



Determinación de una Zona Exclusiva de Pesca Artesanal-ZEPA como estrategia de manejo sostenible de los recursos pesqueros y de adaptación climática para los pescadores artesanales del Pacífico sur colombiano

Determination of an Exclusive Artisanal Fishing Zone-ZEPA as a strategy for the sustainable management of fishery resources and climate adaptation for artisanal fishers of the Colombian South Pacific

Daniel Alejandro López Perdomo^{1*} y Ángela Inés Guzmán Alvis¹

0000-0002-3829-2075

0000-0002-5185-8950

1. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, carrera 32 No 12-00, Palmira, Colombia. dalopezp@unal.edu.co, aiguzmana@unal.edu.co

* Autor de correspondencia / Corresponding author

RESUMEN

La sobrepesca, la pesca industrial y el cambio climático generan impactos que afectan al recurso pesquero marino, la principal fuente de ingreso y alimento de las poblaciones costeras de pescadores artesanales. La creación de condiciones que incrementen la capacidad de adaptación de los pescadores disminuirá su vulnerabilidad a los impactos. Esta investigación propone determinar una Zona Exclusiva de Pesca Artesanal-ZEPA como estrategia de manejo sostenible de los recursos pesqueros y de adaptación climática para los pescadores artesanales del área de estudio. Se utilizó el programa Marxan para identificar tres escenarios para la ubicación de la ZEPA y se realizó una cartografía participativa con pescadores para obtener el cuarto escenario. Se encontró similitud alta entre el escenario 2 y 4, lo que muestra que el enfoque científico (Marxan) y participativo (población) coinciden en la ubicación de ZEPA. La ZEPA definitiva se ubicó en la zona marino costera de los municipios de Tumaco y Francisco Pizarro, con un área total de 2 008 km². Incluyó objetos de conservación importantes para la pesca artesanal como caladeros de pesca artesanal, ecosistemas (manglares, playas y estuarios), áreas de ocurrencia de especies (sierra, pargos, corvina, piangua, camarón titi), entre otros. Se identificó que más de 80 % de los pescadores estuvo de acuerdo en que la estrategia le aportaría a reducir su vulnerabilidad frente a amenazas como fenómenos climáticos, sobrepesca, contaminación, entre otros. Se resalta la contribución a la adaptación al cambio climático de la población del área de estudio.

PALABRAS CLAVE: adaptación basada en ecosistemas, pesca artesanal, ZEPA, Marxan, áreas marinas protegidas.

ABSTRACT

Overfishing, industrial fishing and climate change generate impacts that affect the marine fishery resource, the main source of income and food for coastal populations of artisanal fishers. The creation of conditions that increase the adaptive capacity of fishers will decrease their vulnerability to impacts. This research proposes to determine an Exclusive Zone for Artisanal Fishing-ZEPA as a strategy for sustainable management of fishery resources and climate adaptation for artisanal fishers in the study area. Marxan was used to identify three scenarios for the location of the ZEPA and participatory mapping was carried out with fishers to obtain the fourth scenario. High similarity was found between scenarios 2 and 4, which shows that the scientific (Marxan) and participatory (population) approaches coincide in the location of the ZEPA. The final ZEPA was located in the coastal marine zone of the municipalities of Tumaco and Francisco Pizarro, with a total area of 2,008 km². Included important conservation targets for artisanal fisheries such as artisanal fishing grounds, ecosystems (mangroves, beaches and estuaries), areas of occurrence of species (seerfish, snappers, sea bass, piangua, marmoset shrimp) among others. More than 80 % of the fishers agreed that the strategy would help reduce their vulnerability to threats such as climatic phenomena, overfishing, pollution, among others. The contribution to climate change adaptation of the study area's population is highlighted.

KEYWORDS: ecosystem based adaptation, artisanal fisheries, ZEPA, Marxan, marine protected areas.

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2024.53.1.1240>

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

Históricamente en los países en desarrollo, las comunidades costeras han obtenido alimentos y fuente de ingresos de la pesca artesanal (Ding *et al.*, 2017; Chande *et al.*, 2019). Esta actividad es practicada por las comunidades pesqueras más pobres y vulnerables, y contribuye a la sostenibilidad económica y social de las regiones (Mendelsohn *et al.*, 2006; Ferro *et al.*, 2019). En el Pacífico sur de Colombia se presentan impactos y amenazas para los pescadores artesanales, entre ellas, los efectos negativos del cambio climático como las inundaciones, el aumento de la intensidad y frecuencia de tormentas, cambios en la distribución, composición y abundancia de las especies pesqueras, factores estresantes no climáticos como la disminución y destrucción antrópica de hábitats, la sobrepesca, la contaminación marina, factores socioeconómicos y políticos como las bajas condiciones de vida, el abandono estatal, bajo apoyo financiero y los conflictos sociales (Lancker *et al.*, 2019; Sumaila, 2019; Talloni *et al.*, 2019; Jara *et al.*, 2020; Macusi *et al.*, 2020; Mendenhall *et al.*, 2020). Lo que impacta negativamente la seguridad alimentaria y los ingresos de la población, dado que sus efectos se manifiestan en los aumentos de los costos del combustible, el esfuerzo de captura, el uso de artes de pesca no reglamentarias que no se usaban como el runche y la changa, el desplazamiento a zonas donde antes no se pescaba como bocanas de ríos, la captura de tallas que antes no se consideraban para la venta o el consumo y la disminución de los desembarcos (Lancker *et al.*, 2019; Sumaila, 2019; Talloni *et al.*, 2019; Jara *et al.*, 2020; Macusi *et al.*, 2020; Mendenhall *et al.*, 2020). Además de estos impactos y amenazas que hacen vulnerables a los pescadores, se suma el poco acompañamiento estatal para la implementación de medidas que permitan minimizar los riesgos asociados a la actividad (Díaz *et al.*, 2011; González *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2016; Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018; Herrera *et al.*, 2019). Por otro lado, la reducción de la vulnerabilidad de los hogares de pescadores artesanales depende de estrategias de adaptación como la movilidad ocupacional, algunos elementos del capital social y la disminución a la dependencia del recurso. Elementos que podrían constituir un insumo para la creación de una política pública que oriente esfuerzos a la consecución de estrategias para la sostenibilidad de los hogares de pescadores que continúen eligiendo a la pesca como su actividad económica principal, así como para la generación de otros medios de vida (Selvaraj *et al.*, 2022a).

Varios autores sugieren que se deben implementar estrategias que permitan reducir el alto nivel de pobreza,

INTRODUCTION

Historically, in developing countries, coastal communities have obtained food and income from artisanal fishing (Ding *et al.*, 2017; Chande *et al.*, 2019). This activity is carried out by the poorest and most vulnerable fishing communities and contributes to the economic and social sustainability of the regions (Mendelsohn *et al.*, 2006; Ferro *et al.*, 2019). In the southern Pacific of Colombia, there are impacts and threats for artisanal fishermen, including the negative effects of climate change (*i.e.*, flooding, increased storm intensity and frequency, and changes in the distribution, composition, and abundance of fish species), non-climatic stressors (*i.e.*, the reduction and anthropogenic destruction of habitats, overfishing, and marine pollution), and socioeconomic and political factors such as poor living conditions, state abandonment, low financial support, and social conflicts (Lancker *et al.*, 2019; Sumaila, 2019; Talloni *et al.*, 2019; Jara *et al.*, 2020; Macusi *et al.*, 2020; Mendenhall *et al.*, 2020). This negatively impacts the population's food security and income, as its effects are manifested in increased fuel costs and fishing efforts, the use of unregulated fishing gear such as *runches* and *changas*, displacement to areas where fishing was not previously practiced (*e.g.*, river mouths), catching sizes not previously considered for sale or consumption, and a decrease in landings (Lancker *et al.*, 2019; Sumaila, 2019; Talloni *et al.*, 2019; Jara *et al.*, 2020; Macusi *et al.*, 2020; Mendenhall *et al.*, 2020). In addition to these impacts and threats that make fishermen vulnerable, there is also little state support for implementing measures aimed at minimizing the risks associated with this activity (Díaz *et al.*, 2011; González *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2016; Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018; Herrera *et al.*, 2019). On the other hand, reducing the vulnerability of artisanal fishermen's households depends on adaptation strategies such as occupational mobility, some elements of social capital, and reduced dependence on the resource, which could constitute an input for the creation of a public policy that guides efforts towards strategies for the sustainability of the households of fishermen who continue to choose fishing as their main economic activity, as well as for the generation of other means of livelihood (Selvaraj *et al.*, 2022a).

Various authors suggest that strategies should be implemented which allow reducing the high level of poverty, increasing state support, promoting associativity, reducing the population's exposure to climatic threats, ensuring the sustainable use of ecosystems that provide environmental

incrementar el apoyo estatal, promover la asociatividad, reducir la exposición de la población a las amenazas climáticas, garantizar el uso sostenible de los ecosistemas que les brindan bienes y servicios ambientales e incrementar el acceso a servicios públicos, de modo que se mejore su capacidad adaptativa y en general su bienestar (Saavedra-Díaz *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2016; Jiménez y Saavedra, 2019). Entre las medidas que se espera puedan reducir la vulnerabilidad de los pescadores se encuentran: la creación de reservas marinas, el cambio de las prácticas de pesca, la formación y capacitación de los pescadores sobre las posibles consecuencias climáticas, la creación de asociaciones, redes de apoyo y los apoyos gubernamentales, como subsidios e incentivos a las buenas prácticas pesqueras (López *et al.*, 2008; Rosas *et al.*, 2014).

Las Áreas Marinas Protegidas (AMP) son un ejemplo de administración de los recursos naturales y de mitigación y adaptación al cambio climático, ya que recogen muestras representativas de ecosistemas de importancia ecológica, hacen de los territorios circundantes zonas con mayor capacidad de adaptación y fortalecen a la sociedad para afrontar los impactos generados por sobrepesca (Le Cornu *et al.*, 2018; Baker *et al.*, 2019). Esta estrategia se fundamenta principalmente en que las áreas marinas protegidas mantienen servicios ecosistémicos esenciales que benefician a las personas, directa e indirectamente; entre éstos se encuentra la regulación del clima y el aprovisionamiento del recurso (Herrera-Carmona *et al.*, 2014). Se ha evaluado el manejo de los recursos naturales como estrategia de adaptación, donde se ha encontrado que las Áreas Marinas Protegidas-AMP, incrementan las de poblaciones de especies costeras y aumenta la producción oceánica, lo que ha mejorado la capacidad de adaptación a efectos negativos del cambio climático (Dey *et al.*, 2016a, 2016b; Rosegrant *et al.*, 2016).

La adaptación basada en ecosistemas – AbE reduce la vulnerabilidad de las personas y los ecosistemas a los efectos del cambio climático y demás amenazas, a través de acciones de conservación y uso sostenible, garantizando que los ecosistemas sigan brindando bienes y servicios esenciales a las comunidades a pesar de que se manifiesten impactos proyectados (Álvarez *et al.*, 2018). Como estrategia de AbE se presentan las AMP con enfoque de aprovechamiento sostenible, las cuales son un instrumento que garantiza la protección de hábitat, biodiversidad y servicios ecosistémicos para que el recurso pesquero se mantenga y que la pesquería sea sostenible (le Pape *et al.*, 2014; Timonet y Abecasis, 2020). Algunos estudios indican que, en las costas de manglar, la AbE presenta

goods and services, and increasing access to public services, thereby improving their adaptation capacity and overall well-being (Saavedra-Díaz *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2016; Jiménez and Saavedra, 2019). Among the measures expected to reduce the vulnerability of fishermen are the creation of marine reserves, changes in fishing practices, the training and education of fishermen regarding possible climatic consequences, the creation of associations and support networks, and government support, such as subsidies and incentives for good fishing practices (López *et al.*, 2008; Rosas *et al.*, 2014).

Marine Protected Areas (MPAs) are an example of natural resource management and mitigation and adaptation to climate change, as they contain representative samples of ecologically important ecosystems, make the surrounding territories more adaptable, and strengthen society to face the impacts generated by overfishing (Le Cornu *et al.*, 2018; Baker *et al.*, 2019). This strategy is mainly based on the fact that these areas maintain essential ecosystem services that benefit people both directly and indirectly, among which are climate regulation and resource provisioning (Herrera-Carmona *et al.*, 2014). The management of natural resources as an adaptation strategy has been evaluated, finding that MPAs increase coastal species population and oceanic production, which enhances the former's ability to adapt to the negative effects of climate change (Dey *et al.*, 2016a, 2016b; Rosegrant *et al.*, 2016).

Ecosystem-based adaptation (EbA) reduces the vulnerability of people and ecosystems to the effects of climate change and other threats through conservation and sustainable use actions, ensuring that ecosystems continue to provide essential goods and services to communities despite projected impacts (Álvarez *et al.*, 2018). As an EbA strategy, MPAs with a focus on sustainable use arise as a tool that guarantees the protection of habitats, biodiversity, and ecosystem services, so that the fishery resource is maintained and its associated activities are sustainable (le Pape *et al.*, 2014; Timonet and Abecasis, 2020). Some studies indicate that, in mangrove coasts, EbA is beneficial in adapting to climate change regardless of the climatic stressors faced by the system and the population that benefits from it (Sierra and Cantera, 2015).

In the northern Colombian Pacific, there is an Exclusive Zone for Artisanal Fishing (EZAF) where capture is regulated (due to overexploitation and industrial fishing), contributing to an increase in artisanal fishing landings and improving the economic conditions of fishermen (Guerrero

beneficios en la adaptación al cambio climático sin importar los estresores climáticos a los que se vea enfrentado el sistema y la población que se beneficia de él (Sierra y Cantera, 2015).

En el Pacífico norte colombiano existe una Zona Exclusiva de Pesca Artesanal-ZEPA, donde se regula la captura (por sobreexplotación y pesca industrial), contribuyendo al aumento en los desembarques de la pesca artesanal en tallas y toneladas,; y mejorando las condiciones económicas de los pescadores (Guerrero *et al.*, 2021). Mientras los pescadores hagan un uso y manejo sostenible de los recursos, la ZEPA podría reducir su vulnerabilidad a los impactos indirectos que el cambio climático tiene sobre los recursos pesqueros.

El cambio climático afecta las condiciones de los océanos (temperatura, salinidad, corrientes, acidificación del océano, pH, nutrientes), las cuales influyen en la distribución, la abundancia, y la productividad primaria, con consecuencias para la producción pesquera. Los trópicos y subtropicales serán los más afectados, especialmente por el incremento en la temperatura, conllevando a que las especies marinas se desplacen hacia áreas en donde las condiciones de hábitat favorezcan su desarrollo (FAO, 2018). En respuesta al calentamiento de la superficie del océano ya se están produciendo cambios en la distribución horizontal y vertical de los peces costeros (Hobday *et al.*, 2015). Selvaraj *et al.* (2022b) proyectaron cambios futuros en la distribución de medianos pelágicos en el Pacífico colombiano en escenarios de cambio climático encontrando que *Euthynnus lineatus* y *Scomberomorus sierra* se alejaran de la costa distribuyéndose a mayor profundidad. Estos cambios afectarán negativamente la pesca artesanal, porque sus capturas actualmente se hacen en la zona costera (Selvaraj *et al.*, 2022b).

Para modelar una AMP se pueden utilizar los programas de soporte de toma de decisiones, los cuales permiten proyectar áreas que agrupan componentes representativos de la biodiversidad basados en criterios objetivos (Pasnin *et al.*, 2016). Sin embargo, es necesario que los modelos generados sean validados con la comunidad pesquera (Hinchley *et al.*, 2007; Ardrón *et al.*, 2010), para crear un área que contenga, tanto la perspectiva requerida para mantener las condiciones ecosistémicas y de productividad a un costo bajo, como la visión del territorio de las personas involucradas en la actividad económica (le Pape *et al.*, 2014; Ruiz-Frau *et al.*, 2015; le Cornu *et al.*, 2018).

