



Definición de Unidades Ambientales de Análisis (UAA): método alternativo como base para la zonificación ambiental de ecosistemas marino-costeros

Definition of Environmental Units of Analysis: alternative method as a basis for environmental zoning of marine-coastal ecosystems.

Leonardo Javier Ospino-Sepulveda y Ángela Cecilia López-Rodríguez

0000-0003-1433-7272

0000-0001-5784-8035

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero, Santa Marta D.T.C.H., Colombia.
leonardo.ospino@invemar.org.co; angela.lopez@invemar.org.co

RESUMEN

El ordenamiento ambiental y el manejo sostenible de los ecosistemas marino-costeros son la finalidad de la zonificación ambiental que se realiza a partir de la implementación de métodos como el COLMIZC, la zonificación participativa y aquella que se emplea con el Sistema Soporte de Decisión (SSD) también conocido como "Software MARXAN". Estos métodos presentan ventajas y desventajas; sin embargo, todos ellos tienen algo en común: la necesidad de incluir información detallada, primaria o secundaria, del componente biótico y físico del ecosistema a zonificar. En ese sentido, para el presente trabajo se adapta un método, a partir de otros ya existentes, para realizar una apropiada zonificación ambiental de un determinado ecosistema marino-costero (como, por ejemplo, manglar, pastos marinos, corales, entre otros), sin contar con información detallada biofísica. Tiene como principal característica la definición de Unidades Ambientales de Análisis (UAA), las cuales se consideran como regiones homogéneas que pueden definirse desde diferentes aspectos que van desde el tamaño o distribución del ecosistema, hasta los socioeconómicos y culturales (Ospino-Sepulveda *et al.*, 2017b). A partir de la definición de UAA es posible zonificar un ecosistema específico, considerando como significativos, otros elementos o generalidades ambientales que muchas veces en otros métodos no poseen gran importancia. Como resultado de la aplicación del método alternativo se obtuvieron 14 UAA para la zona marino-costera del departamento de La Guajira y 14 UAA para el Chocó, en el Caribe colombiano; la aplicación de criterios socioeconómicos, socioculturales y bióticos sobre las UAA definieron zonas para la protección, recuperación y desarrollo de actividades económicas sostenibles. Se espera que el método por definición de UAA sea considerado como una alternativa para realizar la zonificación ambiental de un ecosistema específico presente en áreas marino-costeras.

PALABRAS CLAVES: Unidades Ambientales de Análisis (UAA), Zonificación Ambiental, Ordenamiento, Ecosistemas marino-costeros, Aspectos socioeconómicos y culturales.

ABSTRACT

The purpose of environmental zoning is to improve environmental management and the sustainable management of the coastal and marine ecosystems. This zoning can be performed by using methods such as participative zoning, COLMIZC, and the method used in the Decision Support System (DSS) called "Software MARXAN". The methods present advantages and disadvantages. However, they all require an input of detailed primary or secondary data, and biotic and physical information regarding the ecosystem. Thus, this study employs a method that was the result of the analysis of different methods, and that enables suitable environmental zoning of the marine-coastal ecosystem (e.g. mangroves, seagrasses, coral reef, etc.) without detailed biophysical information. Its main characteristic is the definition Environmental Units of Analysis (EUA), as units that have been considered as homogenous regions that can be defined from different aspects such as ecosystem size or distribution, and socioeconomic and cultural aspects (Ospino-Sepulveda *et al.*, 2017b). Having defined the EUA, it is possible to map specific ecosystem and consider other important environmental elements, which sometimes are not considered important when using other methods. As a result of this work, 14 EUA were obtained in La Guajira and 14 EUA in Chocó for marine-coastal areas in the Colombian Caribbean. The application of socio-economic, socio-cultural and biotic criteria to EUA defined zones for protection, restoration, and development of sustainable economic activities. We hope that the method adopted in this work will, in the future, be considered as an alternative for the environmental zoning of ecosystems marine-coastal areas.

KEY WORDS: Environmental Units of Analysis (EUA), Environmental zoning, Planning, Management, Marine-coastal ecosystems, Socioeconomic and cultural aspects.

DOI: 10.25268/bimc.invemar.2019.48.1.760.

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

La zonificación ambiental es el proceso mediante el cual se busca ordenar adecuadamente un área geográfica dividiéndola en unidades espaciales con similitudes en sus componentes bióticos, físicos o socioculturales, para luego aplicar criterios que permitan agrupar estas unidades con el fin de establecer sus necesidades de manejo y conservación (Alonso *et al.*, 2003). En áreas costeras, la zonificación debe tener una perspectiva social debido a su estatus de bienes de uso público, algo que no sucede en zonas totalmente continentales (Cicin-Sain y Knecht, 1998; Clark, 1998). En la mayoría de los estudios e investigaciones es muy común emplear métodos de zonificación participativa (López *et al.*, 2013) y el "Software MARXAN", entre otros, para desarrollar la zonificación ambiental de una región en la cual se encuentran varios ecosistemas (Watts *et al.*, 2009); estas investigaciones utilizan como fuente de información principal el componente biótico y físico del área de estudio; sin embargo, estos métodos se ven un poco limitados cuando no cuentan con suficientes datos o detallada información espacial y biofísica del área de estudio (Ardron *et al.*, 2013).

En Colombia, para los procesos de manejo integrado y desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las áreas costeras, se cuenta con la "Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia – PNAOCI", la cual se constituyó en la base para la planificación y el manejo integral de estas áreas (Ministerio del Medio Ambiente, 2000). Luego, en ese mismo sentido, el Inveemar elaboró la "Guía Metodológica para el Manejo Integrado de Zonas Costeras en Colombia" (Alonso *et al.*, 2003), la cual cuenta con tres manuales; esta guía plantea el proceso para abordar la planificación de las áreas costeras, incluyendo el método a emplearse para la zonificación ambiental de un espacio o territorio marino-costero (metodología Colmizc).

La metodología Colmizc (Alonso *et al.*, 2003) propone el desarrollo de la zonificación ambiental a partir de la definición de unidades ecológicas del paisaje (UEP, que en este caso serían las UAA) de forma homogénea, principalmente, desde los aspectos físicos y bióticos (geomorfología y cobertura), y usos. A pesar de esto, en ocasiones es posible que no se cuente con suficiente información desde el componente biofísico para definir las UEP; considerando lo anterior, surge la necesidad de plantear un método alternativo para la definición de las UAA, sobre las cuales llevar a cabo el proceso de zonificación ambiental.

INTRODUCTION

Environmental zoning is the process by which geographic areas are ordered by dividing them into spatial units according to similarities in their biotic, physical or sociocultural components. Specific criteria are applied to group these units in order to establish their requirements for management and conservation (Alonso *et al.*, 2003). For coastal areas, zoning must include a social perspective given their status as a public good. This is not the case in fully continental areas (Cicin-Sain and Knecht, 1998; Clark, 1998). Most studies use participatory zoning methods (López *et al.*, 2013) and "MARXAN Software", among others, to design the environmental zoning of a region in which several ecosystems are found (Watts *et al.*, 2009). These studies use the biotic and physical components of the study area as the main source of information, but these methods can be somewhat limited when they do not have enough data or detailed spatial and biophysical information of the study area (Ardron *et al.*, 2013).

In Colombia, the "National Environmental Policy for the Sustainable Development of Oceanic Spaces and Coastal and Insular Zones of Colombia – PNAOCI (acronym in Spanish)" was implemented to address the processes of integrated management and sustainable development of oceanic spaces and coastal zones. The policy became the basis for the planning and integrated management of these areas (Ministry of the Environment, 2000). In the same line, INVEMAR elaborated the "Methodological Guide for the Integrated Management of Coastal Zones in Colombia" (Alonso *et al.*, 2003), with its three manuals that proposes a process to address planning in coastal zones, including the method for the environmental zoning of a marine-coastal space or territory called Colmizc methodology.

The Colmizc methodology promoted in the "Methodological Guide for the Integrated Management of Coastal Zones in Colombia" (Alonso *et al.*, 2003), proposes the development of environmental zoning based on the homogeneous definition of ecological units of the landscape (EUL, which in this case would be the EUA), mainly from the physical, biotic (geomorphology and coverage), and use aspects. Despite this, there may sometimes not be enough biophysical information with which to define the UEP. Considering the above, the need arises to propose an alternative method for the definition of the EUA, with which to carry out the environmental zoning process.

Esta investigación presenta un método adaptado para la zonificación ambiental de un determinado ecosistema marino-costero, definiendo Unidades Ambientales de Análisis (UAA) de forma homogénea, tomando como base aspectos socioeconómicos y el tamaño o distribución del ecosistema. No obstante, este método analiza aquella información biótica que se tiene de algunos sectores del área de estudio para emplearla en los criterios de zonificación. La relevancia de adaptar este método, es que podría aplicarse a otras áreas geográficas costeras y marinas, donde se presente limitada información biofísica para definir unidades de análisis en procesos de zonificación ambiental.

