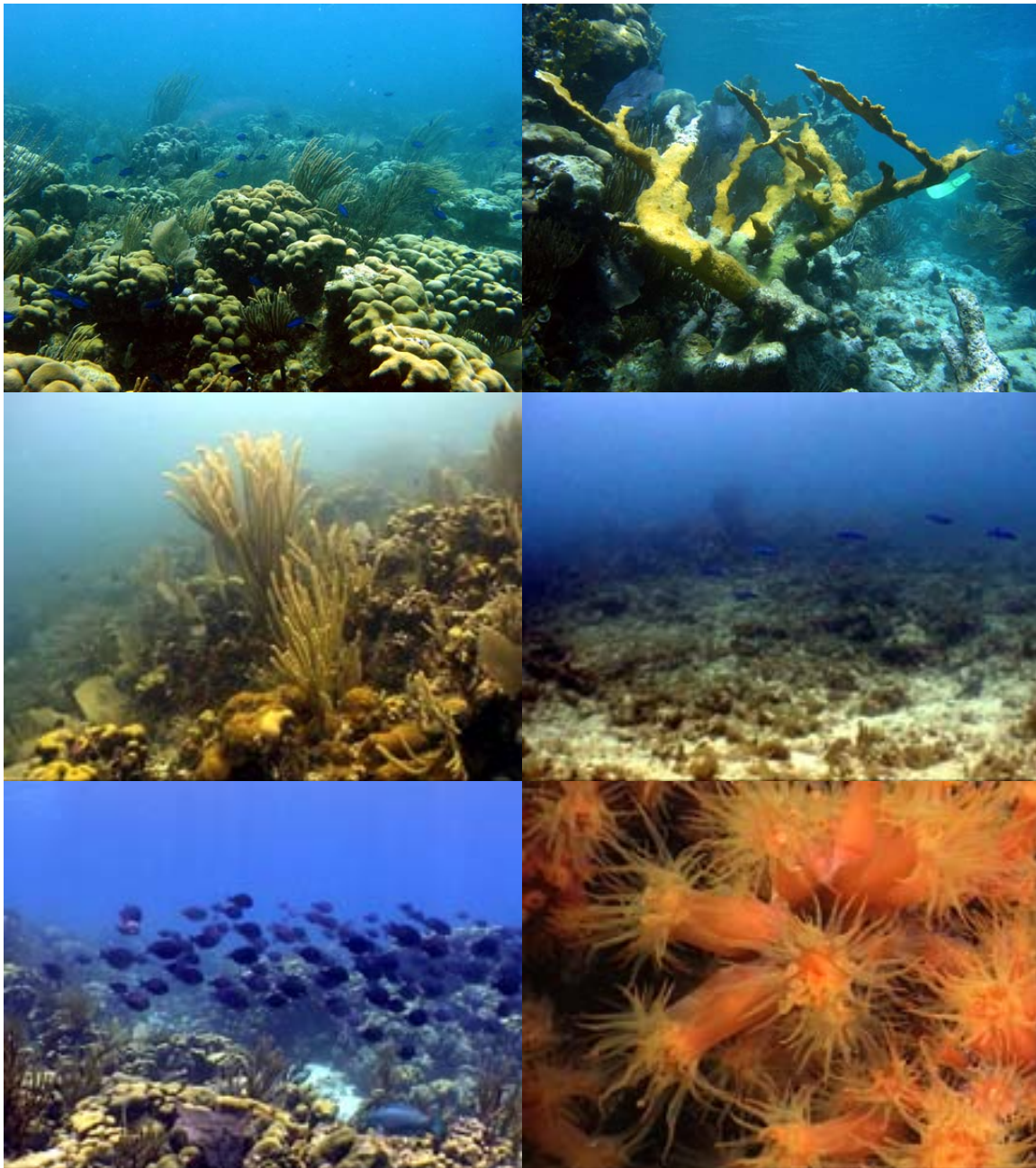


FIGURA 22. Comunidades marinas de la Península de Flamenco-oeste. Desde la izquierda al tope: A) Vista panorámica de la terraza del Coral Estrella, *Montastraea annularis* (7 m); B) Colonia del Coral Cuerno de Alce, *Acropora palmata*, actualmente considerada como candidata a ser designada como especie en peligro de extinción (2 m); C) Vista parcial de una zona de transición entre un arrecife lineal y un pavimento coralino (10 m); D) Vista parcial de un fondo con rocas y corales dispersos, entremezclado con macroalgas (12 m); E) Vista panorámica de un arrecife lineal con una escuela de peces médicos, *Acanthurus coeruleus* (7 m) y F) Detalle de las colonias del coral solitario, *Tubastrea coccinea* (4 m).



FIGURA 23. Playa Carlos Rosario y de Punta Tamarindo Grande.

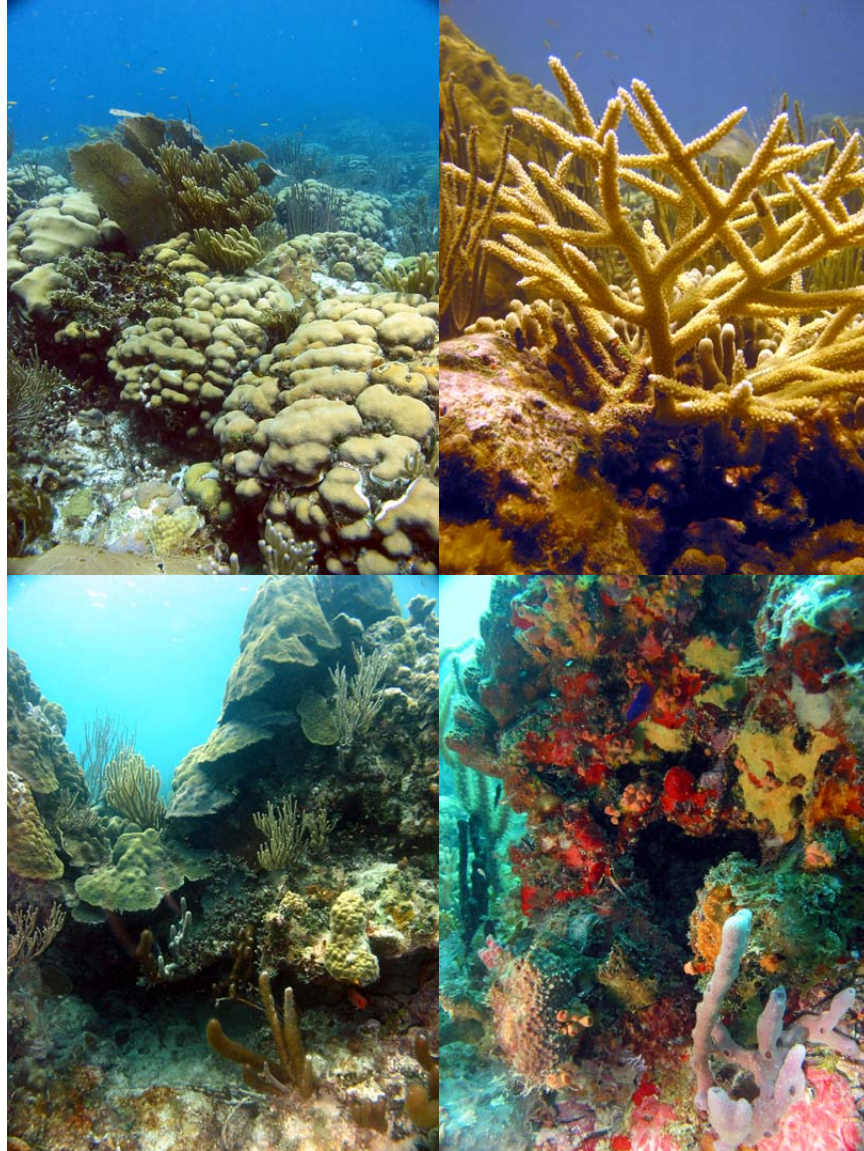


FIGURA 24. Comunidades marinas de la Playa Carlos Rosario. Desde la izquierda al tope: A) Detalle de la terraza del Coral Estrella, *Montastraea annularis* (6 m); B) Colonia del Coral Cuerno de Ciervo, *Acropora cervicornis*, actualmente considerada como candidata a ser designada como especie en peligro de extinción (3 m); C) Colonia del morfotipo laminar de *M. annularis*, recién descrita como *M. faveolata* (5 m); y D) Comunidad críptica de esponjas, corales solitarios y briozoarios creciendo bajo la sombra producida por un coral (13 m).



FIGURA 25. Bahía Tamarindo (norte) y a la derecha Punta Tamarindo Grande. Al fondo, el Cayo Luis Peña. En primer plano, el camino de tierra de acceso a la Playa Carlos Rosario.

