



# Propuesta de delimitación de un Área Marina Protegida

Práctica final del curso "Tecnologías de Información (SIG) aplicado al medio marino costero".

Melisa Rossi

1 de septiembre de 2022

## Objetivo

El objetivo de este trabajo es determinar un área de interés para la conservación ecológica, por medio de la delimitación de un área protegida marino-costera, como una propuesta para ser considerada por los tomadores de decisiones.

## Introducción

El secretario general de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) comentó en junio de 2022 que el planeta se enfrenta a una emergencia oceánica debido a que los mares están siendo golpeados por el cambio climático y la contaminación. Como respuesta, el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) de la ONU propuso la

meta "30x30" que implica proteger el 30% del planeta a través de la creación y fortalecimiento de sistemas de áreas protegidas para garantizar el sostenimiento de la vida de las especies.

Las áreas marinas y costeras protegidas son aquellos sectores costeros y/o marinos en los cuales sus aguas, vegetales, animales, historia y cultura asociados se encuentran resguardadas por ley. Estas áreas son una herramienta importante para salvaguardar ecosistemas frágiles, especies endémicas y poblaciones de peces en el océano.

Este trabajo busca definir un Área Marina Protegida dentro de una isla hipotética, denominada "Fantasía", la cual es una pequeña porción de tierra con gran importancia ecológica debido a que está rodeada de ecosistemas estratégicos terrestres y marinos típicos de las zonas costeras tropicales. Sin embargo, la isla también incluye coberturas antrópicas. En la figura 1 puede observarse una fotografía de la isla de San Andrés, Colombia, que permite visualizar cómo sería el sector costero de la isla "Fantasía".



Figura 1: Posible morfología del sector costero de la isla "Fantasía". Imagen propiedad de [Anna everywhere](#).

A pesar de que en la isla los componentes naturales dominan sobre los antrópicos, se evidencia que los componentes antrópicos están desplazando a los naturales y estos comienzan a presentar diversos grados de degradación. Para frenar estas tendencias y para contribuir

a la meta "30 x 30" del CDB es de suma importancia proponer una zona de interés para ser declarada como área de conservación ecológica.

En este trabajo se busca que esta área se caracterice por ser representativa de los ecosistemas naturales más importantes de la isla y que, a su vez, sirva como soporte a los servicios ecosistémicos que ellos ofrecen. Por este motivo, los requisitos que debe cumplir el Área Marina Protegida propuesta son:

1. Conservar al menos un sector identificado por su alta concentración de anidamientos de especies de aves marinas (*Sula dactylatra* y *Fregata magnificens*) y tres corredores del cangrejo *Cardisoma guanhumi*.
2. El área conservada debe representar todos los ecosistemas naturales, especialmente arrecifes de coral, pastos marinos, manglares, litoral rocoso y lagunas costeras.
3. Conservar al menos dos de los cinco sitios con mayor riqueza de peces (grillas de peces bentónicos).
4. Conservar al menos dos fondos marinos con altos registros de diversidad de fauna bentónica.
5. No incluir las estaciones con reporte en categoría "Pésimo" y en la medida de lo posible evitar las estaciones de categoría "Inadecuada" según el Índice de Calidad de Agua Marina (ICAM).
6. El área conservada debe estar a más de 100 metros de las carreteras y a más de 150 metros de las zonas urbanizadas.
7. El área conservada debe tener un tamaño entre 400 ha y máximo 2000 ha.

## Metodología

### Insumos

Para alcanzar los objetivos se cuenta con los siguientes insumos:

1. Shapefile de cobertura terrestre.
2. Shapefile de cobertura de fondo marino.
3. Shapefile de corredores de *Cardisoma guanhumi*.

4. Shapefile de estaciones con información de diversidad de fauna bentónica.
5. Shapefile de sitios de anidamiento de *Sula dactylatra*.
6. Shapefile de sitios de anidamiento de *Fregata magnificens*.
7. Shapefile de *Tursiops truncatus*.
8. Shapefile de sitios de riqueza de peces bentónicos.
9. Shapefile de vías.
10. Tabla de estaciones con reportes del Índice de Calidad de Agua Marina (ICAM).

## Creación de un nuevo proyecto en ArcGIS Pro

Para cumplir los objetivos, en primer lugar se creó un nuevo proyecto de trabajo en ArcGIS Pro. Dentro del programa se seleccionó la opción **Map**, como se puede apreciar en la figura 2. Luego, se nombró al nuevo proyecto y se le indicó la ubicación de guardado.

