

## AVANCES EN EL DISEÑO DE UNA RED DE ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS: ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN PARA EL NORTE DEL CARIBE CONTINENTAL COLOMBIANO

David Alonso C.<sup>1</sup>, Carolina Segura-Quintero<sup>1</sup>, Paula Castillo-Torres<sup>1</sup> y José Gerhartz-Muro<sup>2</sup>

- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), Cerro Punta Betún, A.A. 1016, Santa Marta, Colombia. dalonso@invemar.org.co (D.A.C.); csegura@invemar.org.co (C.S.Q.); pcastillete@hotmail.com (P.C.T.)*
- World Wildlife Fund (WWF), Miramar Trade Centre, 5ta Ave. y 78 Miramar-Playa, La Habana, Cuba. jgerhartz@wwfcanada.org*

### RESUMEN

El establecimiento de redes de áreas marinas protegidas (AMP) ecológicamente representativas es una importante herramienta de manejo con que se cuenta para proteger la biodiversidad y regular el uso de los recursos naturales marinos y costeros. Este trabajo tuvo como objetivo principal aportar elementos para el futuro diseño de una red de AMP para el norte del Caribe continental colombiano. Con la participación de expertos nacionales se identificaron 51 objetos de conservación (OdC) a diferentes niveles de organización biológica (sistemas ecológicos, comunidades ecológicas relevantes y especies) y sitios de importancia arqueológica, histórica y cultural indígena. Para cada uno de estos objetos se definieron metas de conservación cuantitativas por estrato o sistema costero (Tayrona, Palomino y Guajira), a partir de la evaluación de cuatro criterios (tipo de objeto, abundancia, condición actual y vulnerabilidad). Las metas finales determinadas para cada OdC fueron de  $\leq 10$ , 30, 60 y 100%. Por último, a través de un sistema soporte de decisiones (SSD) llamado MARXAN, se identificó un portafolio con 63 sitios prioritarios de conservación equivalentes a un área de 129964 ha, de las cuales 71971 ha corresponden a 32 sitios considerados para ser parte de la red, al ser aplicados sobre estos criterios ecológicos de representatividad, heterogeneidad de hábitats, naturalidad y etapas de vida vulnerables. Este conjunto de áreas constituye una guía para una futura “planificación de sitio” más detallada, donde se deberán aplicar criterios sociales, económicos y político-administrativos con el fin de proponer el tipo de categoría de manejo más adecuada y estrategias de conservación específicas, para implementarlas en el corto y mediano plazo. Los sitios identificados adyacentes a las áreas protegidas existentes deberán ser tomados en cuenta como elementos de análisis para ampliar y re-alindar dichas áreas hacia la porción marina principalmente.

**PALABRAS CLAVE:** Red de áreas marinas protegidas, MARXAN, Planificación en conservación, Criterios ecológicos, Caribe colombiano.

---

Contribución No. 1010 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR



## ABSTRACT

**Marine protected areas network design: Conservation strategy for the Colombian northern continental Caribbean.** Ecological representative marine protected areas (MPA) establishment is an important management tool for natural marine and coastal resources use regulation and biodiversity protection. Through a systematized selection process using MARXAN decision support system (DSS), the first Colombian Northern Caribbean MPA network was designed. Fifty-one conservation targets at different biological organization levels (ecosystems, communities and species) as well as archeological, historical, and indigenous cultural important sites were identified based on national expert knowledge. Target and coastal systems (Tayrona, Palomino, and Guajira) quantitative conservation goals were established using four criteria: type, abundance, natural condition, and vulnerability. Conservation goals ranged between  $\leq 10$ , 30, 60, and 100%. A portfolio with 63 priority conservation sites, equivalent to an area of 129964 ha, was identified. Based on their high representativeness, habitat heterogeneity, naturalness, and vulnerable life stages 32 sites (71971 ha) were selected above all to be included in the MPA network. Follow up detailed "planning site" is now required to identify boundaries, short and middle time conservation strategies and adequate national category management type proposal. Priority conservation sites adjacent to existing protected areas are suggested as extendable areas over the submerged boundaries.

**KEY WORDS:** Marine protected areas network, MARXAN, Conservation planning, Ecological criteria, Colombian Caribbean.

## INTRODUCCIÓN

El establecimiento de áreas marinas protegidas (AMP) y la creación de redes constituyen herramientas promisorias para el ordenamiento costero y son un mecanismo vital para afrontar las diversas amenazas (Salm *et al.*, 2000). El bajo nivel de desarrollo de éstas áreas a nivel mundial, en comparación con las terrestres, indica que son insuficientes, ya que menos del 1% del océano del mundo se encuentra protegido y una tercera parte de éste porcentaje se encuentra en dos grandes AMP, el Parque Marino de la Gran Barrera Arrecifal (Australia) y la Reserva de Arrecifes Coralinos del noroeste de las Islas de Hawai (Estados Unidos) (Roberts y Hawkins, 2000; Vierros, 2004). A través de los últimos años, la literatura científica ha aumentado en la definición de criterios ecológicos para el diseño de redes de AMP; sin embargo, no existe mucha información y métodos específicos de cómo aplicarlos (Hockey y Branch, 1997; Day y Roff, 2000; Roberts *et al.*, 2003a, 2003b).

En 2004, las Partes del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) se reunieron en la denominada COP-7 (Kuala Lumpur, Malasia), con la finalidad de discutir, por primera vez en sus doce años de existencia, el tema de las áreas protegidas, con lo cual se adoptó, mediante la Decisión 28 (COP-7/28), apoyar el establecimiento y mantenimiento de

sistemas nacionales y regionales de áreas protegidas completos, eficazmente gestionados y ecológicamente representativos al 2010 para las zonas terrestres y al 2012 para las marinas. En Colombia, el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) cuenta en la actualidad con 12 áreas marinas y/o costeras protegidas (1'302458 ha), abarcando menos del 0.5% del territorio marino nacional, lo cual resulta insuficiente para proteger la representatividad ecosistémica marina y costera, de acuerdo con los compromisos internacionales y las metas propuestas por el CDB (Alonso, 2005). No obstante, este porcentaje ha aumentado a un 8% con la reciente declaración por parte del Ministerio de Ambiente, de un sistema regional de AMP dentro de la Reserva de Biosfera Sea Flower con 65000 km<sup>2</sup> (Acuerdo 21 de 2005) y un AMP en los Archipiélagos de Corales del Rosario y San Bernardo con 5586 km<sup>2</sup> (Resolución 679 de 2005) (INVEMAR-TNC, 2007).

Aunque las AMP individuales presentan ventajas, estas son limitadas, dado que protegen una fracción restringida de la riqueza marina y costera, su función óptima se obtiene cuando forman parte de una red de áreas efectivas y bien manejadas que permite que los recursos de biodiversidad se conserven mejor (SCBD, 2004). Desde el punto de vista ecológico, una red es un sistema coherente de elementos de paisajes naturales y/o seminaturales, que están manejados con el objetivo de mantener o restaurar las funciones ecológicas como medio para conservar la biodiversidad, creando al mismo tiempo oportunidades apropiadas para el uso sostenible de los recursos naturales (Bennett y Wit, 2001). Ballantine (1997) y Roberts y Hawkings (2000) resumen la importancia de una red de AMP basados en: (1) las AMP aisladas solamente podrán proteger fracciones limitadas de la biodiversidad marina; (2) las AMP individuales pueden sostener las poblaciones y reclutamiento de especies que se dispersan cortas distancias, pero se necesitan redes para proteger muchas de las especies que se dispersan por largas distancias; (3) las AMP necesitan estar bastante cercanas para que las poblaciones protegidas puedan interactuar mediante la dispersión, siendo la distancia ideal menos de unas cuantas decenas de kilómetros. Un análisis de brechas de representatividad en el SPNN llevado a cabo por Alonso *et al.* (2005) para el Caribe continental colombiano, identificó vacíos importantes de conservación en ecosistemas estratégicos como los estuarios, lagunas costeras, formaciones coralinas y pastos marinos de la plataforma continental del norte del Caribe, identificando la necesidad en el corto plazo de crear AMP y proteger un porcentaje representativo en este sector.

El objetivo del presente estudio es avanzar en el diseño de una red de áreas marinas protegidas en el norte del Caribe colombiano, a través de un proceso sistemático de planificación, partiendo del conocimiento científico existente y el criterio de expertos nacionales, con el propósito de aportar los primeros insumos a la construcción de un verdadero sistema representativo de AMP. Con el fin de abordar el diseño conceptual



de la red, se establecieron tres objetivos principales a alcanzar en la construcción de la misma: (1) contribuir a la sostenibilidad de los recursos biológicos aprovechables, (2) proteger la representatividad de la biodiversidad marina y costera y (3) proteger sitios de importancia cultural e histórica.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarca una extensión de 13159 km<sup>2</sup> y está localizada dentro de las coordenadas 74° 15' 25.9'' W, 11° 10' 35.7'' N y 71° 6' 27.4'' W, 12° 39' 17.0'' N, comprende la zona costera de los departamentos de La Guajira y Magdalena, desde Castilletes hasta punta Gloria, más exactamente los sistemas costeros Tayrona (TAY), Palomino (PAL) y Guajira (GUA), definidos por un ejercicio de clasificación realizado por INVEMAR (2000), que delimitó varias unidades fisiográficas, cuya identidad está basada en una combinación de hábitats particular, fundamentada por sus condiciones biofísicas. El límite terrestre se ajustó de acuerdo con la definición de zona costera colombiana, que se extiende hasta una línea paralela a la costa a dos kilómetros de distancia tierra adentro, considerando siempre los siguientes cuatro criterios (MMA, 2000): 1) el 100% de la cobertura espacial de los bosques de manglar, más dos kilómetros a partir del borde externo del bosque; 2) para el caso de lagunas costeras sin bosques de manglar asociados, dos kilómetros a partir de la línea de cota máxima de nivel en el margen exterior del sistema lagunar; 3) los terrenos emergidos de todas las áreas declaradas como áreas protegidas marino costeras o costeras, pertenecientes al SPNN y sus zonas de amortiguación, y 4) todos los centros urbanos costeros, más dos kilómetros desde el borde más externo del perímetro urbano. Hacia mar adentro se tuvo en cuenta el límite de la isóbata de los 200 m de profundidad (plataforma continental). Adicionalmente el área de estudio se extendió en algunos lugares hasta la cobertura de bosque seco tropical, donde existía información de su distribución espacial. En este sector se encuentran tres de las áreas protegidas del SPNN, el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), el Parque Nacional Natural de la Sierra Nevada de Santa Marta (PNN SNSM) y el Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos (SFFF).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como esquema general se tuvo en cuenta la metodología de planificación ecorregional para la conservación de sitios, propuesta por Groves *et al.* (2000), adecuada y complementada para el diseño de redes de AMP por varios autores (Day y Roff, 2000;

Beck y Odaya, 2001; Roberts *et al.*, 2003a; Vierros, 2004), desarrollando y validando cada uno de los pasos y resultados a través de talleres con grupos de expertos nacionales.

