



NOTA / NOTE

Delimitación ecológica de fondos someros para los atolones Serrana, Roncador y Quitasueño de la Reserva de la Biosfera Seaflower, Caribe colombiano

Ecological shallow water delimitation of the Serrana, Roncador, and Quitasueño Atolls of the Seaflower Biosphere Reserve in the Colombian Caribbean

Santiago Millán* y Carolina García-Valencia

0000-0002-4082-937X

0000-0002-3824-3839

*Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar, Laboratorio de Servicios de Información (LabSIS), Santa Marta, Colombia.
santiago.millan@invemar.org.co*, carolina.garcia@invemar.org.co*

* Autor de correspondencia

RESUMEN

Para contribuir al conocimiento de los fondos coralinos de la Reserva de Biosfera Seaflower (RB Seaflower), se realizó la actualización cartográfica a escala 1:50 000 de unidades ecológicas del paisaje (UEP) para los atolones de Serrana, Roncador y Quitasueño, basada en el procesamiento e interpretación de imágenes del sensor satelital ALOS AVNIR-2 en 2012. Para la asignación temática se utilizó como referencia productos cartográficos previos, información de campo y descripciones ecológicas de la comunidad bentónica. En total se delimitaron 138 967 ha y 30 UEP, de las cuales 32 908 ha corresponden a Serrana, 4 861 a Roncador y 101 198 a Quitasueño. Los productos generados representan una buena aproximación de la disposición, extensión y distribución de los elementos del paisaje bentónico, constituyéndose en información de línea base crucial para el manejo de estos atolones. Además, hacen parte del Mapa de Ecosistemas Continentales Costeros y Marinos de Colombia a escala 1:100 000 (MEC100K) y del Atlas de Áreas Coralinas de Colombia (AACC) actualizado en plataforma digital a 2020. Sin embargo, hace falta trabajo de campo más extenso con fines cartográficos, que permita mayor detalle espacial y temático, y evaluar la confiabilidad cartográfica.

PALABRAS CLAVES: Hábitats marinos, Unidades ecológicas, Arrecifes de coral, Cartografía

ABSTRACT

In order to contribute to the sea bottoms knowledge of the Seaflower Biosphere Reserve (RB Seaflower), a mapping update was made at 1:50,000 scale of the Seascape Ecological Units (SEU) for the Serrana, Roncador and Quitasueño atolls, based on the processing and interpretation of ALOS AVNIR – 2 satellite images acquired in 2012. For the attribute assignment was used as reference cartographic products, fieldwork data, and ecological descriptions of the benthic community. A total of 138,967 ha and 30 SEU, which corresponds to 32,908 ha for Serrana, 4,861 to Roncador and 101,198 to Quitasueño. The products generated represents a good approximation of the location, extension and distribution of the benthic seascape elements, constituting the base line information for the management of these atolls, they are also part of the Continental, Coastal and Marine Ecosystem Map of Colombia at scale 1:100,000 (MEC 100K) and the Colombian Coral Areas Atlas (AACC) updated on a digital platform to 2020. However, more extensive field work is needed for cartographic purposes, which allows for greater spatial and thematic detail, and to evaluate cartographic reliability

KEYWORDS: Marine atlas, Ecological units, Coral reefs, Cartography

La degradación de los arrecifes de coral a nivel mundial (Hughes *et al.*, 2017) compromete la gran cantidad de servicios ecosistémicos que proveen (Woodhead *et al.*, 2019). Para protegerlos, la cartografía de Unidades Ecológicas del Paisaje (UEP) es una herramienta para direccionar procesos de restauración y conservación (Mumby, 2001). En Colombia, el mapeo de áreas arrecifales oceánicas inició después del 90 del siglo pasado, entre ellos Roncador y Serrana (Díaz *et al.*, 1996). Posteriormente, Díaz *et al.* (2000) presentaron los mapas de las áreas coralinas de Colombia, incluyendo casi todas las áreas de la RB Seaflower. A partir de estos insumos, Sánchez *et al.* (2005) presentaron esquemas cartográficos modificados de Serrana, Roncador y Quitasueño; también se elaboraron los primeros mapas en Serranilla, Bajo Nuevo y Bajo Alicia (Invemar – ANH, 2012). Aprovechando la disponibilidad de información cartográfica para los tres atolones mencionados, durante la Expedición Seaflower de 2014, se logró el registro de nueva información biótica en campo, creándose un conjunto de datos que facilitó las actualizaciones cartográficas.

Se realizaron 32 inmersiones con equipo scuba distribuidos en las cuencas lagunares, terrazas lagunares y terrazas prearrecifales de sotavento de Quitasueño, Serrana y Roncador, donde se obtuvo información derivada de evaluación ecológica rápida similar a lo realizado por Díaz *et al.* (1995) y Garzón-Ferreira y Pinzón (1999). Los corales escleractinios fueron discriminados a nivel de especie en un transecto de banda de 20×2 m. Con base en los tipos y mayores porcentajes de cobertura biótica y de sustrato, se determinó cada UEP y la geomorfología asociada. Para suplir vacíos de información, debido al bajo número de puntos, se usó la cartografía del atlas de áreas coralinas de Colombia (Díaz *et al.*, 2000) y modificaciones a partir de los citados autores con esquemas cartográficos elaborados por Sánchez *et al.* (2005), de forma que se identificó la posición espacial de cada elemento cartográfico mediante el programa ArcGIS 10.5. También se usaron descripciones de la zonación de los arrecifes oceánicos del Caribe colombiano (Díaz *et al.*, 1996; Díaz-Pulido *et al.*, 2004), permitiendo una mejor interpretación de la información.