Para el desarrollo del presente artículo, el estudio de caso se basará en el ecosistema de pastos marinos ubicado en el área marino-costera de los departamentos de La Guajira y Chocó en el Caribe colombiano; no obstante, este método se puede aplicar para zonificar otros ecosistemas marino-costeros como, por ejemplo: manglares, corales, playas, entre otros.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio abarcó dos sectores del Caribe colombiano, uno ubicado en el área marino-costera del departamento de La Guajira y el otro en el área marino-costera del departamento del Chocó (Figura 1). El departamento de La Guajira está ubicado en el extremo norte de Colombia y de América del Sur; su área marino-costera cuenta con la presencia de varios ecosistemas, pero el más distintivo, con más del 85%, son las praderas de pastos marinos representadas por 55.376,93 ha, una cobertura mixta (macroalgas y pastos) aproximada de 1.047,93 ha y un área potencial de presencia de pastos marinos de aproximadamente 81.755,23 ha (Gómez-López *et al.*, 2014). Por otro lado, el departamento de Chocó, está localizado al noreste de Colombia, limitando al norte, en su lado Caribe, con Panamá. En esta área los pastos marinos se encuentran de forma discontinua debido a la entrada de cuerpos de agua dulce y a la corta plataforma continental. La representación de este ecosistema respecto al total del área en el país es de 0,40%, caracterizados por 260,49 ha de pastos marinos, una cobertura mixta (macroalgas, corales) aproximada de 90,75 ha y un área potencial de presencia de pastos marinos de aproximadamente 46,55 ha (Gómez-López *et al.*, 2014). Los dos sectores se encuentran influenciados por presiones antrópicas provenientes, principalmente, de actividades relacionadas al turismo, la minería y a la pesca artesanal, que de uno u otra forma, afectan o deterioran el ecosistema de pastos marinos presente en el área de estudio.

This study presents an adapted method for the environmental zoning of a certain marine-coastal ecosystem, homogeneously defining Environmental Units of Analysis (EUA) based on socioeconomic aspects and the size or distribution of the ecosystem. However, this method analyzes the biotic information that is available of some sectors of the study area to be used in the zoning criteria. The relevance of adapting this method is that it could be applied to other coastal and marine geographical areas, where limited biophysical information is presented to define units of analysis in environmental zoning processes.

The case study for this paper was based on the seagrass ecosystem located in the marine-coastal zone of the departments of La Guajira and Chocó in the Colombian Caribbean. However, this method can be applied to zoning other marine-coastal ecosystems, such as mangroves, corals, and beaches, among others.

STUDY AREA

The study area covered two sectors of the Colombian Caribbean; one located in the marine-coastal area of the department of La Guajira and the other in the marine-coastal area of the department of Chocó (Figure 1). The department of La Guajira is geographically located in the extreme north of Colombia and South America; its marine-coastal zone is home to several ecosystems, but the most distinctive, with more than 85%, are the seagrass meadows represented by 55,376.93 ha. They include a mixed coverage (macroalgae and pastures) of approximately 1,047.93 ha and a potential area of presence of seagrass is approximately 81,755.23 ha (Gómez-López *et al.*, 2014) where they are present. The Chocó department, on the other, located in the Colombian northeast, borders in the north, in its Caribbean region, with Panama. In this area, seagrasses are found discontinuously due to the entry of freshwater bodies and the narrow continental shelf. The representation of this ecosystem with respect to the total area in the country is 0.40%, characterized by 260.49 ha of seagrasses, a mixed coverage (macroalgae, corals) of approximately 90.75 ha, and a potential area of presence of seagrass is approximately 46.55 ha (Gómez-López *et al.*, 2014). Both sectors are influenced by anthropogenic pressures coming mainly from activities related to tourism, mining and artisanal fishing, which, in one way or another, affect or deteriorate the seagrass ecosystem present in the study area.

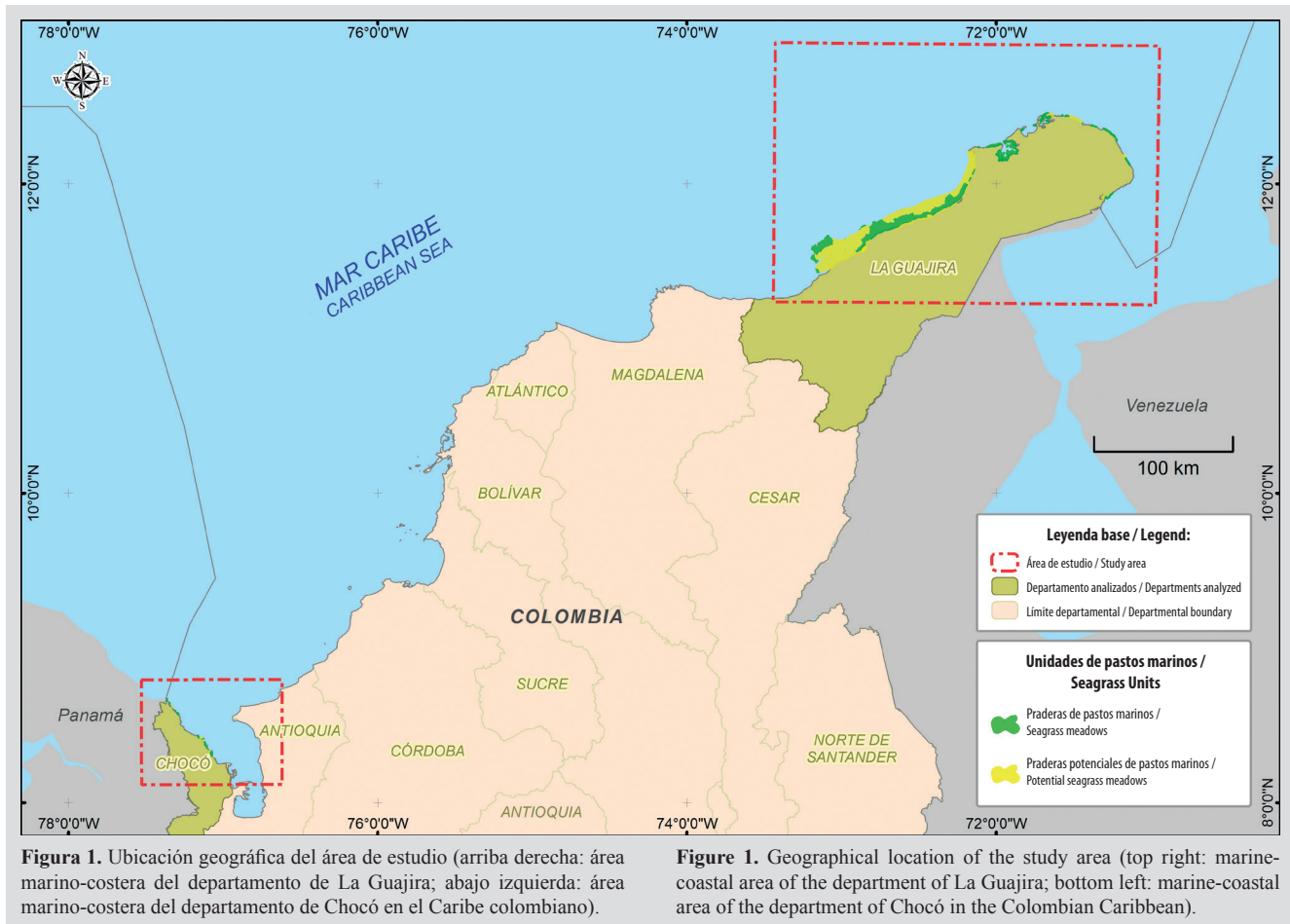


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio (arriba derecha: área marino-costera del departamento de La Guajira; abajo izquierda: área marino-costera del departamento de Chocó en el Caribe colombiano).

Figure 1. Geographical location of the study area (top right: marine-coastal area of the department of La Guajira; bottom left: marine-coastal area of the department of Chocó in the Colombian Caribbean).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisó y analizó la metodología Colmizc (Alonso *et al.*, 2003) la cual se contrastó con la información que se tenía para el área de estudio; a partir de ese análisis, se identificó que para el área no se contaba con la información suficiente o detallada desde el componente biótico y físico para definir las UEP. A raíz de los vacíos de información identificados, fue necesario replantear la metodología a emplear y encontrar un método alternativo para poder continuar con la zonificación ambiental del ecosistema de pastos marinos. De esta forma, se adaptó lo que plantea la metodología Colmizc para la definición de las UEP a partir de información biofísica y socioeconómica, pero basándose específicamente en los aspectos socioeconómicos y en el tamaño y distribución del ecosistema para definir las UAA.

Considerando lo anterior, en el área marino-costera del departamento de La Guajira el ecosistema de pastos marinos es muy extenso y además continuo, lo que dificultaba el proceso para definir las UEP debido a que no se contaba con información biótica relacionada a composición, estructura

MATERIALS AND METHODS

The Colmizc methodology (Alonso *et al.*, 2003) was reviewed and analyzed and later contrasted with the information available for the study area. The analysis identified that for the area the information available from the biotic and physical component was not enough or detailed enough to define the EUL. Given the information gaps identified, we had to rethink the methodology and find an alternative method to continue with the environmental zoning of the seagrass ecosystem. In so doing, the proposal of the Colmizc methodology for the definition of the EUL was adapted based on biophysical and socioeconomic information, specifically drawing on socioeconomic aspects and the size and distribution of the ecosystem to define the EUA.