A continuación, se cargó la información vectorial provista desde **Map > Add Data**, como se visualiza en la figura 3, y se seleccionaron los shapefiles a utilizar. También, como se observa en la figura 3, desde **Map > Basemap** se modificó el mapa base. Para este trabajo se eligió el mapa base "Oceans".

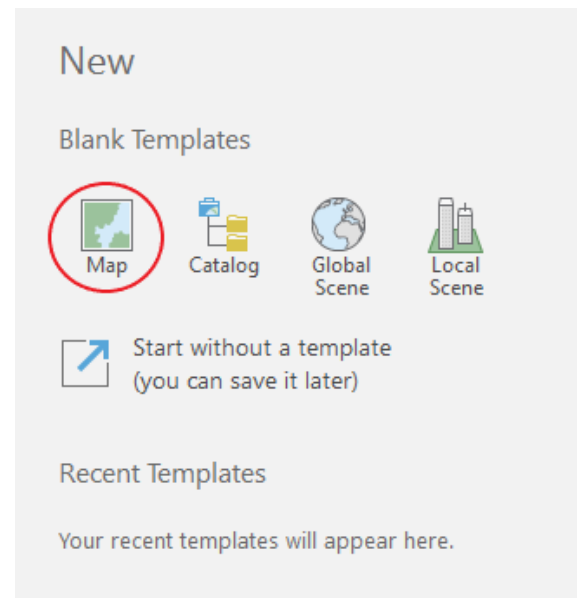


Figura 2: Creación de un nuevo proyecto de ArcGIS Pro.

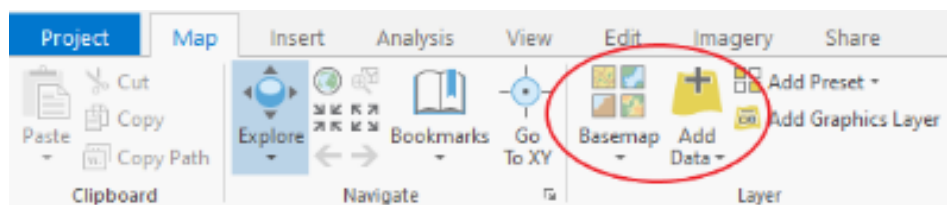


Figura 3: Carga de la información vectorial y modificación del mapa base.

## Reproyección

Antes de comenzar a trabajar se verificó si las coordenadas de los shapefiles eran correctas. Para esto se hizo click derecho en cada shapefile dentro de la tabla de contenidos, se seleccionó la opción **Properties** y dentro de la ventana emergente se seleccionó **Source**

> **Spatial Reference**. Como se observa en la figura 4, desde aquí se pudo verificar que algunos shapefiles no estaban correctamente proyectados.

Para realizar la reproyección, como se aprecia en la figura 5, se seleccionó desde **Analysis** la opción **Tools** y se utilizó la herramienta **Project** de la sección **Data Management Tools**.

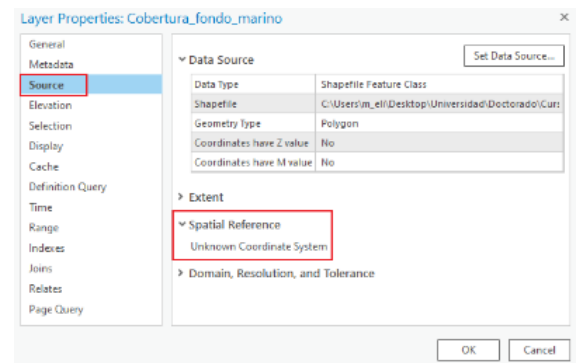


Figura 4: Visualización del Sistema de Coordenadas del Shapefile Cobertura\_fondo\_marino.

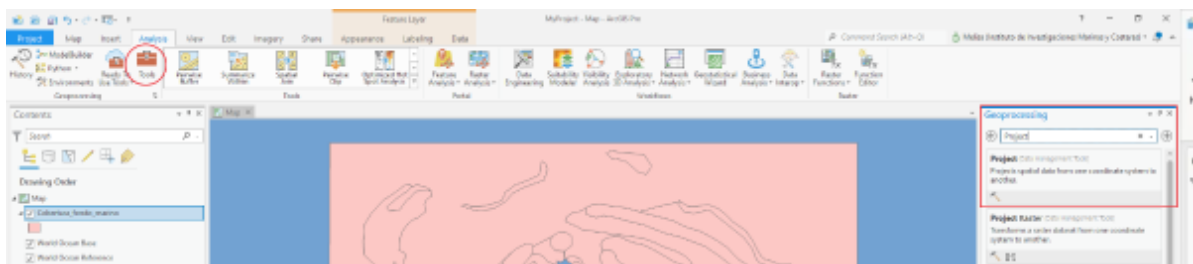


Figura 5: Selección de la herramienta Project para realizar la reproyección de los shapefiles.