Previo a la edición cartográfica, el procesamiento digital incluyó correcciones atmosféricas mediante la herramienta “dark subtraction”, en tres escenas del sensor ALOS AVNIR – 2 de 2012 (una para cada atolón), con lo cual fue posible diferenciar contornos hasta 30 m de profundidad. Se descartó la aplicación de correcciones geométricas, debido a la ausencia de puntos de referencia. Sin embargo, las imágenes presentaron desplazamientos menores a 10 m con respecto a la información de campo. A continuación, cada

The global degradation of coral reefs (Hughes *et al.*, 2003), compromises the large number of ecosystem services that provide (Woodhead *et al.*, 2019). To protect them, Seascape Ecological Units (SEU) cartography is a tool to guide restoration and conservation processes (Mumby, 2001). In Colombia, coral reef mapping began in the 1990s, including the Roncador and Serrana atolls (Díaz *et al.*, 1996). Later, Díaz *et al.* (2000) presented the Colombia’s coral areas maps, which included almost all the RB Seaflower areas. Taking advantage of this product, Sánchez *et al.* (2005) presented modified cartographic schemes of Serrana, Roncador y Quitasueño; the first maps of Serranilla, Bajo Nuevo and Bajo Alicia were also produced (Invemar – ANH, 2012). Based on the availability of thematic information for the previously mentioned atolls, during the 2014 Seaflower Expedition, the registration of new biotic information in field was achieved, creating a data set that facilitated cartographic updates.

32 dives were made with Scuba equipment in the lagoon basins, backreefs, and fore reef terraces obtaining information derived from rapid ecological evaluation similar to that carried out by Díaz *et al.* (1995) and Garzón-Ferreira and Pinzón. (1999), discriminating scleractinian corals at species level in a 20×2 m band transect. Based on the types, highest percentages of biotic, substrate coverage, each SEU was determined, and the associated geomorphology. To fill information gaps due to the low number of points the Colombian coral areas atlas were used as reference (Díaz *et al.*, 2000), and modifications from the aforementioned authors with cartographic schemes prepared by Sánchez *et al.* (2005), thus, the spatial position of each cartographic element through the ArcGIS 10.5 software was identified. General aspects of the Colombian Caribbean oceanic reef zoning were also consulted (Díaz *et al.*, 1996; Díaz – Pulido *et al.*, 2004), allowing a better interpretation of the information.

Before the cartographic edition, the digital image processing included atmospheric corrections through the “dark subtraction” tool on three satellite images of 2012, ALOS AVNIR - 2 sensors (one for each atoll), in where were observed contours up to 30 m deep. Geometric corrections were ruled out due to the absence of reference sites. However, the images show displacements of less than 10 m regarding the information taken in the field. Then each image was divided into three zones (lagoon basin, backreef, and fore reef terraces), as recommends from Andréfouët and Guzmán (2005). In each zone were made band combinations

imagen fue segmentada en tres zonas (cuenca lagunar, terraza lagunar y terraza prearrecifal) acorde con lo recomendado por Andréfouët y Guzmán (2005). Para cada zona se realizaron combinaciones de bandas, en color verdadero, y análisis por componentes principales, con las bandas azul y verde, con lo cual se obtuvo tres componentes que fueron visualizados en diferente orden y se seleccionó la combinación que permitió visualizar coberturas predominantemente coralinas. Este análisis detecta y transforma la variabilidad de la imagen en un conjunto más reducido de bandas o componentes que explican el máximo de la misma, pero mantiene la información significativa (Chuvieco, 1996).

Como referencia se utilizó la cartografía previamente citada (Díaz *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2005), se confrontó su correspondencia con lo observado en las imágenes de satélite y se hicieron nuevas asignaciones cuando la información de campo lo demostró. Además, se asociaron atributos temáticos con base en criterios de interpretación visual a partir de la textura, el tono y el color en las imágenes bajo las visualizaciones en color verdadero y componentes principales ya descritas, lo que permitió asignar niveles de incertidumbre por polígono sobre la presencia de cada unidad.

Como resultado se actualizaron dos capas cartográficas, la geomorfológica y la biótica, para luego nombrar según la clasificación de Díaz *et al.* (2000). El paso final consistió en la unión cartográfica de estos insumos y en la concatenación de las leyendas respectivas (biótica y geomorfológica), y se generó una capa cartográfica de unidades ecológicas del paisaje UEP. Para la asignación de las unidades geomorfológicas se nombraron los rasgos más sobresalientes del paisaje teniendo en cuenta el esquema de clasificación contenido en Díaz *et al.* (2000), así: tres zonas: 1. Terraza prearrecifal, 2. Cresta y 3. Cuenca lagunar (Trasarrecife), y dos tipos: 1. Arrecife de parche (ubicados en la cuenca lagunar) y 2. arrecife de parche periférico (ubicados en la periferia de la cuenca lagunar a sotavento). Con lo cual se logró diferenciar las unidades bióticas por su localización respecto a la geomorfología del arrecife. En total se delimitaron 138 967 ha y 30 UEP, basadas en 7 unidades geomorfológicas y 12 unidades bióticas.