Se considera que las áreas marinas orientadas a la gestión sostenible de los recursos pesqueros son opciones valiosas para adherirse a los principios y directrices del

et al., 2021). As long as fishermen make sustainable use and management of the resources, the EZAF can reduce their vulnerability to the indirect impacts of climate change on fishery resources.

Climate change affects the conditions of the oceans (temperature, salinity, currents, pH, nutrients) and influences distribution, abundance, and primary productivity, with consequences for fishery production. The tropics and subtropics are the most affected, especially due to the increase in temperature, leading to marine species moving to areas where habitat conditions favor their development (FAO, 2018). In response to the warming of the ocean surface, changes are already occurring in the horizontal and vertical distribution of coastal fish (Hobday *et al.*, 2015). Selvaraj *et al.* (2022b) projected future changes in the distribution of medium pelagic fish in the Colombian Pacific under climate change scenarios, finding that *Euthynnus lineatus* and *Scomberomorus sierra* will move away from the coast and spread to greater depths. These changes will negatively affect artisanal fishing, as catches of these species are currently made in coastal areas (Selvaraj *et al.*, 2022b).

To model an MPA, decision support programs can be used, which allow projecting areas that group representative components of biodiversity based on objective criteria (Pasnin *et al.*, 2016). However, it is necessary for the generated models to be validated with the fishing community (Hinchley *et al.*, 2007; Ardrón *et al.*, 2010), in order to create an area that contains both the perspective required to maintain ecosystem and productivity conditions at a low cost and the vision of the territory of the people involved in the economic activity (le Pape *et al.*, 2014; Ruiz-Frau *et al.*, 2015; le Cornu *et al.*, 2018).

It is believed that marine areas oriented towards the sustainable management of fishery resources are valuable options for adhering to the principles and guidelines of the Code of Conduct for Responsible Fishing (FAO, 2001). Consequently, the implementation of EZAF not only enhances the economic activity of artisanal fishing, but also improves the economic conditions of the communities that depend on these fishery resources (Fundación MarViva, 2022). Therefore, the objective of this study was to define an EZAF as a strategy for the sustainable use of fishery resources and for the adaptation to climate change by artisanal fishermen in the southern Colombian Pacific, thus reducing their vulnerability.

Código de Conducta de Pesca Responsable (FAO, 2001). Consiguientemente, la implementación de Zonas Exclusivas de Pesca Artesanal-ZEPA no solo potencia la actividad económica de la pesca artesanal, sino que también mejora las condiciones económicas de las comunidades que dependen de estos recursos pesqueros (Fundación MarViva, 2022). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar una Zona Exclusiva de Pesca Artesanal-ZEPA, como estrategia de uso sostenible de los recursos pesqueros, y de adaptación al cambio climático de los pescadores artesanales del sur del Pacífico colombiano, y así reducir su vulnerabilidad.

ÁREA DE ESTUDIO

La región de estudio corresponde a un área marino-costera en el Pacífico sur colombiano, en el departamento de Nariño, incluye los municipios de San Andrés de Tumaco, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El Charco y Santa Barbara (Figura 1). En el área de estudio se encuentran tres áreas que pertenecen al Sistema Nacional de Áreas Protegidas-SINAP de Colombia (Parque Nacional Natural Gorgona, Parque Nacional Nacional Sanquianga y Distrito Nacional de Manejo Integrado Cabo Manglares, Bajo Mira y Frontera). Esta zona incluye manglares, estuarios, esteros y playas que aportan servicios ecosistémicos, como aprovisionamiento (alimento, materias primas) y regulación de la erosión costera (Delgado *et al.*, 2008).

La economía de la región se basa principalmente en la extracción y explotación de los recursos naturales a través de la silvicultura, la pesca y la ganadería (Gobernación de Nariño, 2012). La pesca es una de las principales actividades económicas, ya que genera empleos directos y brinda seguridad alimentaria a aproximadamente 13000 familias de pescadores artesanales (Herrera *et al.*, 2019). En los municipios costeros (Tumaco, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El Charco, Santa Bárbara) del departamento de Nariño más del 98 % de la población presenta sus necesidades básicas insatisfechas y 70 % de la población de dichos municipios vive en condiciones de pobreza (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018; López *et al.*, 2008).

El área para identificar la ZEPA, incluyó 50 km de océano a partir de la línea de costa, correspondiente al área de pesca costera de los pescadores artesanales (Inshore Fishing Area-IFA) (Chuenpagdee *et al.*, 2006). Adicionalmente, se agregaron 5.4 km de área terrestre, a partir de la línea de costa, para incluir ecosistemas terrestres y usos del suelo que pudieran impactar el desempeño de la ZEPA. Esto se debe

STUDY AREA

The region under study corresponds to a marine-coastal area in the southern Pacific of Colombia, in the department of Nariño. It includes the municipalities of San Andrés de Tumaco, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El Charco, and Santa Barbara (Figure 1). Within the study area, there are three areas that belong to the Colombian National System of Protected Areas (SINAP): Gorgona Natural National Park, Sanquianga Natural National Park, and the Cabo Manglares, Bajo Mira y Frontera National District of Integrated Management). This zone includes mangroves, estuaries, *esteros*, and beaches that provide ecosystem services, such as provisioning (*i.e.*, food and raw materials) and coastal erosion regulation (Delgado *et al.*, 2008).

The region's economy is primarily based on the extraction and exploitation of natural resources through forestry, fishing, and livestock (Gobernación de Nariño, 2012). Fishing is one of the main economic activities, as it generates direct employment and provides food security to approximately 13000 families of artisanal fishers (Herrera *et al.*, 2019). In the coastal municipalities of the department of Nariño (Tumaco, Francisco Pizarro, Mosquera, Olaya Herrera, La Tola, El Charco, and Santa Bárbara), more than 98 % of the population have their basic needs unmet, and 70 % of the population in these municipalities live in conditions of poverty (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018; López *et al.*, 2008).

The area for identifying the EZAF included 50 km of ocean from the coastline, corresponding to the coastal area of activity for artisanal fishers (Inshore Fishing Area, or IFA) (Chuenpagdee *et al.*, 2006). Additionally, 5.4 km of terrestrial area from the coastline were added to include terrestrial ecosystems and land uses that could impact the performance of the EZAF. This is because the coastal terrestrial subzone, which extends from the Mean High-Tide Line to a parallel line located 2 km inland (Article 2.2.4.2.1.1 of Decree 1076 of 2015), would be insufficient to evaluate critical areas, such as the rural zones where the coverage of original ecosystems is less than 50 % – in some cases, it is even less than 20 % (Garay, 2006; IDEAM *et al.*, 2017). According to the Planning and Integral Management Plan of the UAC-LIAS, this area could exhibit monocultures or illicit crops, which have negative environmental impacts on marine-coastal ecosystems (Garay, 2006). Moreover, there are transitional forests, which are crucial for the health

a que la subzona terrestre costera, que va desde la Línea de Marea Alta Promedio hasta una línea paralela localizada a 2 km tierra adentro (artículo 2.2.4.2.1.1 del Decreto 1076 del 2015), resultaría insuficiente para evaluar áreas críticas, como las zonas rurales donde la cobertura de ecosistemas originales es inferior al 50 % y, en algunos casos, incluso menor al 20 % (Garay, 2006; IDEAM *et al.*, 2017). Según el Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la UAC-LIAS, en esta área podrían presentarse monocultivos o cultivos ilícitos, los cuales tienen impactos ambientales negativos en los ecosistemas marino-costeros (Garay, 2006). Además, se encuentran los bosques de transición que son cruciales para la salud del ecosistema de manglares, como los bosques de Natal, Sajal y Naidizal, debido a su capacidad para retener sedimentos y contaminantes (López *et al.*, 2008).

of the mangrove ecosystem, such as the Natal, Sajal, and Naidizal forests, given their ability to retain sediments and pollutants (López *et al.*, 2008).

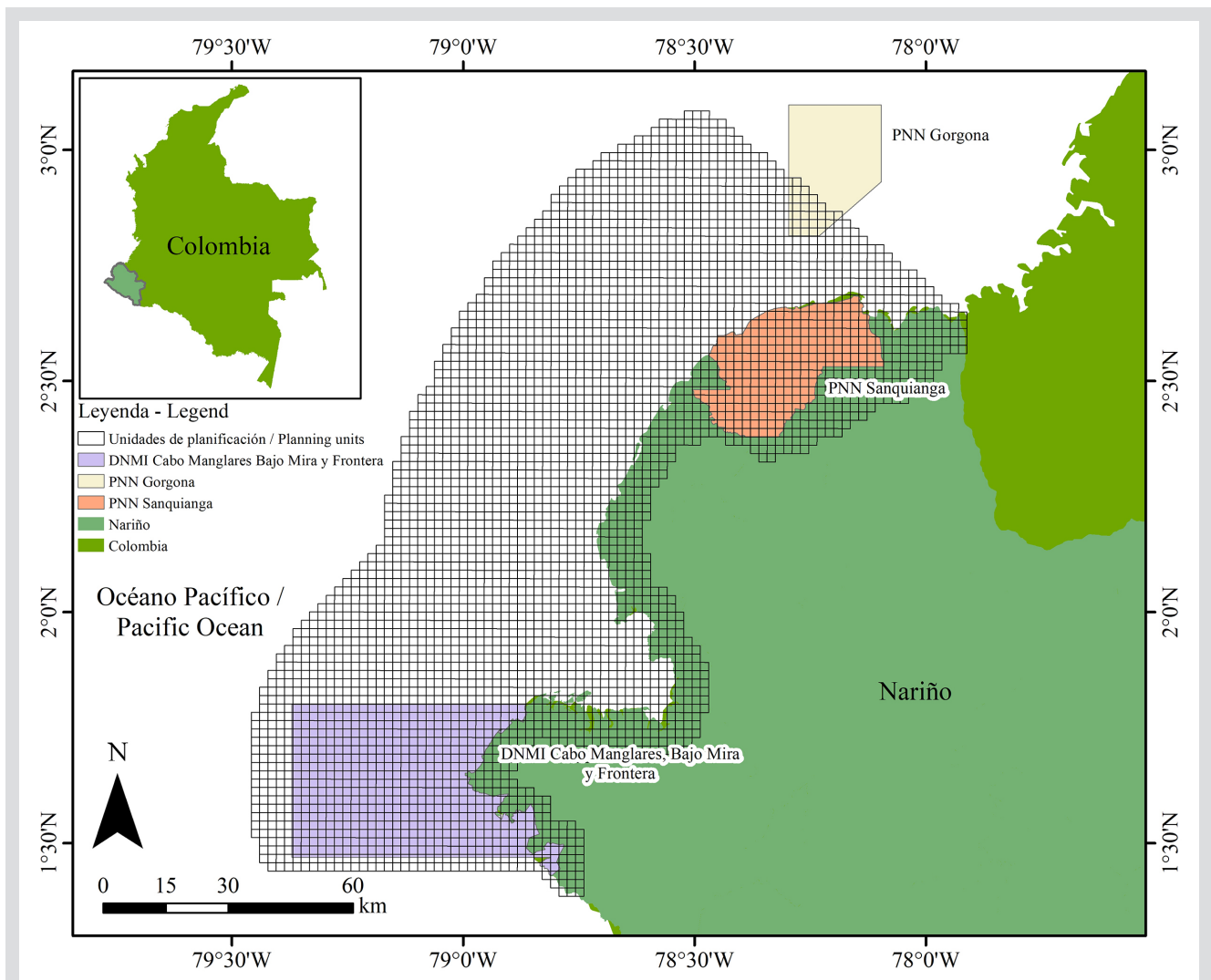


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las áreas protegidas de orden nacional (PNN–Parque Nacional Natural, DNMI–Distrito Nacional de Manejo Integral).

Figure 1. Study area and location of the national protected areas (PNN: Parque Nacional Natural; DNMI: National Integral Management District).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se modeló un área marina protegida utilizando el programa Marxan (Ball *et al.*, 2009), que es una herramienta de toma de decisiones usada y aceptada ampliamente por la comunidad internacional debido a su potencial de analizar conjuntos de datos complejos, por su flexibilidad para desarrollar escenarios y alternativas (Ball *et al.*, 2009). Además, es un software de uso libre, que puede ser utilizado por tomadores de decisiones de países de rentas bajas (Janßen *et al.*, 2019). A pesar que el programa es para la modelación de áreas protegidas con un enfoque de conservación, también puede usarse para la modelación de áreas con enfoque de uso sostenible (Henriques *et al.*, 2017; Baker *et al.*, 2019; Janßen *et al.*, 2019). La totalidad de los conjuntos de datos utilizados en la modelación y sus fuentes se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos utilizados para la modelación en Marxan.

Conjunto de datos / Datasets	Fuente / Source
Ecosistemas (Manglares; estuarios; acantilados, bajos, playas), playas de anidación tortugas, facies sedimentarias. / Ecosystems (mangroves; estuaries; cliffs, shallows, beaches), turtle nesting beaches, sedimentary facies.	(CIOH, 1999; Ramírez <i>et al.</i> , 2008; Yesson <i>et al.</i> , 2011; IDEAM <i>et al.</i> , 2017; Bunting <i>et al.</i> , 2018)
Caladeros industriales, artesanales y rutas de pesca / Industrial and artisanal fishing grounds and fishing routes	(Rueda <i>et al.</i> , 2010)
Ocurrencia de especies / Species occurrence	Sistema de Información Ambiental Marino-SIAM / Marine Environmental Information System-SIAM (https://siam.invmar.org.co/) Sistema de Información Biogeográfica de los Océanos-OBIS / Ocean Biogeography Information System-OBIS (https://mapper.obis.org/).
Centros poblados y puertos / Population centers and ports	Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE, 2000 / National Administrative Department of Statistics-DANE, 2000 (https://www.dane.gov.co/); Visor de mapas, ANI / Map visualizer, ANI (https://sig.ani.gov.co/mapas/) /
Áreas protegidas / Protected areas	Registro Único Nacional de Área Protegidas-RUNAP National Unified Registry of Protected Areas-RUNAP (https://runap.parquesnacionales.gov.co/)

El área de estudio se cuadrículó en Unidades de Planificación-UP de 2 x 2 km² utilizando la herramienta “create Fishnet” de ArcGIS 10.6 (Ardron *et al.*, 2010; Giménez *et al.*, 2021), y se obtuvo un total de 3821 UP.

Objetos de conservación-OC

Los ecosistemas marinos considerados fueron: acantilados, bajos, estuarios, manglares, playas, otros objetos de conservación fueron las playas de anidación de tortugas y las facies sedimentarias. Los ecosistemas continentales que no presentaron alteraciones antrópicas se calificaron como objetos de conservación y los que sí, se consideraron como amenazas en la capa de costos.

MATERIALS AND METHODS

A marine protected area was modeled using the Marxan software (Ball *et al.*, 2009), a decision-making tool widely used and accepted by the international community due to its potential to analyze complex datasets and its flexibility in developing scenarios and alternatives (Ball *et al.*, 2009). Additionally, it is a free software application that can be used by decision-makers in low-income countries (Janßen *et al.*, 2019). Although the program is intended for modeling protected areas with a conservation focus, it can also be used for modeling areas with a sustainable use focus (Henriques *et al.*, 2017; Baker *et al.*, 2019; Janßen *et al.*, 2019). All the datasets used in the modeling and their sources are presented in Table 1.

Table 1. Data used for modeling in Marxan.

The study area was divided into a grid of 2 x 2 km² Planning Units (PU) using the *create Fishnet* tool in ArcGIS 10.6 (Ardron *et al.*, 2010; Giménez *et al.*, 2021), obtaining a total of 3821 PU.

Conservation objects (COs)

The marine ecosystems considered were cliffs, shallows, estuaries, mangroves, and beaches. Other objects of conservation were turtle nesting beaches and sedimentary facies. The continental ecosystems that did not show anthropic alterations were classified as objects of conservation, and those that did were regarded as threats in the cost layer.