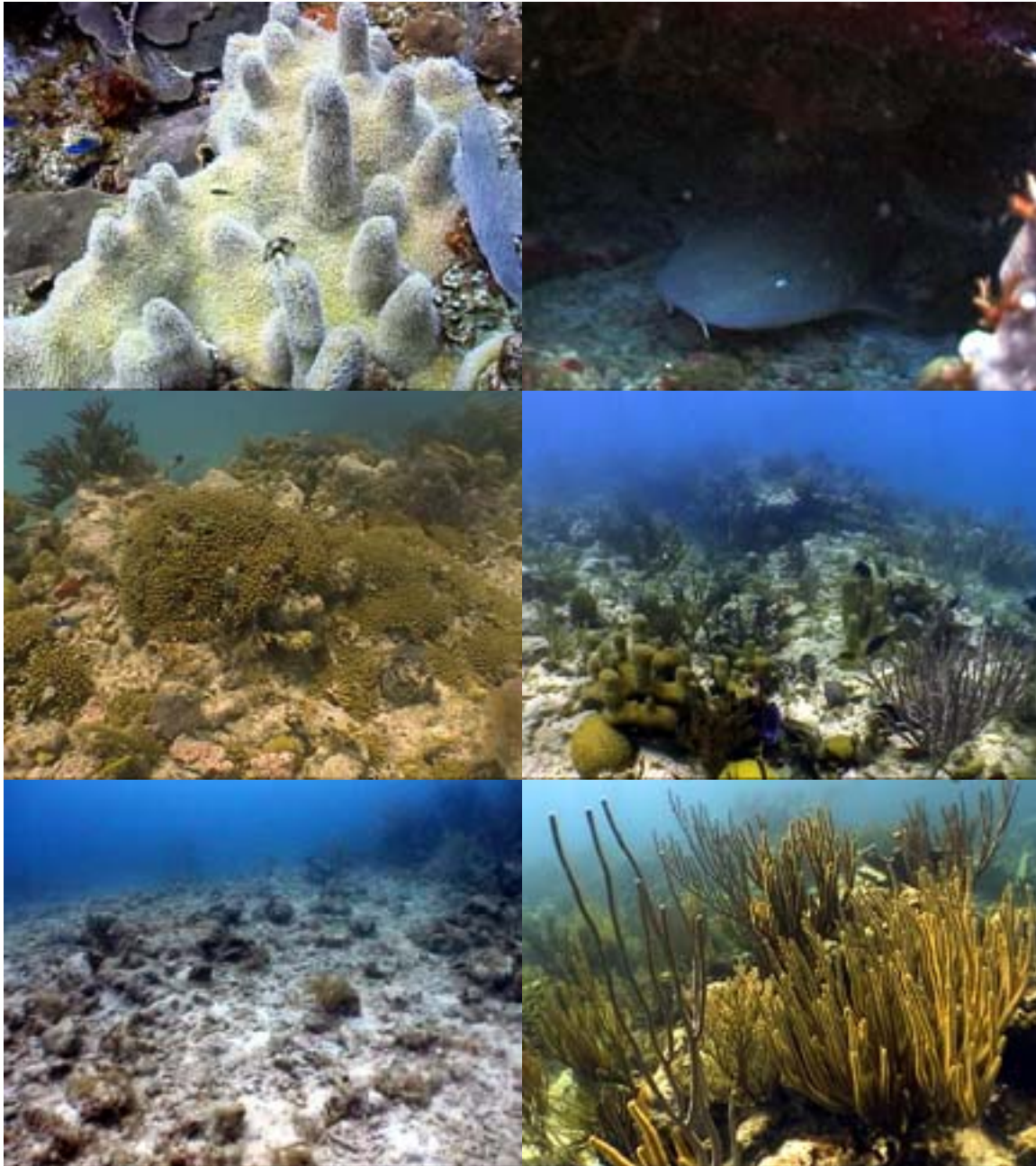


FIGURA 26. Comunidades marinas de la Punta Tamarindo Grande. Desde la izquierda al tope: A) Forma incrustada de crecimiento en el Coral Pilar, *Dendrogyra cylindrus* (4 m); B) Tiburón Gata, *Ginglymostoma cirratum* (10 m); C) Detalle de colonias del Coral Lápiz, *Madracis mirabilis* (5 m); D) Arrecife rocoso colonizado (4 m); E) Fondo con rocas y corales dispersos (10 m); y F) Pavimento coralino dominado por octocorales (6 m).

*Bahía Tamarindo-Norte (BTN)*: Ésta es la zona más pequeña de la Bahía Tamarindo, extendiéndose desde Punta Tamarindo Chico hasta Punta Rompeanzuelos (Figuras 10, 27 y 28). Aun así la misma tiene un área estimada en 32.55 ha (Tabla 8), lo que equivale al 6.86% del total del área de la RNCLP (Figura 19), tiene una forma aproximadamente rectangular y profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 15 m (50 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 24.26 ha de hierbas marinas continuas, seguidas de 3.29 ha de fondos rocosos colonizados y 2.93 ha de una estrecha franja de arrecifes lineares. También existen 2.55 ha de fondos arenosos entre los arrecifes lineares y la comunidad de hierbas marinas. Finalmente, existen 1.90 ha de pavimentos colonizados y 0.56 ha de comunidades de hierbas marinas con una cobertura de de 70 a 90%. En BTN se han identificado 46 especies de corales (14 octocorales, 3 hidrocorales y 29 escleractínios). Esto representa un 55.4% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 45.2% de los octocorales, 75% de los hidrocorales y 60.4% de los escleractínios. Dicha lista incluye, tanto BTN, como el Cayo Rompeanzuelos (discutido en la siguiente sección). Esta localidad sostiene una comunidad de hierbas marinas que funciona como criadero del Carrucho, *Strombus gigas*. Además, sostiene una población residente del Peje Blanco o Tortuga Verde, *Chelonia mydas*. La franja de los arrecifes coralinos bordeantes, cuya cobertura de coral vivo es baja (<20%), funciona como hábitáculo de crianza de muchas especies de peces en sus estadios juveniles.

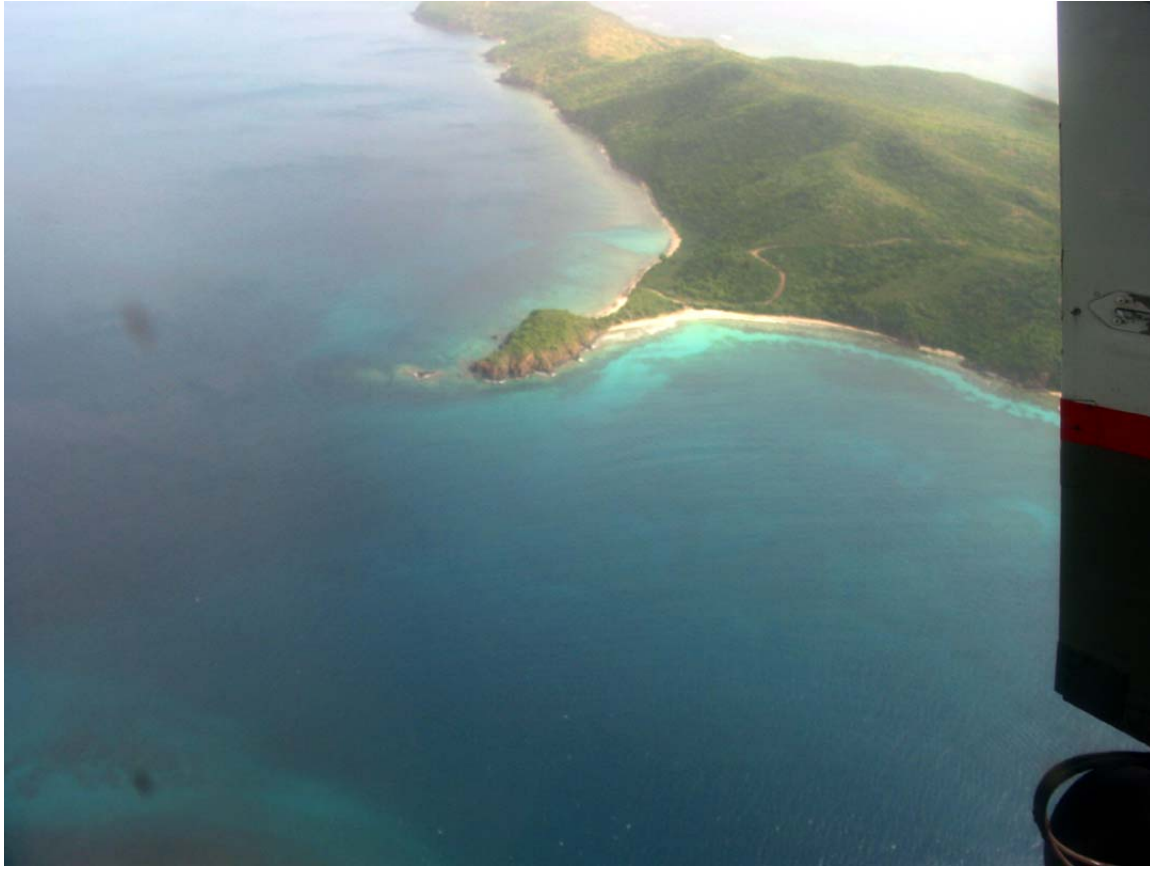


FIGURA 27. Bahía Tamarindo (norte), ilustrando en primer plano la zona central del Canal de Luis Peña y arriba Punta Tamarindo Chico y la Península Flamenco.



FIGURA 28. Comunidades marinas de la Bahía Tamarindo (norte). Desde la izquierda al tope: A) Comunidad hierbas marinas dominada por la Hierba de Tortuga, *Thalassia testudinum* (5 m); B) Individuo juvenil del Carrucho, *Strombus gigas*, en un parcho dominado por la Hierba de Manatí, *Syringodium filiforme* (5 m); C) Vista parcial de un arrecife marginal (3 m); D) Esponja ramificada, *Callyspongia vaginalis*, mostrando el efecto de una mordida de tortuga (4 m); E) Detalle de una colonia del Coral de Fuego, *Millepora complanata* (2 m); y F) Fondo arenoso que separa el arrecife marginal de la comunidad de hierbas marinas, en primer plano una colonia del Látigo de Mar, *Pterogorgia guadalupensis* (3 m).

*Punta Rompeanzuelo (PRA)*: La mayor parte de esta zona (Figuras 10, 29 y 30) cae dentro de la área geográfica de Bahía Tamarindo (norte). Sólo una leve porción de la misma pertenece al área geográfica de Bahía Tamarindo (sur). Esta es una comunidad arrecifal (arrecife linear + arrecife rocoso) llana (0-6 m), la cual posee una cobertura de corales limitada (<20%), pero sostiene una abundancia muy alta de reclutas de peces y de colonias juveniles de corales de diversas especies, principalmente de corales como los corales de cerebro *Diploria strigosa* y *D. clivosa*, así como varias especies de corales pequeños como *Porites astreoides*, *P. porites*, *Siderastrea radians* y *Favia fragum*. Justo frente a esta zona se desarrolla una comunidad de hierbas marinas continuas que deciente hasta un pavimento coralino en el fondo del canal.