In La Guajira's marine-coastal area, the seagrass ecosystem is very extensive and continuous, making it difficult to define the EUL because there was no biotic information related to composition, structure or function

o función de toda la pradera de pastos marinos. Por tal motivo, la información socioeconómica relacionada a los usos o actividades que presentan o podrían ejercer tensión sobre los pastos marinos a lo largo de esta área (Figura 2), fue agrupada por cercanía e influencia directa sobre el ecosistema y empleada para distribuir el área en diferentes sectores o polígonos, los cuales se convierten en las UAA a zonificar.

of the entire seagrass meadow. For this reason, the socioeconomic information related to the uses or activities that present or could exert tension on the seagrasses in this area (Figure 2), was grouped by proximity and direct influence on the ecosystem and used to distribute the area in different sectors or polygons, which become the EUA to be zoned.

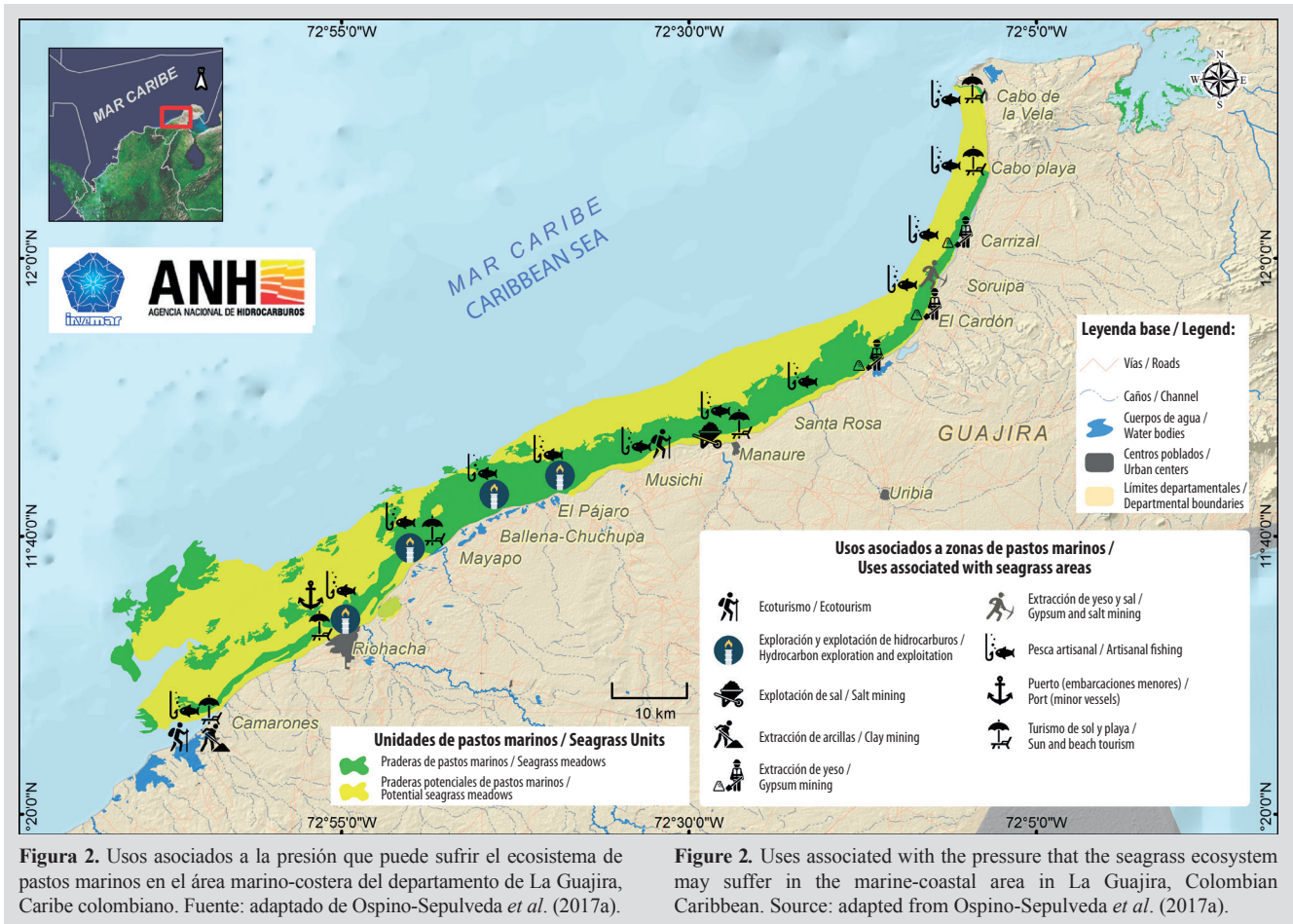


Figura 2. Usos asociados a la presión que puede sufrir el ecosistema de pastos marinos en el área marino-costera del departamento de La Guajira, Caribe colombiano. Fuente: adaptado de Ospino-Sepulveda *et al.* (2017a).

Figure 2. Uses associated with the pressure that the seagrass ecosystem may suffer in the marine-coastal area in La Guajira, Colombian Caribbean. Source: adapted from Ospino-Sepulveda *et al.* (2017a).

Para el área marino-costera del departamento de Chocó, en el Caribe colombiano, el tamaño y distribución de las praderas de pastos marinos es diferente, ya que estas se encuentran distribuidas en pequeños parches a lo largo del área; de esta forma, cada parche de pastos marinos se pudo manejar como una UAA sin tener que dividirlo. No obstante, la información socioeconómica de esta zona también se analizó para saber a qué presiones antrópicas estaba siendo sometido este ecosistema en los diferentes sitios (Figura 3).

For Chocó's marine-coastal area located in the Colombian Caribbean, the size and distribution of seagrass meadows is different, since they are distributed in small patches throughout the area; thus, each patch of seagrass could be managed as a EUA without having to divide it. However, the socioeconomic information pertaining to this area was also analyzed in order to find out which anthropic pressures this ecosystem was subject to in the different sites (Figure 3).

A su vez, se realizó una revisión sistemática para verificar que el método empleado no está documentado en otra investigación; esta revisión se llevó a cabo por medio de la adaptación de la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic

At the same time, a systematic review was carried out to verify that the method used is not documented in other studies. This review was carried out by adapting the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic

Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Sierra-Correa y Cantera, 2015), la cual ayuda a mejorar la integridad de las revisiones sistemáticas (Hutton *et al.*, 2016). En este sentido, se seleccionaron 7 criterios para realizar la búsqueda bibliográfica, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Reviews and Meta-Analyses) methodology (Sierra-Correa and Cantera, 2015), which helps to improve the integrity of systematic reviews (Hutton *et al.*, 2016). In this sense, seven criteria were selected to carry out the bibliographic search. These are presented in Table 1.