En la herramienta **Project** se seleccionó la capa de entrada que se quería reproyectar, el nombre de la capa resultado y ubicación de guardado, y el nuevo sistema de coordenadas que se deseaba asignar (MAGNA-SIRGAS CMT12). Este proceso se realizó para cada uno de los shapefiles.

Finalmente, para verificar que la reproyección se realizó de forma correcta, se siguieron los pasos descritos al principio de esta sección y se comprobó que dentro del menú de **Spatial Reference** figuraba como sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12.

## Creación de Datasets

Para organizar la información y los productos generados se crearon tres Datasets dentro de la base de datos creada por defecto por ArcGIS Pro para el proyecto. En el primer Dataset se guardaron los insumos generados en el proceso para definir el Área Marina Protegida, en el segundo se almacenaron las capas de coberturas y vías provistas, y en el tercero se conservó la capa con la propuesta de área protegida.

Para crear los Datasets se seleccionó dentro de la pestaña **View** el panel de catálogo y, a continuación, dentro de la carpeta **Databases** se ubicó la geodatabase creada por defecto por ArcGIS Pro, su ubicación se observa en la figura 6.

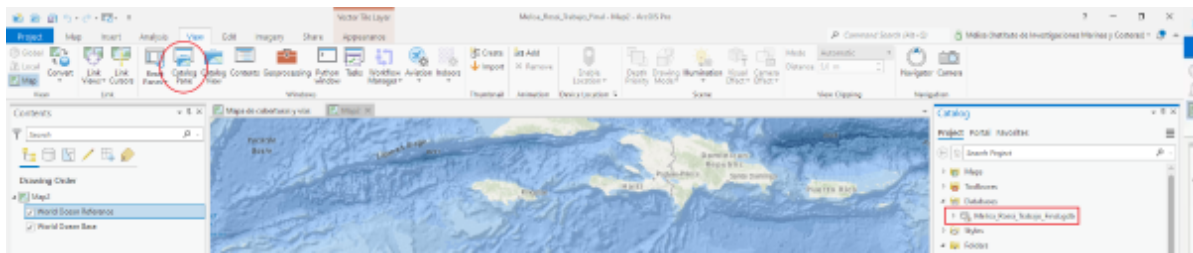


Figura 6: Apertura del panel de catálogo y visualización de la geodatabase creada por defecto por ArcGIS Pro.

A continuación, para crear cada Dataset, se realizó click derecho sobre la geodatabase y se seleccionó la opción **New > Feature Dataset**. En la nueva ventana emergente se indicó dónde se deseaba guardar el nuevo Dataset, el nombre de este y el sistema de coordenadas que le correspondía (MAGNA-SIRGAS CMT12). Este proceso se realizó para cada uno de los Datasets.

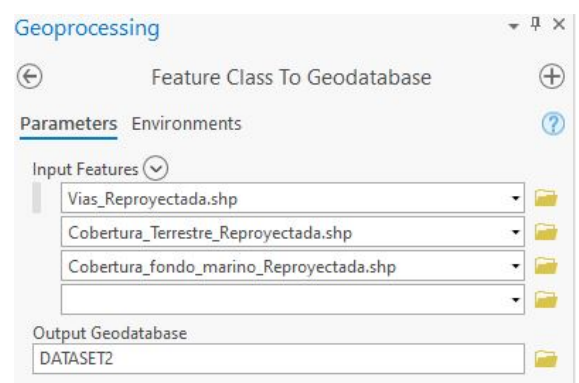


Figura 7: Carga de los shapefiles al DATASET2.

Por último, a medida que se iban generando los shapefiles, estos se fueron cargando a su Dataset correspondiente. Para esto, se seleccionó con click derecho al Dataset deseado y se eligió la opción **Import > Feature Class** o **Feature Class(es)**. En la ventana emergente se seleccionó el/los shapefile/s que se querían guardar dentro del Dataset. En la figura 7 puede observar este último proceso.