### **Selección de objetos de conservación**

La identificación y selección de los objetos de conservación (OdC) o elementos de diversidad biológica que serán el foco del esfuerzo de planificación para el diseño de la red, se llevó a cabo a tres niveles de organización biológica (sistemas ecológicos, comunidades ecológicas relevantes y especies), con el fin de abarcar un espectro más amplio de la biodiversidad y algunos procesos ecológicos que la contienen. Así mismo, la selección debería cumplir siempre las siguientes premisas: (1) maximizar la representatividad de la diversidad del área, (2) presentar alguna protección legal especial [manglares, especies en alguna categoría de amenaza de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) definidas en Colombia a través de los libros rojos] y (3) describir elementos en declive o desaparición a corto y mediano plazo y/o elementos raros o poco comunes. Por otra parte, para cumplir con el tercer objetivo propuesto por la red se seleccionaron sitios de importancia arqueológica, histórica y cultural indígena.

La cartografía utilizada para definir la cobertura y distribución de los OdC fue obtenida del Sistema de Información Ambiental Marino de Colombia (SIAM) del INVEMAR, la cual se encontraba a múltiples escalas desde 1:5000 hasta 1:100000 para los diferentes objetos (Anexo A). Toda la información fue analizada con ayuda del Software ArcGIS 9.0 y su distribución espacial fue corroborada con grupos de expertos nacionales y otros grupos de investigación en comunidades bentónicas (formaciones coralinas, manglares, fondos sedimentarios), mamíferos marinos, reptiles, aves, recursos pelágicos y antropológicos, entre otros.

### **Definición de metas de conservación y amenazas**

Para cada OdC se definió una meta de conservación por sistema costero, abarcando la variabilidad espacial del objeto y asegurando su persistencia en el tiempo. La definición de metas se llevó a cabo a partir de la evaluación de cuatro criterios, a saber: (1) si el objeto era un sistema ecológico, (2) la abundancia del objeto, (3) su condición actual como sustituto de la viabilidad (evaluación de tamaño, condición y contexto paisajístico) y (4) la vulnerabilidad. El resultado final fue la calificación promedio de los cuatro criterios, generando valores de  $\leq 10$ , 30, 60 y 100% definidos por los expertos. Para los objetos de sitios de importancia arqueológica, histórica y cultural indígena, se aplicaron metas por defecto a partir del juicio de los expertos.

Como amenazas de origen antrópico se identificaron la contaminación por coliformes fecales, los sólidos suspendidos totales, la pesca industrial de arrastre de



camarón, la pesca artesanal con chinchorro, los muelles y puertos, el desarrollo poblacional e infraestructura (turismo de alto y bajo impacto). La amenaza de origen natural fue únicamente el efecto de cambio climático por ascenso rápido en el nivel del mar. Las cuales fueron evaluadas de acuerdo con el grado de intensidad e impacto sobre los OdC e incluidas en el análisis como un costo adicional que condiciona la selección de un sitio para su futura conservación.

### **Selección de sitios y diseño de la red**

Para la selección final de sitios, se utilizó un sistema de soporte de decisiones (SSD) o software llamado MARXAN (versión 1.8.2) diseñado en Australia por Ball y Possingham (2000). Se definió una grilla de 20260 unidades de planificación (UP) cada una de 65 ha y forma hexagonal como unidad de análisis debido al tamaño relativo de los objetos de conservación en relación a las UP. De modo que OdC con poca extensión (p. ej. arrecifes coralinos, algas calcáreas, entre otros) no quedarán sobreestimados en cuanto a cobertura.

El costo total de una UP equivale al que tiene cada hexágono por entrar en el modelo (equivalente a su área en ha), más la sumatoria de las amenazas (naturales o antrópicas) que se presentan en cada una, distribuidas espacialmente de acuerdo con el diámetro o alcance desde su fuente de origen y grado de afectación (alto, medio o bajo). El uso de algoritmos heurísticos en MARXAN, como el de recombinación simulada (simulated annealing), optimiza la selección automáticamente de todas aquellas UP que cumplan con las metas de conservación preestablecidas con menor costo. A diferencia de otros algoritmos empleados con el mismo fin, numerosos autores reconocen la potencia de este (McDonnell *et al.*, 2002; Stewart *et al.*, 2003).

La función objetiva utilizada es:

$$\text{Función objetiva} = \Sigma \text{costo} + \text{BLM} \Sigma \text{perímetro} + \Sigma \text{penalización}$$

Las definiciones de los términos de la función objetiva se presentan en la Tabla 1.

La selección del portafolio final utilizó dos salidas gráficas; una denominada la “mejor solución”, que muestra los sitios prioritarios de conservación y otra llamada la “solución sumada”, que presenta el número de veces en que cada UP es seleccionada durante el total de corridas establecidas. La “solución sumada” refleja la irremplazabilidad de algunas UP en el área de estudio, por lo que se aseguró que éstas fueran incluidas en la solución final y en el diseño mismo de la red de AMP; es importante tener en cuenta que este resultado puede ser utilizado como una herramienta útil en la toma de decisiones (Pressey *et al.*, 1994), ya que refleja sitios donde cualquier tipo de decisión sobre éstas, afectará el cumplimiento de las metas de conservación de manera importante.

Tabla 1. Definición de términos de la función objetiva utilizada por MARXAN

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
Costo	Se refiere al costo total de todas las unidades de planificación (UP) seleccionadas, el cual puede ser medido como el área de la UP, o el costo económico, social o una combinación de estos
Perímetro	Es la suma de los lados de una o de un grupo de UP seleccionadas
BLM (Boundary Length Modifier)	Corresponde al factor de modificación de la longitud del perímetro, el cual controla la importancia del perímetro, relativo al costo de las UP seleccionadas, en donde a mayor BLM menor fragmentación.
Penalización	Es un valor adicional de penalización en la función, sumado por cada meta que no se cumpla, basado en el costo y longitud de perímetro adicional necesario para cumplirlas

Las simulaciones se hicieron con 300 corridas con un millón de iteraciones cada una, evaluando diferentes niveles de agregación, con BLM entre 0.1 y 0.5. Las UP que cubren áreas urbanas, aeropuertos, puertos y camaroneras, marcadas previamente, fueron excluidas. Las tres áreas protegidas existentes también se marcaron, esta vez para que siempre fueran incluidas como parte del portafolio. Cada uno de los sitios seleccionados fueron calificados por cuatro criterios ecológicos, identificados por Roberts *et al.* (2003a, b): (1) representatividad, (2) heterogeneidad de hábitats, (3) naturalidad y (4) presencia de etapas de vida vulnerables.

## RESULTADOS

### Los objetos de conservación

En total se identificaron 51 OdC, a nivel de sistemas ecológicos intermareales, submareales, comunidades ecológicas relevantes, sitios de importancia histórica/arqueológica y cultural indígena (Tabla 2). En general, la mayor distribución de OdC se presentó en el sistema costero GUA con 41, seguido de TAY y PAL con 32 y 30 objetos, respectivamente. De ellos, 34 fueron sistemas ecológicos submareales, 13 corresponden a diferentes tipos de fondos sedimentarios (bioclástico y/o litoclástico) (CIOH, 1999). Otros 13 OdC fueron paisajes de formaciones coralinas (Díaz *et al.*, 2000), usualmente distribuidos en forma de mosaicos, que se distinguen entre sí, por la naturaleza física del sustrato (sedimentos, escombros coralinos, rocas) y por los componentes bióticos presentes (algas, fanerógamas, esponjas, abanicos de mar, entre otros).

Así mismo, se identificaron 12 OdC para las comunidades ecológicas relevantes, incluyendo áreas “cuello de botella” o de importancia en los ciclos ontogénicos de especies como áreas de crianza de langosta (86%), agregaciones reproductivas de pargos (75%),

Tabla 2. Abundancia (ha), cobertura (%) y porcentaje de meta de conservación (%) definida para cada objeto de conservación por sistema costero, Tayrona (TAY), Palomino (PAL), Guajira (GUA).