La información de los caladeros de pesca artesanal se obtuvo en cuadrículas de $1\ 852 \times 1\ 852$ km (1×1 millas náuticas), representando el número de faenas por unidad de área, por cada arte de pesca (línea de mano y palangre); se dividió en dos clases, utilizando la clasificación por cortes naturales o clasificación de Jenks de ArcGIS; para agrupar los valores similares y maximizar las diferencias entre clases (Liu *et al.*, 2019). Las capas obtenidas se denominaron de alta y de baja frecuencia. Los caladeros industriales y sus rutas de navegación se utilizaron en la capa de costo como amenaza, debido a la sobreexplotación de algunas especies comerciales en el pacífico (Saavedra-Díaz *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2016; Jiménez y Saavedra, 2019). También se incluyó en la capa de costo los caladeros de pesca artesanal con changa, ya que este arte de pesca no está reglamentado y presenta alto impacto en las especies objeto de pesca.

Se seleccionaron 25 especies de peces óseos, 5 de moluscos, 7 de crustáceos, 25 de rayas y tiburones, 2 de tortugas, 3 de delfines, una de ballena (ballena jorobada), y una de cachalote; dado que esas especies marinas son objeto de pesca artesanal (peces, moluscos y crustáceos) o permiten actividades alternativas como el ecoturismo (ballenas, rayas, tiburones, tortugas, y delfines). Algunas especies se agruparon por grupos funcionales (pelágicos, bentopelágicos, demersales, asociados a arrecifes, camarones y jaibas y langostas), otras por grupos de interés ecosistémico y turístico (tiburones, moluscos, rayas, ballenas, delfines, cachalotes y tortugas) (Zeller y Pauly, 2015). Estos objetos de conservación se clasificaron en alta y baja frecuencia. En la figura 2 se puede observar la distribución de los diferentes datos utilizados en el desarrollo de la modelación.

Capa de costo

La capa de costo se compuso de aquellos componentes geográficos que alteran el costo-beneficio del área de estudio y pueden causar alteración sobre los servicios ecosistémicos o los ingresos de la actividad pesquera (Alonso *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2008; Ardrón *et al.*, 2010; Baker *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020). Se ubicaron espacialmente las siguientes amenazas: centros poblados, puertos, rutas y caladeros de pesca industrial de atún, camarón de aguas profundas, camarón de aguas someras, pequeños pelágicos y pesca blanca, caladeros artesanales de changa, ecosistemas terrestres, áreas rurales intervenidas no diferenciadas (< 20 % de ecosistemas originales remanentes), áreas rurales intervenidas no diferenciadas (20 a 50 % de ecosistemas originales remanentes) y Agroecosistemas. Se

Information on artisanal fishing grounds was obtained in $1,852 \times 1,852$ km² (nm²) grids, representing the number of fishing activities per unit area for each type of fishing gear (handline and longline). It was divided into two classes, using the natural breaks or Jenks classification of ArcGIS in order to group similar values and maximize the differences between classes (Liu *et al.*, 2019). The layers obtained were classified as having high and low frequency. Industrial fishing grounds and their navigation routes were used as threats in the cost layer given the overexploitation of some commercial species in the Pacific (Saavedra-Díaz *et al.*, 2015; Arroyo *et al.*, 2016; Jiménez and Saavedra, 2019). Artisanal fishing grounds using *changa* were also included in the cost layer, as this type of fishing gear is not regulated and has a high impact on the target fishing species.

25 species of bony fish, 5 of mollusks, 7 of crustaceans, 25 of rays and sharks, 2 of turtles, 1 of whale (humpback whale), 3 of dolphins, and 1 of sperm whale were selected; these marine species are targets of artisanal fishing (fish, mollusks, and crustaceans) or allow for alternative activities such as ecotourism (whales, rays, sharks, turtles, and dolphins). Some species were grouped by functional groups (pelagic, benthopelagic, demersal, reef-associated, shrimps and crabs, and lobsters), and others by groups of ecosystem and touristic interest (sharks, mollusks, rays, whales, dolphins, sperm whales, and turtles) (Zeller and Pauly, 2015). These objects of conservation were classified as having high and low frequency. Figure 2 shows the distribution of the different data used in the modeling.

Cost layer

The cost layer was composed of the geographic components that alter the cost-benefit relationship of the study area and can cause alterations to ecosystem services or the income from fishing activity (Alonso *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2008; Ardrón *et al.*, 2010; Baker *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020). The following threats were spatially located: population centers; ports; industrial fishing grounds and routes for tuna, deep-water shrimp, shallow-water shrimp, small pelagics, and whitefish; artisanal fishing grounds using *changas*; terrestrial ecosystems; non-differentiated, intervened rural areas (< 20 % of remaining original ecosystems), non-differentiated, intervened rural areas (20 to 50 % of the remaining original ecosystems); and agroecosystems. The threat layers were overlaid on the planning units layer (PU) and assigned a value of 1 or 0 if the threat was or was not present in the PU. The cost of

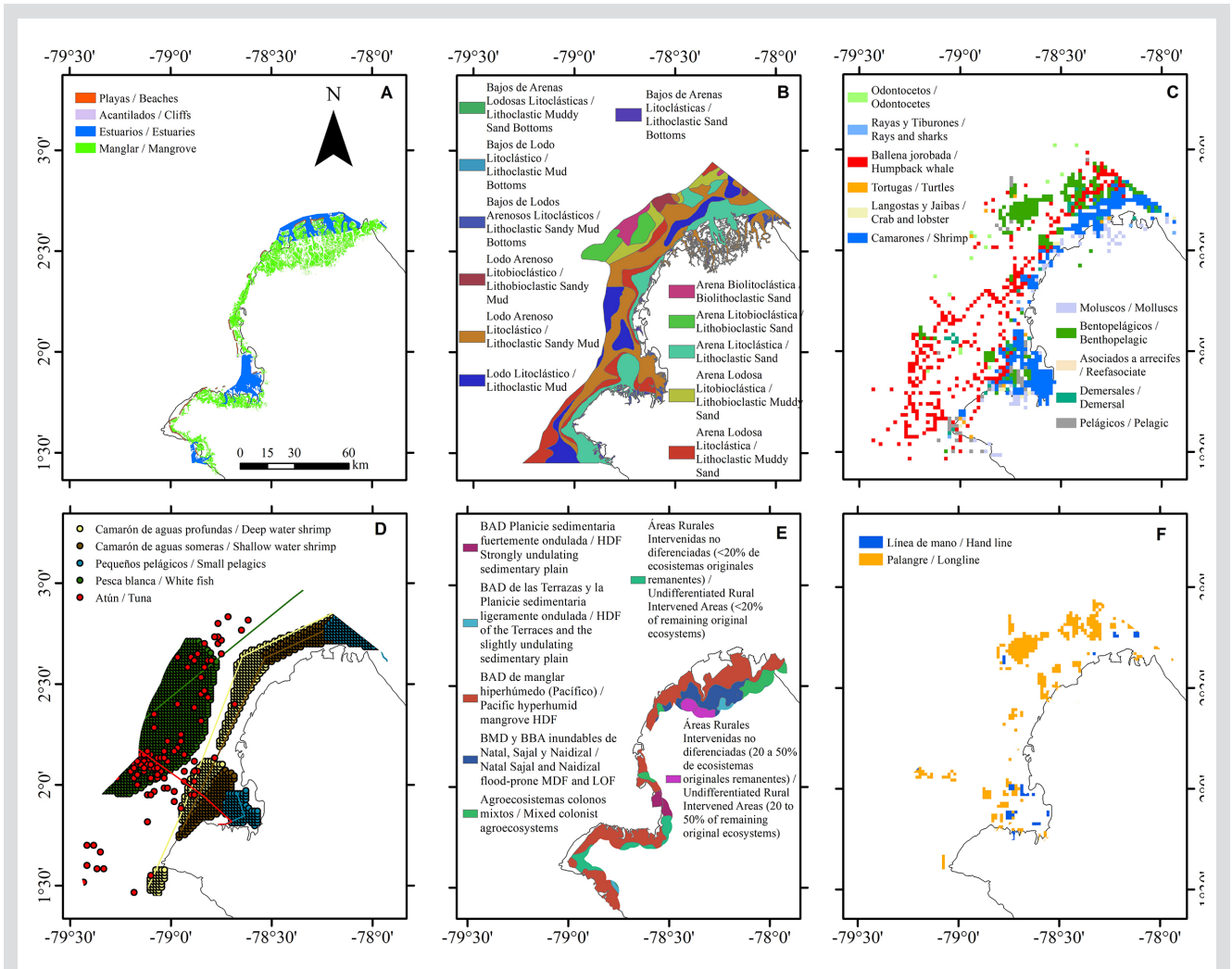


Figura 2. Distribución de Objetos de Conservación y amenazas en el área de estudio. A: Ecosistemas; B: Tipos de fondo; C: distribución de ocurrencias; D: Caladeros y rutas de pesca; E: Ecosistemas continentales; F: Distribución de usos de artes de pesca artesanal.

Figure 2. Conservation objects distribution and threats in the study area. A: ecosystems; B: bottom types; C: occurrence distribution; D: fishing grounds and routes; E: continental ecosystems; F: distribution of fishing gear use.

superpusieron las capas de las amenazas a la capa de Unidades de Planificación-UP y se dio un valor de 1 o 0 si la amenaza estaba o no presente en la unidad de planificación. El costo de cada UP fue el producto de la cantidad de amenazas que se presentaron en una misma unidad y el área de la UP (Alonso *et al.*, 2008; Dalmau, 2020), utilizando la siguiente ecuación:

$$Costo = \text{Área de la UP} * \sum_{i=1}^n \text{Amenaza}_i$$

Escenarios

Se modelaron tres escenarios para el caso de estudio con el fin de evaluar el efecto de la inclusión o no de las AMP del territorio frente en el cumplimiento de las metas

each PU was the product between the number of threats present in the same unit and the area of the PU (Alonso *et al.*, 2008; Dalmau, 2020), which was obtained using the following equation:

$$Cost = PU \text{ area} * \sum_{i=1}^n \text{Threat}_i$$

Scenarios

Three scenarios were modeled for the case study in order to evaluate the effect of including the MPAs of the territory on achieving the inclusion goals regarding the conservation objects (CO) and the location of the EZAF (Ardron *et al.*, 2010). It is clarified that the Gorgona National

de inclusión de los Objetos de conservación–OC y de la ubicación de la ZEPA (Ardrón *et al.*, 2010). Se aclara que el Parque Nacional Natural-PNN Gorgona es un área protegida donde se prohíbe la pesca. Sin embargo, se consideró en este estudio para evaluar su aporte a los OC importantes para la pesca artesanal. Los escenarios se presentan a continuación:

- **Escenario 1:** UPs que se superponen a las AMP incluidas.
- **Escenario 2:** UPs que se superponen a las AMP excluidas.
- **Escenario 3:** Todas las UPs del área de estudio pueden ser seleccionadas.

Para cada escenario se obtuvieron dos enfoques de solución: la frecuencia de selección y mejor solución. El primer enfoque utilizó la frecuencia con que cada UP fue seleccionada durante las 100 réplicas; se le aplicó la clasificación utilizada por (Ruiz-Frau *et al.*, 2015) para obtener 5 clases ($a = 0$, $b = < 25$, $c = 25-50$, $d = 50-75$, $e = 75-100$). El segundo enfoque, asumió una agrupación de UPs “óptima” que cumplió con la mayor cantidad de metas de inclusión, mientras presentó el menor costo entre las 100 réplicas, sin significar que fue la solución definitiva, pues pudo presentar diferencias mínimas en el costo con respecto a otras réplicas, pero variar en la ubicación de las UP dentro del área de estudio (Zhang y Vincent, 2019).

El coeficiente Cohen’s Kappa fue utilizado para comparar el grado de similitud de dos soluciones de Marxan (Ardrón *et al.*, 2010). Se utilizó para evaluar la similitud entre los mapas de la frecuencia de selección de los tres escenarios.

Parámetros de Marxan y su calibración

Para la identificación de las áreas óptimas para el establecimiento de la ZEPA, se calibraron los parámetros de ingreso a Marxan (BLM y FPF) para generar las mejores soluciones con el menor costo posible (Serra-Sogas *et al.*, 2020). La calibración se realizó a través del software Zonae Cogito (Segan *et al.*, 2011). Para los tres escenarios se usó un número de repeticiones de 100 y de iteraciones de 10^7 , parámetros frecuentemente usados en la literatura y que permiten soluciones consistentes (Green *et al.*, 2007; Hinchley *et al.*, 2007; Abecasis *et al.*, 2015).

Validación de la modelación

En octubre de 2021 se realizó un taller de cartografía con 30 pescadores en el municipio de San Andrés de Tumaco, para que dibujaran en un mapa del área de estudio, las áreas

Natural Park is a protected area where fishing is prohibited. However, it was considered in this study with the aim of evaluating its contribution to the Cos that are important for artisanal fishing. The scenarios are presented below:

- **Scenario 1:** PUs that overlap with the included MPAs.
- **Scenario 2:** PUs that overlap with the excluded MPAs.
- **Scenario 3:** All the PUs in the study area that can be selected.

For each scenario, two solution approaches were obtained: selection frequency and best solution. The first approach used the frequency with which each PU was selected during the 100 replicas. The classification used by Ruiz-Frau *et al.* (2015) was applied to obtain five classes ($a = 0$, $b = < 25$, $c = 25-50$, $d = 50-75$, $e = 75-100$). The second approach assumed an ‘optimal’ grouping of PUs which met the most inclusion goals while having the lowest cost among the 100 replicas, which is not to say that it was the definitive solution, as it could exhibit minimal differences in cost compared to other replicas, but vary in the location of the PUs within the study area (Zhang and Vincent, 2019).

Cohen’s Kappa coefficient was used to compare the degree of similarity for two Marxan solutions (Ardrón *et al.*, 2010). It was used to evaluate the similarity between the selection frequency maps of the three scenarios.

Marxan parameters and calibration

To identify the optimal areas for establishing the EZAF, the input parameters of Marxan (BLM and FPF) were calibrated to generate the best solutions at the lowest possible cost (Serra-Sogas *et al.*, 2020). Calibration was carried out using the Zonae Cogito software (Segan *et al.*, 2011). For the three scenarios, 100 replicas and 10^7 iterations were executed. These parameters are frequently used in the literature and allow for consistent solutions (Green *et al.*, 2007; Hinchley *et al.*, 2007; Abecasis *et al.*, 2015).

Modeling validation

In October 2021, a mapping workshop was conducted with 30 fishermen in the municipality of San Andrés de Tumaco, in order for them to draw on a map of the studied region and the areas suitable for the implementation of the EZAF according to their knowledge of the territory. The obtained maps were digitized and georeferenced in the ArcGIS 10.6 software, thus obtaining scenario 4.

adecuadas para la implementación de la ZEPA de acuerdo con su conocimiento sobre el territorio. Los mapas obtenidos, se digitalizaron y georreferenciaron en el software ArcGIS 10.6, obteniéndose el escenario 4.

En el taller se brindó una inducción a los participantes acerca del cambio climático y su impacto en la actividad pesquera. Durante esta capacitación, se proyectó un video que presentaba el caso de estudio de la ZEPA de Bahía Solano. Asimismo, se explicó la metodología que se seguiría en el taller y se mostraron los resultados obtenidos mediante el uso de Marxan. Se presentó el mapa sobre el cual se llevaría a cabo la actividad de cartografía participativa. Además, se proporcionó a cada uno un mapa impreso en escala 1:750 000 en formato A3 (29.7 x 42 cm). El objetivo de este mapa era que los pescadores pudieran dibujar las áreas que consideraban más adecuadas para establecer una zona de pesca artesanal. Cabe mencionar que dicho mapa incluía puntos geográficos relevantes de la costa, así como los bancos de pesca y la batimetría.