## Conversión de la tabla de estaciones con reportes de Índice de Calidad de Agua Marina a una capa de puntos shapefile

Para cargar los puntos de muestreo de Índice de Calidad de Agua Marina que se encuentran en un archivo Excel se utilizó la herramienta **Excel to Table** que se encuentra dentro de las herramientas de Análisis, figura 8. Como **Input table** se seleccionó la tabla de Índice de Calidad de Agua Marina provista y dentro de



**Output table** se indicó el nombre de la nueva tabla y la ubicación de guardado.

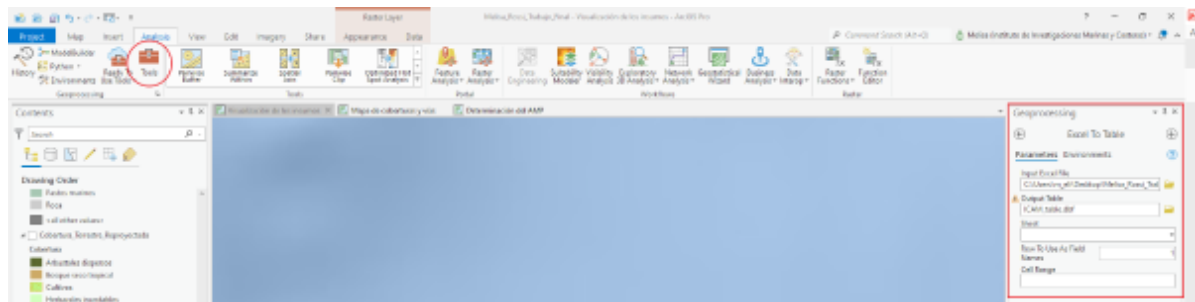


Figura 8: Uso de la herramienta Excel to Table.

Luego, se hizo click derecho en el archivo generado en el espacio de trabajo y se seleccionó la opción **Display XY Data**. En la ventana emergente, figura 9, se seleccionó en la casilla **Input table** la tabla generada, en **Output feature class** se indicó el nombre y ubicación de guardado, y se verificó que dentro de **X Field** y **Y Field** figuren correctamente las columnas de longitud y latitud. También se indicó el sistema de coordenadas deseado.

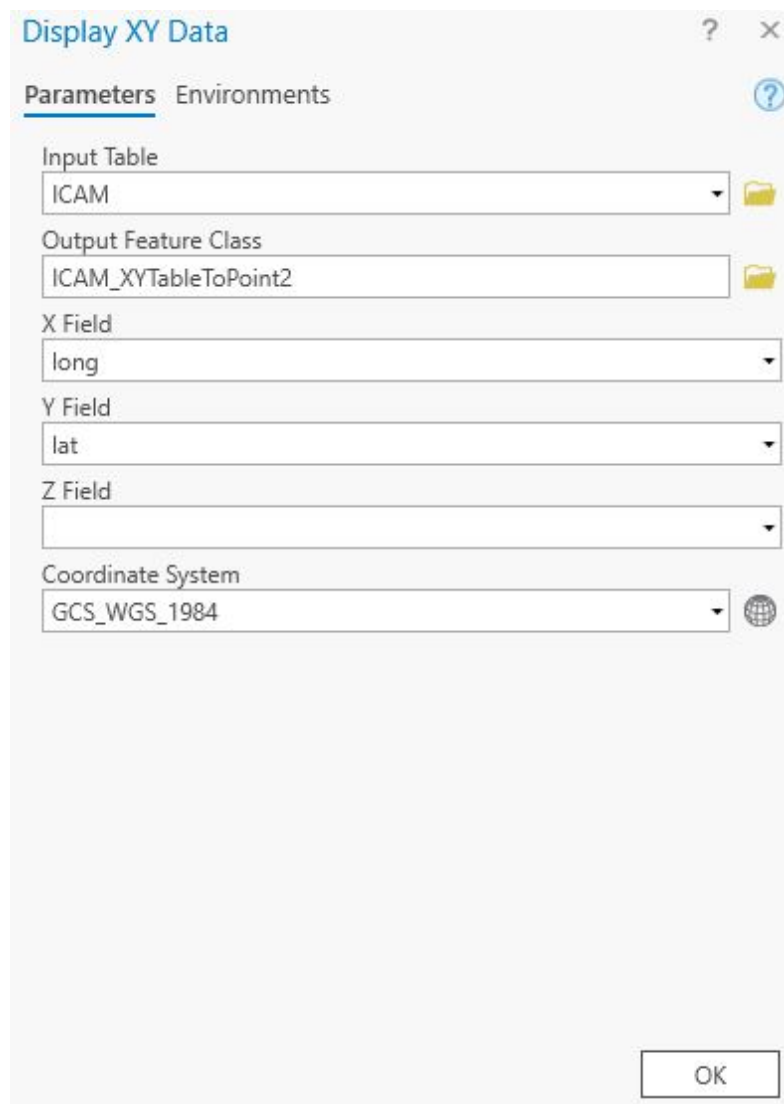


Figura 9: Uso de la herramienta Display XY Data.