El atolón de Serrana, a pesar de corresponder a menos de un tercio del tamaño de Quitasueño con 32 908 ha, posee una cresta arrecifal de 56 km de largo que hace parte del arrecife periférico que rodea buena parte de esta formación y una cuenca lagunar de 24 883 ha, que son las más extensas de Colombia. No obstante, presentó fondos con solo 12 UEP, el menor número de unidades en los tres atolones (Figura 1).

to create true color compositions and principal component analysis using the blue and green bands, obtaining three components that were visualized with different order and selecting the combination that show the differentiation of predominantly coral cover. This analysis detects and transforms the image variability set of bands or components which explain the maximum of variability but maintaining the significant information (Chuvieco, 1996).

As a reference, the existing cartography mentioned previously was used (Díaz *et al.*, 2000 y Sánchez *et al.*, 2005), confronting its correspondence with what was observed in the satellite images, making new assignments when the field information demonstrated it. Besides, the thematic attributes associated using visual interpretation criteria such as texture, tone, and color in true color composition and principal components already described, which allowed assigning levels of uncertainty per polygon on the presence of each unit.

As a result, two cartographic layers were updated, one geomorphological and other biotic, and then rename according to the classification of Díaz *et al.* (2000). The final step consisted of the cartographic union of these layers, and the concatenation of the respective legends (biotic and geomorphological) generating a layer of SEU. For the assignment of the geomorphological units, the most outstanding features of the landscape were named taking into account the geomorphological classification scheme contained in Díaz *et al.* (2000) discriminating three zones: 1. Fore reef terraces, 2. Crest and 3. Lagoon basin; two types: 1. Patch reef (located in the lagoon basin) and 2. peripheral patch reef (located at the leeward side of the periphery of lagoon basin). Allowing to differentiate the biotic units by their location with respect to the reef geomorphology. A total 138,967 ha was delimited and 30 SEU based on 7 geomorphological units and 12 biotic units.

The Serrana atoll, despite corresponding to less than a third of the Quitasueño size with 32,908 ha, its reef crest that is part of the peripheral reef with a length of 56 km, and its lagoon basin with 24,883 ha, are the largest in Colombia. However, it represents only 12 SEU, the smallest number of the three atolls (Figure 1). Roncador, despite being the smallest of the three atolls with 4,861 ha, 13 km in length with a northwest – southeast orientation, 6 km in its widest portion and a 12.8 km long reef crest being part of the peripheral reef, represented 15 SEU. This atoll is characterized by having the lagoon basin with the highest relative coverage of coral formations in Colombia

Roncador, pese a ser el más pequeño de los tres atolones con 4 861 ha, 13 km de longitud con disposición noroeste-sureste, 6 km en su porción más ancha y una cresta arrecifal que hace parte del arrecife periférico localizado a barlovento de 12,8 km de largo presentó 15 UEP. Este atolón se caracteriza por poseer la cuenca lagunar con mayor cobertura relativa de formaciones coralinas en Colombia (Figura 2). Quitasueño, la mayor área coralina de Colombia con 101 198 ha, se extiende 63 km en su porción más larga con disposición norte-sur, y 24 km en su porción más ancha. Se caracteriza por incluir una extensa terraza prearrecifal a sotavento, con dominancia de formaciones coralinas hacia el centro, y grandes extensiones de fondos con octocorales y esponjas hacia el sur y al norte. En Quitasueño se identificó el mayor número de UEP, un total de 21. Además, su cresta arrecifal del arrecife periférico de barlovento es la segunda más extensa del país, con una longitud de 43 km (Figura 3).

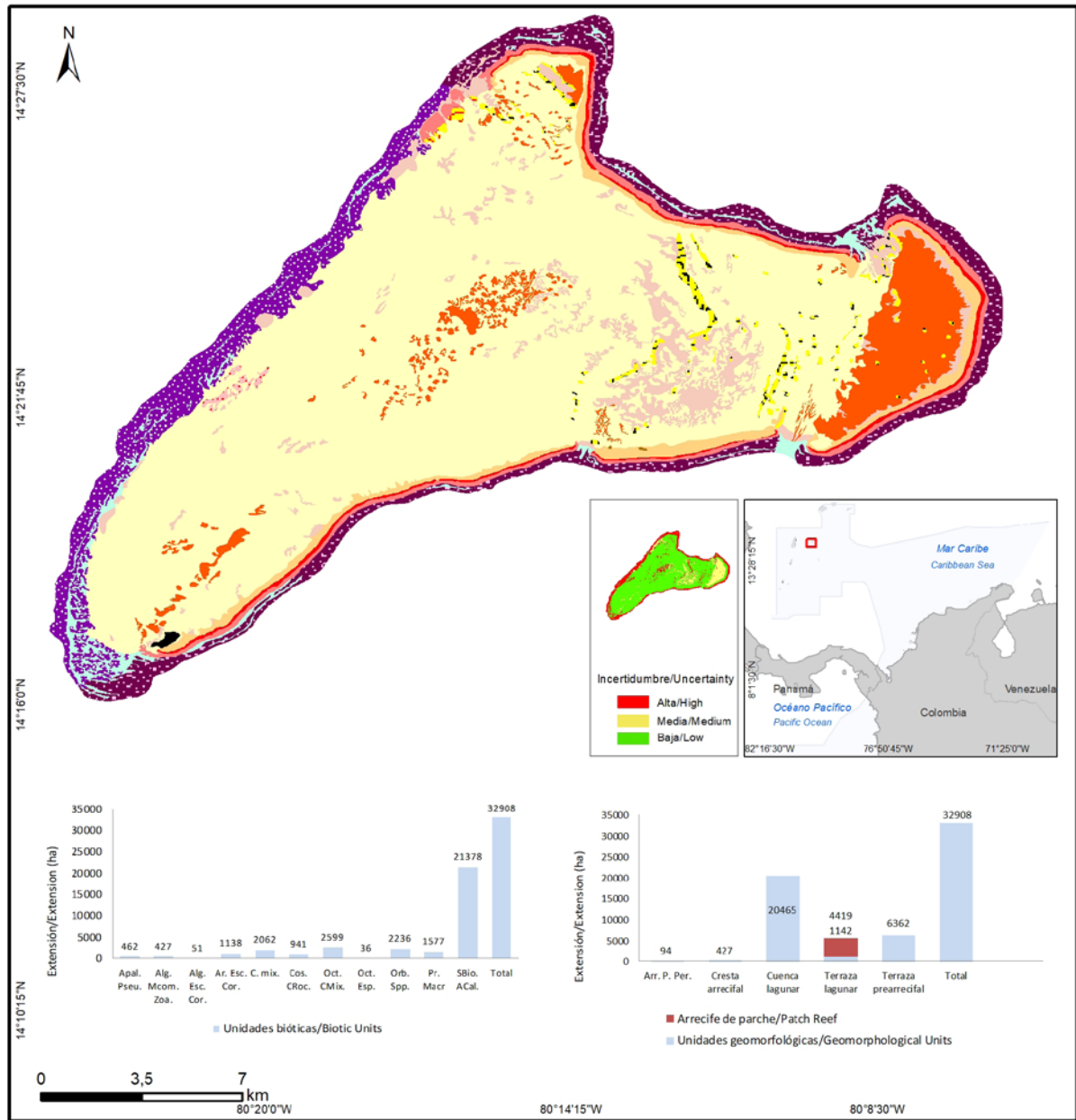
Respecto a la cartografía previa (Díaz *et al.*, 2000), las principales diferencias se aprecian en el nivel de detalle de las cuencas lagunares, que es mayor en los citados autores, pero la escala es desconocida. También se corrigieron distorsiones geométricas, desplazamientos y se delimitaron nuevos elementos del fondo, principalmente en Quitasueño.