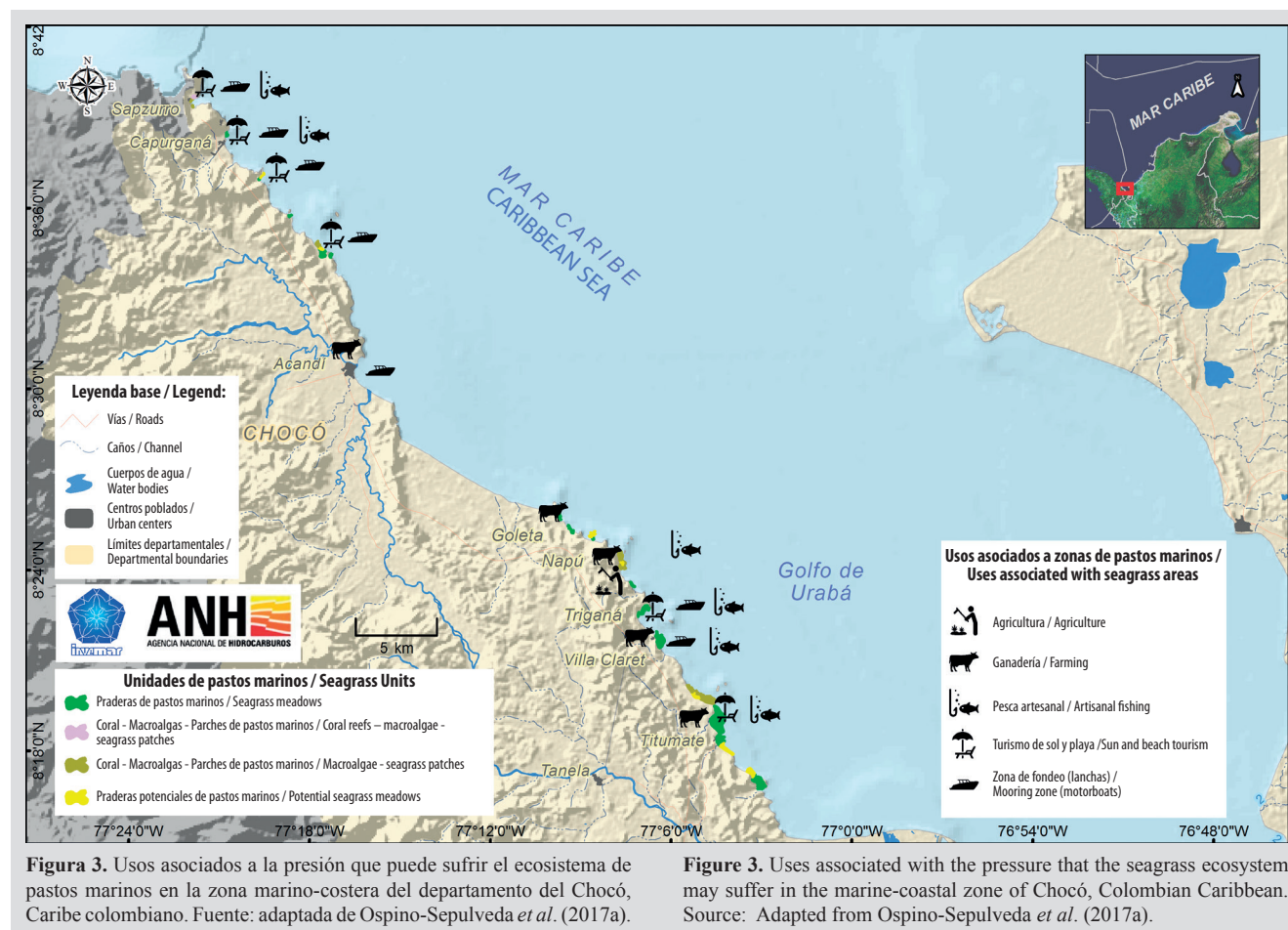


Figura 3. Usos asociados a la presión que puede sufrir el ecosistema de pastos marinos en la zona marino-costera del departamento del Chocó, Caribe colombiano. Fuente: adaptada de Ospino-Sepulveda *et al.* (2017a).

Figure 3. Uses associated with the pressure that the seagrass ecosystem may suffer in the marine-coastal zone of Chocó, Colombian Caribbean. Source: Adapted from Ospino-Sepulveda *et al.* (2017a).

Tabla 1. Criterios para realizar la búsqueda de artículos científicos que empleen una metodología igual o similar a la planteada en la presente investigación.

Table 1. Search criteria for scientific articles that use a methodology equal or similar to the one proposed in this study.

CRITERIOS / CRITERIA	ELEGIBILIDAD/ ELEGIBILITY
Lenguaje / Language	Inglés, Español / English, Spanish
Tipo de literatura / Type of literature	Artículos científicos indexados / Indexed scientific articles
Sector / Sector	Área marino-costera / Marine coastal area
Ubicación / Location	Sólo en el trópico / Only in the tropics
Palabras claves español / Key words Spanish	Zonificación marino costera, manejo, ordenamiento, metodologías / Zonificación marino costera, manejo, ordenamiento, metodologías
Palabras claves inglés / Key words English	Marine-coastal planning, marine-coastal zoning, methodology / Marine-coastal planning, marine-coastal zoning, methodology
Ecosistemas / Ecosystems	Pastos marinos, manglares, corales / seagrasses, mangroves, coral reefs

Esta búsqueda se realizó en el centro de documentación del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) y en la base de datos de revistas científicas ScienceDirect; como resultado se encontraron 66 artículos científicos indexados que incluyeron los criterios seleccionados. Luego se procedió a revisar los artículos hallados para ver cuál de ellos planteaba o empleaba una metodología igual para la zonificación ambiental de un solo ecosistema marino-costero (ver Figura 4).

This search was carried out in the documentation center of the Institute of Marine and Coastal Research (InveMar) and the database of scientific journals ScienceDirect. As a result, we found 66 indexed scientific articles that included the selected criteria. We then proceeded to review the articles found to see which of them proposed or employed an equal methodology for the environmental zoning of a single marine-coastal ecosystem (see Figure 4).

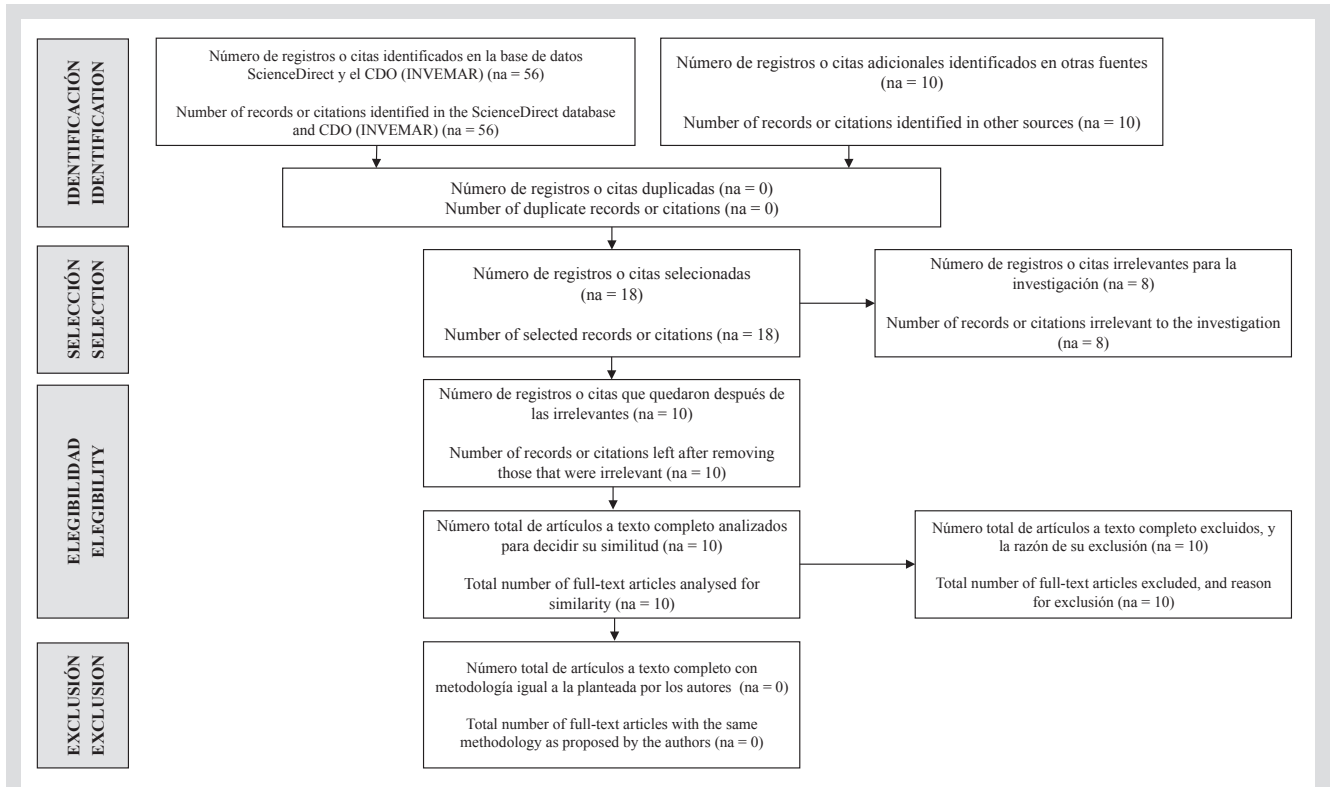


Figura 4. Diagrama de flujo de la información analizada a través de las diferentes fases de la revisión sistemática.

Figure 4. Flowchart of the information analyzed through the different phases of the systematic review.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para avanzar en cualquier proceso de zonificación ambiental es necesario definir como base unidades espaciales que permitan diferenciar de forma inicial, áreas sobre las que posteriormente se aplicarán criterios para definir áreas de manejo (Etter, 1991; Alonso *et al.*, 2003; Rodrigues y Lima, 2013; Mangubhai *et al.*, 2015). Para la definición de unidades espaciales de análisis, varios métodos usan la base de la geomorfología, cobertura y usos (Etter, 1991; Alonso *et al.*, 2003), ya sea para zonificar paisajes a una amplia escala o ecosistemas específicos. En el caso de ecosistemas específicos,

RESULTS AND DISCUSSION

In order to advance in any environmental zoning process, spatial units have to be defined as a basis to allow an initial differentiation, areas on which criteria will later be applied to define management areas (Etter, 1991; Alonso *et al.*, 2003; Rodrigues and Lima, 2013; Mangubhai *et al.*, 2015). For the definition of spatial units of analysis, several methods use the basis of geomorphology, coverage, and uses (Etter, 1991; Alonso *et al.*, 2003), either to zoning landscapes at a wide scale or specific ecosystems. Given that specific

al ser en general una sola geoforma y un tipo general de cobertura (p.e. bosque de manglar, pastos marinos), podría ser importante contar con mayor información sobre composición, estructura y función, que pueda ayudar a definir unidades espaciales más detalladas. Por ejemplo, Van Thang (2014) hace referencia a la zonificación funcional de pastos marinos en Vietnam, usando criterios como el tipo de hábitat, la conectividad, entre otros; no obstante menciona, que los aspectos socioeconómicos también son relevantes para incluir un enfoque de manejo basado en la gestión del ecosistema y los usos asociados.

Si bien, podría ser relevante contar con unidades de análisis más detalladas, dada la limitada información biótica para diferenciarla y considerando que la zonificación ambiental es una herramienta para gestión, en este caso del ecosistema, vale la pena usar el enfoque de gestión de los usos que pueden o están afectando el ecosistema y el tamaño o la distribución de los ecosistemas, sin que esto limite que a futuro se puedan incluir variables bióticas más detalladas, por ejemplo la relacionada a composición, estructura y función.