## Determinación del Área Marina Protegida

### Creación de la capa base

Para determinar el Área Marina Protegida, el primer paso fue crear un nuevo Shapefile abarcando toda el área donde hay datos. Este shapefile fue la base donde se realizaron algunos procesos para seleccionar el Área Marina Protegida.

Para crearlo, desde el panel de catálogo, posicionándose sobre la carpeta donde se desea guardar el shapefile, se hizo click derecho y se seleccionó **New > Shapefile**. En la ventana emergente, figura 10, se seleccionó el nombre del nuevo shapefile, el tipo de geometría (polígono) y el sistema de coordenadas (MAGNA-SIRGA CMT12).

A continuación, desde la pestaña **Edit > Create** se dibujó en el proyecto el nuevo shapefile creado. En la ventana emergente se



seleccionó la capa correspondiente a este y la opción editar polígono. Luego, se calcó el área que ocupaban los distintos datos suministrados. Finalmente, se guardaron los cambios desde la pestaña **Edit > Save**.

Eliminación de los sectores que no se desean incluir

Realizado esto, para cumplir la condición de que el área conservada esté a más de 100 metros de las carreteras, se utilizó la herramienta **Buffer** que se encuentra dentro de la pestaña **Analysis > Tools**. En la ventana emergente, figura 11, se seleccionó la capa de Vías con la correcta reproyección y el nombre y ubicación de guardado. Como **Linear Unit** se indicó una distancia de 100 metros.

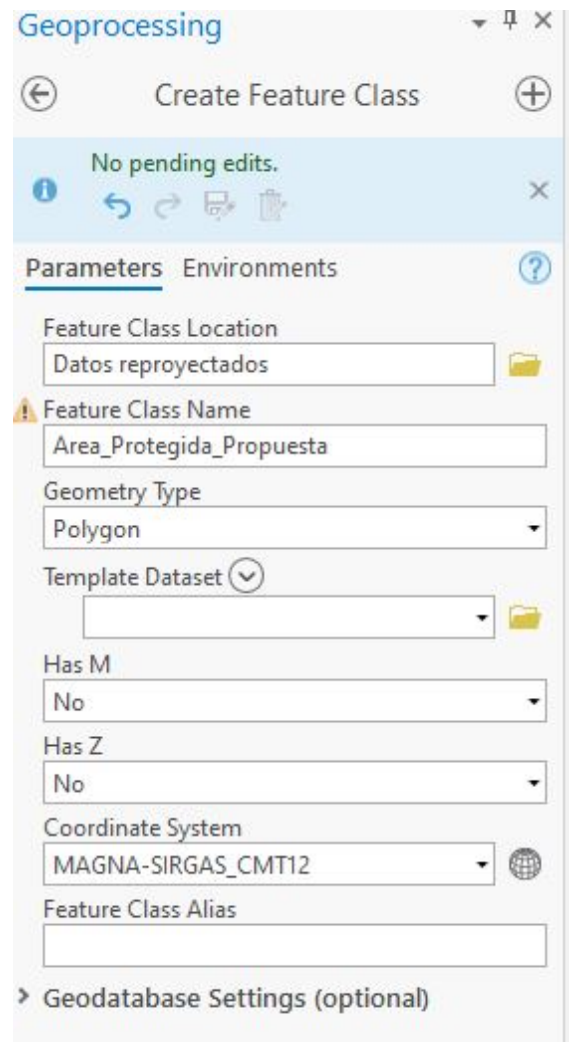


Figura 10: Creación del shapefile Area\_Protegida\_Propuesta.