El cambio más notorio es la restricción de la UEP Arena – Escombros coralinos a las terrazas lagunares, pues los fondos blandos de las demás zonas parecen corresponder a la descripción de sedimentos bioturbados – algas calcáreas de Díaz *et al.* (2000). Así mismo, se mejoró su representación en las zonas profundas respecto a los autores citados. La diferencia más notable se aprecia en Quitasueño con la UEP Octocorales – Esponjas, a profundidades entre 20 y 30 m en la terraza prearrecifal, no representada en Díaz *et al.* (2000). Esta unidad es similar a la denominada Pradera de macroalgas – Octocorales – Esponjas en banco Serranilla y bajo Alicia registrada en 2012 (Invemar y ANH.2012), pero en el presente caso, no se mencionan las macroalgas porque a pesar de ser componentes comunes en este ecosistema (McCook, 1996; Knowlton, 2004) y ser cada vez más dominantes en las últimas décadas incluyendo los arrecifes de coral remotos (Bruno y Valdivia, 2016), su dominancia puede darse de manera estacional (Díaz-Pulido y Garzón-Ferreira, 2002). Otra UEP notable por no estar representada anteriormente en Quitasueño es Octocorales – Corales mixtos ubicada en las terrazas prearrecifales, lo que coincide con las descripciones de Sánchez *et al.* (2005). Respecto a las UEP constructoras de arrecifes de coral o con dominancia de corales hermatípicos, abarcan cerca de 29 000 ha, que representan cerca de 21 % de los tres atolones,

(Figure 2). Quitasueño, the largest coral area in Colombia with 101,198 ha, it extends for 63 km in its longest portion with north – south orientation and 24 km in its widest portion. It's characterized by having a large reef terrace, with dominance of coral formations towards the center, and large extensions of octocorals and sponges towards the south and north. In Quitasueño the largest number of SEU was identified for a total of 21, furthermore, its reef crest is the second largest in the country with a 43 km length (Figure 3).

Regarding the previous cartography (Díaz *et al.*, 2000), the main differences can be seen in the lagoon basins detail level, which is higher in the aforementioned authors, but the scale is unknown; geometric distortions and displacements were also corrected and new elements of the background were delimited, mainly in Quitasueño.

The most notable change is the restriction of the SEU Arena - Coral debris to the lagoon terraces, since the soft bottoms of the other zones seems to correspond to descriptions of bioturbated sediments - calcareous algae of Díaz *et al.* (2000), likewise, their representation in the deep zones was improved with respect to the mentioned authors. The most notable difference is appreciated in Quitasueño with the SEU Octocorals – Sponges, at depths between 20 and 30 m in the fore reef terrace, it is similar to the so-called Macroalgae meadows - Octocorals - Sponges in Serranilla bank and bajo Alicia registered in 2012 (Invemar and ANH, 2012), but in this case macroalgae are not mentioned because despite being common in coral reefs (McCook, 1996; Knowlton, 2004), and become increasingly dominant in recent decades including remote coral reefs (Bruno y Valdivia, 2016), its dominance can occur seasonally (Díaz-Pulido and Garzón-Ferreira, 2002). Another notable SEU for not being previously represented in Quitasueño is Octocorals - Mixed corals located in the pre-reef terraces, which coincides with the descriptions of Sánchez *et al.* (2005). Regarding the SEU that build coral reefs or with hermatypic coral dominance, they cover about 29,000 ha representing about 21 % of the three atolls, where the most relevant are Octocorals - Mixed corals and *Orbicella* spp. The change in these proportions with respect to Díaz *et al.* (2000) is almost the same in Roncador, in Serrana the difference is barely 3 % in favor of soft bottoms, but Quitasueño is notably different, since the SEUs that form coral reefs are considerably higher in Díaz *et al.* (2000) where the mixed corals approach 40,000 ha, but in the present publication they only add up to 1,637; these differences