Objetos de Conservación	Sistemas Costeros			Total			Metas de Conservación					
	GUA		PAL		TAY		GUA		PAL		TAY	
	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	%	ha	%	ha	%
<b>Sistemas ecológicos submareales</b>												
Fondos sedimentarios												
Arenas bioclásticas	104993	(85)	17867	(15)			122860	(100)			<10	<10
Arenas biolitoclásticas	333189	(89)	40789	(11)			373978	(100)			<10	<10
Arenas litobioclásticas	60425	(53)	52791	(47)			113216	(100)			<10	<10
Arenas litoclásticas	1774	(100)					1774	(100)			<10	<10
Arenas lodosas biolitoclástica	114014	(80)	29149	(20)			143163	(100)			<10	<10
Arenas lodosas litobioclástica	53772	(63)	31382	(37)			85154	(100)			<10	<10
Arenas lodosas litoclásticas	736	(100)					736	(100)			<10	<10
Lodos arenosos biolitoclásticos	7228	(87)	1074	(13)			8302	(100)			<10	<10
Lodos arenosos litobioclásticos	30493	(57)	20900	(39)	2381	(4)	53774	(100)			<10	<10
Lodos arenosos litoclásticos	10810	(72)			4269	(28)	15079	(100)			<10	<10
Lodos biolitoclásticos	8354	(100)					8354	(100)			<10	<10
Lodos litobioclásticos	49524	(81)	11447	(19)			60971	(100)			<10	<10
Lodos litoclásticos	96904	(88)	942	(1)	12861	(12)	110707	(100)			<10	<10
Formaciones coralinas												
Sedimentos bioturbados-Algas calcáreas	11508	(100)					11508	(100)	30			
Octocorales-esponjas	1166	(84)	143	(10)	76	(5)	1385	(100)	60		60	60
Corales mixtos	37	(19)			155	(81)	192	(100)	60		60	60
Algas pétreas- <i>Millepora complanata</i> -Zoantideos	311	(98)			5	(2)	316	(100)	60		60	60
<i>Millepora aldicornis</i> -fanerógamas	85	(100)					85	(100)	60			
<i>Acropora palmata</i> - <i>Diploria strigosa</i>			14	(100)			14	(100)				100
<i>Acropora cervicornis</i>			2	(100)			2	(100)				100
<i>Montastraea</i> spp			56	(100)			56	(100)				60
Costras de coral sobre roca			384	(100)			384	(100)				60
<i>Agaricia</i> spp-Corales mixtos			4	(100)			4	(100)				60
Rodolitos			33	(100)			33	(100)				60



Objetos de Conservación	Sistemas Costeros				Total				Metas de Conservación			
	GUA		PAL		TAY		GUA		PAL		TAY	
	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)
<i>Agaricia tenuifolia</i>					4	(100)	4	(100)				
Formaciones coralinas de profundidad	94	(20)	174	(38)	196	(42)	464	(100)	100	100	100	60
Formaciones Octocorales-Briozoos-Esponjas	212	(63)	126	(37)			338	(100)	30	30		
Praderas de pastos mixtos	30420	(87)	4637	(12)	96	(<1)	35153	(100)	30	30	30	100
Praderas de <i>Thalassia testudinum</i>	437	(77)	32	(6)	98	(17)	567	(100)	30	30	30	100
<b>Sistemas ecológicos internmareales</b>												
Playas rocosas	78137	(91)	7749	(9)			85886	(100)	30	60		
Playas arenosas	318452	(68)	120137	(26)	28101	(6)	466690	(100)	30	30	30	100
Litoral rocoso	20329	(15)	8392	(6)	106280	(79)	135001	(100)	60	100	60	60
Manglares	1870	(86)	236	(12)	8	(<1)	2114	(100)	100	100	100	100
Estuarios	750	(23)	2562	(76)	21	(<1)	3333	(100)	100	60	100	100
Lagunas Costeras	4587	(96)	183	(4)	12		4782	(100)	100	100	100	100
Áreas de surgencia	99183	(89)			11698	(11)	110881	(100)	10			10
Madreviejas			1253	(100)			1253	(100)		100		
Bosque Seco			8831	(57)	6655	(43)	15486	(100)		100		100
Dunas	7395	(100)					7395	(100)	30			
<b>Comunidades biológicas relevantes</b>												
Áreas de congregación de mamíferos acuáticos			3456	(95)	170	(5)	3626	(100)		60		60
Áreas desove y nodriza camarón	577	(18)	2713	(82)			3290	(100)	60	60		
Áreas de crianza de juveniles de langosta	30623	(86)	4559	(13)	464	(1)	35646	(100)	60	60	60	60
Áreas de agregaciones reproductivas de pargos	469	(75)	156	(25)			625	(100)	60	60	60	60
Áreas con presencia de <i>Crocodylus acuttus</i>	98	(42)	137	(58)			235	(100)	60	60	60	60
Áreas presencia de <i>Cittarium pica</i>	39	(14)			232	(86)	271	(100)	60			60
Bancos de ostras perfiteras	7269	(100)					7269	(100)	60			
Áreas de congregación de aves	9073	(40)	7744	(34)	6073	(27)	22890	(100)	60	60	60	60
Áreas de anidamiento tortugas marinas	21	(51)	16	(39)	4	(10)	41	(100)	60	60	60	100
Áreas de alimentación tortugas marinas	19	(76)	6	(24)		(0)	25	(100)	30	30		
Sitios de importancia histórica y arqueológica	6	(46)	4	(31)	3	(23)	13	(100)	100	100	100	100
Sitios de importancia cultural indígena	1542	(83)	234	(13)	78	(4)	1854	(100)	100	100	100	100

alimentación de tortugas marinas (76%) y coberturas únicas de bancos de ostras perlíferas localizadas en el sistema GUA. Por su parte los mayores porcentajes de áreas de desove y nodriza de camarón (82%) y áreas de congregación de mamíferos marinos, se presentaron en el sistema costero PAL. Mientras en TAY están las mayores distribuciones en cobertura de la especie *Cittarium pica*. La mayor riqueza de OdC del sistema costero GUA permitió distinguir la complejidad de hábitats y de su biodiversidad asociada, incluso superando al sistema costero TAY, que es el área con mejor conocimiento científico.

### Metas de conservación por sistema

La calificación de criterios arrojó como resultado metas de conservación del 100% para toda la cobertura en el área de estudio de manglares, madre viejas, lagunas costeras, bosque seco, formaciones coralinas de profundidad y unidades de paisaje de formaciones coralinas como *Acropora palmata-Diploria strigosa* y *Acropora cervicornis* (Tabla 2). Por otra parte, objetos con alta abundancia, como los diferentes tipos de fondos sedimentarios y áreas de surgencia, recibieron metas de conservación  $\leq 10\%$ . En general, 26 OdC presentaron en el sistema costero TAY metas de conservación  $\geq 60\%$  (Figura 1).

### Distribución del costo de las amenazas

Los mayores costos se presentaron en UP cercanas a la línea de costa, donde el número de amenazas presentes y su grado de influencia es mayor. El 16 % de las UP en el área de estudio presentaron altos costos ( $\geq 400$ ). El sistema costero TAY presentó el mayor porcentaje de UP con sobrecostos (45%) (Figura 2).

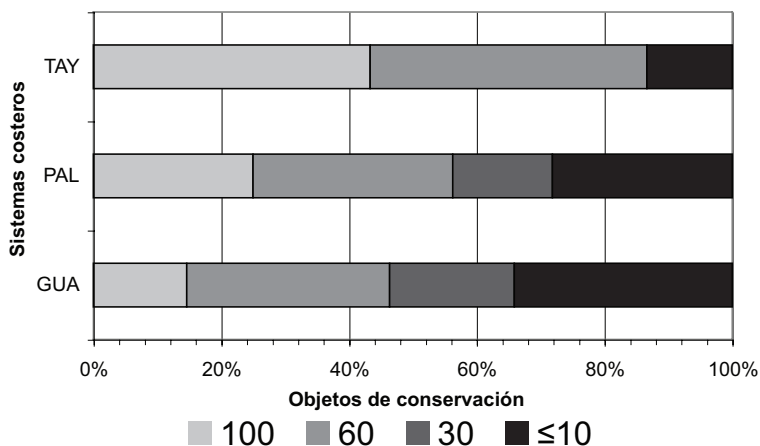


Figura 1. Distribución porcentual de objetos de conservación en cada uno de los rangos de metas de conservación para los sistemas costeros Tayrona (TAY), Palomino (PAL) y Guajira (GUA).