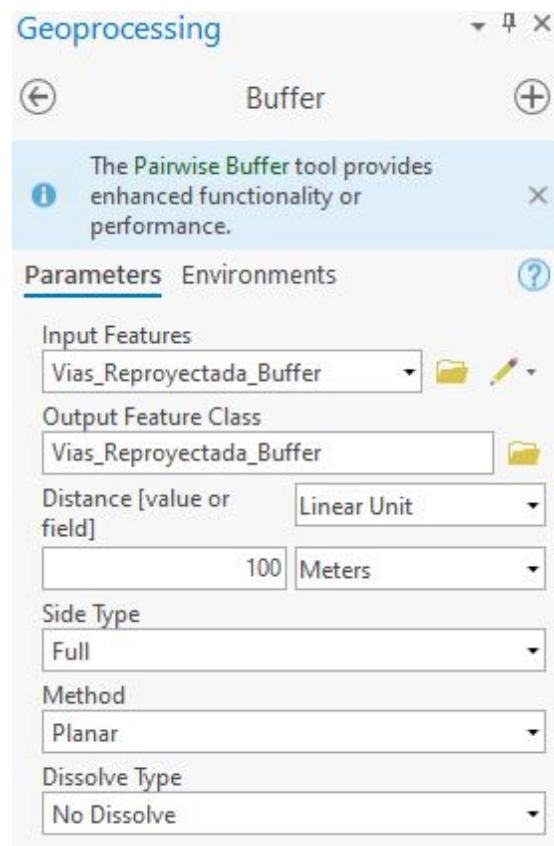


Figura 11: Herramienta Buffer.

Luego, se usó la herramienta **Erase** para borrar del shapefile de **Area\_Protegida\_Propuesta** estas áreas que no se desean incluir. Como se observa en la figura 12, se seleccionó como **Input feature** la capa de **Area\_Protegida\_Propuesta** y en **Erase feature** la capa con el buffer hecho.

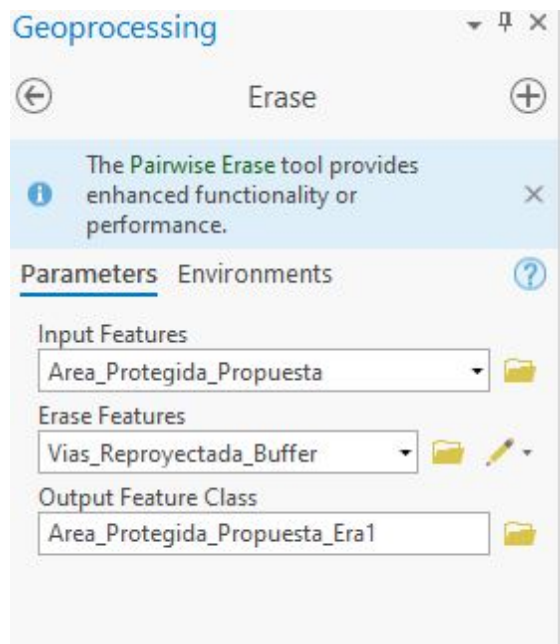


Figura 12: Herramienta Erase.

De esta forma se obtuvo como resultado el recorte de la capa **Area\_Protegida\_Propuesta** como se observa en la figura 13.

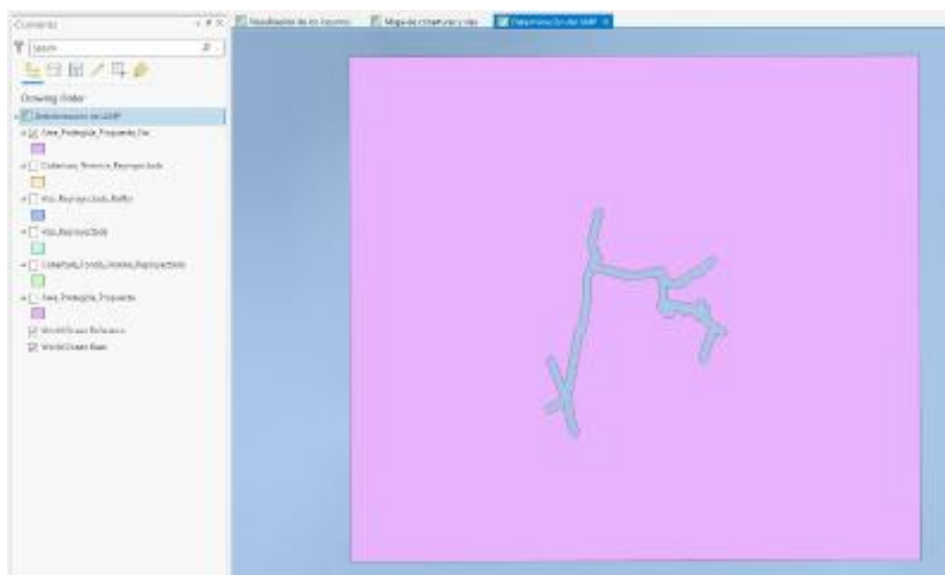


Figura 13: Resultado obtenido del Área Marina Protegida que cumple la condición de que no se encuentre a una distancia menor a 100 metros de las carreteras.