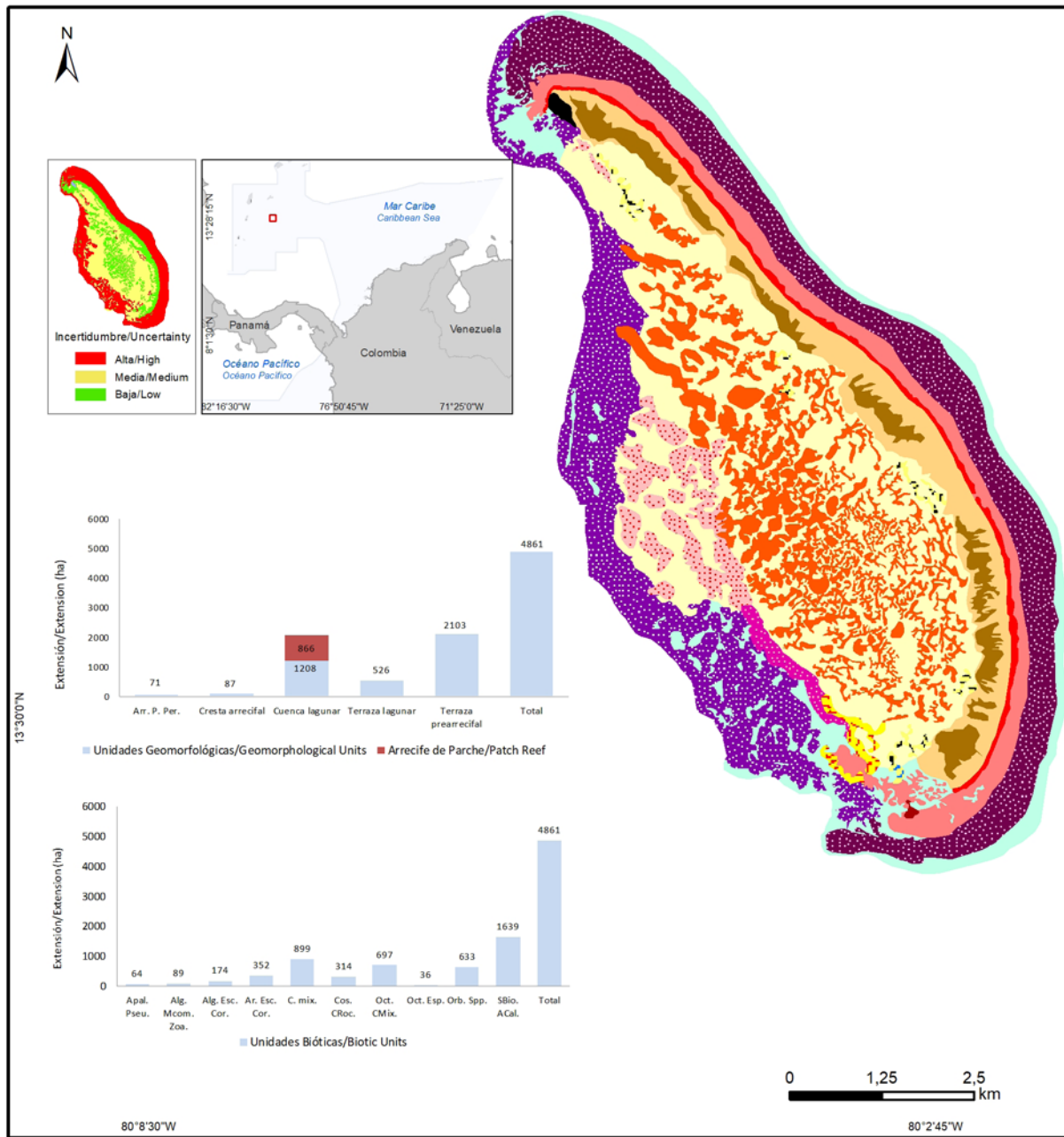


Unidades Ecológicas del Paisaje/Seascape Ecological Units

- Acropora palmata* - *Pseudodiploria* spp en Arrecife de parche/ Lagoon Basin
- Acropora palmata* - *Pseudodiploria* spp en Arrecife de parche periférico (Arr. P. Per.)/Peripheral Patch Reef
- Algas pétreas - *Millepora complanata* - Zoantídeos (Alg. Mcom. Zo.) en Cresta arrecifal/Reef Crest
- Algas sobre escombros coralinos (Alg. Esc. Cor.) en Terraza lagunar/Back Reef
- Arena - Escombros coralinos (Ar. Esc. Cor.) en Terraza lagunar/ Back Reef
- Corales mixtos (C. mix) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/ Patch Reef in Lagoon Basin
- Corales mixtos en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Costras de coral (Cos. CRoc) sobre roca en Terraza prearrecifal/ Fore Reef
- Octocorales - Corales mixtos (Oct. CMix) en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Orbicella* spp (Orb. spp) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas (SBio. ACal) en Cuenca lagunar/Lagoon Basin
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Tierra emergida/Emerged Land

Figura 1. Mapa de UEP del atolón Serrana en el Caribe colombiano.