*Bahía Tamarindo-Sur (BTS)*: Ésta es la zona más extensa de la Bahía Tamarindo y se extiende desde Punta Rompeanzuelo hasta Punta Tamarindo Chico (Figuras 10, 29, 31 y 32). Su área superficial se ha estimado en 42.12 ha (Tabla 8), lo que equivale al 8.87% del total del área de la RNCLP (Figura 8), tiene una forma aproximadamente rectangular y profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 12 m (40 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona incluyen 35.16 ha de hierbas marinas continuas, seguidas de 4.40 ha de fondos rocosos colonizados y 1.76 ha de fondos arenosos entre los arrecifes rocosos y la comunidad de hierbas marinas. Finalmente, existe una porción de 0.81 ha del arrecife linear localizado en Punta Rompeanzuelo. En BTS se han identificado 42 especies de corales (11 octocorales, 3 hidrocorales y 28 escleractínios). Esto representa un 50.6% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 35.5% de los octocorales, 75% de los hidrocorales y 58.3% de los escleractínios.



FIGURA 29. Bahía Tamarindo, segmentos norte (izquierda) y sur (derecha). En el centro se encuentra la Península conocida por el Cayo Rompeanzuelo. Nótese inmediatamente detrás de esta zona el vertedero municipal de Culebra y a la derecha el camino no pavimentado de acceso a Playa Tamarindo.



FIGURA 30. Comunidades marinas del Cayo Rompeanzuelo. Desde la izquierda al tope: A) Fondo rocoso colonizado (1 m); B) Colonias del Coral Cuerno de Alce, *Acropora palmata* (1.5 m); C) Escuela de reclutas de arrayaos (*Haemulon* spp.) y la Colirrubia (*Ocyurus chrysurus*) (3 m); D) Escuela del Arrayao Mulita, *H. aurolineatum* (4 m); E) Pez Cotorro, *Sparisoma viride* (3 m); y F) Alta densidad de corales reclutas sobre el fondo rocoso (2 m).

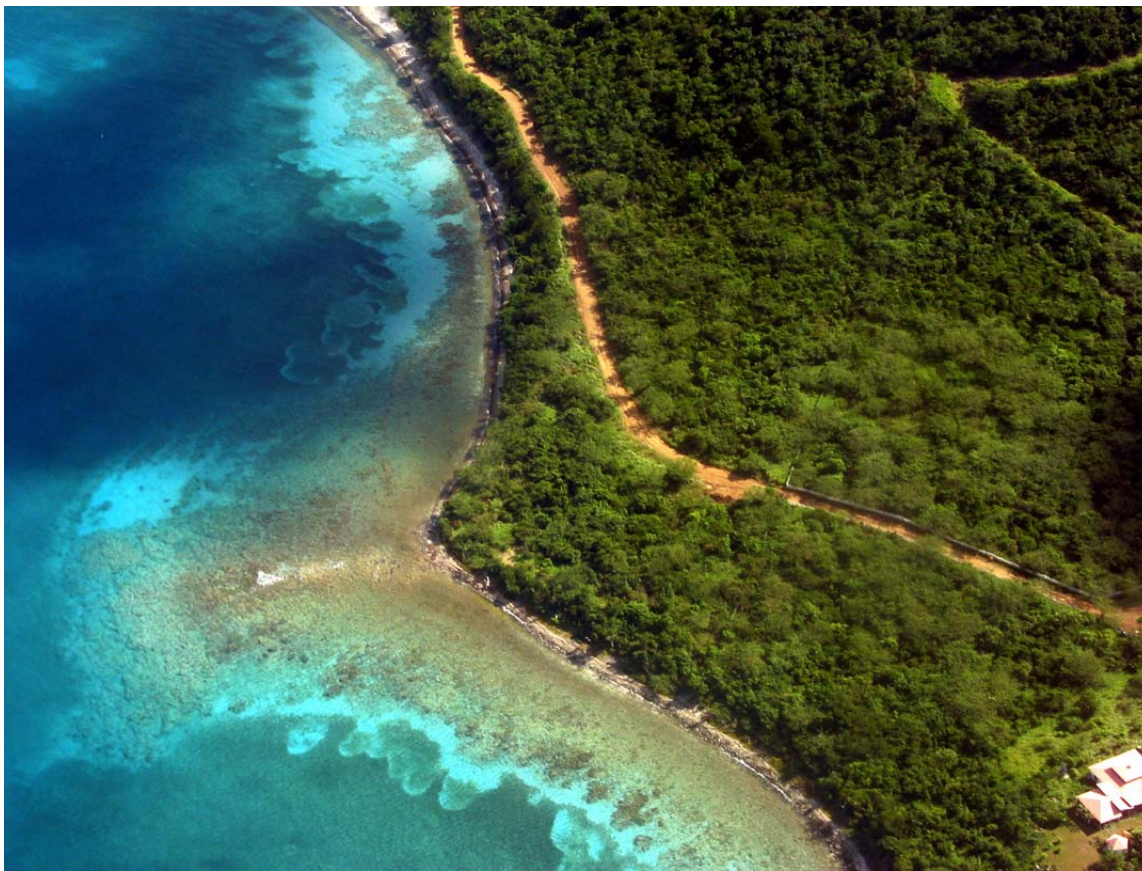


FIGURA 31. Arrecife El Banderote, Bahía Tamarindo (sur).



FIGURA 32. Comunidades marinas del Arrecife El Banderote. Desde la izquierda al tope: A) Escuela de juveniles de los peces arrayaos (*Haemulon* spp.), Pargo Sama (*Lutjanus analis*), Pargo Ojón (*L. mahogoni*) y la Colirrubia (*Ocyurus chrysurus*) (4 m); B) Comunidad de la Hierba de Manatí, *Syringodium filiforme* (5 m); C) Población en recuperación del Erizo Gigante, *Diadema antillarum*; D) Buzo estudiando la comunidad coralina del arrecife rocoso (2.5 m); E) Variedad púrpura de la Esponja tubular ramificada, *Pseudoceratina crassa* (4 m); y F) Finca de acuacultura del coral Cuerno de Ciervo, *Acropora cervicornis* (3.5 m).

Esta localidad sostiene una comunidad de hierbas marinas que funciona como criadero del Carrucho, *Strombus gigas*. Además, sostiene una población residente del Peje Blanco o Tortuga Verde, *Chelonia mydas*. La franja de arrecifes rocosos llanos bordeantes (0-2 m), así como el Arrecife El Banderote (0-4 m) funciona como habitáculo de crianza de muchas especies de peces en sus estadios juveniles, particularmente, especies de gran valor económico, como el Pargo Sama (*Lutjanus analis*), Pargo Perro (*L. griseus*), el Pargo Ojón (*L. mahogoni*), la Colirrubia (*Ocyurus chrysurus*), los arrayaos (*Haemulon* spp.), el Mero Mantequilla (*Cephalopholis fulva*) y el Mero Cabrilla (*Epinephelus guttatus*), así como varias especies de peces cotorros (Scaridae). A la vez, sostiene un reclutamiento significativo de corales. Estas comunidades arrecifales sostienen poblaciones muy abundantes del Erizo Gigante, *Diadema antillarum*, por lo que se han convertido en uno de los refugios naturales de esta especie. En el Arrecife El Banderote también se encuentra una finca de acuicultura del Coral Cuerno de Ciervo, *Acropora cervicornis*, operada por personal del Programa de Monitoreo Ecológico y Restauración de Arrecifes de Coral de la RNCLP y la Asociación de Pescadores de la Isla de Culebra como estrategia de manejo para la propagación y reintroducción de la especie dentro de la RNCLP.

*Punta Tamarindo Chico (PTC)*: Ésta es la zona que divide la Bahía Tamarindo y la Bahía Tarja (Figuras 10, 33 y 34). Su área superficial es de 5.03 ha (Tabla 2), lo que equivale al 1.06% del total del área de la RNCLP (Figura 8) y tiene una forma aproximadamente rectangular. Posee profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 9 m (30 pies) de profundidad. Los tipos de habitáculos predominantes en esta zona incluyen 3.01 ha de fondos rocosos



FIGURA 33. Margen este de la RNCLP. En primer plano (de sur a norte), la porción norte de Bahía Tarja, Punta Tamarindo Chico y a su izquierda el Bajo Magoyo (nótese la Laguna Cornelio a la derecha), Bahía Tamarindo Sur , Arrecife El Banderote, Punta Rompeanzuelos, Punta Tamarindo Grande y la Península de Flamenco. Nótese a la derecha arriba la Bahía Flamenco y Laguna Flamenco.



FIGURA 34. Comunidades marinas de Punta Tamarindo Chico y el Bajo Magoyo. Desde la izquierda al tope: A) Pez Ángel Frances, *Pomacanthus paru*, sobre un pavimento coralino (8 m); B) Barracuda, *Sphyræna barracuda*, sobre un pavimento coralino (9 m); C) Comunidad béntica típica sobre fondo rocoso colonizado (6 m); D) Pez Capitán, *Lachnolaimus maximus*, especie que se agrega en el Bajo Magoyo y frente a Punta Tamarindo Grande durante la época del desove anual durante los meses de enero y febrero (7 m); E) Fondo mixto de pavimento coralino y rocas colonizadas dispersas dominado por esponjas y octocorales (5 m); y F) Comunidad de la Hierba de Tortuga, *Thalassia testudinum* (8 m).

colonizados, 1.33 ha de hierbas marinas continuas, 0.55 ha de hierbas marinas (70-90% de cobertura) y 0.15 ha de fondos arenosos. En PTC se han identificado 58 especies de corales (16 octocorales, 4 hidrocorales y 38 escleractinios). Esto representa un 69.9% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 51.6% de los octocorales, 100% de los hidrocorales y 79.2% de los escleractinios. Este inventario incluye el área del Bajo Magoyo. Esta localidad, al igual que los arrecifes de Punta Tamarindo Grande, Punta Rompeanzuelo y El Banderote, se caracteriza por la abundancia de reclutas de diversas especies de peces y corales. Sin embargo, esta localidad resulta significativamente particular por su abundancia de peces adultos de importancia comercial como los pargos (*Lutjanus* spp.), arrayaos (*Haemulon* spp.) y el Capitán (*Lachnolaimus maximus*). Esta especie presenta una abundancia inusualmente alta en esta localidad, al igual que en el Bajo Magoyo (que es la zona más profunda de PTC) y que Punta Tamarindo Grande.