Se realizaron encuestas a todos los participantes, las cuales constaban de 18 preguntas para conocer características de la población y su actividad (edad, género, asociatividad, artes de pesca usados y tipo de embarcación), consultar cuales amenazas consideran que afecta la pesca artesanal, medir la aceptación de los escenarios propuestos, la aceptación e implementación de una ZEPA en el territorio y evaluar su percepción sobre si la ZEPA contribuiría a reducir la presión de las amenazas consultadas (contaminación, fenómenos climáticos, sobrepesca, entre otros). Las mejores soluciones de cada escenario y las áreas dibujadas por los pescadores (escenario 4) se sobrepusieron, para establecer las áreas en común de cada escenario modelado con el Marxan, con la propuesta de los pescadores. Las áreas comunes se utilizaron como la propuesta de ZEPA o escenario 5. Además, se garantizó que dicha área diera cumplimiento de las metas de inclusión para algunos OC.

RESULTADOS

Costo

El máximo valor asociado a la sumatoria de amenazas por UP fue 4. El valor del área de cada UP fue de 400 ha. El producto de la sumatoria de amenazas por el área de cada UP dio las siguientes cuatro clases: 1 600, 1 200, 800 y 400 (Figura 3).

In the workshop, an induction about climate change and its impact on fishing activities was provided to the participants. During this training, a video was projected, which presented a case study of the Bahía Solano EZAF. Likewise, the methodology to be followed in the workshop was explained, and the results obtained using Marxan were shown. The map on which the participatory cartography activity would take place was presented. Additionally, each participant was given a 1:750,000 scale printed map in A3 format (29.7 x 42 cm). The aim of this map was for the fishermen to draw the areas they considered to be the most suitable for establishing an artisanal fishing zone. It should be mentioned that this map included relevant geographical points of the coast, as well as fishing banks and bathymetry.

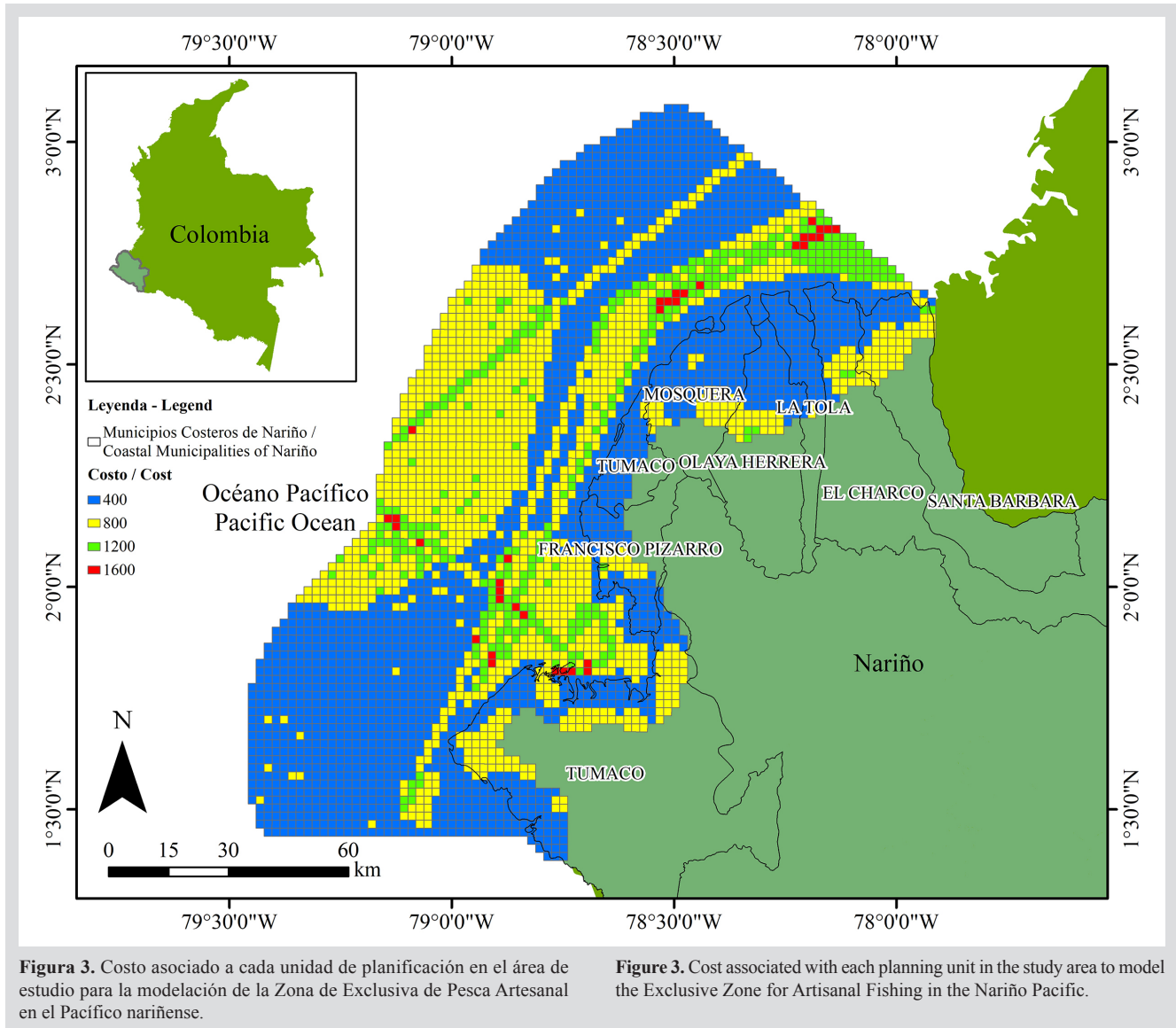
Surveys were conducted with all participants, which consisted of 18 questions seeking to learn about the characteristics of the population and their activities (age, gender, associativity, fishing gear used, and type of vessel), to consult which threats they perceive as affecting artisanal fishing, to gauge the acceptance of the proposed scenarios, as well as the acceptance and implementation of an EZAF in the territory, and to evaluate their perception of whether the EZAF would contribute to reducing the pressure of the aforementioned threats (pollution, climatic phenomena, and overfishing, among others).

The best solutions for each Marxan-modeled scenario and the areas drawn by the fishermen (scenario 4) were overlaid to establish common areas. These common areas were used as the proposed EZAF (scenario 5). Additionally, it was ensured that this area met the inclusion goals for some CO.

RESULTS

Cost

The maximum value associated with the sum of threats per PU was 4. The area value for each PU was 400 ha. The product between the sum of threats and the area of each PU yielded the following four classes: 1600, 1200, 800, and 400 (Figure 3).



Análisis espacial

La mejor solución para el escenario 1, seleccionó 1 024 UP, que equivalen a un área de 4 096 km² (el 26.8 % del área de estudio), de la cual 82.1 % correspondió a Áreas Protegidas (Figura 4A). Agrupó las UP con las mayores frecuencias al interior de las Áreas Protegidas, algunas en la ensenada de Tumaco y al norte de la zona de estudio (Figura 4D). Cumplió la meta de inclusión de todos los OC.

El número total de UP seleccionadas en la mejor solución del escenario 2 fue de 393 (1 572 km²) que correspondió a 10.3 % del área de estudio (Figura 4B). Incluyó varias agrupaciones de UP de alta frecuencia a lo largo de la costa, como las ubicadas en el centro del área de estudio, donde se efectúa pesca artesanal y de subsistencia

Spatial analysis

The best solution for scenario 1 was 1,024 PUs, equivalent to an area of 4,096 km² (26.8 % of the study area), out of which 82.1 % corresponded to protected areas (Figure 4A). This solution grouped the PUs with the highest frequencies within the protected areas, some in Tumaco Bay and north of the study area (Figure 4D), while also meeting the inclusion goal for all COs.

The total number of PUs in the best solution for scenario 2 was 393 (1,572 km²), corresponding to 10.3 % of the study area (Figure 4B). This solution included several groups of high-frequency PUs along the coast, such as those located at the center of the study area, where artisanal and subsistence fishing is carried out (Figure 4E). In this

(Figura 4E). En este escenario se logró la inclusión de 45 OC. En la mejor solución, se cumplieron las metas de inclusión para caladeros de pesca artesanal y áreas de ocurrencia de los grupos funcionales de interés de la pesca artesanal.

En el escenario 3 la mejor solución seleccionó 428 UP, equivalentes a un área de 1 712 km² (Figura 4C). Cumplió las metas de inclusión de 49 OC. La mejor solución mostró una zona al noroccidente del PNN Sanquianga, la cual contiene mayor agrupación de grupos funcionales y actividad pesquera artesanal. Sin embargo, la frecuencia de selección de las UP fue menor, comparada con los dos escenarios anteriores (Figura 4F). Este escenario fue 54 % de las AMP actuales.

scenario, the inclusion of 45 COs was achieved. The best solution met the inclusion goals for artisanal fishing grounds and areas of occurrence for functional groups of interest.

In scenario 3, the best solution corresponded to 428 PUs, equivalent to an area of 1,712 km² (Figure 4C), meeting the inclusion goals for 49 COs. The best solution showed an area to the northwest of the Sanquianga NNP, which contains a greater grouping of functional groups and artisanal fishing activity. However, the PU selection frequency was lower in comparison with the previous two scenarios (Figure 4F). This scenario considers 54 % of the current MPAs.

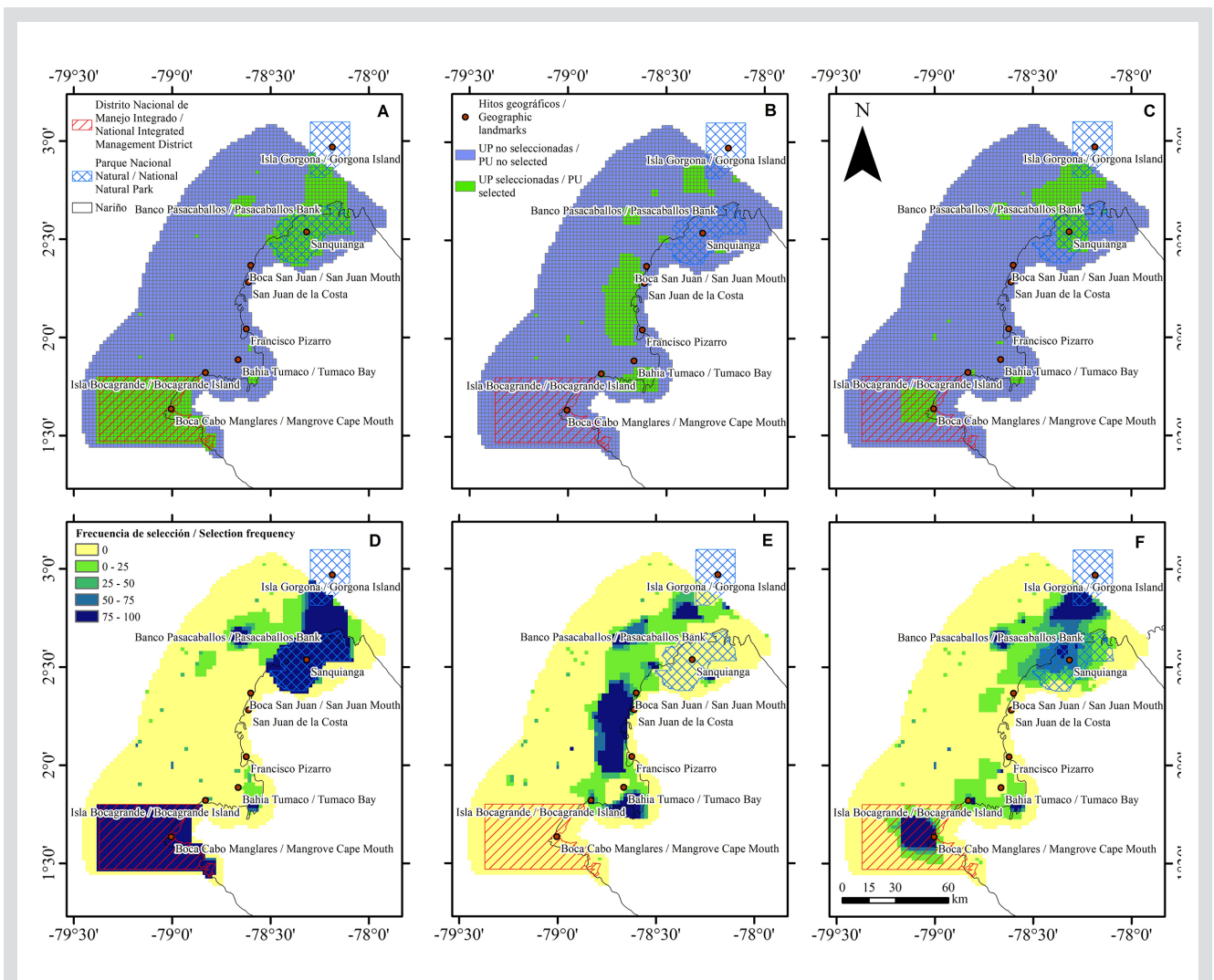


Figura 4. Escenarios que representan la mejor solución considerando UP seleccionadas (A-C) y frecuencias (D-E). En A-C las UP verdes son las “óptimas” para la ZEPA. En D-F las áreas de color azul oscuro son las más útiles para generar soluciones eficientes. Escenario 1: A y D; Escenario 2: B y E; Escenario 3: C y F.

Figure 4. Scenarios that represent the best solutions considering the selected PUs (A-C) and frequencies (D-E). In A-C, green indicates ‘optimal’ PUs for the EZAF. In D-F, dark blue areas represent those that are the most useful for generating efficient solutions. Scenario 1: A and D; Scenario 2: B and E; Scenario 3: C and F.

Los resultados del taller de cartografía participativa de los pescadores indicaron que el área seleccionada para la ZEPA está próxima a la costa, ubicada entre Cabo Manglares y Boca del Río San Juan (Figura 5). Seleccionaron un total de 867 UPs (3 468 km²).

Al superponer los escenarios modelados en Marxan con el propuesto por los pescadores, se obtuvo el escenario 5 (Figura 6). Comprendió un total de 502 UPs (2 008 km²) ubicadas en la costa de Tumaco y Francisco Pizarro. Este escenario comprendió 32 de los 52 Objetos de Conservación (Tabla 2). Entre los Objetos de Conservación (OC) que cumplieron la meta de inclusión, se destacaron ecosistemas que soportan la actividad pesquera (manglares, estuarios), caladeros de línea de mano, que es un arte de pesca frecuentemente usados por los pescadores. Además, se logró la inclusión de áreas donde se distribuyen especies pelágicas, demersales, moluscos, camarones y jaibas (Tabla 2).

As for the result of the participatory cartography workshop, the fishermen indicated that the area selected for the EZAF is near the coast, located between Cabo Manglares and the San Juan River Mouth (Figure 5). They selected a total of 867 PUs (3,468 km²).

Upon overlaying the scenarios modeled in Marxan with that proposed by the fishermen, scenario 5 was obtained (Figure 6), comprising a total of 502 PUs (2,008 km²) located on the coast of Tumaco and Francisco Pizarro. This scenario included 32 of the 52 COs (Table 2). Among the COs that met the inclusion goal, ecosystems supporting fishing activity (mangroves, estuaries) and handline fishing grounds (a frequently used fishing gear) were highlighted, while also achieving the inclusion of areas where pelagic and demersal species, mollusks, shrimps, and *jaibas* are distributed (Table 2).