Figure 1. SEU map of the Serrana Atoll in the Colombian Caribbean.

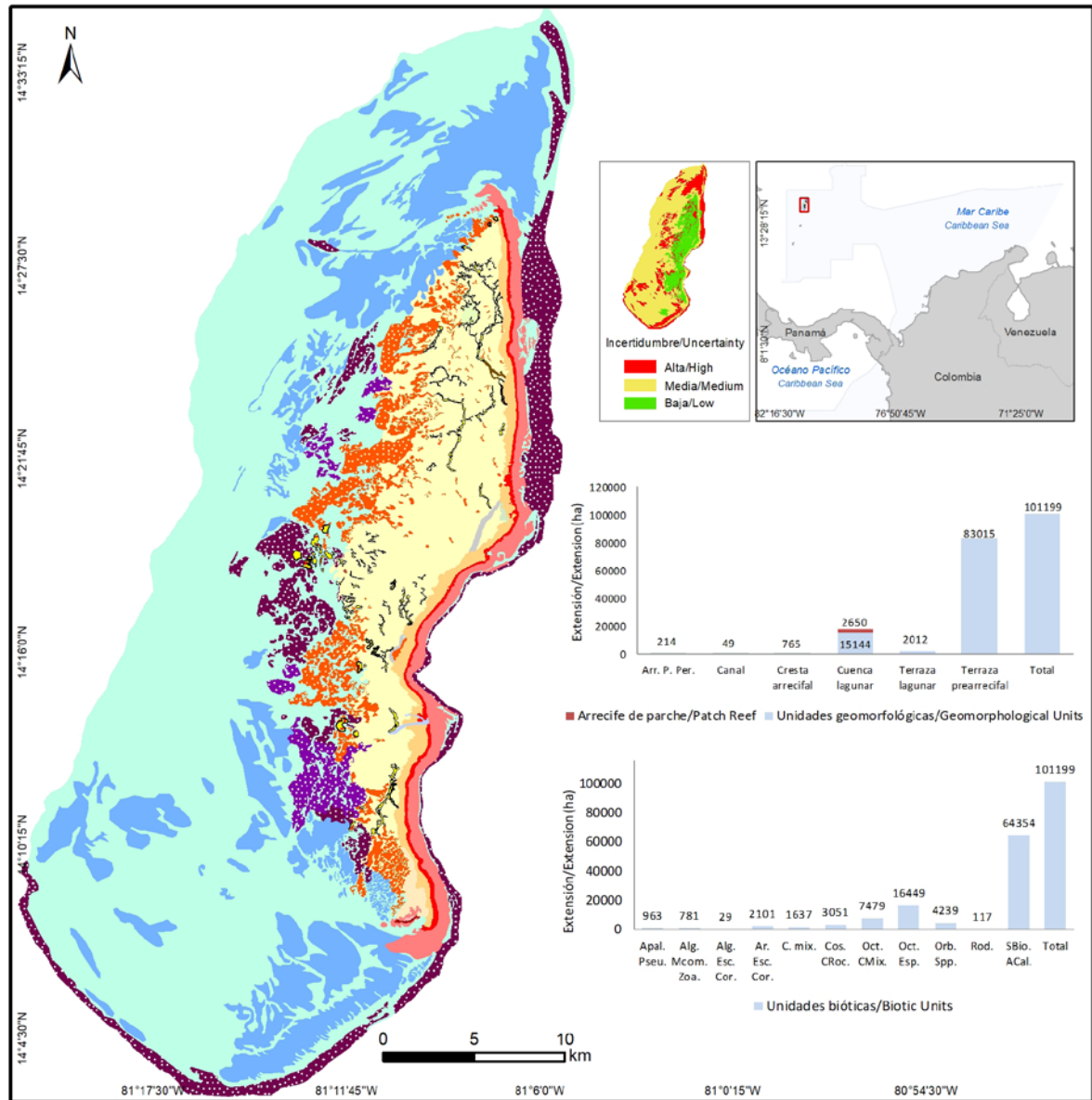


Unidades Ecológicas del Paisaje/Seascape Ecological Units

- Acropora palmata* - *Pseudodiploria* spp (Apal. Pseu) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Acropora palmata* - *Pseudodiploria* spp (Apal. Pseu) en Arrecife de parche periférico (Arr. P. Per.)/Peripheral Patch Reef
- Acropora palmata* - *Pseudodiploria* spp en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Algas pétreas - *Millepora complanata* - Zoanfideos en Arrecife de parche periférico/Peripheral Patch Reef
- Algas pétreas - *Millepora complanata* - Zoanfideos en Cresta arrecifal/Reef Crest
- Algas sobre escombros (Alg. Esc. Cor.) coralinos en Terraza lagunar/Back Reef
- Arena - Escombros coralinos (Ar. Esc. Cor.) en Terraza lagunar/Back Reef
- Corales mixtos (C. mix.) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Corales mixtos en Arrecife de parche periférico/Peripheral Patch Reef
- Corales mixtos en Terraza prearrecifal/Back Reef
- Costras de coral sobre roca (Cos. CRoc.) en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Octocorales - Corales mixtos (Oct. Cmix.) en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Orbiella* spp. (Orb. spp.) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Basin Lagoon
- Sedimentos bioturbados (SBio. Acal.) - Algas calcáreas en Cuenca lagunar/Basin Lagoon
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Tierra emergida/Emerged Land

Figura 2. Mapa de las UEP del atolón Roncador, en el Caribe colombiano.