*Bajo Magoyo (BMA)*: Esta área pequeña es una extensión de la zona más profunda de Punta Tamarindo Chico (Figuras 10, 33 y 34). La misma tiene una extensión de 6.06 ha, lo que representa 1.28% del área total de la RNCLP. Los pavimentos colonizados es el hábitaculo dominante (3.64 ha), seguido de 2.33 ha de hierbas marinas continuas y de 0.08 de hierbas marinas con una cobertura de 70 a 90%. Esta zona, a pesar de geográficamente pertenecer al área de Punta Tamarindo Chico, se discute por separado ya que la misma presenta la particularidad de funcionar como una zona de agregación del Pez Capitán, *Lachnolaimus maximus*, principalmente, durante los meses de enero a febrero. Aún así, este lugar se caracteriza por su densidad inusualmente alta de individuos de esta especie.

*Bahía Tarja (BTA)*: Bahía localizada entre Punta Tamarindo Chico y Punta Melones, al sureste de la RNCLP (Figuras 10, 35 y 36). Su área superficial es de 15.20 ha (Tabla 2), lo que equivale al 3.20% del total del área de la RNCLP (Figura 19), tiene una forma aproximadamente rectangular y profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 9 m (30 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 10.81 ha de hierbas marinas continuas, 2.09 ha de fondos arenosos, 1.27 ha de fondos rocosos colonizados y 1.03 ha de arrecifes lineares. En BTA se han identificado 52 especies de corales (13 octocorales, 4 hidrocorales y 35 escleractínios) (Tabla 9). Esto representa un 62.7% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 41.9% de los octocorales, 100% de los hidrocorales y 72.9% de los escleractínios. Estructuralmente, esta localidad es muy similar a Bahía Tamarindo (norte). La comunidad de hierbas marinas constituye una zona de criadero para el Carrucho, *Strombus gigas*. Las comunidades de arrecifes bordeantes y de arrecifes rocosos constituyen una zona de criadero de peces en estadíos juveniles. En esta localidad también se encuentra una de las fincas de acuicultura del Coral Cuerno de Ciervo, *Acropora cervicornis*, similar a las existentes en Bahía Tamarindo.

*Punta Melones (PME)*: Península que marca el límite sureste de la RNCLP (Figuras 10, 37 y 38). Su área superficial es de 12.78 ha (Tabla 8), lo que equivale al 2.69% del total del área de la RNCLP (Figura 19), tiene una forma aproximadamente rectangular y profundidades que fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 15 m (50 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos

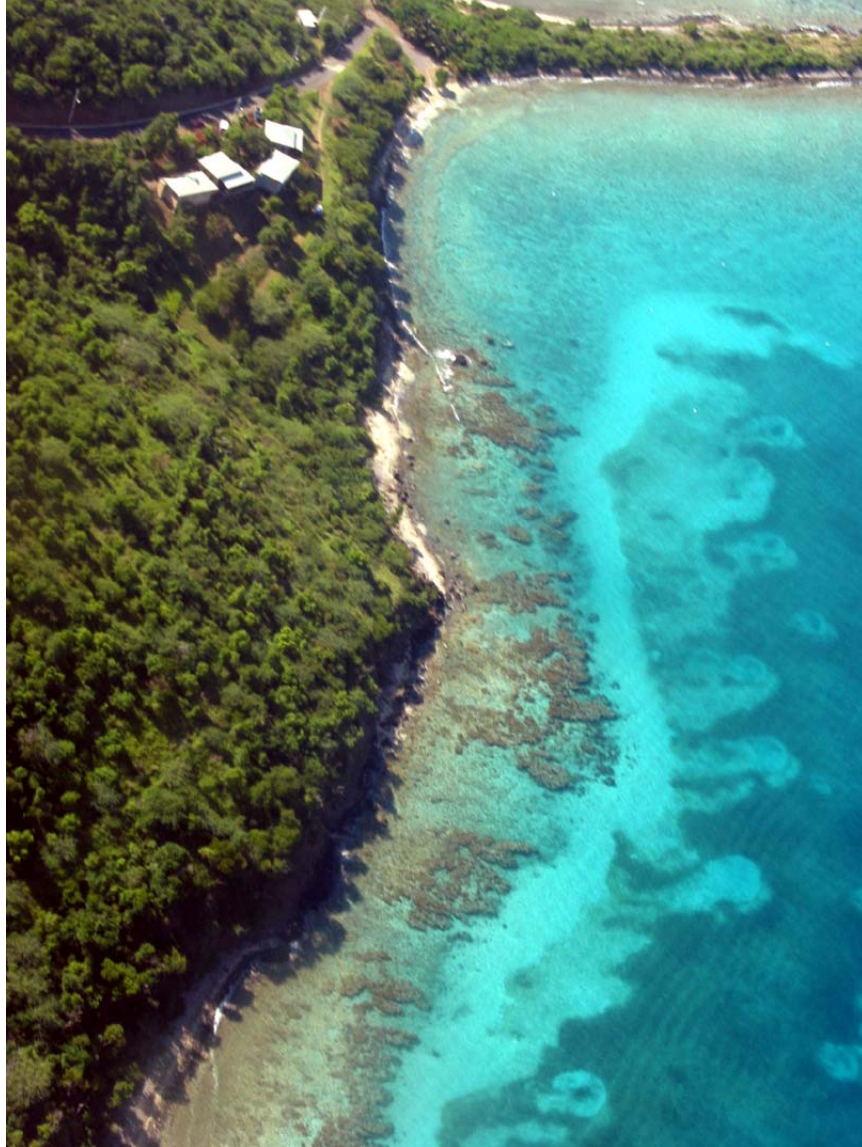


FIGURA 35. Bahía Tarja (nótese parte de Punta Melones arriba de la foto (sur)).

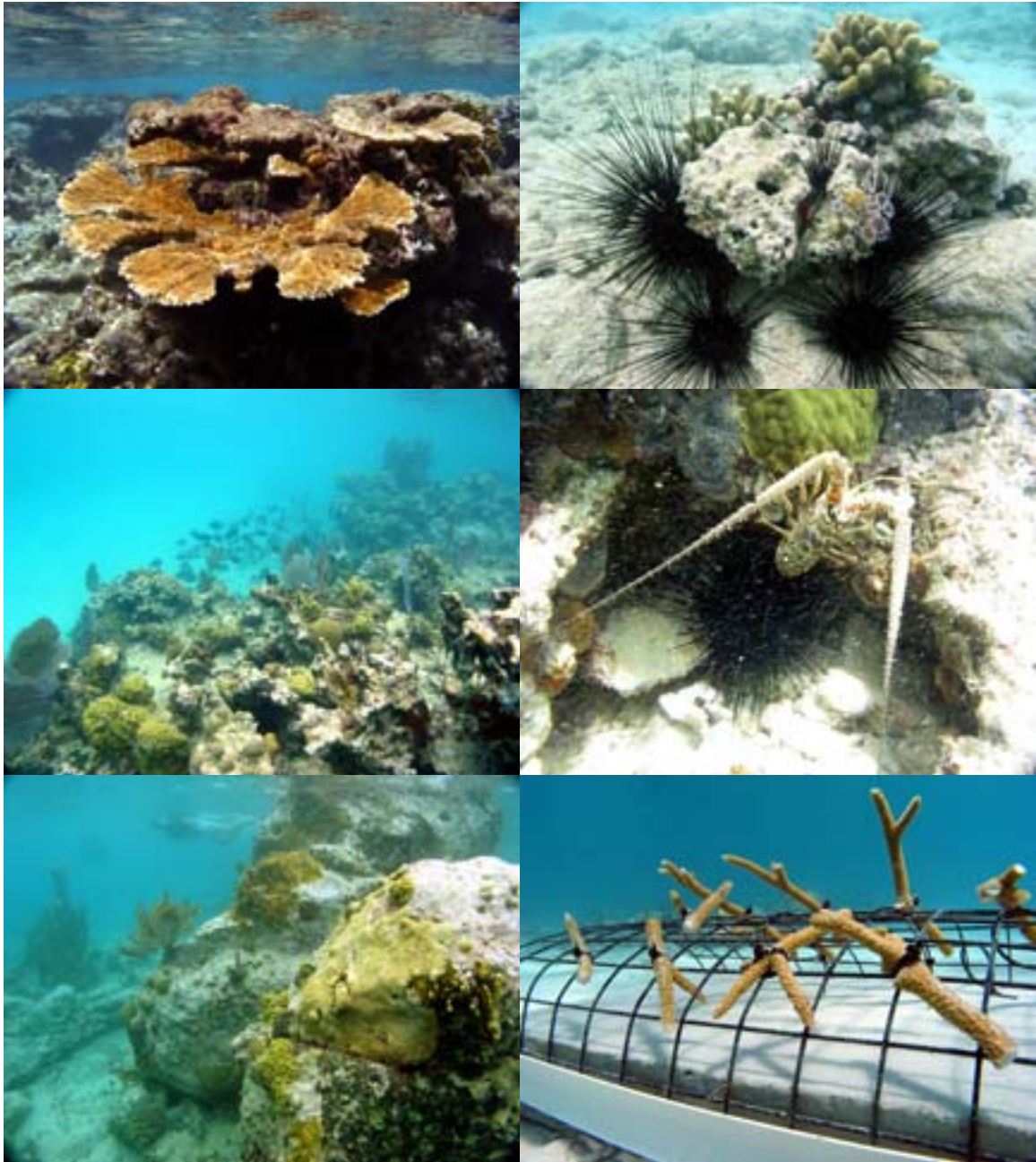


FIGURA 36. Comunidades marinas de Bahía Tarja. Desde la izquierda al tope: A) Colonia del Coral Cuerno de Alce, *Acropora palmate* (0.6 m); B) Población en recuperación del Erizo Gigante, *Diadema antillarum* (2 m); C) Arrecife bordeante llano dominado por el Coral Mostaza, *Porites astreoides*, (1-4 m); D) Langosta juvenil, *Pannulirus argus* (1 m); E) Rocas colonizadas por *P. astreoides*, formas incrustantes del Coral de Fuego, *Millepora alcicornis*, y el Zoántido Colonial, *Palythoa caribbaeorum*, nótese al fondo a la izquierda una colonia del Coral Pilar, *Dendrogyra cylindrus* (1-4 m); y F) Detalle de una finca de acuicultura del Coral Cuerno de Ciervo, *Acropora cervicornis* (4 m).