En el caso del presente estudio, la información socioeconómica con la que se contaba, y el conocimiento del tamaño y la distribución del ecosistema, permitió sectorizar las áreas de los pastos marinos en función de los usos que están o podrían ejercer presión sobre el ecosistema, y en función de la extensión y localización de los pastos marinos, siendo esto una adaptación a lo planteado por Etter (1991) respecto a las unidades ecológicas del paisaje, lo cual posteriormente ha sido usado en diferentes procesos de zonificación ambiental, como es el caso de la metodología COLMIZC (Alonso *et al.*, 2003).

Aplicando este método alternativo, se obtuvieron 14 UAA para la zona marino-costera del departamento de La Guajira (Figura 5) y 14 UAA para el Chocó (Figura 6) en el Caribe colombiano.

Después de tener definidas las UAA, se formularon unos criterios a partir de información técnica y científica que orientaron el proceso de zonificación ambiental de cada UAA. Estos criterios se construyeron con información desde el componente socioeconómico (Tabla 2), sociocultural (Tabla 3) y biótico (Tabla 4); este último, con información de elementos bióticos que se tenía de únicamente 7 UAA, de las 27 que se definieron para toda el área de estudio.

Por otro lado, desde el componente biótico, se tenían datos relacionados a las características genéticas del ecosistema de pastos marinos, los cuales no se constituyeron como un criterio debido a que faltaba información más detallada de esta temática para toda el área de estudio; sin embargo, para algunas zonas (en particular el Cabo de la Vela), considerar

ecosystems generally include a single geoform and a general type of cover (e.g. mangrove forest, seagrasses), it may be important to have more information in terms of composition, structure and function, to help define more detailed spatial units. For example, Van Thang (2014) refers to the functional zoning of seagrasses in Vietnam, using criteria such as habitat type and connectivity, among others. However, socio-economic are relevant to include a management approach based on ecosystem stewardship and associated uses.

Although it may be useful to have more detailed units of analysis, given the limited biotic information that can be used for differentiation and considering that environmental zoning is a management tool, in this case of the ecosystem, it is worth using the management approach of the uses that can or are affecting the ecosystem and the size or distribution of the ecosystems, without this limiting the inclusion of more detailed biotic variables in the future; for example, those related to composition, structure and function.

In the case of the present study, the socioeconomic information available, and the knowledge of the size and distribution of the ecosystem, made it possible to sectorize the areas of seagrasses according to the uses that are or could exert pressure on the ecosystem, and according to the extension and location of the seagrasses. This was an adaptation to what was proposed by Etter (1991) regarding the ecological units of the landscape, which has subsequently been used in different processes of environmental zoning, as is the case with the Colmizc methodology (Alonso *et al.*, 2003).

Applying this alternative method, 14 EUA were obtained for the marine-coastal zone in La Guajira (Figure 5) and 14 EUA for the Chocó (Figure 6) in the Colombian Caribbean.

After having defined the EUA, criteria were formulated based on technical and scientific information that guided the environmental zoning process in each EUA. These criteria were constructed with information from the socioeconomic (Table 2), sociocultural (Table 3) and biotic (Table 4) components. The latter, with information on biotic elements that was available from only seven EUA, of the 27 that were defined for the entire study area.

On the other, from the biotic component, there were data related to the genetic characteristics of the seagrass ecosystem. Which were not constituted as a

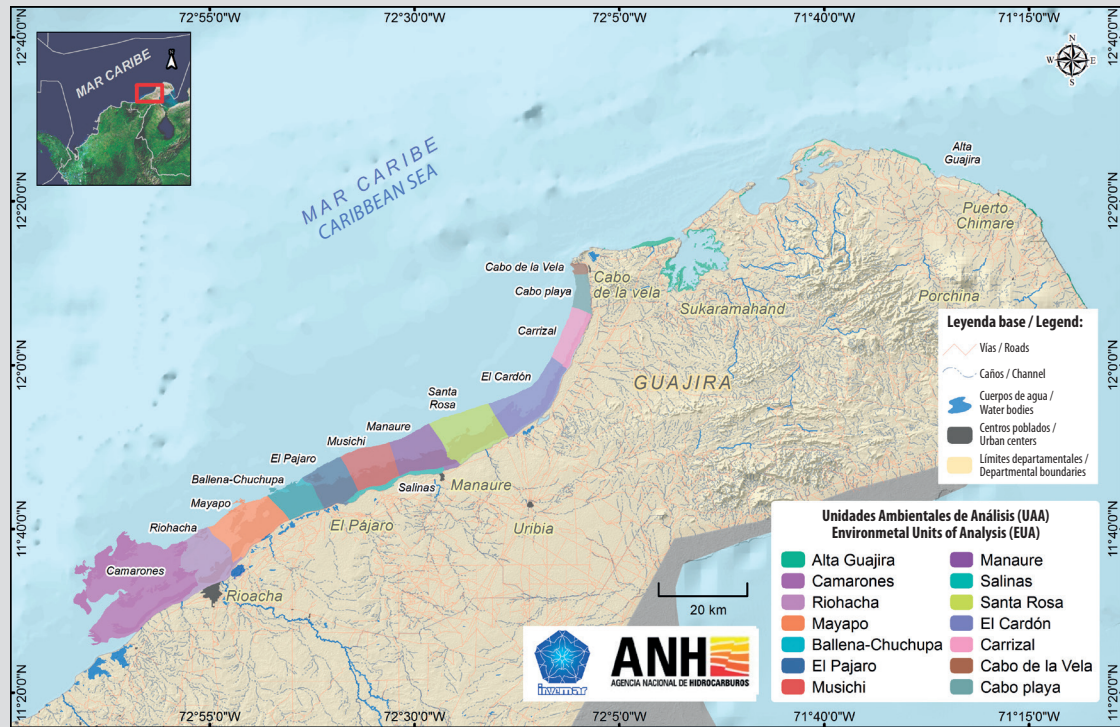


Figura 5. Unidades Ambientales de Análisis (UAA) definidas para el área marino-costera de La Guajira. Fuente: adaptada de Ospino-Sepulveda et al. (2017b).

Figure 5. Environmental Units of Analysis (EUA) defined for the marine-coastal area of La Guajira. Source: Adapted from Ospino-Sepulveda et al. (2017b).

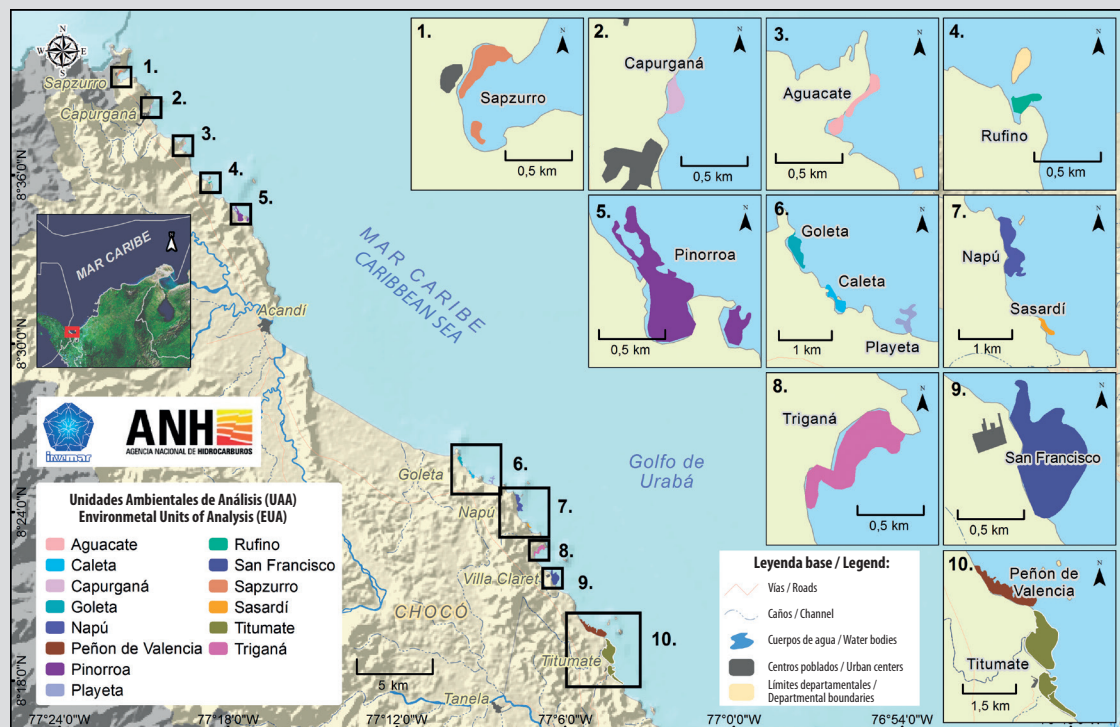


Figura 6. Unidades Ambientales de Análisis (UAA) definidas para la zona marino-costera del Chocó en el Caribe colombiano. Fuente: adaptada de Ospino-Sepulveda et al. (2017b).