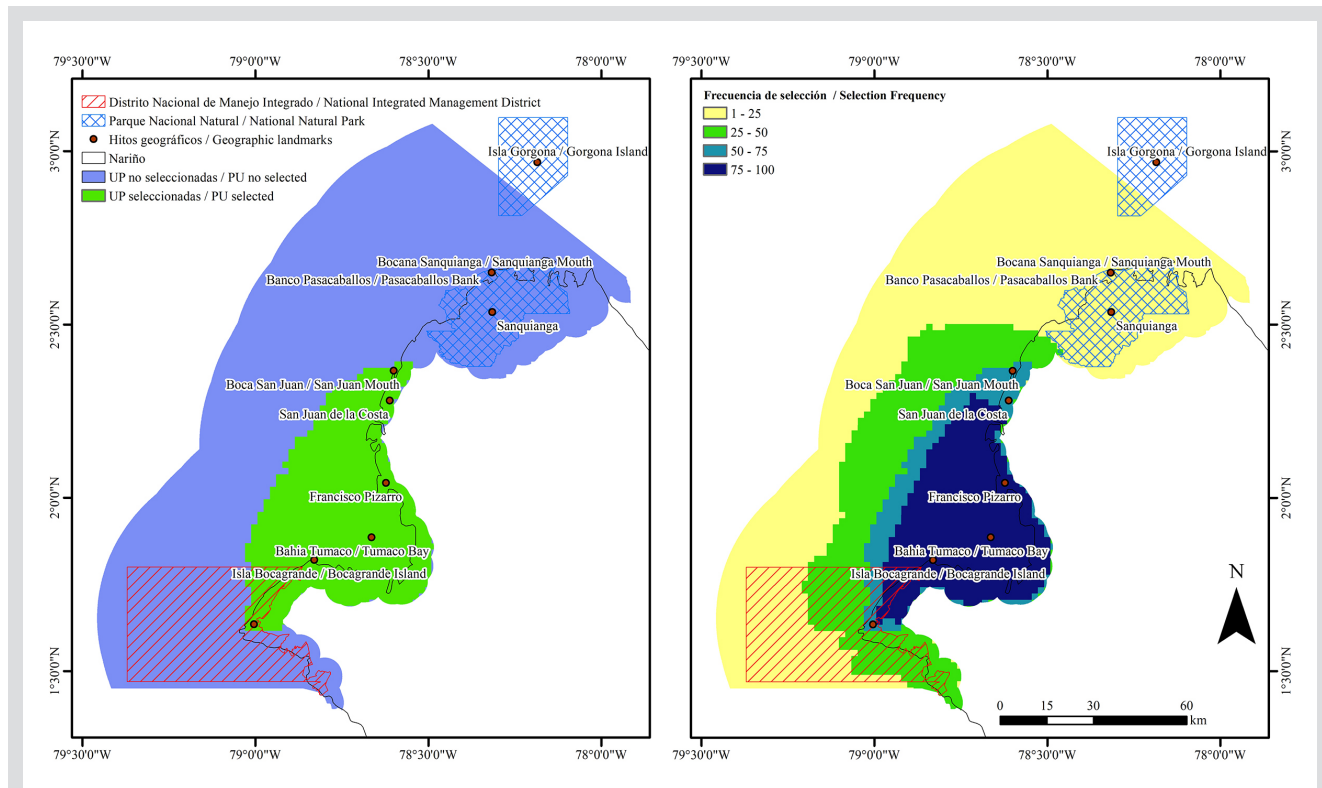


Figura 5. Área propuesta por los pescadores artesanales. Unidades de Planificación mayores al 50 % de las veces seleccionadas (izq.)—Frecuencias de selección de UP (der).

Figure 5. Area proposed by the artisanal fishermen. Planning units selected more than 50 % of the time (left) – PU selection frequencies (left).

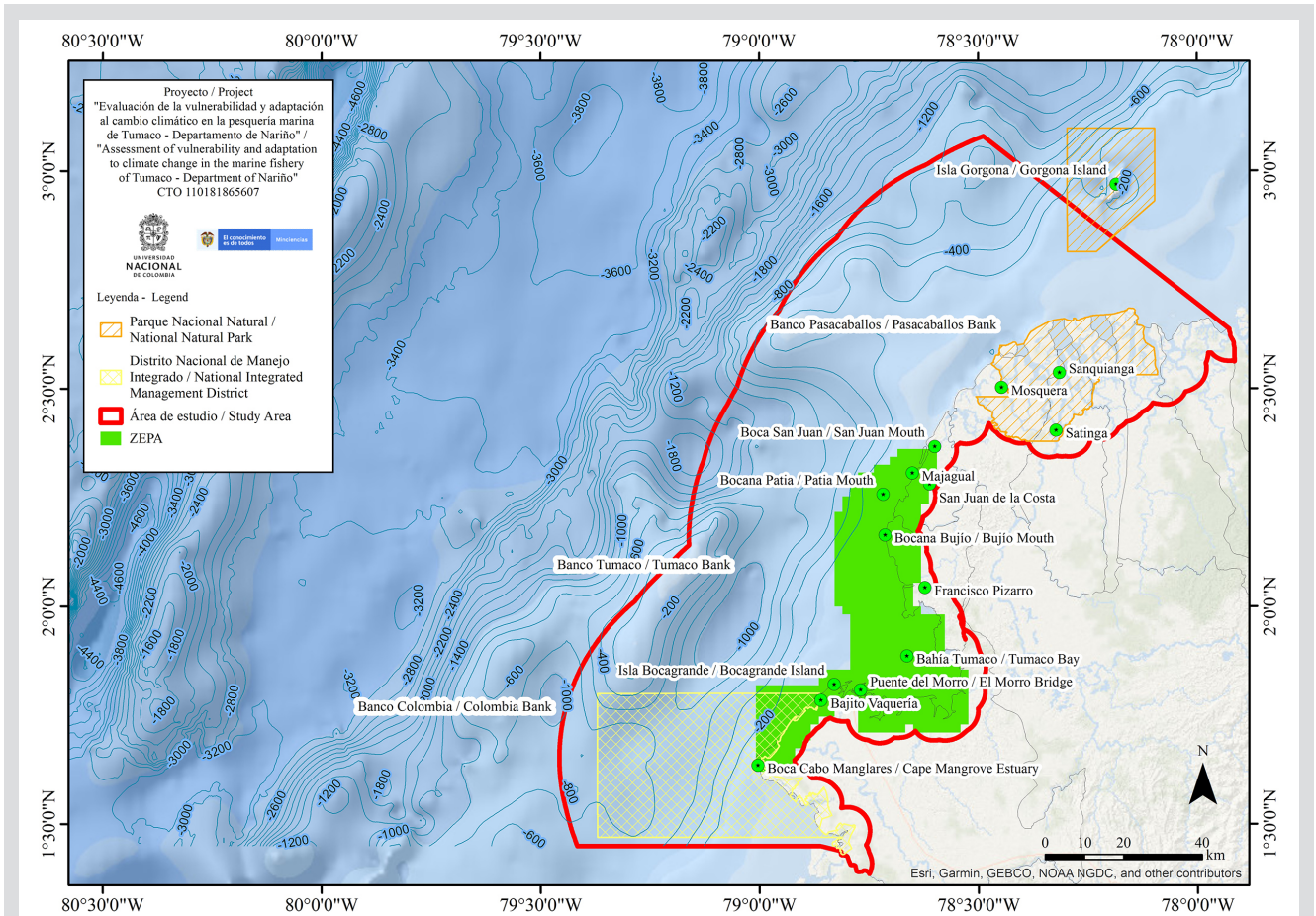


Figura 6. Zona Potencial Exclusiva de Pesca Artesanal creada de manera participativa con pescadores artesanales del área.

Figure 6. Potential Exclusive Zone for Artisanal Fishing created in a participatory manner with artisanal fishermen in the area.

Tabla 2. Objetos de Conservación–OC, área incluida de cada uno y evaluación del cumplimiento de la meta de inclusión en la ZEPA creada de manera participativa con pescadores artesanales. BAD–Bosque Alto Denso, BBA–Bosque Bajo Abierto, BMD–Bosque Medio Denso, DNMI-Distrito Nacional de Manejo Integrado,

Table 3. Conservation Objects (COs), including the area of each one and an evaluation of the fulfillment of inclusion goals in the EZAF created in a participatory manner with artisanal fishermen. TDF: Tall Dense Forest; MDF: Medium Dense Forest; LOF Low Open Forest; NIMD: National Integrated Management District.

Objeto de conservación-OC / Conservation object-CO	Cantidad del OC incluida / Amount of COs included (km ²)	% incluido / % included	¿Cumple la meta? / Does it fulfill the goal?
Manglares / Mangroves	273.64	26	Sí / Yes
Estuarios / Estuaries	206.70	42	Sí / Yes
Acantilados / Cliffs	6.36	94	Sí / Yes
Playas / Beaches	22.23	52	Sí / Yes
Playas de anidación de tortugas / Turtle nesting beaches	16.86	53	Sí / Yes
BAD de manglar hiperhúmedo Pacífico / Hyperhumid mangrove TDF, Pacific	353.91	28	Sí / Yes
BAD de Las Terrazas y la planicie sedimentaria ligeramente ondulada / TDF in Las Terrazas and slightly undulating sediment plain	0	0	No / No

Objeto de conservación-OC / Conservation object-CO	Cantidad del OC incluida / Amount of COs included (km ²)	% incluido / % included	¿Cumple la meta? / Does it fulfill the goal?
BMD y BBA inundables de Natal Sajal y Naidizal / Floodable MDF and LOF in Natal Sajal and Naidizal	0	0	No / No
BAD Planicie sedimentaria fuertemente ondulada / TDF, strongly undulating sediment plain	0	0	No / No
Bajos / Shallows	0	0	No / No
Arena lodosa litobioclástica / Muddy lithoclastic sand	0	0	No / No
Arena biolitoclástica / Biolithoclastic sand	0	0	No / No
Lodo arenoso litobioclástico / Sandy lithobioclastic mud	0	0	No / No
Arena lodosa litoclástica / Muddy lithoclastic sand	202.97	29	Sí / Yes
Bajos de arenas litoclásticas / Lithoclastic sand shallows	71.04	38	Sí / Yes
Lodo litoclástico / Lithoclastic mud	168.78	23	Sí / Yes
Bajos de lodos arenosos litoclásticos / Sandy lithoclastic mud shallows	39.99	45	Sí / Yes
Arena litobioclástica / Lithobioclastic sand	0	0	No / No
Bajos de lodo litoclástico / Lithoclastic mud shallows	0.42	32	Sí / Yes
Arena litoclástica / Lithoclastic sand	386.16	32	Sí / Yes
Bajos de arenas lodosas litoclásticas / Muddy lithoclastic sand shallows	5.85	100	Sí / Yes
Lodo arenoso litoclástico / Sandy lithoclastic mud	487.9	27	Sí / Yes
Línea de mano baja frecuencia / Handline, low frequency	55.92	62	Sí / Yes
Línea de mano alta frecuencia / Handline, high frequency	7.76	100	Sí / Yes
Palangre baja frecuencia / Longline, low frequency	118.54	15	No / No
Palangre alta frecuencia / Longline, high frequency	7.75	5	No / No
Área de Importancia para la Conservación de Aves-AICA / Important Bird Areas, IBA	1.87	100	Sí / Yes
Parque Nacional Natural Sanquianga / Sanquianga National Natural Park	0.00	0	Sí / Yes
Parque Nacional Natural Gorgona / Gorgona National Natural Park	0.00	0	Sí / Yes
DNMI Cabo Manglares Bajo Mira y Frontera / Cabo Manglares, Bajo Mira y Frontera NIMD	163.37	9	Sí / Yes
Ballena jorobada baja frecuencia / Humpback whale, low frequency	140	13	No / No
Ballena jorobada alta frecuencia / Humpback whale, high frequency	28	14	No / No



Objeto de conservación-OC / Conservation object-CO	Cantidad del OC incluida / Amount of COs included (km ²)	% incluido / % included	¿Cumple la meta? / Does it fulfill the goal?
Pelágicos baja frecuencia / Pelagics, low frequency	500	38	Sí / Yes
Pelágicos alta frecuencia / Pelagics, high frequency	92	44	Sí / Yes
Bentopelágicos baja frecuencia / Benthopelagics, low frequency	208	18	No / No
Bentopelágicos alta frecuencia / Benthopelagics, high frequency	16	15	No / No
Demersales baja frecuencia / Demersals, low frequency	344	23	Sí / Yes
Demersales alta frecuencia / Demersals, high frequency	4	2	No / No
Asociados a arrecifes baja frecuencia / Reef-associated, low frequency	0	0	No / No
Asociados a arrecifes alta frecuencia / Reef-associated, high frequency	0	0	No / No
Moluscos baja frecuencia / Mollusks, low frequency	120	38	Sí / Yes
Moluscos alta frecuencia / Mollusks, high frequency	28	64	Sí / Yes
Odontocetos baja Frecuencia / Odontocetes, low frequency	0	0	No / No
Odontocetos alta frecuencia / Odontocetes, high frequency	0	0	No / No
Jaibas y langostas baja frecuencia / Jaibas and lobsters, high frequency	56	70	Sí / Yes
Jaibas y langostas alta frecuencia / Crab and lobster High Frequency	20	45	Sí / Yes
Camarones baja frecuencia / Shrimps, low frequency	412	43	Sí / Yes
Camarones alta frecuencia / Shrimps, high frequency	136	85	Sí / Yes
Tortugas baja frecuencia / Turtles, low frequency	36	50	Sí / Yes
Tortugas alta frecuencia / Turtles, high frequency	4	100	Sí / Yes
Rayas y tiburones baja frecuencia / Rays and sharks, low frequency	12	23	Sí / Yes
Rayas y tiburones alta frecuencia / Rays and sharks, high frequency	0	0	No / No

Los resultados de la encuesta realizada a los pescadores identificaron que 90 % de ellos estaría dispuesto a participar en la implementación de una ZEPA en su territorio. El 80 % de la población encuestada estuvo de acuerdo o muy de acuerdo en que la experiencia obtenida por los pescadores del Pacífico norte en la creación de una Zona de Pesca Artesanal serviría para su región. Además, la mayoría de los pescadores estuvo de acuerdo o muy de acuerdo con que la ZEPA les ayudaría a garantizar la abundancia de peces para el desarrollo de la pesca artesanal (80 %), contribuiría al aumento de las capturas (83 %), reduciría los costos de operación

The results of the survey showed that 90 % of the fishermen would be willing to participate in the implementation of an Exclusive Zone for Artisanal Fishing (EZAF) in their territory. 80 % of the surveyed population agreed or strongly agreed that the experience gained by fishermen in the northern Pacific in creating an artisanal fishing zone would be useful for their region. Moreover, the majority of fishermen agreed or strongly agreed that the EZAF would help them ensure the abundance of fish for the development of artisanal fishing (80 %), that it would contribute to an increase in catches (83 %), that it would

(80 %), reduciría la presión de la pesca industrial sobre las especies (76 %), reduciría el riesgo de sobreexplotación de las especies (74 %), y reduciría su vulnerabilidad al cambio climático (77 %). Finalmente, los pescadores consideraron que la principal amenaza que afecta la pesca artesanal es la contaminación del agua (67 %), seguida por la pesca industrial (47 %), la sobrepesca (43 %) y el 33 % identificó los fenómenos climáticos extremos.

La similitud de la clasificación de la solución sumada entre el escenario 1 y 2, evaluada con los coeficientes de Cohen's Kappa fue de 0.04, entre el escenario 1 y 3 fue de 0.19 y entre el escenario 2 y 3 fue de 0.46 (Tabla 3). Comparando la superposición entre escenarios, las mayores similitudes se presentaron en la clase 0 (76.6 %, 74.0 % y 98.3 %, respectivamente), es decir en las UP que no fueron seleccionadas frecuentemente por el programa en los tres escenarios. En las siguientes categorías, el porcentaje de superposición se redujo a medida que la frecuencia de selección aumentó, lo que indicó que la cantidad de UP que se clasificaron en las clases con mayor frecuencia de selección, difirieron entre los escenarios.