FIGURA 37. Punta Melones. En primer plano al centro, parte de Bahía Tarja. Esta localidad marca el extremo sureste de la RNCLP.



FIGURA 38. Comunidades marinas de Punta Melones. Desde la izquierda al tope: A) Fondo de rocas basálticas colonizadas por formas incrustantes del Coral de Fuego, *Millepora alcicornis*, y por el Zoántido Colonial, *Palythoa caribbaeorum* (5 m); B) Pez Colirrubia, *Ocyurus chrysurus*; C) Detalle del fondo rocoso de eolianita colonizado por corales pétreos, octocorales y esponjas (2 m); D) Detalle de la tridimensionalidad estructural alta de la comunidad arrecifal proveyendo refugio para peces pequeños; E) Pez Cotorro, *Sparisoma viride*, en su fase de macho terminal (6 m); y F) Reclutamiento masivo de corales juveniles (3 m).

predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 5.08 ha de hierbas marinas continuas, 2.70 ha de pavimentos colonizados, 2.39 ha de fondos arenosos, 2.09 ha de fondos rocosos colonizados y 0.51 ha de arrecifes lineares. En PME se han identificado 41 especies de corales (14 octocorales, 3 hidrocorales y 24 escleractinios). Esto representa un 49.4% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 45.2% de los octocorales, 75% de los hidrocorales y 50.0% de los escleractinios. Esta localidad se caracteriza por su tridimensionalidad estructural alta, lo que crea muchos microhábitáculos para los peces. Además, igual que en otros fondos rocosos en las penínsulas del oeste de Culebra dentro de la RNCLP, Punta Melones sostiene densidades altas de reclutas de corales de diversas especies.

*Costa norte del Cayo Luis Peña (LPN):* Esta área geográfica cubre toda la costa norte del Cayo Luis Peña (Figura 10), desde Punta Vapor (Figura 39), incluyendo Punta Rociada y las playas al este de ésta (Figura 40), hasta Punta Prieta (Figura 41). Punta Vapor delimita el noroeste de la RNCLP. En su totalidad, esta zona tiene una extensión de 27.53 ha (Tabla 8), el equivalente de 5.80% de la superficie total de la RNCLP (Figura 19). Ésta tiene una forma semi-rectangular alargada y sus profundidades fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 15 m (50 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 15.72 ha de pavimentos colonizados con canales parecidos a sistemas pobremente desarrollados de sistemas de surcos y espolones. Además, posee 7.27 ha de fondos rocosos colonizados, 1.89 ha de hierbas marinas continuas, 1.72 ha de fondos arenosos, 0.60 ha de pavimentos colonizados y 0.34 ha de hierbas marinas con una cobertura de 70 a 90%. En esta área se han identificado 63 especies de corales (27 octocorales, 3 hidrocorales y 33 escleractinios). Esto representa un 75.9% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 87.1% de los



FIGURA 39. Punta Vapor (península noroeste), Cayo Luis Peña. Esta localidad marca el extremo noroeste de la RNCLP. Al fondo se observa Punta Cruz, al suroeste de Cayo Luis Peña, área natural localizada fuera de la jurisdicción de la RNCLP.



FIGURA 40. Vista aérea parcial del sistema de arrecifes de coral localizado en la costa norte del Cayo Luis Peña, incluyendo Punta Rociada.



FIGURA 41. Punta Prieta (península noreste, Cayo Luis Peña).

octocorales, 75% de los hidrocorales y 68.8% de los escleractínios. El tipo de comunidad béntica predominante, a excepción de Punta Vapor y Punta Prieta, es una de poca tridimensionalidad estructural (Figura 42). Aún así, esta área tiene un alto valor como hábitaculo esencial de peces e invertebrados. Punta Vapor está dominada principalmente por fondos rocosos de alto relieve estructural, los cuales son hábitaculo muy valioso para peces como los pargos (*Lutjanus spp.*) y las colirrubias (*Ocyurus chrysurus*). Sus profundidades varían desde el nivel del mar hasta unos 18 m (60 pies). Igualmente, Punta Prieta es muy similar en términos estructurales, de profundidad y por su valor como hábitat de peces. Ambos lugares se caracterizan por sus corrientes marinas muy fuertes y cambiantes, lo que los hace peligrosos para el buceo recreacional. La región de Punta Rociada también tiene un valor importante como hábitaculo de crianza de pulpos y langostas.

*Costa este del Cayo Luis Peña (LPE):* Esta área geográfica cubre toda la costa este del Cayo Luis Peña (Figuras 10, 43, 44 y 45), desde Punta Prieta (Figura 43), hasta la playa localizada al este-sureste del Cayo (Figura 43 y 45). Esta zona tiene una extensión de 25.80 ha (Tabla 8), el equivalente de 5.43% de la superficie total de la RNCLP (Figura 19). Ésta tiene una forma semi-rectangular alargada y sus profundidades fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 15 m (50 pies) de profundidad. Los tipos de hábitaculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 10.06 ha de hierbas marinas continuas, 4.86 ha de pavimentos colonizados, 3.50 ha de fondos rocosos colonizados, 3.02 ha de arrecifes lineares, 1.86 ha de fondos arenosos, 1.61 ha de hierbas marinas con una cobertura de 70 a 90%, y 0.89 ha de fondos de planicies de macroalgas de baja cobertura (10-50%). En esta área se han identificado 73 especies de corales (28 octocorales, 4 hidrocorales y 41 escleractínios). Esta es la mayor riqueza de especies

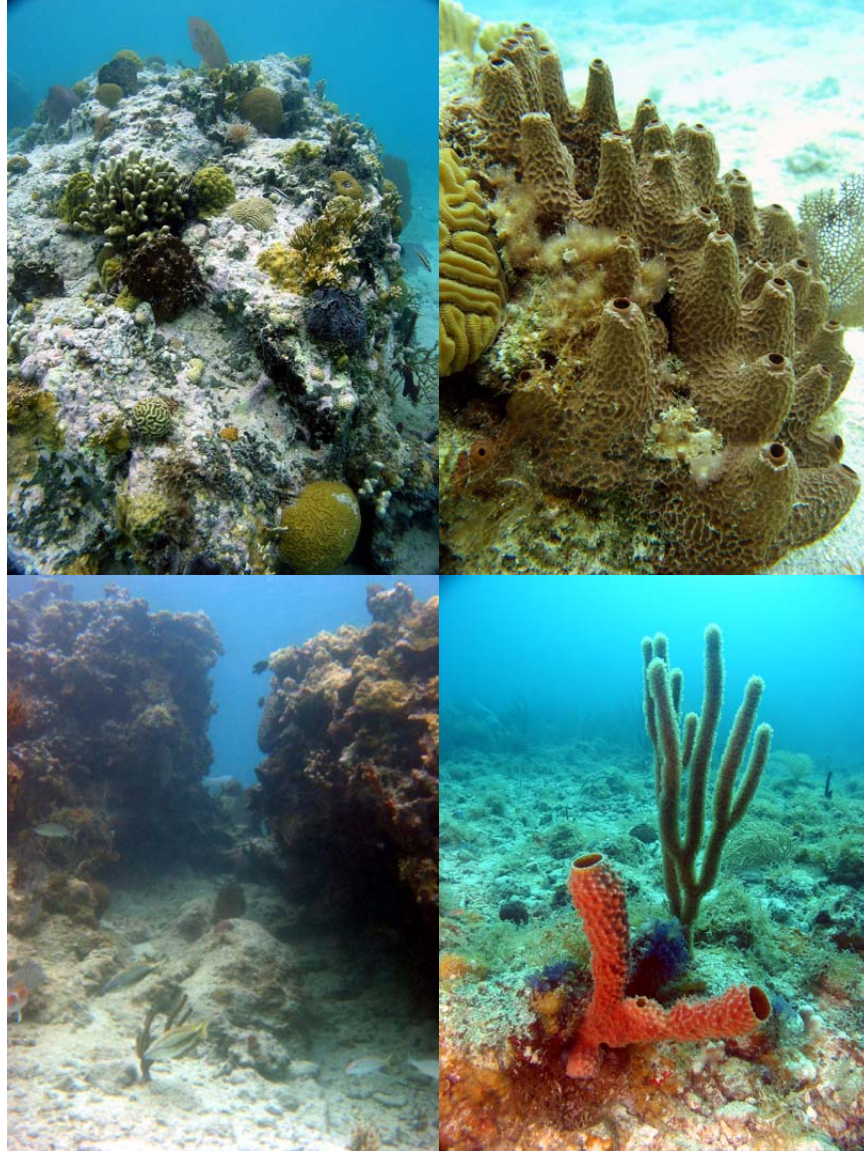


FIGURA 42. Comunidades marinas de la costa norte del Cayo Luis Peña. Desde la izquierda al tope: A) Comunidad coralina sobre sustrato rocoso bordeando la costa (1.5 m); B) Esponja, *Verongula rigida*, las esponjas son uno de los grupos dominantes sobre el fondo rocoso colonizado en esta área (5 m); C) Vista parcial de uno de los canales del pavimento colonizado (6 m); y D) Detalle de la esponja *Callyspongia vaginalis*, junto al octocoral *Plexaurella nutans* y al Tunicado de Campana Azul, *Clavelina puerto-secensis* creciendo sobre el fondo rocoso colonizado con canales (8 m).