Figure 6. Environmental Analysis Units (USA) defined for the Chocó coastal-marine zone in the Colombian Caribbean. Source: Adapted from Ospino-Sepulveda et al. (2017b).

Tabla 2. Criterios de zonificación ambiental desde el componente socioeconómico.

CRITERIO / CRITERIA	DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION
Industrias y minas / Industry and mines	Relaciona las UAA o zonas cercanas a ellas, en donde se localizan puertos, actividades extractivas de minerales, exploración y explotación de hidrocarburos. Relates the EUA or zones close to them with ports, mineral extraction activities, exploration and exploitation of hydrocarbons.
Actividades turísticas / Tourism activities	Evalúa la ocupación de áreas para el desarrollo de actividades de hospedaje, recreación y esparcimiento, de forma dispersa o concentrada, y que se logran identificar por características distintivas orientadas a la prestación de servicios. Evaluates the occupation of areas for development of activities of lodging, recreation and leisure in a dispersed or concentrated way which can be identified by distinctive characteristics oriented to the provision services.
Conflictos de uso / Conflict over use	Evalúa los conflictos de usos que pueden presentarse en cada UAA por el desarrollo de actividades socioeconómicas, culturales o ambientales que se llevan a cabo en ellas. It evaluates the conflicts of uses that can occur in each EUA due to the development of socioeconomic, cultural or environmental activities carried out in them.
Intensidad de pesca artesanal / Intensity of artisanal fishing	Relaciona las áreas donde se desarrolla la actividad pesquera artesanal. La medición se hará teniendo en cuenta la intensidad de pesca sobre en la UAA en No. faenas /mn ² . Relates the areas where artisanal fishing activities take place. Measurements are made considering the fishing intensity in the EUA in No. fish/ nmi ² .

Table 2. Criteria for environmental zoning based on the socioeconomic component.

Tabla 3. Criterios de zonificación ambiental desde el componente sociocultural.

CRITERIO / CRITERIA	DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION
Asentamiento de comunidades pesqueras / Settlement of fishing communities	Relaciona a las comunidades o asentamientos pesqueros que por condiciones favorables de la zona permite el anclaje o varado de las embarcaciones usadas en su actividad. El grado de importancia variará dependiendo del número de embarcaciones que posea cada una de ellas, el cual se mide en Unidades Económicas de Pesca. Relates the fishing communities or settlements that -due to the area's favorable conditions- can anchor or berth the boats used for their activity. The degree of importance will vary depending on the number of vessels owned by each of them, measured in Economic Fishing Units.
Condicionamiento étnico territorial / Ethno-territorial status	Determina en el área de estudio las zonas de resguardos o reservas indígenas o adjudicadas en propiedad colectiva a comunidades negras; así mismo evalúa aquellas zonas no tituladas pero habitadas en forma regular y permanente por dichas comunidades indígenas o negras (según Decreto 1320 de 1998), las cuales por tradición realizan actividades económicas y culturales. Determines, within the study area, indigenous reservations or those assigned in collective property to black communities. It also evaluates areas not titled but inhabited regular and permanently by these indigenous or black communities (according to decree 1320 of 1998), which are traditionally engaged in economic and cultural activities.
Asentamientos humanos / Human settlements	Evalúa el grado de concentración poblacional que presenta el territorio o la UAA, así como el grado de intervención producto del proceso de ocupación sobre el territorio. Assesses the degree of population concentration in the territory or the EUA, as well as the degree of intervention resulting from the occupation of the territory.

Table 3. Criteria for environmental zoning based on the sociocultural component.

Tabla 4. Criterios de zonificación ambiental desde el componente biótico.

CRITERIO / CRITERIA	DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION
Estado actual del ecosistema / Current state of the ecosystem	Se refiere a la relevancia que tiene la UAA en relación al estado de conservación de los diferentes elementos bióticos que se encuentran presentes en el ecosistema de pastos marinos, teniendo en cuenta los diferentes parámetros identificados por INVEMAR (2014) y Gómez-López <i>et al.</i> (2014): (1) Estructura de pastos marinos (densidad y biomasa foliar); (2) Macroinvertebrados asociados; (3) Flora asociada; (4) Riqueza de especies ícticas; (5) Gremios tróficos de especies ícticas; (6) Afectación por el hongo <i>Labyrinthula</i> sp. This refers to the relevance of the EUA in relation to the conservation status of the different biotic elements present in the seagrass ecosystem, considering the different parameters identified by INVEMAR (2014) and Gómez-López <i>et al.</i> (2014): (1) Structure of seagrasses (density and foliar biomass); (2) Associated macro invertebrates; (3) Associated flora; (4) Richness of fish species; (5) Trophic guilds of fish species; (6) Affectation by the <i>Labyrinthula</i> sp. fungus.
Cobertura de los pastos marinos / seagrass coverage	Relaciona la importancia de la extensión de los pastos marinos en el país para las áreas evaluadas, resultante del área presencial de pastos marinos en cada UAA sobre el área total de la UAA. It relates the importance of the seagrasses extension in the country for the evaluated areas, resulting from the present area of seagrasses in each EUA over the total area of the EUA.

Table 4. Criteria for environmental zoning based on the biotic component.

esta variable, fue importante al momento de diferenciar áreas en la zonificación ambiental, con características genéticas particulares.

Como resultado de este proceso se generó una propuesta de zonificación ambiental para las dos zonas la cual se presenta en las Figura 7 y Figura 8.

Para la zona de marino-costera del departamento de La Guajira, en la categoría de “zona de protección”, resultaron cinco (5) UAA, correspondientes a Musichi, Santa Rosa, El Cardón, Carrizal y Alta Guajira, debido a que son áreas donde la influencia de las actividades socioeconómicas es de menor intensidad.

Dentro de la categoría de “zona de recuperación” resultaron dos (2) UAA, una de ella es la de Salinas, que tiene gran influencia de las actividades mineras realizadas en las salinas de Musichi y Manaure, y la otra corresponde a la del Cabo de la Vela, la cual por influencia de las actividades turísticas y de pesca que allí se realizan. Además, por el estado del ecosistema de pastos marinos y la importancia genética que presenta esta población, es recomendable que sean recuperados para que a futuro se incluyan dentro de la categoría de “Protección”.

criterion due to the lack of detailed information about this subject for the entire study area. However, for some areas (particularly Cabo de la Vela) it was important to consider this variable for differentiating areas in the environmental zoning, with unique genetic characteristics.

As a result of this process, an environmental zoning proposal was generated for the two zones, and is presented in Figure 7 and Figure 8.

The results of the marine-coastal zone of La Guajira in the “Protection” category were five EUA, which correspond to Musichi, Santa Rosa, El Cardón, Carrizal and Alta Guajira, in which the influence of socioeconomic activity is less intense. Two EUA resulted from the "Restoration" category. One of them corresponds to Salt flats, greatly influenced by the mining activities in the Musichi and Manaure salt flats, and the other corresponds to Cabo de la Vela, because of the influence of tourism and fishing activities. Also, given the state of the seagrass ecosystem and the genetic importance of this population, it is recommended that they be restored so that they can be included in the "Protection" category in the future.

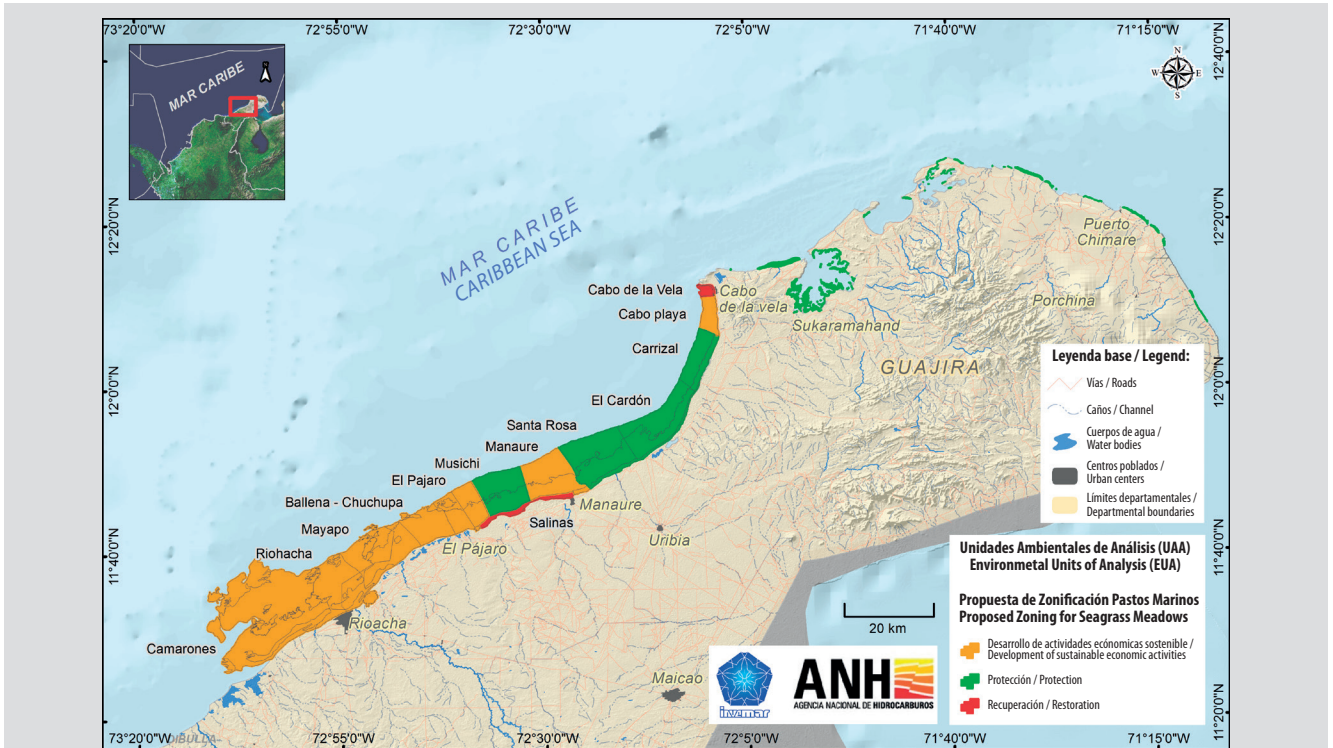


Figura 7. Mapa de la propuesta de zonificación de los pastos marinos en la zona marino-costera del departamento de La Guajira empleando el método para la definición de UAA. Fuente: adaptada de Ospino-Sepulveda *et al.* (2017b).