Para que el área conservada se encuentre a una distancia mayor a 150 metros de las zonas urbanizadas, se utilizó en primer lugar la

heramienta **Select**, figura 14, para crear un shapefile que solamente contenga los Tejidos Urbanos. Para esto se usó como **Input Feature** la capa de Cobertura\_Terrestre\_Reproyectada, se seleccionó el nombre y carpeta de guardado, y se dio la condición deseada (el campo Cobertura debe ser exactamente igual a Tejido Urbano). Creado este nuevo shapefile, se ejecutaron los mismos pasos que en el caso de las carreteras, es decir, primero se aplicó un **Buffer** sobre este nuevo shapefile creado, en este caso de 150 metros, y luego se usó la herramienta **Erase** para eliminar estas zonas del Área Marina Protegida propuesta donde ya se habían eliminado los sectores con una distancia menor a 100 metros de las carreteras. El resultado se observa en la figura 15.

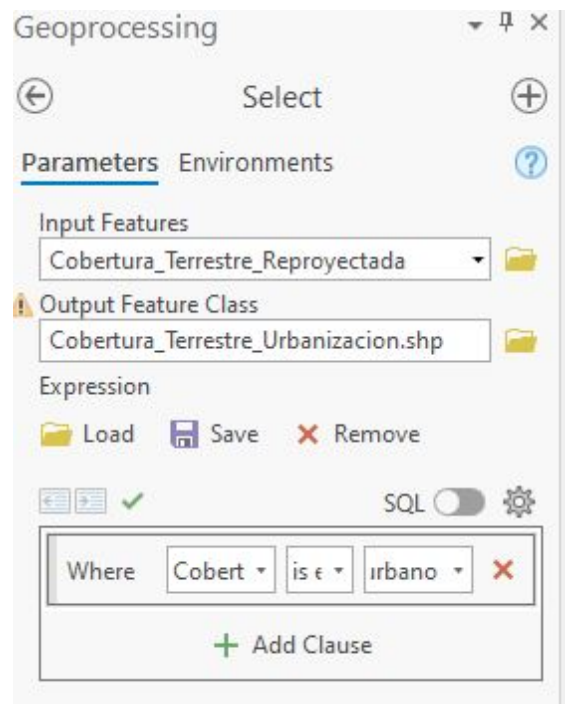


Figura 14: Herramienta Select.

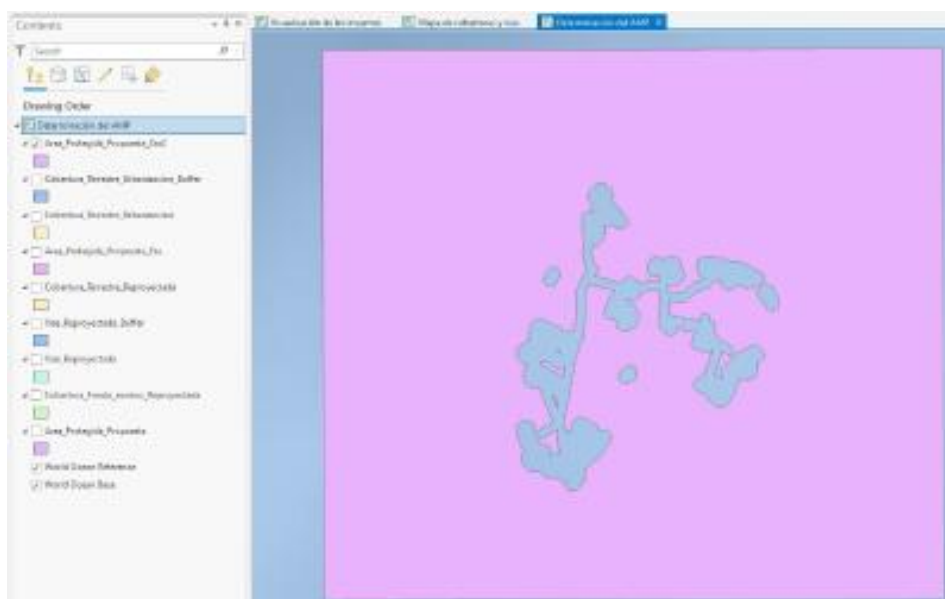


Figura 15: Resultado obtenido del Área Marina Protegida que cumple la condición de que se encuentra a una distancia mayor a 100 metros de las carreteras y a 150 metros de las zonas urbanizadas.

A continuación, para que el área conservada no incluya las estaciones con categoría "Pésimo" del Índice de Calidad de Agua Marina, se utilizó la herramienta **Spline** que crea un raster a partir de la interpolación de una serie de puntos. En la figura 16 puede observarse que como **Input point features** se seleccionó el shapefile

correctamente proyectado de la tabla de Índice de Calidad de Agua Marina, como **Z value field** se seleccionó el valor del índice. Luego, se indicó el nombre y carpeta de guardado. Finalmente, con **Symbology** se hizo una clasificación por intervalo manual para visualizar con los colores adecuados las distintas calidades de agua marina. El resultado obtenido se observa en la figura 17.