Tabla 3. Similitud entre los tres escenarios de la modelación de Marxan utilizando el coeficiente Kappa y basado en clases de frecuencia.

Clase / Class	Porcentaje del área en cada escenario / Percentage of the area in each scenario			Porcentaje de superposición entre escenarios 1 y 2 / Overlap percentage between scenarios 1 and 2	Porcentaje de superposición entre escenarios 1 y 3 / Overlap percentage between scenarios 1 and 3	Porcentaje de superposición entre escenarios 2 y 3 / Overlap percentage between scenarios 2 and 3
	1	2	3			
0	63.7	77.58	65.72	76.6	74.02	98.34
< 25	6.97	10.14	18.99	46.2	35.03	31.56
26-50	1.61	2.02	7.65	7.0	13.26	11.74
51-75	1.37	2.16	3.92	3.8	16.70	1.10
76-100	26.36	8.11	3.71	3.9	9.71	38.92
Kappa				0.04	0.18	0.41

Cuando se comparó la mejor solución entre los cuatro escenarios, se encontró que, los valores del coeficiente fueron negativos entre los escenarios 4 y 1 (-0.1) y 4 y 3 (-0.1); y entre los escenarios 4 y 2 el valor fue positivo (0.4) indicando que la similitud entre estos últimos fue buena (Tabla 4) (Ruiz-Frau *et al.*, 2015; Zhang and Vincent, 2019). La comparación de los escenarios 4 y 2, presentó los mayores valores de similitud y porcentajes de superposición tanto del área seleccionada como de la no seleccionada.

reduce operating costs (80 %), that it would reduce the pressure of industrial fishing on the species (76 %), that it would reduce the risk of species overexploitation (74 %), and that it would reduce their vulnerability to climate change (77 %). Finally, the fishermen considered that the main threat affecting artisanal fishing is water pollution (67 %), followed by industrial fishing (47 %), overfishing (43 %), and extreme climatic phenomena (33 %).

The similarity in the classification of the combined solution of scenarios 1 and 2, as evaluated with Cohen's *kappa* coefficients, was 0.04. The value for scenarios 1 and 3 was 0.19, and, for scenarios 2 and 3, it was 0.46 (Table 4). When comparing the overlap between scenarios, the greatest similarities were observed in class 0 (76.6 %, 74.0 %, and 98.3 %, respectively), that is, in the PUs that were not frequently selected by the program regarding the three scenarios. In the following categories, the percentage of overlap decreased as the frequency of selection increased, indicating that the number of PUs classified in the classes with the highest frequency of selection differed between scenarios.

Table 4. Similarity between the three Marxan-modeled scenarios, using the *kappa* coefficient and upon the basis of frequency classes.

When the best solution among the four scenarios was compared, it was found that the coefficient values were negative between scenarios 4 and 1 (-0.1) and 4 and 3 (-0.1). Between scenarios 4 and 2, the value was positive (0.4), indicating a good degree of similarity (Table 5) (Ruiz-Frau *et al.*, 2015; Zhang and Vincent, 2019). The comparison between scenarios 4 and 2 showed the highest similarity values and overlap percentages for both the selected and non-selected areas.

Tabla 4. Similitud entre los tres escenarios de la modelación de Marxan y el escenario de los pescadores, utilizando el coeficiente Kappa y basado en clases de frecuencia.

Clases / Classes	Porcentaje de área de cada clase por escenario / Area percentage for each class by scenario				Porcentaje de sobreposición entre escenarios / Overlap percentage between scenarios		
	1	2	3	4	4 vs 1	4 vs 2	4 vs 3
Área no seleccionada / Non-selected area	73.2	89.7	88.8	86.9	68.9	96.1	87.1
Área seleccionada / Selected area	26.8	10.3	11.2	13.1	16.5	35.2	7.2
Kappa					-0.1	0.4	-0.1

Table 5. Similarity between the three Marxan-modeled scenarios and that of the fishermen, using the *kappa* coefficient and upon the basis of frequency classes.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la modelación en Marxan indican que las AMP actuales contribuyen al mantenimiento de los ecosistemas y áreas de ocurrencia de especies al interior del área de estudio, debido a que las AMP conservan elementos como manglares, estuarios, bajos, esteros, playas, zonas de reproducción, guardería de especies pelágicas, entre otros, los cuales a pesar de no estar al interior de una zona que se establezca como ZEPA, aportan servicios ecosistémicos para que en las zonas de pesca exista la abundancia y biodiversidad de especies. Los escenarios, presentan beneficios ya que se ubican en áreas cercanas a las AMP que actualmente están establecidas en el territorio, lo que permite la conectividad entre estas áreas y la ZEPA; además, las comunidades de especies marino-costeras que habitan las AMP actuales, podrían migrar a nuevas zonas de la ZEPA, obteniendo peces objeto de pesca de tallas grandes, los cuales, además de generar un potencial para su captura, brindan alevines, juveniles y adultos para empezar con la recuperación de los ecosistemas albergados al interior de la zona (le Pape *et al.*, 2014; Matera, 2016; le Cornu *et al.*, 2018). El escenario 3 muestra que las AMP aportan en mayor medida a la conservación de los ecosistemas marinos, pero no son precisamente lugares con caladeros de pesca artesanal, ni zonas de ocurrencia de especies objeto de pesca artesanal, puesto que el software solo utilizó una fracción de ellas.

Al comparar los escenarios obtenidos en Marxan, se identificó que el escenario 2 es el que establece mayor área en las zonas externas a las AMP, brindando la oportunidad de distribuir más eficientemente la agregación y el esfuerzo pesquero. Adicionalmente, cuenta con el aporte de las AMP actuales en cuanto a la conservación de ecosistemas y la inclusión de zonas que permiten el desarrollo del ciclo de

DISCUSSION

The results obtained from the Marxan modeling indicate that the current MPAs contribute to the maintenance of ecosystems and species occurrence areas within the study area. This is because the MPAs preserve elements such as mangroves, estuaries, shallows, *esteros*, beaches, breeding zones, and nurseries for pelagic species, among others. Although these elements are not within an EZAF, they provide ecosystem services that contribute to the abundance and biodiversity of species in fishing areas. The scenarios have benefits since they are located in areas close to the territory's currently established MPAs, allowing for connectivity between these areas and the EZAF. Additionally, the communities of marine-coastal species that inhabit the current MPAs could migrate to new areas of the EZAF, yielding fish of large sizes. These fish, in addition to generating potential for capture, provide fry, juveniles, and adults to begin the recovery of the ecosystems within the zone (le Cornu *et al.*, 2018; le Pape *et al.*, 2014; Matera, 2016). Scenario 3 shows that MPAs contribute more significantly to the conservation of marine ecosystems but are not precisely areas with artisanal fishing grounds or occurrence zones for target species, as the software only used a fraction of them.

When comparing the scenarios obtained in Marxan, it was identified that scenario 2 establishes a larger area in the external zones to the MPAs, offering the opportunity to more efficiently distribute aggregation and fishing efforts. Additionally, it considers the contribution of current MPAs in terms of ecosystem conservation and the inclusion of zones that enable the development of species life cycles, such as nursery areas, where species spend the early stages of their biological cycle and later contribute to the underlying

vida de las especies, como las áreas de guardería donde las especies pasan sus primeras etapas de su ciclo biológico y luego por efecto de un desbordamiento aportarían a las pesquerías subyacentes (le Pape *et al.*, 2014; le Cornu *et al.*, 2018; Baker *et al.*, 2019; Nickols *et al.*, 2019).

Las comparaciones entre los escenarios 1, 2 y 3 indican que, a pesar de que presentan “bajas similitudes” en los dos primeros casos ($Kappa < 0.4$) y apenas “buenas” en la comparación de los escenarios 2 y 3 ($Kappa$ mayor o igual 0.4) cada solución contiene elementos representativos del territorio como ecosistemas, caladeros de pesca artesanal y zonas de ocurrencia de especies, los cuales son necesarios para el desarrollo apropiado de la pesca artesanal (Pasnin *et al.*, 2016; Zhang y Vincent, 2019). Los tres escenarios presentaron dos áreas en común, una en la ensenada de Tumaco y otra cercana al banco de pasacaballos, lugares que recogen varios OC del área de estudio, por lo que se podría indicar que dichas zonas son importantes por su aporte en el cumplimiento de las metas de inclusión de cada OC en la ZEPA (Ardron *et al.*, 2010).

El escenario 4 muestra que los pescadores artesanales conocen las limitaciones para realizar sus capturas, por lo que seleccionaron zonas alejadas a la línea de costa. Adicionalmente, la ubicación del área seleccionada también puede deberse a otros factores como el conocimiento y la frecuencia de uso en el área cercana a la costa (Bell *et al.*, 2015; Hanich *et al.*, 2018; le Cornu *et al.*, 2018). Los pescadores identificaron la ZEPA como una estrategia que les ayudaría a reducir su vulnerabilidad frente a diversas amenazas como la sobreexplotación, pesca industrial, contaminación y finalmente al cambio climático. Esta aceptación corrobora que la implementación de zonas marinas para pesca artesanal como alternativa de uso sostenible de los recursos y control de amenazas, genera condiciones para una adaptación basada en ecosistemas; lo que valida la ZEPA como una estrategia adecuada para la población del área de estudio (le Pape *et al.*, 2014; le Cornu *et al.*, 2018)

La similitud entre el escenario 2 y 4 muestra que la población y el software coinciden en la ubicación de la ZEPA dado que los pescadores eligen lugares donde realizan la actividad pesquera y al mismo tiempo reducen la presión por otros usos incompatibles como la pesca industrial, mientras el software busca la ubicación de la zona en un lugar estratégico basado en factores de costo beneficio como la distancia entre UPs, el costo asociado a cada UP, la cantidad de OC incluidos, entre otros (Baker

fisheries through overflow effects (le Pape *et al.*, 2014; le Cornu *et al.*, 2018; Baker *et al.*, 2019; Nickols *et al.*, 2019).

Comparisons between scenarios 1, 2, and 3 indicate that, despite exhibiting ‘low similarities’ in the first two cases ($kappa < 0.4$) and just ‘good’ similarities in the comparison of scenarios 2 and 3 ($kappa$ greater than or equal to 0.4), each solution contains elements representative of the territory, such as ecosystems, artisanal fishing grounds, and species occurrence zones, which are necessary for the proper development of artisanal fishing (Pasnin *et al.*, 2016; Zhang and Vincent, 2019). The three scenarios showed two common areas, one in Tumaco Bay and another near the Pasacaballos bank. These places harbor several COs from the study area, indicating that they are important given their contribution in meeting the inclusion goals of each CO in the EZAF (Ardron *et al.*, 2010).

Scenario 4 shows that artisanal fishermen are aware of the limitations for their catches, therefore selecting zones adjacent to the coastline. Additionally, the location of the selected area may also be due to other factors such as the knowledge of and the frequency of use in the area near the coast (Bell *et al.*, 2015; Hanich *et al.*, 2018; le Cornu *et al.*, 2018). Fishermen identified the EZAF as a strategy that would help to reduce their vulnerability to various threats such as overexploitation, industrial fishing, pollution, and, ultimately, climate change. This acceptance corroborates that the implementation of marine zones for artisanal fishing as an alternative for the sustainable use of resources and threat control generates conditions for ecosystem-based adaptation, thus validating the EZAF as an adequate strategy for the population in the study area (le Pape *et al.*, 2014; le Cornu *et al.*, 2018).

The similarity between scenarios 2 and 4 shows that the population and the software coincide in the location of the EZAF, as the fishermen choose places where they perform fishing activities while reducing the pressure from other incompatible uses such as industrial fishing. The software, in turn, seeks a strategic place based on cost-benefit factors such as the distance between PUs, the cost associated with each PU, and the number of COs included, among others (Baker *et al.*, 2019; Ban *et al.*, 2009). This is why community participation is important in identifying optimal zones for artisanal fishing, as they know the territory and can identify the most suitable areas based on their experience and traditional knowledge. Likewise, this process aids in the appropriation of the results by the communities. Solution 2 excluded MPAs and was the most similar to

et al., 2019; Ban *et al.*, 2009). Es por esto, que es importante la participación de las comunidades en la identificación de zonas óptimas para la pesca artesanal, debido a que conocen el territorio e identifican las zonas más adecuadas basadas en su experiencia y saberes tradicionales. Asimismo, este proceso ayuda a la apropiación de los resultados por parte de las comunidades. La solución 2 excluyó las AMP y fue la que se pareció más al escenario 4. Esto posiblemente se deba a que los pescadores seleccionan áreas que no están bajo un esquema de protección y a que ellos identifican zonas donde pueden ejercer libremente la actividad pesquera.

Al combinar los resultados propuestos por el software y los pescadores para la obtención del resultado final, se obtuvo una solución con un área suficiente para que los pescadores ejerzan su actividad sin afectar la ubicación de sus caladeros, la inclusión de ecosistemas estratégicos y las zonas de distribución de especies de interés pesquero, lo que se ve reflejado en los OC que quedaron incluidos en el escenario 5 (Ruiz-Frau *et al.*, 2015). Este escenario incluye zonas donde se puede realizar ecoturismo, como el avistamiento de ballenas o aves, constituyéndose como fuentes adicionales de ingreso. Incluye diversos recursos pesqueros, lo que les brinda posibles alternativas en cuanto a diversificar las especies objeto de captura en épocas de veda o de posible alteración en la distribución de las especies de pesca por el cambio climático. Este escenario también provee hábitats adecuados para que los ecosistemas mejoren su estado y permitan brindar a la población alimento e ingresos (le Cornu *et al.*, 2018). Además, incluye ecosistemas como el bosque de manglar, el cual controla la erosión costera, permite el desarrollo de las especies en su etapa juvenil, captura emisiones de gases de efecto invernadero y brinda especies de pesca como las jaibas, las pianguas y demás especies que habitan estas zonas (Sierra y Cantera, 2015).

Los resultados obtenidos en la encuesta indican que la ZEPA es una estrategia de adaptación basada en ecosistemas, la cual es aceptada por la comunidad y es percibida como una alternativa para garantizar la sostenibilidad de la actividad pesquera en el tiempo (le Cornu *et al.*, 2018). Además, al tener menor presión sobre los ecosistemas por la exclusión de los industriales y otras amenazas, les permite mantener alta productividad, siempre y cuando se tomen medidas de manejo efectivas para la pesca artesanal sostenible (esfuerzo, artes, tallas, vedas temporales y espaciales) (Jamero *et al.*, 2019). Se resalta que los pescadores identifican que la variabilidad climática (ENOS) afecta negativamente la pesca; además una mayor proporción

escenario 4. This may be due to the fact that fishermen select areas that are not under a protection scheme and identify zones where they can freely carry out fishing activities.

By combining the proposals of the software and the fishermen to obtain the final result, a solution was obtained which includes an area sufficient for fishermen to carry out their activity without affecting the location of their fishing grounds, as well as strategic ecosystems and the distribution zones of species of fishing interest, which is reflected in the COs included in scenario 5 (Ruiz-Frau *et al.*, 2015). This scenario includes zones where ecotourism activities can be carried out, such as whale or bird watching, thus constituting additional sources of income. It includes various fishery resources, offering possible alternatives in terms of diversifying the target species for capture during closed seasons or in the face of possible alterations in species distribution due to climate change. This scenario also provides adequate habitats for ecosystems to improve their condition and manage to provide the population with food and income (le Cornu *et al.*, 2018). Furthermore, it includes ecosystems such as mangrove forests, which control coastal erosion, enable the development of species in their juvenile stage, capture greenhouse gas emissions, and provide fishing species such as *jaibas*, *pianguas*, and others that inhabit these zones (Sierra and Cantera, 2015).