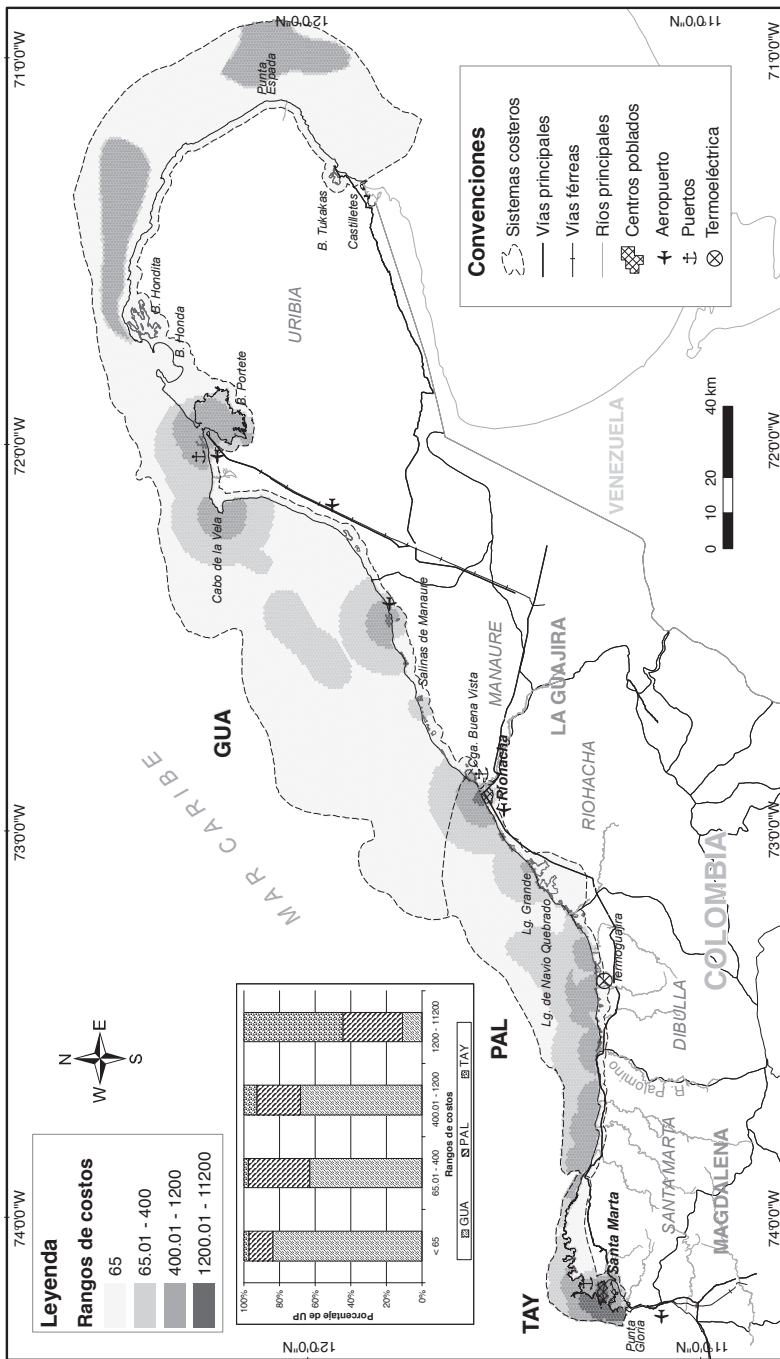


Figura 2. Rangos de costos (amenazas) de las unidades de planificación y distribución porcentual para los sistemas costeros Tayrona (TAY), Palomino (PAL) y Guajira (GUA).

## **Sitios prioritarios de conservación**

### **La mejor solución**

En adición a las tres áreas protegidas existentes del SPNN, las cuales abarcan 38321 ha, la mejor solución fue identificada para 63 sitios prioritarios de conservación, equivalentes a un área de 91255 ha, o sea 10% del área de estudio (Figura 3). En general, el portafolio seleccionado cumplió con la mayoría de las metas de conservación propuestas para cada objeto, excepto para algunos casos, como madre viejas, manglar, sitios de importancia cultural indígena del sistema costero PAL, cuyas metas propuestas eran del 100% y alcanzaron valores entre el 68 y 88% (Tabla 2). Por su parte, en el sistema TAY los estuarios, playas arenosas y sitios de importancia cultural indígena no alcanzaron la meta propuesta, llegando a valores entre 33 y 75%. Esta situación se puede explicar porque las UP que colindan con áreas demarcadas como de exclusión (ciudades, puertos, camarónicas y aeropuertos) no son seleccionadas por MARXAN.

Por otra parte, se presentaron OdC con metas sobre cumplidas, como las praderas de pastos marinos en el sistema costero GUA o áreas de congregación de aves en PAL y TAY, dado que son UP que cumplen más de un criterio a la vez. Por ejemplo, unidades de paisaje de formaciones coralinas, colindantes con objetos de alta abundancia (sistemas ecológicos submareales). La mayoría de los sitios identificados están compuestos por superficie terrestre y marina, sólo algunos se encuentran muy alejados de la costa (isóbata  $\geq 70$  m), estando relacionados específicamente a OdC como corales de profundidad y agregaciones reproductivas de pargos.

### **La solución sumada**

Las UP seleccionadas con mayor frecuencia (entre 255 y 300), que se encuentran sobre la franja costera se localizan en las bahías de Tukakas, Hondita, Portete, frente a salinas de Umaka, ciénaga Buenavista y complejo lagunar El Buey principalmente, así como sobre la plataforma continental (isóbata de 200 m) frente al PNN Tayrona (Figura 4).

### **Diseño de la red de AMP**

De los 63 sitios prioritarios de conservación seleccionados se identificaron 32 sitios claves para conformar la red por sus altos valores ecológicos (Figura 5). Estas áreas suman un total de 71971 ha, la mitad de éstas distribuidas en el sistema costero GUA, 12 en PAL y cuatro en TAY (Tabla 3).

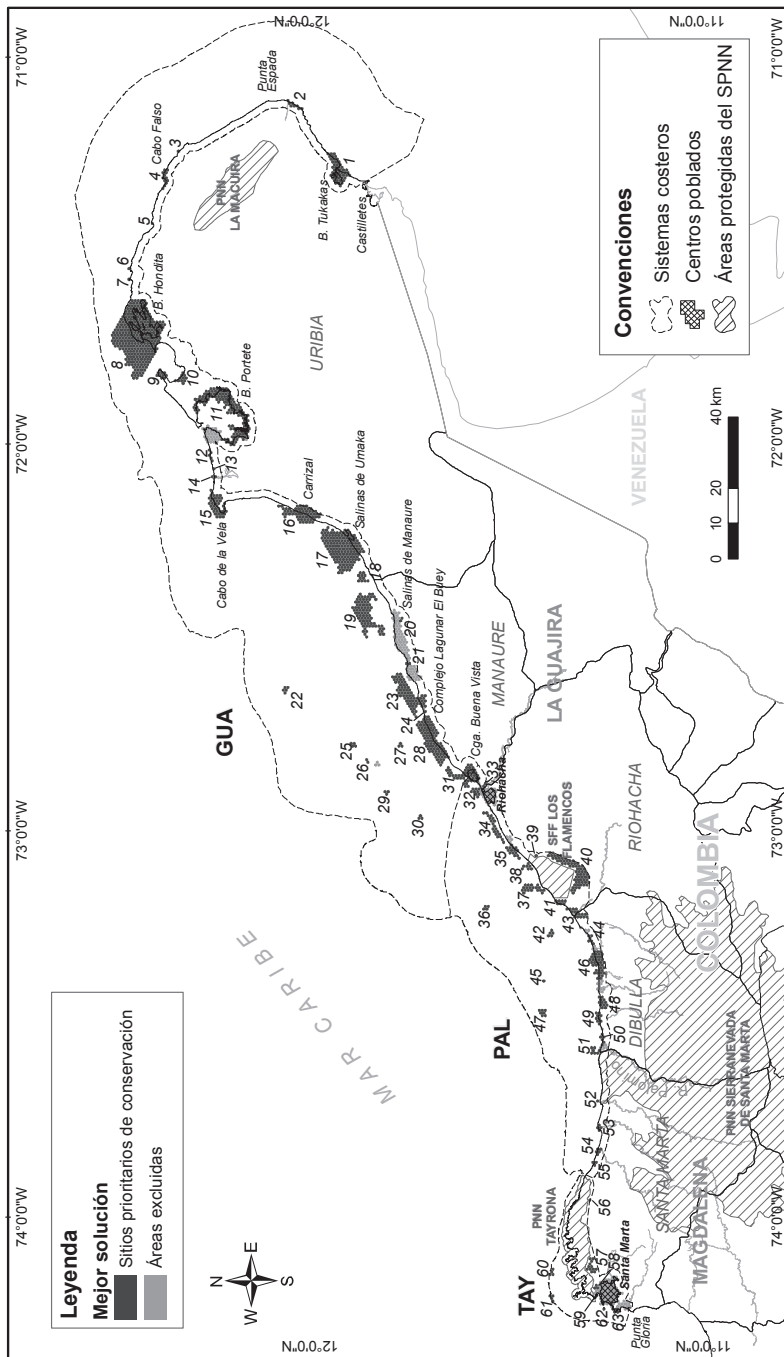


Figura 3. Portafolio con la mejor solución indicando la selección de los 63 sitios prioritarios de conservación para el norte del Caribe continental colombiano.