Figure 7. Map of the proposed zoning of seagrasses in the marine-coastal zone of La Guajira using the EUA definition method. Source: Adapted from Ospino-Sepulveda *et al.* (2017b).

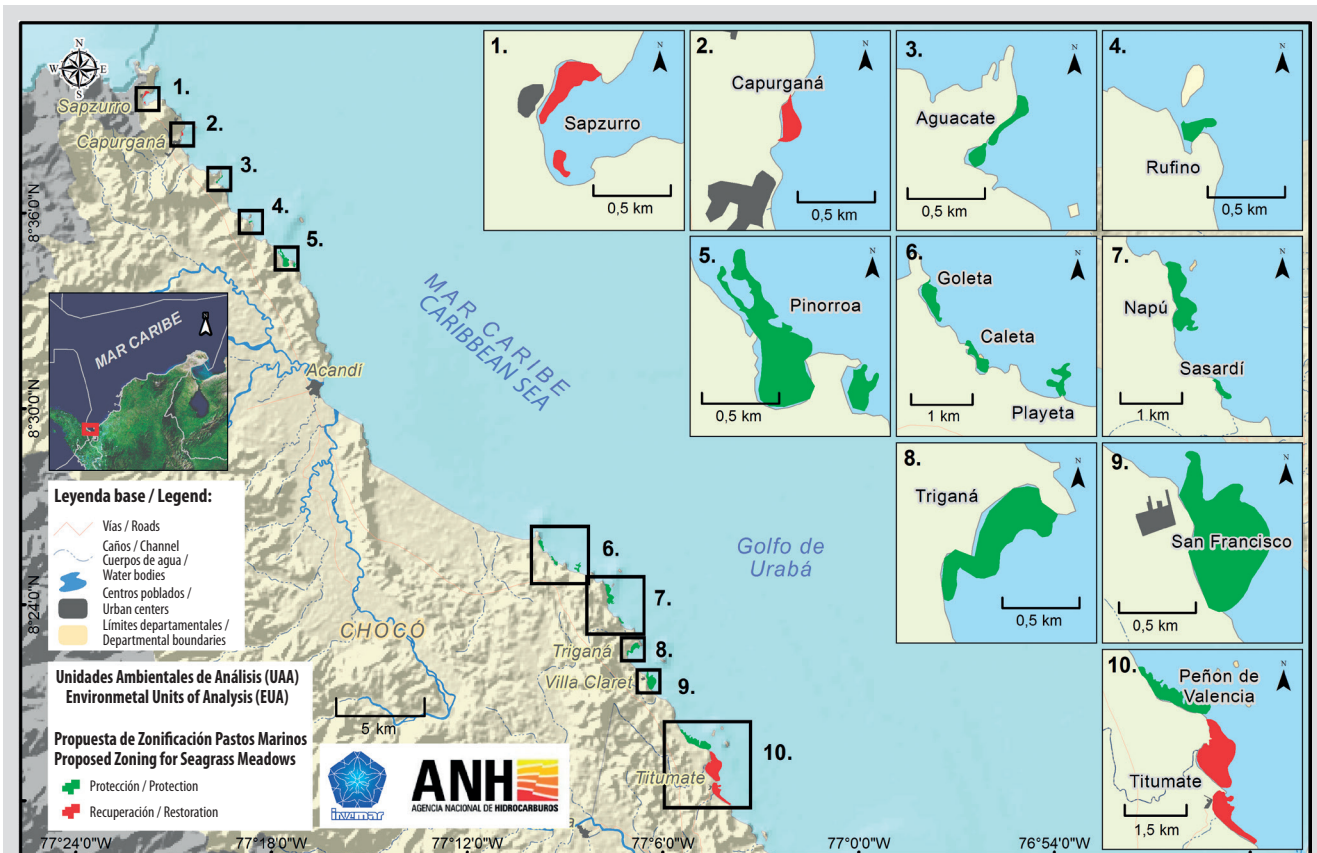


Figura 8. Mapa de la propuesta de zonificación de los pastos marinos en la zona marino-costera del departamento del Chocó Caribe empleando el método para la definición de UAA. Fuente: adaptada de Ospino-Sepulveda *et al.* (2017b).

Figure 8. Map of the proposed zoning of seagrasses in the marine-coastal zone of Chocó Caribe using the EUA definition method. Source: Adapted from Ospino-Sepulveda *et al.* (2017b).

Por último, se encuentran siete (7) UAA resultantes en la categoría de “zona para el desarrollo de actividades económicas sostenibles”, estas son: Camarones, Riohacha, Mayapo, Ballena-Chuchupa, El Pájaro, Manaure y Cabo Playa; en estas UAA, las actividades socioeconómicas son más notorias, y en algunas de ellas se hacen directamente sobre el ecosistema. Asimismo, bajo esta categoría se encuentra la UAA Cabo Playa, que aunque de acuerdo a las últimas investigaciones realizadas no se evidencia presencia de pastos marinos, sí existen otros hábitats marinos estratégicos, como formaciones coralinas, gorgonáceos, rodolitos y algas calcáreas, que en la actualidad no se encuentran cartografiados.

En este mismo sentido, en la zona marino-costera del departamento de Chocó (Caribe), se obtuvieron once (11) UAA dentro de la categoría de “zona de protección”, las cuales son Aguacate, Rufino, Pinorroa, Goleta, Caleta, Playeta, Napú, Sasardí, Triganá, San Francisco y Peñón de Valencia; en ellas las presiones sobre el ecosistema de pastos

Finally, there are seven EUA in the "Development of sustainable economic activities" category. These are: Camarones, Riohacha, Mayapo, Ballena-Chuchupa, El Pájaro, Manaure and Cabo Playa, in which socioeconomic activities are more notorious, and in some of them they are performed directly on the ecosystem. Also, under this category is the EUA Cabo Playa which, according to the latest research, does not show presence of seagrasses, but does show presence of other strategic habitats, such as coral formations, Gorgonacea, and rhodolith and calcareous algae, that currently have not been mapped.

In this regard, in the marine-coastal zone of Chocó (Caribbean), 11 EUA were obtained within the "Protection" category (Aguacate, Rufino, Pinorroa, Goleta, Caleta, Playeta, Napú, Sasardí, Triganá, San Francisco and Peñón de Valencia). In these areas, the pressure on the seagrass ecosystem by socioeconomic and cultural activities is very low: In the “Restoration” category, as a result, was obtain three EUA as Capurganá and Sapzurro, in which

marinos por las actividades socioeconómicas y culturales es muy bajo. En la categoría de “zona de recuperación” resultaron tres (3) UAA, estas son Capurganá y Sapzurro, en las cuales el turismo de masas que se desarrolla en estos sitios está deteriorando el ecosistema de pastos marinos; la otra UAA bajo esta categoría es la de Titumate, en la cual el ecosistema se ve muy afectado por las actividades pecuarias desarrolladas en esta zona, específicamente la utilización de planchones para el transporte de ganado. Finalmente, no se registraron áreas bajo la categoría de “zona para el desarrollo de actividades económicas sostenibles”, lo cual es muy importante destacar, por un lado porque revela la realidad de la zona, ya que en ella no se presentan actividades socioeconómicas de forma intensiva que puedan afectar o deteriorar el ecosistema; y por otro lado, al estar el ecosistema distribuido en pequeños parches, pueden hacerlos más susceptibles a afectarse en toda su extensión.

CONCLUSIONES

La adaptación de este método para la definición de UAA, el cual es base para realizar un proceso de zonificación ambiental, presenta ventajas respecto a otros al no requerir información detallada (primaria o secundaria) desde el componente biótico y físico para definir las unidades de análisis del ecosistema a zonificar; asimismo, la información general biofísica del área de estudio se puede incorporar en el proceso de zonificación. En este sentido, emplear como fuente principal la información socioeconómica para la definición de las UAA cuando el tamaño o la distribución del ecosistema es distinta, permitió diferenciar zonas de análisis a partir de los usos y actividades que ejercen o pueden ejercer presión sobre los pastos marinos u otro ecosistema, sin tener que contar con la información específica de los atributos bióticos o ecológicos para poder separar estas áreas.