The results obtained in the survey indicate that the EZAF is an ecosystem-based adaptation strategy, which is accepted by the community and perceived as an alternative to ensure the sustainability of fishing activities over time (le Cornu *et al.*, 2018). Moreover, by having less pressure on the ecosystems due to the exclusion of industrial activities and other threats, they can maintain a high productivity, as long as effective management measures for sustainable artisanal fishing are implemented (efforts, gear, sizes, temporal and spatial closures) (Jamero *et al.*, 2019). It can be highlighted that fishermen identify the negative effect of climate variability (ENSO) on fishing. In addition, a greater proportion of the respondents identify pollution, industrial fishing, and overfishing as negative factors which should be appropriately managed in order to reduce the vulnerability of the population.

Given that climate change can cause alterations in the distribution and abundance of species of commercial and cultural interest in the Pacific, choosing an area with fixed boundaries and not considering the distribution of target species or future alternatives might imply difficulties in meeting food and economic needs. Moreover, it can

de los encuestados también identifican la contaminación, la pesca industrial y la sobrepesca como factores negativos. Los cuales deben manejarse adecuadamente a fin de reducir la vulnerabilidad de la población.

Dado que el cambio climático puede generar alteraciones en la distribución y abundancia de especies de interés comercial y cultural en el Pacífico, al elegirse un área con límites fijos y no considerar la distribución de las especies de captura o alternativas a futuro, podría significar que se presenten dificultades para satisfacer sus necesidades alimentarias y económicas. Además, puede afectar a los pescadores si se les condiciona a ejercer la actividad pesquera en un área limitada. Para llevar a cabo los cambios de la ubicación y los límites de la zona de acuerdo con las condiciones donde se encuentre el recurso, se requeriría que se estudie la distribución y abundancia de las especies bajo los efectos del cambio climático, el comportamiento de los ecosistemas y las tendencias de la actividad pesquera (le Cornu *et al.*, 2018). Se debe aclarar que una ZEPA no significa que la comunidad deba pescar exclusivamente en esta zona, significa que los pescadores artesanales son los únicos que pueden realizar extracción en esta área y además se establecen reglas frente a otras actividades económicas y su posible efecto frente al desarrollo de las comunidades marinas. Es por esto por lo que, en caso de migración de especies a zonas externas a la ZEPA, los pescadores pueden ejercer su actividad en zonas externas a la misma. Además, existe la posibilidad de que lleguen otras especies de interés comercial que actualmente no tienen distribución en el territorio (le Pape *et al.*, 2014).

Los planificadores de este tipo de áreas pueden considerar los diferentes escenarios con base en la inclusión o exclusión de las AMP como aportantes a la conservación de OC en el territorio, con el fin de evaluar el aporte de las ZEPA a la conservación de elementos representativos a la conectividad de ecosistemas y/o el aporte de las AMP a la inclusión de ecosistemas importantes, y al flujo de recursos a los lugares donde se ejerce la pesca artesanal (Cuervo *et al.*, 2018). Los resultados de este trabajo proporcionan una base técnica para la evaluación de la implementación de una ZEPA en el territorio por parte de las autoridades responsables; el conocimiento científico y técnico son aspectos importantes en los que se deben basar las decisiones para el uso sostenible de los recursos marinos de la zona costera (López *et al.*, 2008). Además, uno de los problemas identificados en el Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la Unidad Ambiental Costera de la Llanura del Sur (donde

affect fishermen if they are conditioned to carry out fishing activities in a limited area. To make changes in the location and the boundaries of the zone according to the conditions of the resource, it would be necessary to study the distribution and abundance of species under the effects of climate change, the behavior of ecosystems, and the trends of fishing activities (le Cornu *et al.*, 2018). It should be clarified that defining an EZAF does not mean that the community must fish exclusively in this zone, but rather that artisanal fishermen are the only ones who can extract in this area, and that rules are established against other economic activities and their possible effect on the development of marine communities. This is why, in the case of the migration of species, fishermen can carry out their activities in areas outside the EZAF. In addition, there is the possibility that other commercially interesting species, which currently do not have distribution in the territory, may arrive (le Pape *et al.*, 2014).

The planners of such areas can consider different scenarios based on the inclusion or exclusion of MPAs as contributing to the issue of COs in the territory, in order to assess the contribution of EZAF to the conservation of representative elements for the connectivity of ecosystems and/or the contribution of MPAs to the inclusion of important ecosystems and to the flow of resources to areas where artisanal fishing is carried out (Cuervo *et al.*, 2018). The results of this work provide a technical basis for evaluating the implementation of an EZAF in the territory by the competent authorities. Scientific and technical knowledge are important aspects on which decisions for the sustainable use of marine resources in coastal areas should be based (López *et al.*, 2008). Furthermore, one of the problems identified in the Planning and Integral Management Plan for the Coastal Environmental Unit of the Southern Plains (where the EZAF is located) is environmental zoning. Here, an area is proposed for the sustainable use of the coastal zone's marine resources, considering the characteristics of the socio-ecosystem to support sustainable use in the long term (López *et al.*, 2008). At the same time, it can be part of a solution to the vulnerability of the population and the marine-coastal ecosystems to natural threats. It is also important to consider that an EZAF can be established in the territory if and only if the administration, which is led by the AUNAP in co-management with the communities, fulfills the duty to regulate and perform prevention, surveillance, and control activities with regard to industrial fishing and unregulated or harmful artisanal fishing practices such as

se encuentra la ZEPA), es la zonificación ambiental, aquí se propone un área para el uso sostenible de los recursos marinos de la zona costera considerando las características del socio-ecosistema para soportar un uso sostenible a largo plazo (López *et al.*, 2008). Al mismo tiempo puede ser parte de una solución a la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas marino-costeros a las amenazas naturales. También es importante considerar que el establecimiento de una ZEPA en el territorio se puede dar si y sólo si, la administración de la figura de conservación en cabeza de la AUNAP y en co-manejo con las comunidades, cumple con el deber de regular y desarrollar las actividades de Prevención, Vigilancia y Control sobre las pesca industrial y las artes de pesca artesanal no reglamentarias o nocivas como la changa, la cual se realiza en la zona marino costera y afecta el adecuado desarrollo de las especies objeto de pesca (Satizábal, 2018; Jiménez y Saavedra, 2019; Guerrero *et al.*, 2021).

Se recomienda que el proceso de establecimiento se realice de la mano con las comunidades, sectores económicos y administradores, con el fin de lograr un proceso sólido y soportado en trabajo participativo, para que así permita la apropiación y el control por parte de los usuarios de la ZEPA y evitar imposiciones que entran en conflicto con los valores culturales y saberes tradicionales de las poblaciones (López *et al.*, 2008; Ruiz-Frau *et al.*, 2015; Saavedra-Díaz *et al.*, 2015). Para esto, se debe tomar como ejemplo el proceso participativo que se llevó a cabo para el establecimiento de la ZEPA del Pacífico norte entre diferentes actores como las autoridades pesqueras, Parques Nacionales Naturales, Corporaciones Autónomas Regionales y los consejos comunitarios donde el co-manejo ha generado mejores resultados que en otras zonas donde no se implementa de esta manera. Además, ha permitido mejorar la recuperación de los recursos pesqueros al punto que los pobladores manifiestan que se ha recuperado al 100 % (Jiménez y Saavedra, 2019; Guerrero *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Los tres escenarios considerados (UP que incluyen AMP, UP que excluyen AMP e inclusión de cualquier UP) para identificar una ZEPA potencial en el Pacífico nariñense, incluyeron variedad de objetos de conservación basados en ecosistemas que tienen el potencial de mantener recursos pesqueros diversos que favorezcan los ingresos de los pescadores. La ZEPA potencial ubicada en la ensenada de

changas, which is used in marine-coastal areas and affects the proper development of target fishing species (Satizábal, 2018; Guerrero *et al.*, 2021; Jiménez and Saavedra, 2019).

It is recommended that the establishment process be carried out hand in hand with the communities, economic sectors, and administrators, in order to achieve a solid process supported by participatory work. This allows for appropriation and control by the users of the EZAF and avoids impositions that conflict with the cultural values and traditional knowledge of the populations (López *et al.*, 2008; Ruiz-Frau *et al.*, 2015; Saavedra-Díaz *et al.*, 2015). To this effect, the participatory process carried out for establishing the EZAF in the northern Pacific should be taken as an example. This process involved different actors such as fishing authorities, National Natural Parks, Regional Autonomous Corporations, and community councils. Here, co-management has yielded better results than in other areas whose implementation process was different. Moreover, it has allowed improving the recovery of fishery resources, to the point that the inhabitants claim that there has been a 100 % recovery (Jiménez and Saavedra, 2019; Guerrero *et al.*, 2021).

CONCLUSIONS

The three scenarios considered (PUs that include MPAs, PUs that exclude MPAs, and the inclusion of any PU) to identify a potential EZAF in the Nariño Pacific included a variety of conservation objects upon the basis of ecosystems with the potential to maintain diverse fishery resources that favor the income of fishermen. The potential EZAF, located in Tumaco Bay and selected by Marxan, corresponded to the second scenario; it included the largest area additional to the MPAs and was the one with the greatest similarity to the scenario chosen by the fishermen, since they did not include areas that had any protection mechanism.

The defined EZAF connects the protected marine areas of the Cabo Manglares, Bajo Mira y Frontera National Integrated Management District, the Sanquianga NNP, and the Gorgona NNP, forming a biological corridor to maintain biodiversity.

The criteria used in this study for the selection of the EZAF are complementary and support the fact that the local knowledge of fishermen and technical knowledge are fundamental in any process carried out on a specific area (such as an EZAF). Incorporating artisanal fishermen and their knowledge from the beginning empowers and

Tumaco seleccionada por Marxan correspondió al segundo escenario, incluyó la mayor área adicional a las AMP y fue la que tuvo mayor similitud con el escenario escogido por los pescadores, dado que los pescadores no incluyeron áreas que tuvieran algún mecanismo de protección.

La ZEPA determinada conecta las áreas marinas protegidas del Distrito Nacional de Manejo Integrado de Cabo Manglares Bajo Mira y Frontera, PNN Sanquianga y PNN Gorgona, formando un corredor biológico para mantener la biodiversidad.

Los criterios utilizados en este estudio para la selección de la ZEPA son complementarios, y refuerzan que el conocimiento local de los pescadores como el técnico son fundamentales en cualquier proceso que se realice sobre un área específica como una ZEPA. Incorporar a los pescadores artesanales y su conocimiento desde el inicio los empodera y fortalece; los acuerdos logrados entre ellos, y con las autoridades de pesca y ambientales, lo que conduzcan al uso sostenible de los recursos, conllevará a que la ZEPA se mantenga en el tiempo, convirtiéndose en una estrategia de adaptación al cambio climático.

Se recomienda evaluar la dimensión espacial y temporal debido al efecto que tiene el cambio climático en la distribución de las especies.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue desarrollado en el marco del proyecto de investigación: “Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la pesquería marina de Tumaco–Departamento de Nariño”; por la Universidad Nacional de Colombia y financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación de Colombia (CTO 80740-607-2019). Al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” –Invemar y a sus instituciones financiadoras, por el suministro de información de los objetos de conservación para la modelación de la ZEPA.

strengthens them; the agreements reached between them, and with the fishing and environmental authorities, lead to the sustainable use of resources, and to the EZAF being maintained over time, which makes it a strategy for adaptation to climate change.

We recommend evaluating the spatial and temporal dimensions, given the effect of climate change on species distribution.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was conducted within the framework of Universidad Nacional de Colombia’s research project titled “Evaluation of vulnerability and adaptation to climate change in the marine fishery of Tumaco, department of Nariño”, funded by the Ministry of Science, Technology, and Innovation (CTO 80740-607-2019). We would like to thank the José Benito Vives de Andrés Institute for Marine and Coastal Research (Invemar) and its funding institutions for providing information on the conservation objects to model the EZAF.



BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Abecasis, D., P. Afonso and K. Erzini. 2015. Toward adaptive management of coastal MPAs: The influence of different conservation targets and costs on the design of no-take areas. *Ecol. Inf.*, 30: 263–270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.08.009>
- Alonso, D., C. Segura, P. Castillo y J. Gerhantz. 2008. Avances en el diseño de una red de áreas marinas protegidas: Estrategia de conservación para el norte del Caribe continental colombiano. *Bol. Inv. Mar. Cost.*, 37 (1): 129–156.
- Álvarez, G.E., B.M. Florian, Z.L. Peñuela y O.E. Cortés. 2018. AbE. Guía de adaptación al cambio climático basada en ecosistemas en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá. 160 p.
- Ardron, A.J., P.H. Possingham and J.C. Klein. 2010. *Marxan Good Practices Handbook*. Pacific Marine Analysis and Research Association, British Columbia, Canada. 165 p.
- Arroyo, J. S., D.A. Revollo Fernández, A. Aguilar Ibarra and N. Georgantzis. 2016. Economic behavior of fishers under climate-related uncertainty: Results from field experiments in Mexico and Colombia. *Fish. Res.*, 183: 304–317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.05.020>
- Baker, M., T.F. Allnutt, M.L. Baskett, R.A. Watson, E. Lagabriele and C. Kremen. 2019. Rethinking spatial costs and benefits of fisheries in marine conservation. *Oc. Coast. Manag.*, 178: 104824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104824>
- Ball, IR., H.P. Possingham and M. Watts. 2009. Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization: 185-195. En: Moilanen, A., K.A. Wilson, and H.P. Possingham (Eds). *Spatial conservation prioritization: quantitative methods and computational tools*. Oxford University Press, Oxford. 304 p.
- Ban, N. C., C.R. Picard and A.C. Vincent. 2009. Comparing and integrating community-based and science-based approaches to prioritizing marine areas for protection. *Conserv. Biol.*, 23(4): 899–910. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01185.x>
- Bell, J. D., J. Albert, S. Andréfouët, N.L. Andrew, M. Blanc, P. Bright, D. Brogan, B. Campbell, H. Govan, J. Hampton, Q. Hanich, S. Harley, A. Jorari, M. Lincoln Smith, S. Pontifex, M.K. Sharp, W. Sokimi and A. Webb. 2015. Optimising the use of nearshore fish aggregating devices for food security in the Pacific Islands. *Mar. Pol.*, 56: 98–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.02.010>
- Bunting, P., A. Rosenqvist, R.M. Lucas, L.M. Rebelo, L. Hilarides, N. Thomas, A. Hardy, T. Itoh, M. Shimada and C.M. Finlayson. 2018. The global mangrove watch—A new 2010 global baseline of mangrove extent. *Rem. Sens.*, 10(10): 1669. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10101669>
- Chande, M., I.A. Kimirei, M.M. Igulu, B. Kuguru, R. Kayanda, C. Mwakosya, S.J. Kangwe, J. Sululu and E. Ulotu. 2019. Assessment of the impacts of artisanal fishing gears on nearshore fish stocks along coastal waters off the Kilwa–Mafia seascape in Tanzania. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 27: 100531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.risma.2019.100531>
- Chuenpagdee, R., L. Liguori, M.L.D. Palomares and D. Pauly. 2006. Bottom-up, global estimates of small-scale marine fisheries catches. *Fish. Centre Res. Rep.*, 14(8), 105 p. DOI: <https://doi.org/10.14288/1.0074761>
- CIOH. 1999. Mapa de repartición de las facies sedimentarias y perfiles batimétricos plataforma continental. Escala 1:300.000. DIMAR, Cartagena.
- Cuervo, R., J.H. Maldonado y M. Rueda. 2018. Spillover from marine protected areas on the pacific coast in Colombia: A bioeconomic modelling approach for shrimp fisheries. *Mar. Pol.*, 88: 182-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.10.036>
- Dalmau, N.A. 2020. Introduction to Marxan building a marine protected area network. Univ. Queensl., Queensland, Australia. 25 p.
- Delgado, A., S. Ruiz, L. Arévalo, G. Castillo y N. Viles. 2008. Plan de acción en biodiversidad del departamento de Nariño 2006–2030—Propuesta Técnica. Corponariño, Gobernación de Nariño—Sec. Agricultura, Inst. Invest. Rec. Biol. Alexander von Humboldt, Unid. Adm. Esp. Sist. Parques Nales Nat.—UAESPNN—Territorial Surandina, Univ. Nariño, Univ. Mariana, y Asoc. Des. Camp., Pasto. 62 p.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística—DANE. 2000. Cartografía censal DANE Escala 1:100.000. DANE. Bogotá.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. 2018. Geoportal DANE información para todos. Geovisor por grupos de niveles de vulnerabilidad. <https://geoportaldane.gov.co/geovisores/sociedad/vulnerabilidad/>
- Dey, M.M., K. Gosh, R. Valmonte, M.W. Rosegrant and O.L. Chen. 2016a. Economic impact of climate change and climate change adaptation strategies for fisheries sector in Fiji. *Mar. Pol.*, 67: 164–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.023>
- Dey, M. M., K. Gosh, R. Valmonte, M.W. Rosegrant and O.L. Chen. 2016b. Economic impact of climate change and climate change adaptation strategies for fisheries sector in Solomon Islands: Implication for food security. *Mar. Pol.*, 67: 171–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.01.004>
- Díaz, J.M., C.A. Vieira y G.J. Melo. 2011. Diagnóstico de las principales pesquerías del Pacífico colombiano. Fund. Marviva-Colombia, Bogotá. 242 p.
- Ding, Q., X. Chen, R. Hilborn and Y. Chen. 2017. Vulnerability to impacts of climate change on marine fisheries and food security. *Mar. Pol.*, 83: 55–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.011>