Figure 2. SEU map of the Roncador Atoll in the colombian Caribbean.



Unidades Ecológicas del Paisaje/Seascape Ecological Units

- Acropora palmata* - *Pseudodiploria* spp (Apal. Pseu) en arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Acropora palmata* - *Pseudodiploria* spp en Arrecife de parche periférico (Arr. P. Per.)/Peripheral Patch Reef
- Algas pétreas - *Millepora complanata* - Zoantídeos (Alg. Mcom. Zoa.) en Arrecife de parche periférico/Peripheral Patch Reef
- Algas pétreas - *Millepora complanata* - Zoantídeos en Cresta arrecifal/Reef Crest
- Algas sobre escombros coralinos (Alg. Esc. Cor.) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Arena - Escombros coralinos (Ar. Esc. Cor.) en Cuenca lagunar/Lagoon Basin
- Arena - Escombros coralinos en Terraza lagunar/Back Reef
- Corales mixtos (C. mix.) en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Costras de coral sobre roca (Cos. CRoc.) en Terraza lagunar/ Back Reef
- Costras de coral sobre roca en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Octocorales - Corales mixtos (Oct. CMix.) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Octocorales - Corales mixtos en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Octocorales - Esponjas (Oct. Esp.) en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Orbicella* spp (Orb. spp.) en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Orbicella* spp en Terraza prearrecifal/Fore Reef
- Rodolitos (Rod.) en Terraza lagunar/Back Reef
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas en Arrecife de parche en Cuenca lagunar/Patch Reef in Lagoon Basin
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas (SBio. ACal.) en Canal/Channel
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas en Cuenca lagunar/Lagoon Basin
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas en Terraza lagunar/Back Reef
- Sedimentos bioturbados - Algas calcáreas en Terraza prearrecifal/Fore Reef

Figura 3. Mapa de las UEP del atolón Quitasueño en el Caribe colombiano.

Figure 3. SEU map of the Quitasueño Atoll in the Colombian Caribbean.

donde las más relevantes son Octocorales – Corales mixtos y *Orbicella* spp. El cambio de estas proporciones respecto a Díaz *et al.* (2000) es casi igual en Roncador. En Serrana la diferencia es de apenas 3 % a favor de los fondos blandos, pero para Quitasueño es notablemente diferente, pues las UEP formadoras de arrecifes de coral son considerablemente mayores en Díaz *et al.* (2000), donde los corales mixtos se acercan a las 40 000 ha, pero en la presente publicación tan solo suman 1 637; estas diferencias pueden deberse a la baja capacidad de detectar los fondos en aquella época, especialmente los que corresponden a las zonas profundas de la terraza prearrecifal. La relación entre UEP conformando arrecifes de coral fue inversamente proporcional al tamaño del atolón: Quitasueño presenta un 18 %, Serrana un 27 % y Roncador, que es cerca de 21 veces más pequeño que Quitasueño, presenta un 59 %; hace falta saber si este comportamiento es una generalidad de los complejos arrecifales oceánicos del Caribe.

Es pertinente mencionar que la UEP representada por Díaz *et al.* (2000) y Sánchez *et al.* (2005) como *Acropora cervicornis* no fue identificada en campo, sin embargo, se presume en parches dispersos menores a la escala del presente caso, es decir, parches menores a 4 ha. También la unidad *Acropora palmata* – *Pseudodiploria* spp., está representada en proporciones menores a las registradas por los citados autores. Sin embargo, en varios lugares se aprecian esqueletos erosionados de estas dos especies, vestigios de un pasado donde fueron más comunes, lo que concuerda con la disminución en la cobertura de estas especies por los episodios de mortandad reportados en todo el Caribe a finales de los años 80 (Aronson y Pretch, 2001).

En conclusión, se logró una buena aproximación de la extensión y distribución de los elementos del paisaje bentónico de un producto cartográfico disponible para su consulta en el MEC100K (Ideam *et al.*, 2015) y en el AACC (Invemar – Minambiente, 2020). Sin embargo, persiste la necesidad de realizar trabajo de campo extenso y orientado específicamente a la generación de cartografía temática, para actualizar la información a escala más detallada y validarla por medio de índices de exactitud o confiabilidad cartográfica, ya que sigue vigente la necesidad científica de información actualizada y espacializada a niveles detallados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Invemar, al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) y a la Dirección General Marítima (Dimar) por auspiciar el desarrollo del presente estudio a través de la expedición científica

may be due to the low capacity to detect the seabeds at that time, especially those corresponding to the deep areas of the fore reef terraces. The relationship between SEU forming coral reefs was inversely proportional to the atoll size. Quitasueño presents 18 %, Serrana 27 % and Roncador, which is about 21 times smaller than Quitasueño, presents 59 %; it is necessary to know if this behavior is a generality of the complex oceanic reefs of the Caribbean.

It is pertinent to mention that the SEU represented by Díaz *et al.* (2000) and Sánchez *et al.* (2005) as *Acropora cervicornis* was not identified in the field, which, if it persists, is presumed in scattered patches smaller than the scale of the present case. Also, the unit *Acropora palmata* – *Pseudodiploria* spp., it is represented in smaller proportions than those reported by the aforementioned authors. However, in several places eroded skeletons of these two species can be seen, vestiges of a past where they were more common, which is consistent with the decrease in the coverage of these species due to the mortality episodes reported throughout the Caribbean in the late 1980s (Aronson and Pretch, 2001).