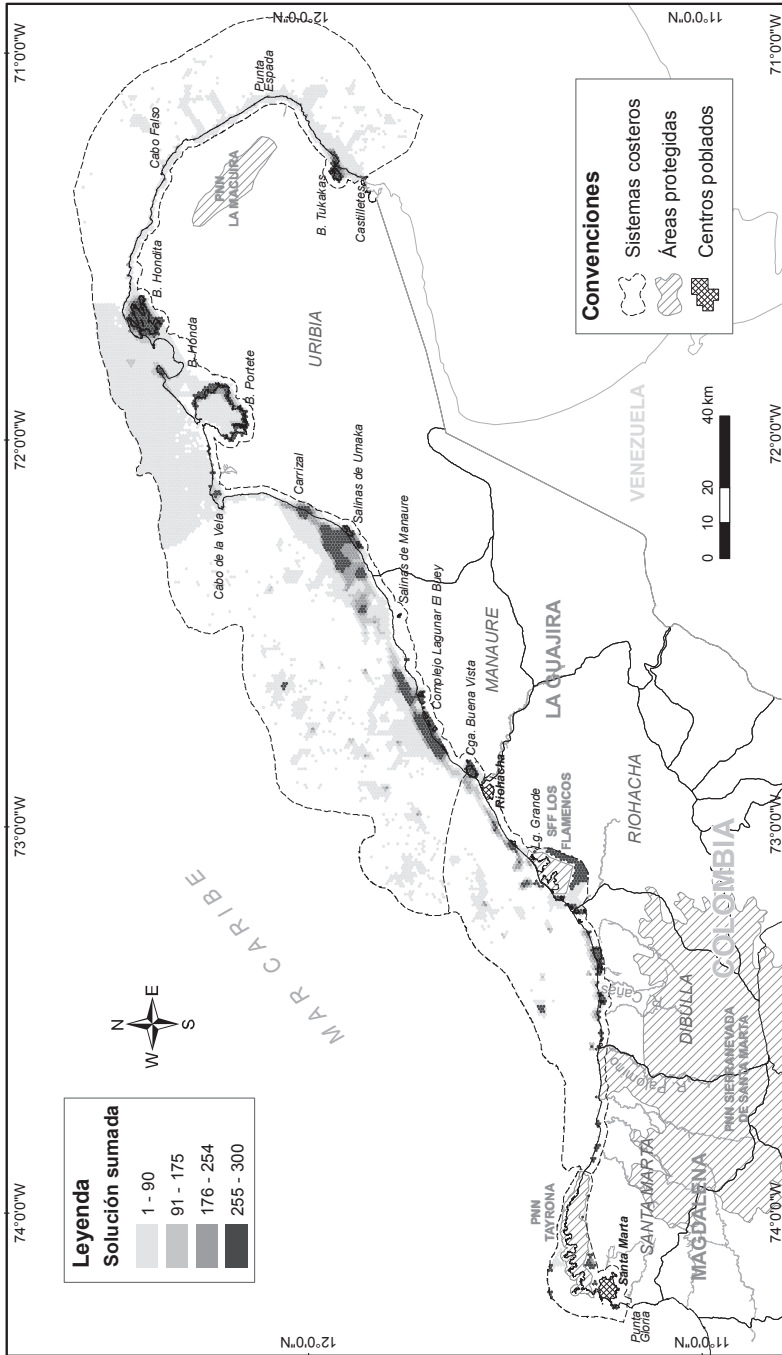


Figura 4. Portafolio con la solución sumada, indicando la selección de unidades de planificación en 300 corridas con 1 millón de iteraciones para el norte del Caribe continental colombiano.

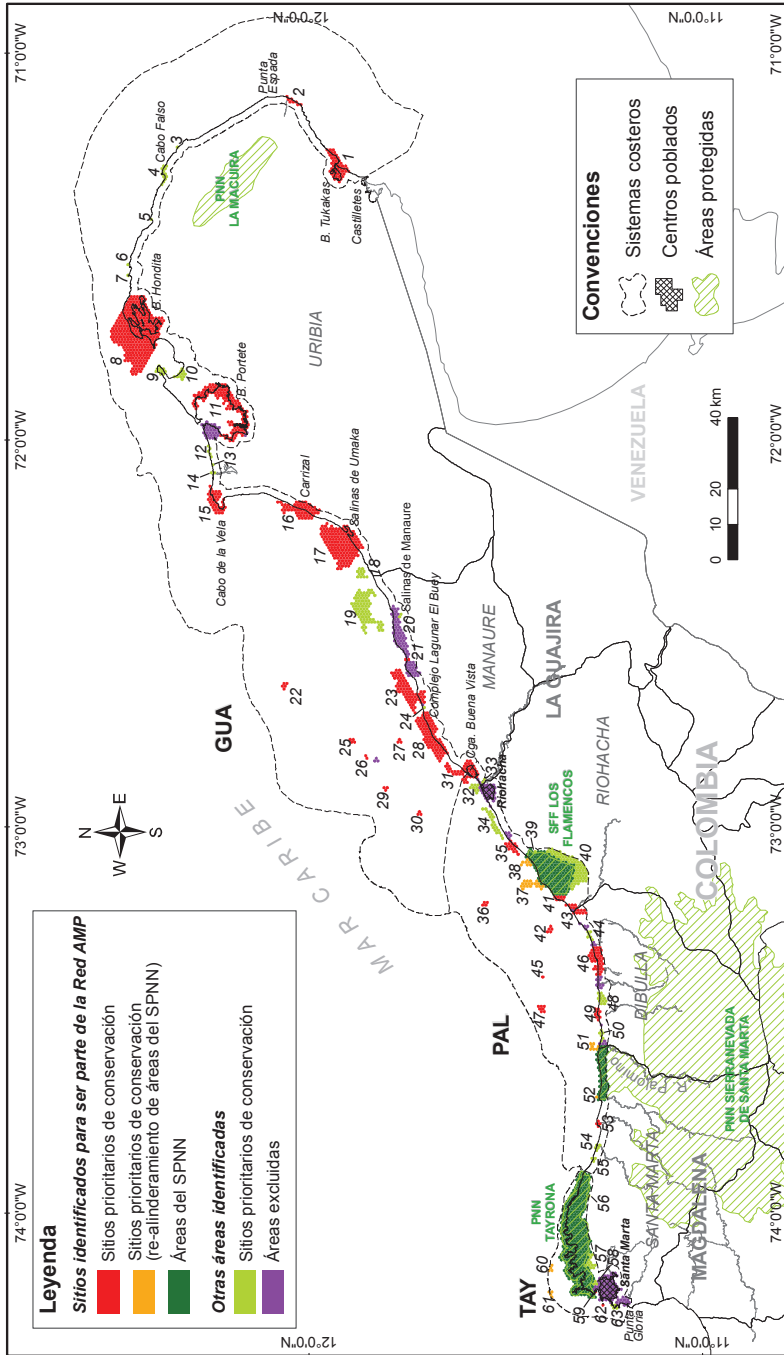


Figura 5. Portafolio con la red de áreas marinas protegidas para el norte del Caribe continental colombiano.

Tabla 3. Áreas identificadas para hacer parte de la red de áreas marinas protegidas en cada sistema costero (SC) de Guajira, Palomino y Tayrona, con su respectiva área en hectáreas (ha), así como las propuestas de conservación de otros autores a partir de estudios con objetivos específicos de conservación, como: a, Conservación de aves; b, Protección de manglares; c, Área marina protegida; d, Área protegida de carácter regional; e, Sitio prioritario de conservación para bosques inundables de la planicie marina; f, Sitio prioritario de conservación para salina de planicie marina.

SC (No. sitios)	Sitio No.	Nombre asignado	Área (ha)	Propuestas de conservación de otros estudios
Guajira (16)	1	Bahía Tukakas	3248	Sánchez-Páez <i>et al.</i> (1997) <sup>b</sup> ; Biocolombia (2000) <sup>d</sup> ; Corpoguajira (2003) <sup>b</sup> ; Alonso (2005) <sup>e</sup> .
	2	Arroyo Juitpuchi	520	
	8	Bahía Hondita	19810	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Corpoguajira (2003) <sup>b</sup> ; Paramo <i>et al.</i> 2007 <sup>e</sup> .
	11	Bahía Portete	8444	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Biocolombia (2000) <sup>d</sup> ; Corpoguajira (2003) <sup>b</sup> ; Sánchez-Páez <i>et al.</i> (1997) <sup>b</sup> ; Alonso (2005) <sup>e</sup> ; Fandiño-Lozano y Wýngaarden (2005) <sup>f</sup> .
	15	Cabo de La Vela	2598	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Biocolombia (2000) <sup>d</sup> .
	16	Carrizal	3832	Fandiño-Lozano y Wýngaarden (2005) <sup>f</sup> .
	17	Salinas de Umakaha	9743	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ;
	22	Frente a punta Manaure	325	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> .
	23	Sector El Pájaro -Este	4547	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Biocolombia (2000) <sup>d</sup> .
	25	Frente a Laguna el Buey	260	
	26	Frente a Laguna el Buey	130	
	27	Frente a Laguna el Buey	195	



SC (No. sitios)	Sitio No.	Nombre asignado	Área (ha)	Propuestas de conservación de otros estudios
Guajira (16)	28	Complejo Lagunar el Buey	5651	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> .
	29	Frente a Mayapo	195	
	30	Frente a Mayapo	195	
	31	Ciénaga Buenavista	2923	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Biocolombia (2000) <sup>d</sup> .
Palomino (12)	35	Ciénaga Ocho Palmas	974	Castaño (2001) <sup>a</sup> .
	36	Frente al SFF Flamencos	260	
	37	Adyacente al SFF Flamencos	1234	
	38	Adyacente al SFF Flamencos	455	
	41	Ciénaga Sabalotes	455	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> .
	42	Frente a Punta la Enea	325	
	43	Punta la Enea	1039	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Sánchez-Páez <i>et al.</i> (1997) <sup>b</sup> .
	45	Frente a Pantano El Lagarto	65	
Tayrona (4)	46	Pantano El Lagarto	2468	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Sánchez-Páez <i>et al.</i> (1997) <sup>b</sup> ; Corpoguajira (2003) <sup>b</sup> .
	47	Frente a Rincón Mosquito	455	
	49	Desembocadura de Río Ancho	585	Franco-Maya y Bravo (2005) <sup>a</sup> ; Castaño (2001) <sup>a</sup> ; Páramo <i>et al.</i> (2007) <sup>e</sup> .
	53	Río Buritaca	260	Páramo <i>et al.</i> (2007) <sup>e</sup> .
Total	59	PNN Tayrona	195	
	60	Frente al PNN Tayrona	260	
	61	Frente al PNN Tayrona	260	
	62	Morro de Santa Marta	65	
	<b>32</b>		<b>7191</b>	

## DISCUSIÓN

El Caribe continental colombiano tiene vacíos de información con respecto a la distribución y cobertura de especies. La selección de OdC a nivel de sistemas ecológicos es buena porque se compensa con múltiples OdC de filtro grueso, los cuales conservarán también la mayoría de objetos de filtro fino (Noss *et al.*, 1997; Anderson *et al.*, 1999). No obstante, muchas especies amenazadas o en peligro que requieren especial atención, podrían no beneficiarse sólo con la selección de filtro grueso (Zacharias y Roff, 2001).