Por otro lado, se destaca que toda la información socioeconómica empleada puede ser espacializada para su análisis, tanto en el proceso de definición de las UAA como para el proceso de construcción de los criterios de zonificación ambiental, lo cual permite tener una visión amplia de aquellos aspectos que pueden influenciar el ordenamiento y planificación del ecosistema en estudio.

Por último, es importante señalar que se ha evidenciado que los pastos marinos son un ecosistema dinámico, el cual naturalmente puede aumentar o disminuir su cobertura a lo largo del tiempo (Millán *et al.*, 2016), esto implica que la definición de sectores o polígonos para

mass tourism is deteriorating the seagrass ecosystem. The other EUA under this category is Titumate, in which the ecosystem is severely affected by livestock activities, specifically, the use of ferry crossing for livestock transport. Finally, no areas were recorded under the "Development of sustainable economic activities" category, which is very important to highlight, on the one hand because it reveals the reality of the area, which is not subject to any intensive socioeconomic activities that can affect or deteriorate the ecosystem, and, on the other, given that the ecosystem is distributed in small patches, the area is susceptible to being affected in all its extension.

CONCLUSIONS

The adaptation of this method to define EUA – is the basis for conducting an environmental zoning procedure – this method has advantages over others in not requiring detailed (primary or secondary) information from the biotic and physical component to define the units of analysis of the ecosystem to be zoned. Also, general biophysical information from the study area can be incorporated into the zoning process. In this respect, using socio-economic information as the main source for EUA definition when the size or distribution of the ecosystem is different made it possible to differentiate areas of analysis based on the uses and activities that exert or may exert pressure on seagrasses or other ecosystems, without having to rely on specific information on biotic or ecological attributes in order to be able to separate these areas.

On the other hand, it should be pointed out that all the socioeconomic information used can be spatialized for analysis, both in defining the EUA and for constructing the environmental zoning criteria, which allows a broad vision of those aspects that may influence the management and planning of the study ecosystem.

Finally, it is important to point out that seagrasses are shown to be dynamic ecosystems, which can naturally increase or decrease their coverage over time (Millán *et al.*, 2016). This implies that the definition of sectors or polygons for analysis is different from that often related to ecosystem structure, composition and function (Van Thang, 2014), and revolves around how externalities can affect or change it. However, the above does not mean that in order to improve ecosystem management, research and monitoring efforts can be strengthened so that more and better information can be provided regarding biotic attributes or aspects

su análisis sea distinto al relacionado muchas veces a su estructura, composición y función del ecosistema (Van Thang, 2014), y gire en torno al como las externalidades pueden afectarlo o cambiarlo; sin embargo, esto no significa, que en favor de lograr una buena gestión del ecosistema, sea un reto fortalecer los esfuerzos en investigación y monitoreo de manera que se pueda brindar más y mejor información con relación a atributos bióticos o aspectos como la genética, que permitan diferenciar áreas y proponer medidas de manejo más acertadas y acordes con la dinámica del ecosistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” (INVEMAR) y a la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) por promover el convenio 167 del año 2016 suscrito entre estas dos entidades y bajo el cual se desarrolló este estudio. Asimismo, a todo el equipo de profesionales que hizo parte de esta investigación, en particular a David Alonso Carvajal – Coordinador del Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos – BEM y Diana Isabel Gomez López – Jefe de la Línea Organización y Dinámica de Ecosistemas - ODI, del INVEMAR; y a Laura Patricia Laguna Lecompte por las sugerencias y comentarios en el desarrollo del presente manuscrito.

such as genetics, so as to differentiate areas and propose management measures that are more appropriate and in line with ecosystem dynamics.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” (Invemar) and the Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) for promoting the Agreement 167 of 2016 signed by these two entities and under which this study was conducted. We would also like to thank the entire team of professionals that took part in this study, in particular David Alonso Carvajal – Coordinator of Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos – BEM and Diana Isabel Gomez López – Line supervisor for Invemar Organización y Dinámica de Ecosistemas (ODI), and Laura Patricia Laguna Lecompte for her comments and suggestions during the writing of this present manuscript.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Alonso, D., P. Sierra-Correa, F. Arias-Isaza y M. Fontalvo. 2003. Conceptos y guía metodológica para el manejo integrado de zonas costeras en Colombia. Manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. Serie de Documentos Generales de INVEMAR No.12. 94 p.
- Ardron, J.A., H.P. Possingham y C.J. Klein. (Eds.). 2013. Guía para las buenas prácticas de Marxan, Versión 2. Asoc. Invest. Anál. Mar. Pac. Vancouver. 186 p.
- Barragán, J.M. y M. De Andreis. 2016. Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. *Rev. Geogr. Norte Grande*, 64: 129-149.
- Cicin-Sain, B. and R.W. Knecht. 1998. Integrated coastal and ocean management. Concepts and practices. Island Press, Washington. 517 p.
- Clark, J.R. 1998. Coastal seas: the conservation challenge. Blackwell Science, Florida. 144 p.
- Etter, A. 1991. Introducción a la ecología del paisaje. Un Marco de Integración para los Levantamientos Ecológicos. Bogotá. 91 p + Anexos.
- Gómez-López, D., C. Díaz, E. Galeano, L. Muñoz, S. Millán, J. Bolaños y C. García. 2014. Informe técnico final Proyecto de Actualización cartográfica del atlas de pastos marinos de Colombia: Sectores Guajira, Punta San Bernardo y Chocó: Extensión y estado actual. PRY- BEM-005-13 (convenio interadministrativo 2131068 Fonade – Invemar). Invemar, MADS, Fonade y ANH. Santa Marta. 136 p.
- Hutton, B., F. Catalá-López y D. Moher. 2016. La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Med. Clín.*, 147: 262-266.
- López Rodríguez A., P. Lozano-Rivera y P.C. Sierra-Correa. 2013. Criterios de zonificación ambiental usando técnicas participativas y de información: estudio de caso zona costera del departamento del Atlántico. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 41 (1): 61-83.
- Mangubhai, S., J. Wilson, L. Rumetna and Y. Maturbongs. 2015. Explicitly incorporating socioeconomic criteria and data into marine protected area zoning. *Oc. Coast. Manag.*, 116: 523-529.
- Millán, S., J.A. Bolaños, C. García-Valencia y D.I. Gómez-López. 2016. Teledetección aplicada al reconocimiento de praderas de pastos marinos en ambientes de baja visibilidad: La Guajira, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 45(2): 289-315.



- Ministerio del Medio Ambiente. 2000. Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia. Dir. Gen. Ecosist. Bogotá, D.C. 91 p.
- Ospino-Sepulveda, L., T. Narváez-Pérez, D.M. Hernández-Narváez, F. Valencia-Ospina, A. López Rodríguez, J. Correa, S. Salas-Castro y F. Escobar-Toledo. 2017a. Caracterización socio-cultural y económica. 147-198. **En:** Vides, M., D.I. Gómez-López y D.A. Alonso (Eds.). Levantamiento de información para la caracterización y diagnóstico de las praderas de pastos marinos con fines de elaborar una propuesta de zonificación de la zona marino-costera del departamento de La Guajira y Chocó Caribe. Fase II: Época climática seca. Informe Técnico final Temática 2 Convenio 167 ANH-Invemar. Santa Marta. 275 p.
- Ospino-Sepulveda, L., A. López Rodríguez y D.I. Gómez-López. 2017b. Propuesta de zonificación del área de estudio. 232-257. **En:** Vides, M., D.I. Gómez-López y D.A. Alonso (Eds.) Levantamiento de información para la caracterización y diagnóstico de las praderas de pastos marinos con fines de elaborar una propuesta de zonificación de la zona marino-costera del departamento de La Guajira y Chocó Caribe. Fase II: Época climática seca. Informe Técnico final Temática 2 Convenio 167 ANH- Invemar. Santa Marta. 275 p.
- Rodrigues, M. and V. Lima. 2013. Criteria for analyzing environmental zoning as an instrument in land use and spatial planning. *Amb. Soc.*, 16(4): 43-62.
- Sierra-Correa, P. and J. Cantera. 2015. Ecosystem-based adaptation for improving coastal planning for sea-level rise: A systematic review for mangrove coasts. *Mar. Pol.*, 51: 385-393.
- Van Thang, H. 2014. Functional zoning of Viet Nam's seagrass beds and coral reef protected areas. 60-63. **In:** Hoi, N.C. (Ed.) *Nat. Work. Proc. Appl. Viet Nam's Mar. Coast. Spat. Plan. - An Ecosyst. Based Manag. App.* IUCN, Gland, Switzerland. 89 p.
- Watts, M.E., I.R. Ball, R.S. Stewart, C.J. Klein, K.W.C. Steinbak, R. Lourival, L. Kircher and H.P. Possingham. 2009. Marxan with zones: Software for optimal conservation based land- and sea-use zoning. *Environ. Model. Softw.*, 24: 1513-1521.

RECIBIDO / RECEIVED: 08/05/2018

ACEPTADO / ACCEPTED: 15/05/2019