In conclusion, a good approximation of the extension and distribution of the benthic seascape elements was achieved of an available product for consultation in MEC100K (Ideam *et al.*, 2015) and AACC (Invemar – Minambiente, 2020). However, the need to carry out extensive field work and specifically oriented to the generation of thematic cartography to update the information at a more detailed scale and validate it persists, since the scientific need for updated, spatialized and thematic information that leads to identifying and delimiting SEU to the maximum level of detail is still in force.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thanks Invemar, the Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) and the Dirección General Marítima (Dimar) for sponsoring the development of this study. Likewise, to Professor Adolfo Sanjuan Muñoz for his accompaniment in the field, and the PhDs Juan Manuel Díaz and Sven Zea for their comments and discussion on the distribution of biotic and geomorphological units.



Seaflower 2014. Así mismo, al profesor Adolfo Sanjuan Muñoz por su acompañamiento en campo, a los doctores Juan Manuel Díaz y Sven Zea por sus comentarios y discusión sobre la distribución de las unidades bióticas y geomorfológicas.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Andréfouët, S and H. Guzmán. 2005. Coral reef distribution, status and geomorphology –biodiversity relationship in Kuna Yala (San Blas) archipelago Caribbean Panamá. *Coral Reefs*, 24: 31-42.
- Aronson, R. and W. Precht. 2001. White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hidrobiología*, 460: 25–38.
- Bruno, J. and A. Valdivia. 2016. Coral reef degradation is not correlated with local human population density. *Scientific Reports*, 6: 29778.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Ed. Rialp, Madrid. 576 p.
- Díaz-Pulido, J, J. Sánchez, S. Zea, J. Díaz, J. Garzón-Ferreira. 2004. Esquemas de distribución espacial de la comunidad bentónica de Arrecifes coralinos continentales y oceánicos del Caribe colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 28: 337– 347.
- Díaz, J.M., J. Garzón-Ferreira y S. Zea. 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés, Colombia: Estado actual y perspectivas para su conservación. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá. 150 p.
- Díaz, J.M., G. Díaz-Pulido, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, J.A. Sánchez y S. Zea. 1996. Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe colombiano. Tomo I. Complejos Arrecifales Oceánicos. Invemar, Serie Publicaciones Especiales 2. Santa Marta. 83 p.
- Díaz, J.M., L. Barrios, M. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Ángel, F. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. Invemar, Serie de publicaciones especiales No. 5, Santa Marta. 175 p.
- Garzón – Ferreira. J y J. Pinzón. 1999. Evaluación rápida de estructura y salud de las formaciones coralinas de la Isla Malpelo (Pacífico colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 28: 137-154.
- Hughes, T., J. Kerry, M. Álvarez-Noriega, J. Álvarez Romero, K. Anderson, A. Baird, R. Babcock, M. Beger, D. Bellwood, R. Berkelmans, T. Bridge, I. Butler, M. Byrne, N. Cantin, S. Comeau, S. Connolly, G. Cumming, S. Dalton, G. Diaz-Pulido, C. Eakin, W. Figueira, J. Gilmour, H. Harrison, S. Heron, A. Hoey, J.-P. Hobbs, M. Hoogenboom, E. Kennedy, C.-Y. Kuo, J. Lough, R. Lowe, G. Liu, M. McCulloch, M. McWilliam, J. Pandolfi, R. Pears, M. Pratchett, V. Schoepf, V. Simpson, T. Skirving, W. Sommer, B. Torda, G. Wachenfeld, D.B. Willis and S. Wilson. 2017. Globalwarming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 15: 373-377.
- Hughes, T., A. Baird, D. Bellwood, M. Card, S. Connolly, C. Folke and J. Lough. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301: 929-933.
- Ideam, MADS, IAvH, Invemar, IIAP, Sinchi, PNNC e IGAC. 2015. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Versión 1.0 a escala 1:100000.
- Invemar-ANH. 2012. Línea base ambiental en el Área de Régimen Común Jamaica - Colombia como aporte al aprovechamiento sostenible de los recursos marinos compartidos. 113 p.
- Invemar – Minambiente. 2020. Convenio interadministrativo Invemar – Minambiente CI-521 de 2020. Actividad: Actualización del Atlas de Áreas Coralinas de Colombia Fase II. Actualmente en curso.
- Knowlton, N. 2004. Multiple “stable” states and the conservation of marine ecosystems. *Prog. Oceanogr.*, 60: 387-396.
- McCook, L. 1996. Effects of herbivores and water quality on *Sargassum* distribution on the Central Great Barrier Reef: cross – shelf transplants. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 139: 179–92.
- Mumby, P. 2001. Beta and habitat diversity in marine systems: a new approach to measurement, scaling and interpretation. *Oecología*, 128: 274–280.
- Sánchez, J.A., V. Pizarro, A. Acosta de Sanchez, P. Castillo, P. Herron, J. Martínez, P. Montoya y C. Orozco. 2005. Evaluating coral reef benthic communities in remote Caribbean Atolls (Quitassueño, Serrana and Roncador Banks) to recommend marine-protected areas for the Seaflower biosphere Biosphere Reserve. *Atoll Res. Bull.*, 531: 1-65.
- Woodhead, A., C. Hicks, A. Norström, G. Williams & N. Graham. 2019. Coral reef ecosystem services in the Anthropocene. *Funct. Ecol.*, 33: 1023-1034.

RECIBIDO/RECEIVED: 03/02/2020

ACEPTADO/ACCEPTED: 24/02/2021