El establecimiento de metas de conservación en ambientes marinos es una de las preguntas más discutidas en el ámbito de la planificación marina, dada su complejidad y el poco entendimiento de los procesos ecológicos a las diferentes escalas espaciales y temporales en los que actúan (Roberts *et al.*, 2003b). La literatura existente en este campo se ha desarrollado específicamente para llevar a cabo evaluaciones de brechas de representatividad o análisis de vacíos sobre sistemas de áreas protegidas existentes (*GAP Analysis*). Sólo recientemente se han definido metas cuantitativas en ejercicios de planificación ecorregional para identificar áreas prioritarias de conservación, principalmente a partir de criterio de experto por las coberturas y abundancia de los objetos (Beck y Odaya, 2001; Areces *et al.*, 2003; Guevara *et al.*, 2004; DeBlieu *et al.*, 2005; Morgan *et al.*, 2005; Ulloa *et al.*, 2006)

Las metas de conservación con base en la evaluación de los cuatro criterios definidos, presentan menor incertidumbre que métodos más *ad hoc* aplicados en otros ejercicios, a partir de criterio de expertos por la ética de conservación de ecosistemas (Ballantine, 1997) o coberturas históricas y actuales del objeto principalmente (Guevara *et al.*, 2004). La evaluación del criterio de estado actual, entendido como la condición o “estado de salud” de los OdC (Groves *et al.*, 2000), y el de vulnerabilidad permiten diferenciar metas para cada sistema por separado, donde los atributos ecológicos y sus amenazas presentan condiciones particulares, introduciendo la variabilidad espacial.

Los objetos más influenciados por estos dos criterios fueron las madre viejas y lagunas costeras (100%), dado que son también los de mayores niveles de amenaza antrópica (INVEMAR, 2005), resultando en estrategias de máxima conservación. Por otra parte, el criterio de abundancia influyó en las metas de OdC, como en el caso de unidades de *A. palmata* – *D. strigosa* y *A. cervicornis*. El valor ecológico y económico reconocido de las poblaciones de *Acropora* spp., diezmadas en los años ochentas en todo el Gran Caribe (Bruckner, 2002) y documentadas para esta área de estudio con mortandades entre 60 a 80% de cobertura de coral vivo (Garzón-Ferreira y Cano, 1991; Garzón-Ferreira *et al.*, 2004), resultando en metas máximas de conservación. En otro ejemplo, los corales de profundidad del borde de la plataforma del Caribe colombiano (Reyes *et al.*, 2005) también fueron

identificados con metas de conservación máximas, debido a su escaso conocimiento, los nuevos registros de especies hallados para Colombia y la actual atención internacional que reciben debido a su importancia como centros de biodiversidad de alta relevancia biológica (Reyes y Santodomingo, 2005). Los bosques de manglar y seco, con metas de conservación altas es una estrategia para compensar la pérdida de cobertura sucedida en los últimos 20 años, que se encuentra entre 50 y 98% respectivamente, en el Caribe colombiano (IAvH, 1997; Sánchez-Páez *et al.* 1997). Con la “mejor solución” se maximizaron las posibilidades para agrupar UP y facilitar los futuros propósitos de planificación y priorización para reducir costos de manejo, vigilancia, monitoreo, entre otros (Lieberknecht *et al.*, 2004).

Para este estudio, la calificación de cuatro criterios ecológicos permitió evaluar diferencias entre los sitios, identificando cuales de estos presentan una base biológica importante para ser seleccionados como sitios potenciales a conformar la red. Las 31 áreas escogidas se distancian una de otra en no más de 40 km de distancia; de acuerdo con Roberts y Hawkings (2000) y Sala *et al.* (2002), las AMP aisladas protegen una fracción limitada de la diversidad biológica marina, por esto, deben estar lo suficientemente cerca entre sí, para que sus poblaciones puedan interactuar. No obstante, la distancia varía considerando que las especies tienen variados modos de dispersión en periodos diferentes, donde por ejemplo, la etapa larval de algunas especies de pargos en el Caribe es de dos a ocho semanas, mientras que en la langosta espinosa es seis meses (Lindeman *et al.*, 2001; Appeldoorn y Lindeman, 2003); el avance a futuro en investigaciones sobre conectividad ecológica y genética permitirá contar con información más precisa para facilitar el diseño de redes.

Cerca del 47% de sitios seleccionados a ser parte de la red de AMP han sido identificados en estudios anteriores (Tabla 3), ya sea para: a) áreas de preservación de manglares (Sánchez-Páez *et al.*, 1997; Corpogujaira, 2003), protección de aves o sitios AICAS (Castaño, 2001; Franco-Maya y Bravo, 2005), b) áreas protegidas de carácter nacional o regional (Biocolombia, 2000), y c) sitios prioritarios de conservación para ecosistemas terrestres (Fandiño-Lozano y Wyngaarden, 2005). Así mismo, dos de los sitios identificados dentro de la red por este estudio (bahías Portete y Tukakas), fueron igualmente identificados por Alonso (2005) para este sector del Caribe a partir de criterios de representatividad y heterogeneidad de hábitats. Recientemente, Páramo *et al.* (2007) identificaron sectores entre bahía Honda y puerto Estrella y Dibulla y el río Buritaca como posibles AMP para el manejo de pesquerías demersales en la zona norte del Caribe colombiano.

El uso de MARXAN para la identificación de sitios prioritarios para la conservación no identificados previamente fue importante, dada la capacidad de combinar gran cantidad de información a diferentes niveles de resolución y permitir una gama de posibles soluciones que cumplieran con las metas de conservación preestablecidas a diferentes escenarios. La



identificación de sitios adyacentes identificados a las áreas del SPNN, se traducen a la falta de representatividad que identifica MARXAN para el porcentaje de algunos objetos, por lo que se propone que estas áreas sean re-alinderadas hacia la porción marina específicamente, partiendo del supuesto de que es más fácil cambiar límites que crear nuevas (Fandiño-Lozano y Wyngaarden, 2005). En el PNN Tayrona se propone el re-alindamiento hasta la isóbata de los 200 m, básicamente por la presencia de corales de profundidad; para el caso del SFF Flamencos, por la presencia de zonas de crianza de juveniles de langosta, alimentación de tortugas marinas y áreas de congregación y alimentación de mamíferos acuáticos. Por último, para el PNN SNSM en su extremo norte por la presencia de unidades de formaciones coralinas (octocorales- esponjas); no obstante, se sugiere llevar a cabo evaluaciones ecológicas rápidas en estos lugares a mayor escala de detalle, para complementar el análisis y definir límites más precisos.

Es importante anotar que muchos sitios culturales (pagamento indígena), identificados principalmente en la desembocadura de los ríos de la SNSM, están asociados a sitios con alta biodiversidad que en la actualidad se encuentran amenazados por actividades antrópicas (Ortiz y Barragán, 2004); el intento de representar estos elementos en el diseño de la red, es una primera aproximación y como tal debe evaluarse en un futuro con mayores niveles de detalle. Es necesario considerar los 31 sitios no seleccionados dentro de la red, como parte de un sistema de manejo más amplio, para los cuales será necesario crear diversas estrategias de conservación, como restauración de hábitats, mitigación de amenazas, manejo de actividades extractivas y ordenamiento pesquero, entre otras, basadas en las necesidades ecológicas, sociales, económicas y políticas de cada lugar.

El presente ejercicio de planificación es un importante avance al compromiso adquirido por Colombia ante el CDB, referente al diseño e implementación de un sistema de áreas marinas protegidas completo y representativo al año 2012. Aunque se trabajó con la mejor información ecológica y biológica disponible, la aplicación de criterios económicos, socioculturales y político administrativos de cada uno de los sitios propuestos, se vuelve un paso obligado, dado que la introducción de los mismos mejorará los resultados iniciales para que el establecimiento de la futura red de AMPs esté más ajustada a la realidad y se identifiquen sitios con una perspectiva más integral.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés”- INVEMAR por el apoyo brindado en la realización de este estudio, a COLCIENCIAS por los recursos otorgados para adelantar esta investigación código No. 210509-16822, al igual que la asesoría técnica y financiera de ONGs internacionales

como Environmental Defense y The Nature Conservancy –TNC. Así mismo, a la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales en especial Gisela Paredes, Rebeca Franke y Laura Guerrero, a Gregoria Fonseca de Corpogujaira y ONGs nacionales como la Organización Gonawindua, Fundación Pro-sierra y el Observatorio del Caribe. Por último, a Arturo Acero por las mejoras a la redacción del manuscrito y los comentarios de los dos evaluadores anónimos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, D. 2005. Modelo de planificación de un sistema representativo de áreas marinas protegidas para el Caribe continental colombiano. Tesis M.Sc., Univ. de las Palmas de La Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria. 135 p.
- Alonso, D., G. Bustamante y D. Rozo. 2005. Análisis de vacíos de representatividad de la biodiversidad en las áreas marinas protegidas del Caribe continental colombiano. Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst., 58: 317-324.
- Anderson, M., P. Comer, D. Grossman, C. Groves, K. Poiani, M. Reid, R. Schneider, B. Vickery, y A. Weakley. 1999. Guidelines for representing ecological communities in ecoregional conservation plans. The Nature Conservancy, Arlington VA., 74 p.
- Andrade, C.A. 2000. Circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Tesis de doctorado, University of Gales, Cardiff. 225 p.
- Appeldoorn, R.S. y K. Lindeman. 2003. A Caribbean-wide survey of marine reserves: spatial coverage and attributes of effectiveness. Gulf Carib. Res., 14 (2): 139-154.
- Areces, J.A., J. Gerhartz, H. Alidina, R. Duttit y C. Martínez. 2003. Validación del sistema de áreas marinas protegidas (SAMP) cubano mediante el análisis de brechas en su representatividad. IDO-CNAP-Environmental Defense-WWF. Resumen informe final técnico, Centro Nacional de Áreas Protegidas, Habana. 25 p.
- Ball, I. y H.P. Possingham. 2000. Marine reserve design using spatially explicit annealing. A manual prepared for the Great Barrier Reef Marine Park Authority. Disponible en línea: <http://www.ecology.uq.edu.au/marxan.htm>. 69 p.
- Ballantine, W.J. 1997. Design principles for systems of ‘no-take’ marine reserves. Workshop on the design and monitoring of marine reserves. Fisheries Center, University of British Columbia, Vancouver, Canadá, 20 p.
- Beck, M. y M. Odaya. 2001. Ecoregional planning in marine environments: identifying priority sites for conservation in the northern Gulf of Mexico. Aq. Cons. Mar. Freshw. Ecos., 11: 235-242.
- Bennett, G. y P. Wit. 2001. The development and application of ecological networks, a review of proposals, plans and programmes. IUCN, Gland, Suiza, y AID Environment, Holanda. 132 p.
- Biocolombia. 2000. Diseño de estrategias, mecanismos e instrumentos requeridos para la puesta en marcha del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, Bogotá. 225 p.