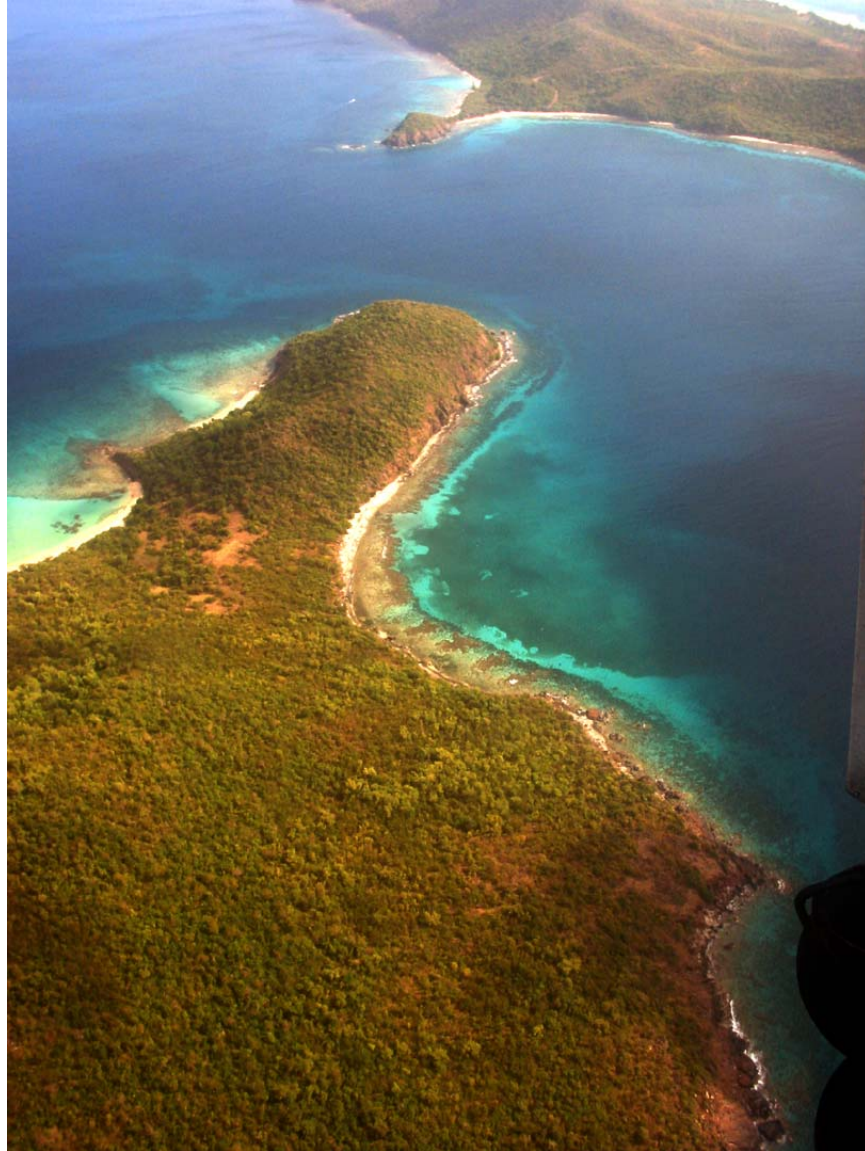


FIGURA 43. Costa este-noreste del Cayo Luis Peña.



FIGURA 44. Comunidades marinas de la costa este-noreste del Cayo Luis Peña. Desde la izquierda al tope: A) Pez Arrayo Mulita, *Haemulon aurolineatum*, sobre pavimento coralino (7 m); B) Mero Cherna o Blanco, *Epinephelus striatus* (10 m); C) Sistema de surcos y espolones de un arrecife lineal (8 m); D) Pargo Perro, *Lutjanus griseus* (8 m); E) Detalle del arrecife lineal en una zona de alta densidad de abanicos de mar, *Gorgonia* spp., nótese una Barracuda, *Sphyraena barracuda*, mostrando una fase de coloración de camuflaje con el sustrato (6 m); y F) Detalle de los pavimentos colonizados dominados por los octocorales, por ejemplo, *Plexaura homomalla* (8 m).

de corales de cualquiera de las áreas, seguida por Playa Carlos Rosario, con 71 especies. Esto representa un 88.0% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 90.3% de los octocorales, 100% de los hidrocorales y 85.4% de los escleractínios. Esta área sostiene una comunidad de hierbas marinas de extremo valor sosteniendo poblaciones del Carrucho, *Strombus gigas*. Además, sus comunidades arrecifales con una tridimensionalidad estructural alta sostienen poblaciones numerosas de peces.

*Cayo Luis Peña-Sureste (LPS)*: Esta área geográfica cubre toda la costa sureste del Cayo Luis Peña y demarca ese límite de la RNCLP (Figuras 10, 45 y 46), desde la pequeña playa al este del Cayo hasta la Punta del Este. Esta zona tiene una extensión de 30.69 ha (Tabla 8), el equivalente de 6.46% de la superficie total de la RNCLP (Figura 19). Ésta tiene una forma semi-rectangular y sus profundidades fluctúan desde la orilla de la costa hasta unos 27 m (90 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 11.44 ha de pavimentos colonizados, 7.78 ha de arrecifes lineares, 6.43 ha de fondos de planicies de macroalgas de baja cobertura (10-50%), 3.08 ha de fondos rocosos colonizados, 1.06 ha de hierbas marinas con una cobertura de 30 a 50%, y 0.90 ha de fondos arenosos. En esta área se han identificado 67 especies de corales (21 octocorales, 4 hidrocorales y 42 escleractínios). Esto representa un 80.7% de la riqueza total de especies de la RNCLP, incluyendo un 67.7% de los octocorales, 100% de los hidrocorales y 87.5% de los escleractínios. Esta zona sostiene uno de los sistemas arrecifales mejor desarrollados de toda la RNCLP, proveyendo hábitáculos para el reclutamiento de peces, a la vez, sosteniendo poblaciones importantes de peces adultos de importancia comercial en sus zonas más profundas.



FIGURA 45. Costa este-sureste del Cayo Luis Peña. En primer plano, Punta del Este, zona que marca el límite suroeste de la RNCLP.



FIGURA 46. Comunidades marinas de la costa este-sureste del Cayo Luis Peña. Desde la izquierda al tope: A) Pulpo de Arrecifes, *Octopus briareus* (15 m); B) Escuela del Arrayao Mulita, *Haemulon aurolineatum* (14 m); C) Detalle del sistema de surcos y espolones del arrecife lineal (6 m); D) Detalle de colonia del Coral Estrella, *Montastraea annularis* durante un evento de desove masivo de gametes (4 m); E) Buzo realizando un censo visual de peces en el arrecife lineal (8 m); y F) Mero Cherna o Blanco, *Epinephelus striatus*.

*Punta del Este (PDE)*: Esta región específicamente es la localizada en el extremo suroeste de la RNCLP (Figuras 10, y 47-50). Sus características principales se describieron como parte del área anterior, aunque esta incluye un litoral rocoso de amplio desarrollo, un arrecife rocoso extenso, pavimentos colonizados profundos y partes de un arrecife lineal. Esta zona se extiende hacia el sur y sureste hasta una profundidad de 27 m (90 pies) en una zona que se conoce localmente como *El Cayito Hondo (ECH)* (Figura 10). La misma constituye uno de los hábitáculos más importantes para especies con valor comercial, incluyendo tiburones. A la misma vez, ha sido una de las zonas más controversiales en cuanto a los incidentes de pesca ilegal dentro de la RNCLP, incluyendo el establecimiento clandestino de palangres para la captura de tiburones.

*Canal Luis Peña-Sur (CLP-S)*: Esta área geográfica se localiza en el medio del Canal de Luis Peña, justo en el margen sur de la RNCLP (Figura 10). La misma tiene una forma aproximadamente cuadrada y está rodeada al este por Bahía Tarja y Punta Melones, al norte por Bajo Magoyo y por el área central del Canal Luis Peña, al oeste por las áreas este y sureste del Cayo Luis Peña, y al sur por la Sonda de Vieques. Su área superficial es la de mayor extensión en la RNCLP con 102.46 ha (Tabla 8), el equivalente de 21.58% de su superficie total (Figura 19). Sus profundidades fluctúan desde aproximadamente 9 m (30 pies) hasta unos 29 m (96 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 78.30 ha de planicies de macroalgas de baja cobertura (10-50%), las cuales se desarrollan sobre fondos que varían entre pavimentos, rocas aisladas y arena, difíciles de separar en un mapa. Además, existen unas 20.28 ha de hierbas marinas continuas, 3.29 ha de un arrecife de parcho desarrollado sobre un promontorio rocoso y 0.59 ha de fondos arenosos. Esta zona

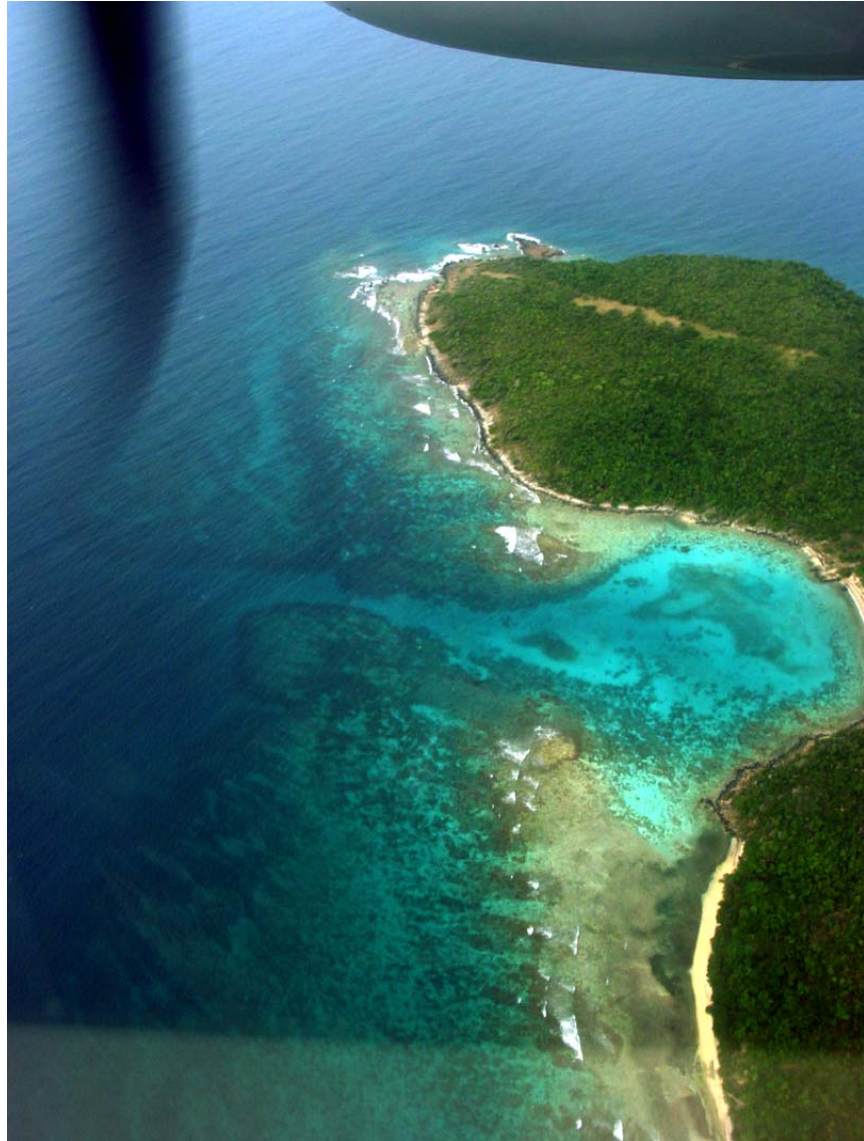


FIGURA 47. Punta del Este, Cayo Luis Peña (mirando hacia el sur).