- FAO. 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture, Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options, Tech. Doc.
- FAO. 2001. ¿Qué es el código de conducta para pesca responsable? Org. Nac. Unid. Agric. Alim., Roma. 19 p. on Fisheries and Aquaculture 627. 628 p.
- Ferro, H., A. Espinoza, R. Calderón, V.C. Ramenzoni y M.M. Gómez. 2019. Adaptive capacity and social-ecological resilience of coastal areas: A systematic review. *Oc. Coast. Manag.*, 173: 36–51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.01.005>
- Fundación MarViva. 2022. Zonas marino costeras ZEPa y ZEMP. Fundación MarViva & AUNAP. <https://storymaps.arcgis.com/stories/715b508e2c05436d8012470bb5e67318>
- Garay T., J.A., D.I. Gómez-López y J.R. Ortíz Galvis (Eds). 2006. Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre de la bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un plan de manejo. *Proy. Progr. Nac. Unid. Med. Amb. (PNUMA–Programa de Acción Mundial PAM) y Com. Perm. Pac. Sur CPPS. Inst. Invest. Mar. Cost. Invemar, Centro Control Cont. Pac. CPPS–Corp. Aut. Reg. Nariño Corponariño. Santa Marta. 290 p.*
- Giménez, J., A. Cañadas, R. de Stephanis and F. Ramírez. 2021. Expanding protected areas to encompass the conservation of the endangered common dolphin (*Delphinus delphis*) in the Alboran Sea. *Mar. Environ. Res.*, 168: 105305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105305>
- Gobernación de Nariño. 2012. Plan de desarrollo departamental “Nariño Mejor” 2012-2015. Gob. Nariño, Pasto. 296 p.
- González, J., R. Rivera y L. Manjarrés-Martínez. 2015. Aspectos socioeconómicos de la pesca artesanal marina y continental en Colombia. Autor. Nal Acuic. Pesca (AUNAP), Bogotá. 24 p.
- Green, A., P. Lokani, S. Sheppard, J. Almany, S. Keu, J. Aitsi, J. Warku Karvon, R. Hamilton and G. Lipsett-Moore. 2007. Scientific design of a resilient network of marine protected areas. Kimbe Bay, West New Britain, Papua New Guinea. *TNC Pac. Isl. Countr. Rep. 2/07, Nat. Cons., Queensland, Australia. 60 p.*
- Guerrero, D., A. Hailu, J.S. Arroyo y L.A. Zapata. 2021. Territorial Use Rights for Fisheries (TURF) and self-regulation of behavior: Experimental evidence from the Colombian Pacific coast. *Fish. Res.*, 240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.105946>
- Gutiérrez, C., Alonso, D. y C. Segura. 2008. Diseño de un área marina protegida para Bahía Portete–la Guajira, Caribe colombiano. *Bol. Inv. Mar. Cost.*, 37(2): 189–212.
- Hanich, Q., C.C.C. Wabnitz, Y. Ota, M. Amos, C. Donato-Hunt and A. Hunt. 2018. Small-scale fisheries under climate change in the Pacific Islands region. *Mar. Pol.*, 88: 279–284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.11.011>
- Henriques, N.S., P. Monteiro, L. Bentes, F. Oliveira, C.M.L. Afonso and J.M.S. Gonçalves. 2017. Marxan as a zoning tool for development and economic purposed areas–Aquaculture Management Areas (AMAs). *Oc. Coast. Manag.*, 141: 90–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.016>
- Herrera, S.A., K.V. Coronado and J.J. Selvaraj. 2019. Predicted changes in the potential distribution of seerfish (*Scomberomorus sierra*) under multiple climate change scenarios in the Colombian Pacific Ocean. *Ecol. Inf.*, 53: 100985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.100985>
- Herrera-Carmona, J.C., L.A. Zapata y X. Moreno-Gutiérrez. 2014. Vulnerabilidad, cambio climático y estrategias de adaptación en áreas marinas y costeras del Pacífico colombiano. WWF-Colombia. Bogotá. 40 p.
- Hinchley, D., G. Lipsett-Moore, S. Sheppard, F.U. Sengebau, E. Verheij and S. Austin. 2007. Biodiversity planning for Palau’s protected areas network: An ecoregional assessment. *TNC Pac. Isl. Countr. Rep. 1/07, Nat. Cons., Queensland, Australia. 68 p.*
- Hobday, A.J., J.D. Bell, T.R. Cook, M.A. Gasalla and K.C. Weng. 2015. Reconciling conflicts in pelagic fisheries under climate change. *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.*, 113, 291–300.
- IDEAM. 2017. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Escala 1:100.000. IDEAM, Bogotá. 276 p.
- Jamero, M.L., M. Onuki, M. Esteban, C. Chadwick, N. Tan, V.P. Valenzuela, R. Crichton and J.E. Avelino. 2019. In-situ adaptation against climate change can enable relocation of impoverished small islands. *Mar. Pol.*, 108: 103614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103614>
- Janßen, H., C. Göke, y A. Luttmann. 2019. Knowledge integration in marine spatial planning: A practitioners’ view on decision support tools with special focus on Marxan. *Oc. Coast. Manag.*, 168: 130–138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.11.006>
- Jara, H.J., J. Tam, B.G. Reguero, F. Ganoza, G. Castillo, C.Y. Romero, M. Gévaudan and A.A. Sánchez. 2020. Current and future socio-ecological vulnerability and adaptation of artisanal fisheries communities in Peru, the case of the Huaura province. *Mar. Pol.*, 119: 104003. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104003>
- Jiménez, J. and L. Saavedra. 2019. Evaluating formal and informal rules as a basis for implementing coastal marine artisanal fisheries management in Colombia. *Mar. Pol.*, 101: 225–236. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.09.019>
- Lancker, K., A.L. Deppenmeier, T. Demissie and J.O. Schmidt. 2019. Climate change adaptation and the role of fuel subsidies: An empirical bio-economic modeling study for an artisanal open-access fishery. *PLoS One*, 14(8): 1–24. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220433>



- le Cornu, E., A.N. Doerr, E.M. Finkbeiner, D. Gourlie and L.B. Crowder. 2018. Spatial management in small-scale fisheries: A potential approach for climate change adaptation in Pacific Islands. *Mar. Pol.*, 88: 350–358. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.09.030>
- le Pape, O., J. Delavenne and S. Vaz. 2014. Quantitative mapping of fish habitat: A useful tool to design spatialised management measures and marine protected area with fishery objectives. *Oc. Coast. Manag.*, 87: 8–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.018>
- Li, Y., M. Sun, Y. Ren and Y. Chen. 2020. Impact of pre-closure fishing effort on marine protected area performance in social-ecological dimensions: Implications for developing marine conservation plans. *Sci. Total. Environ.*, 729: 138936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138936>
- Liu, Y., T. Li, W. Zhao, S. Wang and B. Fu. 2019. Landscape functional zoning at a county level based on ecosystem services bundle: Methods comparison and management indication. *J. Environ. Manag.*, 249: 109315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109315>
- López, R. A. C., P.J.C. Rodríguez, M.G. Arteaga, C.L.M. Almario, B.S. Prieto and P.C. Sierra-Correa. 2008. Unidad Ambiental Costera de la Llanura Aluvial del Sur (UAC-LLAS), Pacífico colombiano; Plan de manejo integrado de la zona costera. Invemar–CRC–Corponariño. 126 p.
- Macusi, E. D., E.S. Macusi, L.A. Jiménez and J.P. Catam. 2020. Climate change vulnerability and perceived impacts on small-scale fisheries in eastern Mindanao. *Oc. Coast. Manag.*, 189: 105143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105143>
- Martínez, A. and J. J. Selvaraj. 2021. Effects of climate change on potential dolphinfish (*Coryphaena hippurus* L.) fishing zone on the Colombian Pacific coast. *Intern. J. Clim. Change: Imp. Resp.*, 13 (2): 105-126. <https://doi.org/10.18848/1835-7156/CGP/v13i02/105-126>.
- Matera, J. 2016. Livelihood diversification and institutional (dis-)trust: Artisanal fishing communities under resource management programs in Providencia and Santa Catalina, Colombia. *Mar. Pol.*, 67: 22–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.01.021>
- Mendelsohn, R., A. Dinar y L. Williams. 2006. The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environ. Devel. Econ.*, 11(2): 159–178. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1355770X05002755>
- Mendenhall, E., C. Hendrix, E. Nyman, P.M. Roberts, J.R. Hoopes, J.R. Watson, V.W.Y. Lam and U.R. Sumaila. 2020. Climate change increases the risk of fisheries conflict. *Mar. Pol.*, 117: 103954. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103954>
- Nickols, K.J., J.W. White, D. Malone, M.H. Carr, R.M. Starr, M.L. Baskett, A. Hastings and L.W. Botsford. 2019. Setting ecological expectations for adaptive management of marine protected areas. *J. Appl. Ecol.*, 56(10): 2376–2385. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13463>
- Pasnin, O., C. Attwood and R. Klaus. 2016. Marine systematic conservation planning for Rodrigues Island, western Indian Ocean. *Oc. Coast. Manag.*, 130: 213–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.06.014>
- Portilla, C. 2022. Un enfoque integrado para la priorización de estrategias de adaptación de los pescadores artesanales de Tumaco Nariño frente a estresores climáticos y no climáticos. Tesis Mag. Ing. Amb. Univ. Nal Col. Sede Palmira. Palmira, 101 p.
- Ramírez, L.F., C. Segura-Quintero, D. Alonso and P. Castillo-Torres. 2008. Portafolio de sitios prioritarios de conservación para la zona marina y costera del Pacífico colombiano. Inf. Téc. Invemar–TNC, Santa Marta. 48 p.
- Rosas, J., J. Dresdner, C. Chávez and M. Quiroga. 2014. Effect of social networks on the economic performance of TURFs: The case of the artisanal fishermen organizations in southern Chile. *Oc. Coast. Manag.*, 88: 43–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.11.012>
- Rosegrant, M.W., M.M. Dey, R. Valmonte, y O.L. Chen. 2016. Economic impacts of climate change and climate change adaptation strategies in Vanuatu and Timor-Leste. *Mar. Pol.*, 67: 179–188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.010>
- Rueda, M., D. Mármol, E. Vioria, O. Doncel, F. Rico-Mejía, L. García y A. Girón. 2010. Identificación, ubicación, y extensión de caladeros de pesca artesanal e industrial en el territorio marino-costero de Colombia. Invemar, Incoder. ANH. Santa Marta.
- Ruiz-Frau, A., H.P. Possingham, G. Edwards-Jones, C.J. Klein, D. Segan and M.J. Kaiser. 2015. A multidisciplinary approach in the design of marine protected areas: Integration of science and stakeholder-based methods. *Oc. Coast. Manag.*, 103: 86–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.11.012>
- Saavedra-Díaz, L.M., A.A. Rosenberg and B. Martín-López. 2015. Social perceptions of Colombian small-scale marine fisheries conflicts: Insights for management. *Mar. Pol.*, 56: 61–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.11.026>
- Satizábal, P. 2018. The unintended consequences of ‘responsible fishing’ for small-scale fisheries: Lessons from the Pacific coast of Colombia. *Mar. Pol.*, 89: 50–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.12.005>
- Segan, D.B., E.T. Game, M.E. Watts, R.R. Stewart and H.P. Possingham. 2011. An interoperable decision support tool for conservation planning. *Environ. Modell. Softw.*, 26(12): 1434–1441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.08.002>
- Selvaraj, J.J., D. Guerrero, M.A. Cifuentes-Ossa and A.I. Guzmán. 2022a. The economic vulnerability of fishing households to climate change in the south Pacific region of Colombia. *Helyon*, e09425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.helyon.2022.e09425>

- Selvaraj, J.J., L.V. Rosero-Henao and M.A. Cifuentes-Ossa. 2022b. Projecting future changes in distributions of small-scale pelagic fisheries of the southern Colombian Pacific Ocean. *Helyon*, e08975. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.helyon.2022.e08975>
- Selvaraj, J.J., M.A. Cifuentes-Ossa, J. Penna-Narváez, M.A. Miranda-Parra and F.A. Herrera-Rozo. 2023. Species distribution models as tools for community empowerment and informed decision making in Colombia's Chocó Pacific coast fisheries. *Fishes*, 8, 349. <https://doi.org/10.3390/fishes8070349>
- Serra-Sogas, N., A. Kockel, E.T. Game, H.P. Possingham and J. McGowan. 2020. Marxan user manual: For Marxan version 2.43 and above. Nat. Cons. (TNC), Arlington, USA and Pac. Mar. Anal. Res. Ass. (PacMARA), British Columbia, Canada. 120 p.
- Sierra, P. C. y J.R. Cantera. 2015. Ecosystem-based adaptation for improving coastal planning for sea-level rise: A systematic review for mangrove coasts. *Mar. Pol.*, 51: 385–393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.09.013>
- Sumaila, U.R. 2019. Climate change: Impact on marine ecosystems and world fisheries: 218-222. In: Ferranti, P., E.M. Berry and R.A. Jock (Eds). *Encyclopedia of food security and sustainability*. Elsevier. 1894 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812687-5.22009-1>
- Talloni, N.E., R.U. Sumaila, P. le Billon and W.W.L. Cheung. 2019. Climate change impact on Canada's Pacific marine ecosystem: The current state of knowledge. *Mar. Pol.*, 104: 163–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.035>
- Timonet, D. S. and D. Abecasis. 2020. An integrated approach for the design of a marine protected area network applied to mainland Portugal. *Oc. Coast. Manag.*, 184: 105014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105014>
- Yesson, C., M.R. Clark, M.L. Taylor and A.D. Rogers. 2011. The global distribution of seamounts based on 30 arc seconds bathymetry data. *Deep-Sea Res. Part I: Oceanogr. Res. Pap.*, 58(4): 442–453. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2011.02.004>
- Zeller, D. and D. Pauly. 2015. Catch reconstruction: concepts, methods, and data sources. https://www.seaaroundus.org/catch-reconstruction-and-allocationmethods/#_Toc421534360 23/06/2022.
- Zhang, X. and A.C.J. Vincent. 2019. Conservation prioritization for seahorses (*Hippocampus* spp.) at broad spatial scales considering socioeconomic costs. *Biol. Conserv.*, 235: 79–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.008>

RECIBIDO / RECEIVED: 08/08/2022

ACEPTADO / ACCEPTED: 03/10/2023