- Borrero F.J., J.M. Díaz y A. Seczon. 1996. Las ostras perlíferas (Bivalvia: Pteriidae) en el Caribe colombiano. Historia de su explotación, ecología y perspectivas para su aprovechamiento. INVEMAR, Santa Marta. 53 p.
- Bruckner, A.W. 2002. Proceedings of the Caribbean *Acropora* workshop: potential application of the U.S. Endangered Species Act as a conservation strategy. NOAA Tech. Mem. NMFS-OPR-24, Silver Spring, EE.UU. 184 p.
- Castaño, G. 2001. Evaluación de la avifauna asociada a humedales costeros de La Guajira con fines de conservación. Crónica forestal y del medio ambiente. Universidad Nacional de Colombia, 16 (1): 5-33.
- Castillo-Espitia, N., F.J. Aceituno y A.B. Ruíz. 2003. Arqueología y gestión cultural. Empresas públicas de Medellín Parque Eólico Jeparachi. Informe Final I, Universidad de Antioquia, Centro de Investigaciones Sociales y Humanas –CISH, Medellín. 198 p.
- Castillo-Torres, P.A. 2002. Caracterización estructural y evaluación del estado ambiental de las praderas de pastos marinos, del Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 66 p.
- Ceballos-Fonseca, C. 2002. Distribución de playas de anidación y sus riesgos para la conservación de las tortugas marinas en el Caribe colombiano. Informe técnico final convenio SECAB – INVEMAR, Santa Marta. 139 p.
- CIOH. 1999. Mapa de repartición de las facies sedimentarias y perfiles batimétricos plataforma continental Dibuja Península de La Guajira. Escala 1:300.000. DIMAR, Cartagena.
- Córdoba, A. J. 1997. Aspectos biológicos y ecológicos de individuos juveniles de langosta espinosa (*Panulirus argus*) en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 76 p.
- CORPOGUAJIRA. 2003. Estado actual de los manglares, aprovechamiento y zonificación en el departamento de La Guajira. Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Riohacha. 125 p.
- Day, J. y J. Roff. 2000. Planning for representative marine protected areas. A framework for Canada's Oceans. Report prepared for World Wildlife Fund. WWF, Toronto. 148 p.
- DeBlieu, J., M. Beck, D. Dorfman y P. Ertel. 2005. Conservation in the Carolinian Ecoregion: An ecoregional assessment. The Nature Conservancy, Arlington. 60 p.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios, M.H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G.H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Angel, F. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Santa Marta. Serie Publicaciones Especiales No. 5. 176 p.
- Díaz, J.M., L.M. Barrios y D.I. Gómez-López (Eds.). 2003. Las praderas de pastos marinos en Colombia: estructura y distribución de un ecosistema estratégico. INVEMAR, Santa Marta. Serie Publicaciones Especiales No. 10, 159 p.
- Fandiño-Lozano, M. y W. van Wyngaarden. 2005. Prioridades de conservación biológica para Colombia. Grupo ARCO, Bogotá. 188 p.
- Franco-Maya, A.M. y G.A. Bravo. 2005. Áreas importantes para la conservación de las aves en Colombia. 117-281. En: Boyla, K. y A. Estrada (Eds.). Áreas importantes para la conservación de las aves en los Andes Tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. BirdLife Internacional y Conservación Internacional. Serie de Conservación de BirdLife No. 14, Quito.

- Garzón-Ferreira, J. y M. Cano. 1991. Tipos, distribución, extensión y estado de conservación de los ecosistemas marinos costeros del Parque Nacional Natural Tayrona. Séptimo Concurso Nacional de Ecología Enrique Pérez Arbeláez. Fondo para la Protección del Medio Ambiente - FEN Colombia, Santa Marta. 82 p.
- Garzón-Ferreira, J., M.I. Moreno-Bonilla y J.M. Valderrama Vásquez. 2004. Condición actual de las formaciones coralinas de *Acropora palmata* y *A. cervicornis* en el Parque Nacional Natural Tayrona (Colombia). Bol. Invest. Mar. Cost., 33: 117-136.
- Groves, C.B., L. Valutis, D. Vosick, B. Neely, K. Wheaton, J. Touval y B. Runnels. 2000. Diseño de una geografía de la esperanza: manual para la planificación de la conservación ecorregional. The Nature Conservancy, Vol. I y II, Arlington. 215 p.
- Guevara, M., J.A. Iturrial, S. Benítez, R. Troya, C. Vega, E. Durand y C. Young (Eds.). 2004. Evaluación ecorregional del Pacífico ecuatorial ecorregión marina Guayaquil. The Nature Conservancy, Simbioe Nazca. Informe final, TNC, Guayaquil. 70 p.
- Hilty, S.L. y W.L. Brown. 1986. A guide to the birds of Colombia. Princeton University Press, New Jersey. 836 p.
- Hockey, P.A. y G.M. Branch. 1997. Criteria, objectives and methodology for evaluating marine protected areas in South Africa. South Af. J. Mar. Sci., 18: 369-383.
- IAvH. 1997. El bosque seco tropical en Colombia. 56-71. En: Chávez, M. y N. Arango (Eds.). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente- Naciones Unidas, Bogotá.
- INGEOMINAS. 1998. Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Caribe y Pacífico colombianos. Ingeominas, Bogotá. Publicación especial No 21, 114 p.
- INVEMAR. 2000. Programa nacional de investigaciones en biodiversidad marina y costera PNBIM. INVEMAR-FONADE-MMA, Santa Marta. 83 p.
- INVEMAR. 2003. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe continental, Caribe Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. Informe técnico final, INVEMAR, Santa Marta. VII tomos. Anexos + CD Atlas digital.
- INVEMAR. 2005. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2005. INVEMAR, Santa Marta. Serie de Publicaciones Periódicas No.8, 360 p.
- INVEMAR. 2007. Diseño de una red de áreas marinas protegidas para el norte del Caribe continental colombiano. Informe técnico final, INVEMAR - COLCIENCIAS - UAESPNN - CORPOGUAJIRA - CORPAMAG - ENVIRONMENTAL DEFENSE - TNC, Santa Marta. 16 p.
- INVEMAR-CORPOGUAJIRA. 2006. Caracterización biofísica de la zona costera del departamento de La Guajira: una aproximación para su manejo integrado. Convenio 001 de 2004 CORPOGUAJIRA-INVEMAR. Informe final componente biofísico, Santa Marta. 190 p.
- INVEMAR-TNC. 2007. Análisis de vacíos y propuesta del sistema representativo de áreas marinas protegidas para Colombia. Informe técnico final, INVEMAR y The Nature Conservancy-TNC, Santa Marta. 67 p.