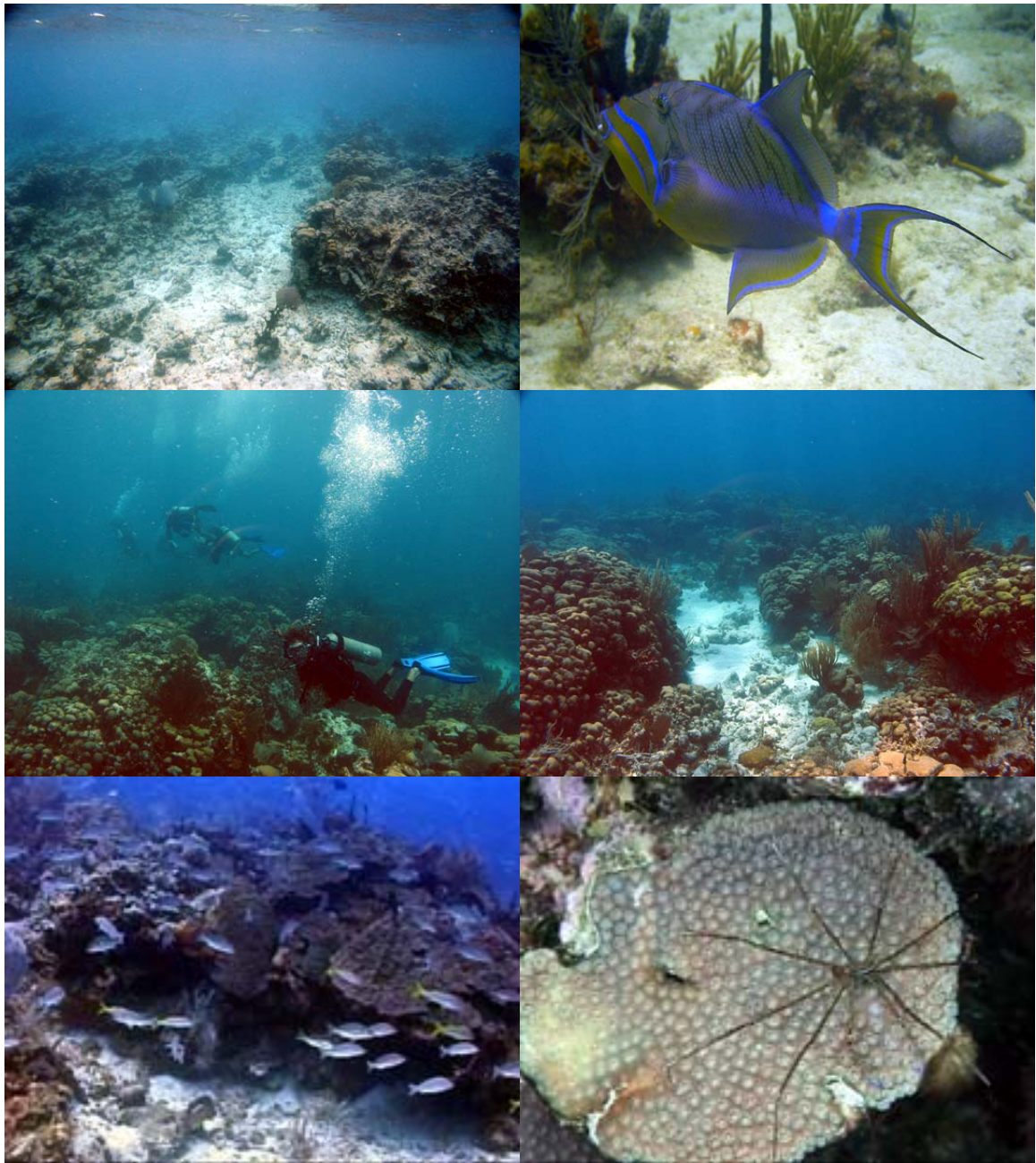


FIGURA 48. Comunidades marinas de la costa este-sureste del Cayo Luis Peña. Desde la izquierda al tope: A) Zona del Coral Cuerno de Alce, *Acropora palmata*, desstruída por el efecto de huracanes (3 m); B) Peje Puerco, *Balistes vetula* (13 m); C) Buzos recreacionales en el arrecife lineal (7 m); D) Sistema de surcos y espolones del arrecife lineal (8 m); E) Detalle de uno de los sistemas de surcos y espolones dominados por el coral *Montastraea* spp. (7 m); y F) Cangrejo Araña, *Stenorhynchus seticornis*, sobre una colonia del Coral Estrella, *Montastraea faveolata* (8 m).



FIGURA 49. Punta del Este, Cayo Luis Peña.

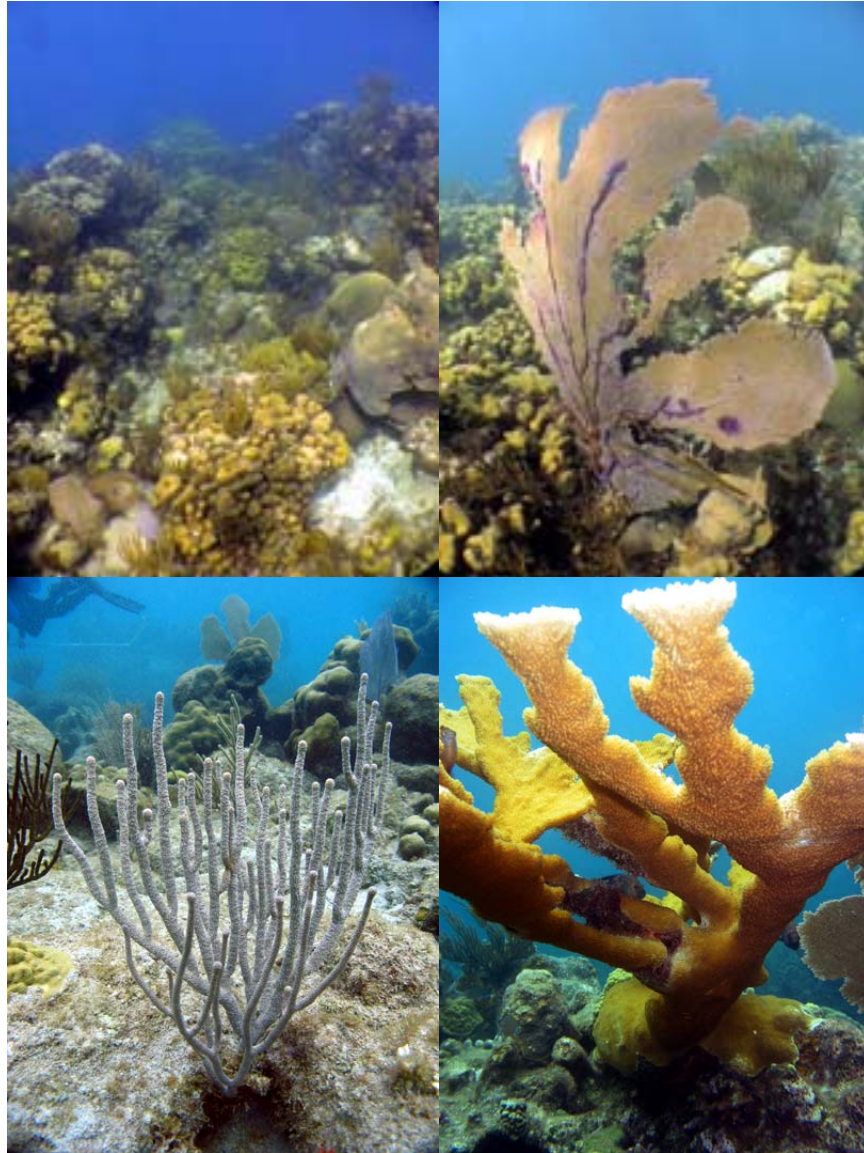


FIGURA 50. Comunidades marinas de Punta del Este, Cayo Luis Peña. Desde la izquierda al tope: A) Porción el arrecife lineal dominado por el Coral Estrella, *Montastraea annularis* (7 m); B) Abanico de mar, *Gorgonia ventalina* (6 m); C) Octocoral, *Pseudoplexaura* sp. creciendo sobre el pavimento colonizado (10 m); y D) Colonia del Coral Cuerno de Alce, *Acropora palmata* (3 m).

sostiene poblaciones significativas del Carrucho, *Strombus gigas*. La otra característica de esta área es la presencia de una comunidad arrecifal profunda. Un arrecife de parcho con cierto grado de estructuración se desarrolla cerca del centro del Canal sobre un promontorio rocoso, cuya profundida fluctúa entre 13 m (42 pies) y 29 m (96 pies). El mismo es un habitáculo muy valioso para la Langosta, *Pannulirus argus*. Esta área se caracteriza, además, por sus corrientes marinas muy fuertes y cambiantes, particularmente, con las fluctuaciones mareales. Al presente, no se ha preparado un inventario de especies para esta área.