- Jaimes, J.C., L.A. Martínez y R. Nieto. 2002. Utilización de refugios artificiales como estrategia de manejo sostenible del recurso langosta espinosa *Panulirus argus* en la región de La Guajira, Caribe colombiano. Proyecto Prolagunas. Protección y recuperación de humedales costeros del Caribe colombiano. Riccerca e Copperazione, Santa Marta. 80 p.
- Jaimes J.C., Y. Pinzón y C. Trujillo. 2004. Explorando alternativas de pesca responsable con la langosta espinosa en Santa Marta. Fundación SILA KANGAMA, Santa Marta. 80 p.
- Lieberknecht, L.M., J. Carwardine, D.W. Connor, M.A. Vincent, S.M. Atkins y C.M. Lumb. 2004. The Irish Sea pilot - report on the identification of nationally important marine areas in the Irish Sea. JNCC Report 347: 95 p. Disponible en línea: <http://www.jncc.gov.uk/page-2836#download> [marzo, 2005].
- Lindeman, K.C., T.N. Lee, W.D. Wilson, R. Claro y J.S. Ault. 2001. Transport of larvae originating in southwest Cuba and Dry Tortugas: evidence for partial retention in grunts and snappers. Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst. 52: 732-747.
- Manjarrés, L. (Ed). 2004. Pesquerías demersales del área norte del mar Caribe de Colombia y parámetros biológico-pesqueros y poblacionales del recurso pargo. Grupo de Investigación: Evaluación y Ecología Pesquera. Instituto nacional de pesca y acuicultura -INPA e Instituto Colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología “Francisco José de Caldas” –COLCIENCIAS, Santa Marta. 316p.
- McDonnell, M.D., H.P. Possingham, I.R. Ball y E.A. Cousins. 2002. Mathematical methods for spatially cohesive reserve design. Envi. Model. Assess., 7: 107-114.
- MMA. 2000. Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, Santa Fe de Bogotá, D.C. 95 p.
- Morgan, L., S. Maxwell, F. Tsao, T.A.C. Wilkinson y P. Etnoyer. 2005. Marine priority conservation areas. Baja California to the Bering Sea. Montreal (Canadá): Commission for Environmental Cooperation of North America (CEC) and the Marine Conservation Biology Institute (MCBI), Montreal. Disponible en línea: [http://www.cec.org/pubs\\_info\\_resources/index.cfm?varlan=espanol](http://www.cec.org/pubs_info_resources/index.cfm?varlan=espanol). [agosto, 2005].125 p.
- Naranjo, L.G. 1979. Las aves marinas del Caribe colombiano: taxonomía, zoogeografía y anotaciones ecológicas. Tesis Biol. Mar., Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 289 p.
- Noss, R.F., M.A. O’Connell y D.M. Murphey. 1997. The science of conservation planning. Habitat conservation under the endangered species. Act. Island Press, Washington. 246 p.
- Ortiz, B. y J.M. Barragán. 2004. SENUNULANG – UMUNUKUNU: sitios sagrados de los pueblos indígenas. Sierra Nevada de Santa Marta. MAVDT y UAESPNN, Santa Marta. 43 p.
- Osorno, A.M. 2005. Bioecología de la “cigua o burgao” *Cittarium pica* (Mollusca: Gastropoda: Trochidae) en la costa continental del Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 119 p.
- Páramo, J., L. Guillot., A. Rodríguez, O. Doncel, S. Benavides, A. Bertrand, y J. Linero. 2007. Las áreas marinas protegidas (AMPs): una herramienta de manejo las pesquerías demersales en la zona norte del Caribe colombiano. Universidad del Magdalena-COLCIENCIAS-INCODER-INVEMAR-IRD, Santa Marta. 5 p.



- Pardo-Rueda, M.A. 2005. Presencia y distribución de cetáceos (Orden: Cetacea) en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 114 p.
- Pérez, Y. y J.M. Ceballos. 2002. Formulación y validación social de una propuesta de reglamentación en el aprovechamiento artesanal sostenible del recurso camarón (*Penaeus sp*) en el Santuario de Fauna y Flora los Flamencos, Caribe colombiano. Tesis Ing. del Medio Amb., Universidad de la Guajira, Riohacha. 92 p.
- Pressey, R.L., I.R. Johnson y P.D. Wilson. 1994. Shades of irreplaceability: Towards a measure of the contribution of sites to a reservation goal. *Biodiversity and Conservation*, 3: 242-262.
- Renjifo, L.M., A.M. Franco-Maya, J.D. Amaya-Espinel, G.H. Kattan y B. López-Lanús (Eds.). 2002. Libro rojo de aves de Colombia. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá. 562 p.
- Reyes, J. y N. Santodomingo. 2005. Azooxanthellate coral biodiversity in the Southern Caribbean. 3rd Internacional Symposium on Deep Sea Corals Science and Management. November 28th- December 2nd. Miami, Florida USA. Póster.
- Reyes, J., N. Santodomingo, A. Gracia, G. Borrero-Pérez, G. Navas, L.E. Mejía-Ladino, A. Bermúdez y M. Benavides. 2005. Southern Caribbean azooxanthellate coral communities off Colombia. 309-330. En: Freiwald, A. y J.M. Roberts (Eds.). *Cold-water corals and ecosystems*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Ricerca e Copperazione. 2002. Plan de Uso y manejo de los humedales y lagunas costeras de La Guajira. Proyecto Prolagunas "Protección y recuperación de humedales costeros del Caribe colombiano". Informe final, Ricerca e Copperazione, Riohacha. 123 p.
- Roberts, C.M. y J.P. Hawkins. 2000. Reservas marinas totalmente protegidas: una guía. Campaña Mares en Peligro del WWF, Washington y Environmental Department, University of York, Reino Unido. 141 p.
- Roberts, C.M., S. Andelman, G. Branch, R. Bustamante, J.C. Castilla, D. Dugan, B. Halpern, K. Lafferty, H. Leslie, J. Lubchenco, D. Mcardle, H. Possingham, M. Ruckelshaus y R. Warner. 2003a. Ecological criteria for evaluating candidate sites for marine reserves. *Ecol. Appl.*, 13 (1): 199-214.
- Roberts, C.M., G. Branch, R.H. Bustamante, J.C. Castilla, J. Dugan, B.S. Halpern, K. Lafferty, H. Leslie, J. Lubchenco, D. McArdle, M. Ruckelshaus y R. Warner. 2003b. Application of ecological criteria in selecting marine reserves and developing reserve networks. *Ecol. Appl.*, 13 (1): 215-228.
- Sala, S., O. Aburto-Oropeza, G. Paredes, I. Parra, J.C. Barrera y P.D. Dayton. 2002. A general model for designing networks of marine reserves. *Science*, 298: 1991-1993.
- Salm, R.V., J. Clark, y E. Siirila. 2000. Marine and coastal protected areas: A guide for planners and managers. UICN, Washington. 371 p.
- Sánchez-Páez, H., R. Álvarez-León, F. Pinto-Nolla, A.S. Sánchez-Alfárez, J.C. Pino-Renjifo, I. García-Hansen y M.T. Acosta-Peñaloza. 1997. Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia. Proy. PD 171/91 Rev.2 (F) Fase I. Conservación y manejo para el uso múltiple de los manglares de Colombia, MinAmbiente/OIMT, Santafé de Bogotá, 511 p.
- SCBD. 2004. Biodiversity issues for consideration in the planning, establishment and management of protected area sites and networks: Some considerations on marine and coastal protected areas network design. Secretariat of the Convention on Biological Diversity -SCBD, CBD, Montreal. Technical Series, 13: 16 p.

- Stewart, R.R., T. Noyce y H.P. Possingham. 2003. Opportunity cost of *ad hoc* marine reserve design decisions: An example from South Australia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 253: 25-38.
- Ulloa, R., J. Torre, L. Bourillón, N. Alcántar y A. Gordon. 2006. Planeación ecorregional para la conservación marina: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. TNC -Comunidad y biodiversidad, A.C. TNC, México. 153 p.
- Vierros, M. 2004. Biodiversity issues for consideration in the planning, establishment and management of protected area sites and networks: Some considerations on marine and coastal protected areas network design. SCBD, CBD, Montreal. Technical Series, 15: 164 p.
- Zacharias, M.A. y J.C. Roff. 2001. Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique. *Aq. Cons. Mar. Freshw. Ecos.*, 11: 59-76.

FECHA DE RECEPCIÓN: 16/01/07

FECHA DE ACEPTACIÓN: 15/05/08

Anexo A. Listado de fuentes de información utilizada para la representación de la distribución espacial de cada uno de los objetos de conservación (OdC) al norte del Caribe continental colombiano.

OdC	Escala cartográfica	Fuentes principales
Formaciones coralinas	1:5.000 - 1:25.000	Díaz <i>et al.</i> (2000); Garzón-Ferreira <i>et al.</i> (2004).
Formaciones coralinas de profundidad	1:100.000	Invemar (2000); Reyes <i>et al.</i> (2005).
Formaciones de octocorales – briozoos – esponjas	1:100.000	Invemar-Corpoaguajira (2006).
Praderas de pastos mixtos y Praderas de <i>Thalassia testudinum</i>	1:10.000 - 1:50.000	Castillo-Torres (2002); Díaz <i>et al.</i> 2003.
Playas arenosas y rocosas	1:100.000	Invemar-Corpoaguajira (2006).
Litoral rocoso	1:100.000	Ingeominas (1998); Ceballos-Fonseca (2002); Invemar (2007).
Manglar	1:100.000	Invemar (2003); Sánchez-Páez <i>et al.</i> (1997); Invemar-Corpoaguajira (2006).
Lagunas costeras, estuarios y madreveejas.	1:100.000	Ricerca e Copperazzione (2002); Invemar-Corpoaguajira (2006); Invemar (2007).
Áreas de surgencia		Andrade (2000); Invemar-Corpoaguajira (2006).
Bosque seco	1:1'000.000 1:100.000	IAvH (1997).
Dunas	1:100.000	Invemar-Corpoaguajira (2006).
Áreas de congregación y alimentación de mamíferos acuáticos	1:100.000	Pardo-Rueda 2005.
Áreas de desove y nodriza de camarón.	1:100.000	Pérez y Ceballos (2002); Ricerca e Copperazzione (2002);

OdC	Escala cartográfica	Fuentes principales
Zonas de crianza de juveniles de langosta		Córdoba (1997); Jaimes <i>et al.</i> (2002); Jaimes <i>et al.</i> (2004).
Áreas de agregaciones reproductivas de pargos	1:100.000	Manjarrés (2004).
Áreas con presencia de <i>Crocodylus acutus</i>	1:100.000	Ricerca e Copperazzione (2002),
Áreas con presencia de <i>Cittarium pica</i>	1:100.000	Osorno (2005).
Banco de ostras perliftferas	1:100.000	Borrero <i>et al.</i> (1996).
Áreas de congregación de aves	1:100.000	Franco-Maya y Bravo (2005); Castaño (2001); Renjifo (2002); Naranjo (1979); Hilty y Brown (1986).
Áreas de anidamiento y alimentación de tortugas marinas	1:100.000	Ceballos-Fonseca (2002).
Sitios de importancia cultural indígena y de importancia histórica y arqueológica		Castillo-Espitia <i>et al.</i> (2003).
Fondos sedimentarios	1:300.000	CIOH (1999); Invemar-Corpoaguajira (2006).