*Canal Luis Peña-Centro (CLP-C)*: Esta área geográfica se localiza justo en el centro del Canal de Luis Peña (Figura 10, 51 y 52). La misma tiene una forma aproximadamente rectangular parcialmente torcida hacia la izquierda y está rodeada al este por Bahía Tamarindo-Sur, por el norte por Bahía Tamarindo-Norte, por el oeste por el Canal Luis Peña-Norte, por una porción mínima del área norte del Cayo Luis Peña, al oeste por el área este del Cayo Luis Peña y por el sur por el segmento sur del Canal Luis Peña y por el Bajo Magoyo. Su área superficial alcanza 57.09 ha (Tabla 8), el equivalente de 12.02% de su superficie total (Figura 19). Sus profundidades fluctúan desde aproximadamente 9 m (30 pies) y 18 m (60 pies) de profundidad. Los tipos de habitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 27.70 ha de pavimentos colonizados, mezclados con zonas de rocas dispersas y bolsillos de fondos arenosos, 15.42 ha de planicies de macroalgas de baja cobertura (10-50%), las cuales se desarrollan sobre fondos que varían entre pavimentos, rocas aisladas y arena, difíciles de separar en un mapa. Además, existen unas 13.74 ha de hierbas marinas continuas y 0.23 ha de comunidades de hierbas marinas con una cobertura de 70 a 90%. Estos fondos tienen un valor similar al descrito arriba para la porción sur del Canal.



FIGURA 51. Vista parcial del Canal Luis Peña. Nótese al este la Bahía Tamarindo.



FIGURA 52. Comunidades marinas del Canal Luis Peña. Desde la izquierda al tope: A) Medusa, *Aurelia aurita* (2 m); B) Mero Cabrilla, *Epinephelus guttatus*, sobre pavimento colonizado (15 m); C) Fondo arenoso de la planicie de macroalgas con varios especímenes del Congre Jardinero, *Heteroconger longissimus* (12 m); D) Planicie de algas mezclada con algunas hierbas marinas (18 m); E) Carey de Concha, *Eretmochelys imbricata* sobre el pavimento coralino (13 m); y F) Chucho, *Aetobatis narinari*, sobre el pavimento coralino.

*Canal Luis Peña-Norte (CLP-N)*: Esta área geográfica se localiza justo en el extremo norte del Canal de Luis Peña (Figura 10). La misma tiene una forma aproximadamente triangular y está rodeada al este por la porción central del Canal Luis Peña y Punta Tamarindo Grande, al noreste por Playa Carlos Rosario y la Península Flamenco-Oeste, al oeste por el Océano Atlántico, y al sur por el área de la costa norte del Cayo Luis Peña. Su área superficial se extiende por 85.98 ha (Tabla 8), el equivalente de 18.11% de su superficie total (Figura 19). Sus profundidades fluctúan desde aproximadamente 9 m (30 pies) y 20 m (72 pies) de profundidad. Los tipos de hábitáculos predominantes en esta zona (Figura 14) incluyen 30.17 ha de comunidades de hierbas marinas continuas, 29.79 ha de pavimentos colonizados, 21.70 ha de planicies de macroalgas de baja cobertura (10-50%), las cuales se desarrollan sobre fondos que varían entre pavimentos, rocas aisladas y arena, difíciles de separar en un mapa. Además, existen 2.37 ha de comunidades de hierbas marinas con una cobertura de 70 a 90%, 1.91 ha de fondos de corales y rocas dispersas y 0.04 ha de fondos de pavimentos colonizados con canales. Estos fondos tienen un valor similar al descrito arriba para la porción sur y central del Canal. Hay una zona al sur de esta área que determina la colindancia entre ésta y el área central del Canal que se caracteriza por la presencia de una extensión de roca basáltica de aproximadamente 9 m (30 pies) a 12 m (40 pies) de profundidad, la cual es una zona de agregación de peces muy importante, inclusive, agregaciones para la reproducción del Pez Capitán, *Lachnolaimus maximus*. Esta zona ha sido, históricamente, una de las zonas más conocidas de Culebra por el avistamiento de tiburones.

## Conclusiones

Este documento complementa una serie de documentos técnicos como parte del proceso de desarrollo del *Plan de Manejo para la Reserva Natural del Canal Luis Peña*. El mismo constituye el trabajo descriptivo más completo conocido sobre las comunidades marinas principales de la RNCLP. En éste se brinda información general sobre las características geográficas principales, extensión superficial y batimétrica, descripción cualitativa de los hábitáculos benthicos que la componen y su localización en un mapa. Además, se desarrolló un sistema de subdivisión de la RNCLP en 15 áreas geográficas naturales, las cuales se describieron utilizando los criterios indicados arriba. Para cada una de éstas se incluyeron fotos aéreas de baja altura (152-366 m; 500-1,200 pies) y un panel de fotos submarinas representativas. En total, se identificaron 15 tipos de hábitáculos benthicos y 3 comunidades litorales. Ésto confirma la importancia biológica de la RNCLP y su representatividad de las comunidades marinas para esta región del Caribe.

Mediante el uso de métodos estadísticos multi-variables se detectaron diferencias estadísticamente significativas (ANOSIM 1-vía; Estadística Global= 0.104; Significancia= 2.5%) en los patrones espaciales de clasificación y distribución de los hábitáculos benthicos por área geográfica entre el mapa de NOAA (Kendall et al., 2001) y el mapa nuevo propuesto en este estudio. A nuestro conocimiento, ésta es la primera vez que se aplica dicho análisis a la comparación de mapas, herramienta que puede permitir detectar las diferencias entre mapas, a la vez de identificar cuáles de los componentes espaciales son los que han mostrado mayor variación y pueden explicar dichas diferencias. En este caso, las diferencias entre ambos mapas

se debieron principalmente a la identificación incorrecta originalmente de parte de los hábitculos de hierbas marinas continuas, fondos rocosos colonizados, pavimentos colonizados, planicies de macroalgas de baja cobertura y los arrecifes lineares. La verificación en el campo permitió corregir algunos errores de clasificación de los hábitculos, lo cual facilitará su identificación en el campo para propósitos de planificación, zonificación e implementación de medidas de manejo.

### **Agradecimientos**

Este estudio se llevó a cabo a través del contrato 133-03-000516 gracias al apoyo financiero del National Marine Fisheries Service (NOAA) a través de la propuesta *Protection of Coral Reefs in Culebra, Puerto Rico*, la cual se implementó a través del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA). Parte de los datos de campo se colectaron gracias al apoyo logístico brindado en diferentes etapas por la Asociación de Pescadores de la Isla de Culebra, el Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico, la Iniciativa de Arrecifes de Coral, el DRNA, Coralations y la colaboración de personal voluntario, principalmente, Bernard Rosado, Jean Lassus y Carlos Toledo. Todas las fotos son del autor, a excepción de la foto en la Figura 2, provista por Ian James, y de las siguientes fotos provistas por Samuel Suleimán: Figuras 26a,b; 46e; 48e; y 52e,f.

## Literatura citada

- Bray, J.R., & J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27:325-349.
- Cintrón, G., H.W. Perl, M. Benton, C.M. Cham, & B.B. Cintrón. 1974. Ensenada Honda (Culebra, Puerto Rico) biology and gross oceanographic description. Primer Simposio del Departamento de Recursos Naturales, San Juan, PR, 29 de agosto de 1974. p. 61-71.
- Clarke, K.R., & R.M. Warwick. 2001. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2<sup>nd</sup> Ed. PRIMER-E, Ltd., Plymouth Marine Laboratory, UK.
- Hernández-Delgado, E.A. 1994a. Qualitative and quantitative assessment of the coral reef and hard ground communities of Punta de Maguey, Culebra, and west of Punta Campanilla, Vieques, Puerto Rico. I. Evaluating the possible effects of constructing an underwater pipeline from Vieques to Culebra. Report submitted to Puerto Rico Industrial Mission, Inc., May 31, 1994. 31 pp. + App.
- Hernández Delgado, E.A. 1994b. Informe de observaciones de campo sobre el estado del vertedero de la Isla de Culebra y de los sistemas naturales circundantes con mayor énfasis en los arrecifes de coral. Informe sometido a Servicios Científicos y Técnicos, Inc., 19 de agosto de 1994. 22 pp. + App.
- Hernández-Delgado, E.A. 2000. Effects of anthropogenic stress gradients in the structure of coral reef fish and epibenthic communities. Ph.D. Dissertation, Dept. Biology, University of Puerto Rico, San Juan, P.R. 330 pp.
- Hernández-Delgado, E.A., & A.M. Sabat. 1998. Ecological status of essential fish habitats through an anthropogenic environmental stress gradient in Puerto Rican coral reefs. *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.* 51:457-470.
- Hernández-Delgado, E.A., L. Alicea-Rodríguez, C.G. Toledo-Hernández, & A.M. Sabat. 1998. Baseline characterization of coral reef epibenthic and fish communities within the proposed Culebra Island Marine Fishery Reserve, Puerto Rico. *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.* 51:537-556.
- Hernández-Delgado, E.A., M.A. Lucking, J. Márquez, K. García, C. Martínez-Rubio, D. Martínó, J. Lassus, C. López, & E. Acosta. 2002. Status of the shallow-water seagrass communities and Conch populations within the Luis Peña Channel Marine Fishery Reserve, Culebra Island, Puerto Rico. Tech. Report submitted to the Caribbean Fishery Management Council, NOAA. San Juan, P.R. 54 pp. + App.

- Hernández-Delgado, E.A., y B.J. Rosado-Matías. 2003. Suplemento técnico al Plan de Manejo para la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, Puerto Rico. II. Inventario biológico. Informe técnico sometido al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 30 de agosto de 2003.
- Instituto de Estudio Ambiental (IDEA). 1970. Informe sobre Culebra del Instituto de Estudio Ambiental, Colegio de Abogados, San Juan, P.R. 20 pp.
- Kendall, M.S., M.E. Monaco, K.R. Buja, C.R. Kruer, M. Finkbeiner, & R.A. Warner. 2001. (CD-ROM). *Methods Used to Map the Benthic Habitats of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*. U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, National Center for Coastal Ocean Science Biogeography Program. 46 pp.
- Pagán-Villegas, I.M., E.A. Hernández-Delgado, & V.P. Vicente. 1999. Documento de designación de la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, San Juan, P.R., 21 de mayo de 1999.
- Vicente, V.P. 1995. Reserva Marina Flamenco/Luis Peña, Isla de Culebra. Informe sometido a la Oficina del Alcalde, Administración Municipal de Culebra, Culebra, P.R., 19 de abril de 1995. 18 pp.