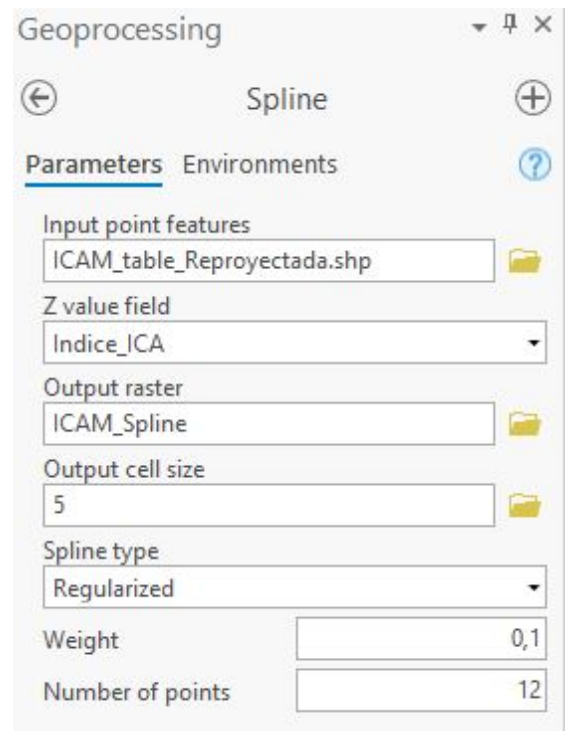


Figura 16: Uso de la herramienta Spline.

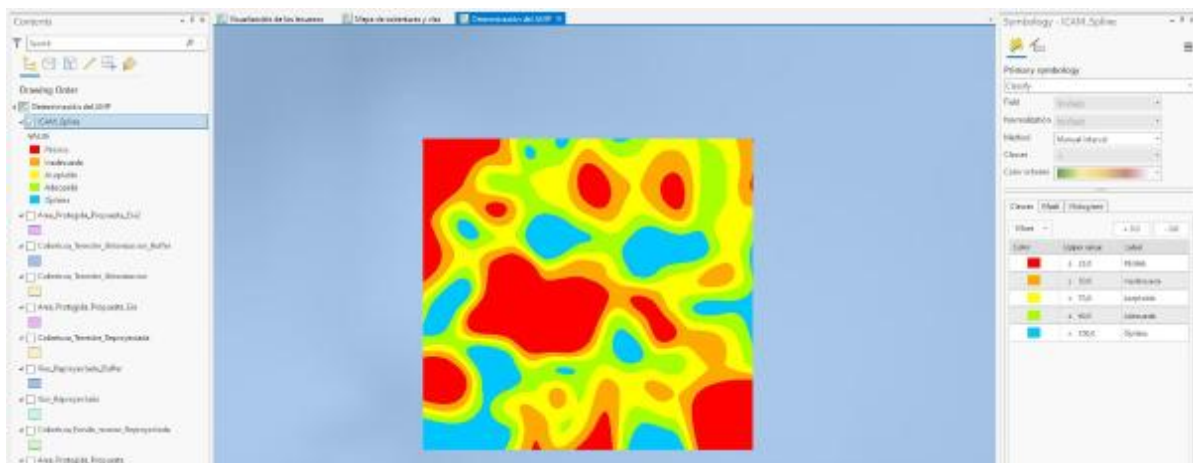


Figura 17: Resultados obtenidos del raster generado de Índice de Calidad de Agua Marina.

Para que el Área Marina Protegida no incluya las áreas correspondientes a la categoría "Pésimo" se transformó a polígonos todas las áreas rojas y, a continuación, se utilizó la herramienta **Erase** como en los casos previos. Para transformar estas áreas en polígonos se siguieron los mismos pasos que se hicieron para la creación del polígono de la capa Area\_Protegida\_Propuesta que se detalló al principio de esta sección. Luego, se utilizó la herramienta **Erase** para borrar de los polígonos creados el sector continental, ya que la herramienta **Spline** proyecta los datos al continente y esto no es correcto porque corresponden a datos de calidad de agua marina. Por último, nuevamente, utilizando la herramienta **Erase** se borraron estas áreas del shapefile donde se habían eliminado los sectores cercanos a las carreteras y a los tejidos urbanizados. Este

último shapefile generado, figura 18, muestra todas las áreas que no deben incluirse dentro del Área Marina Protegida.

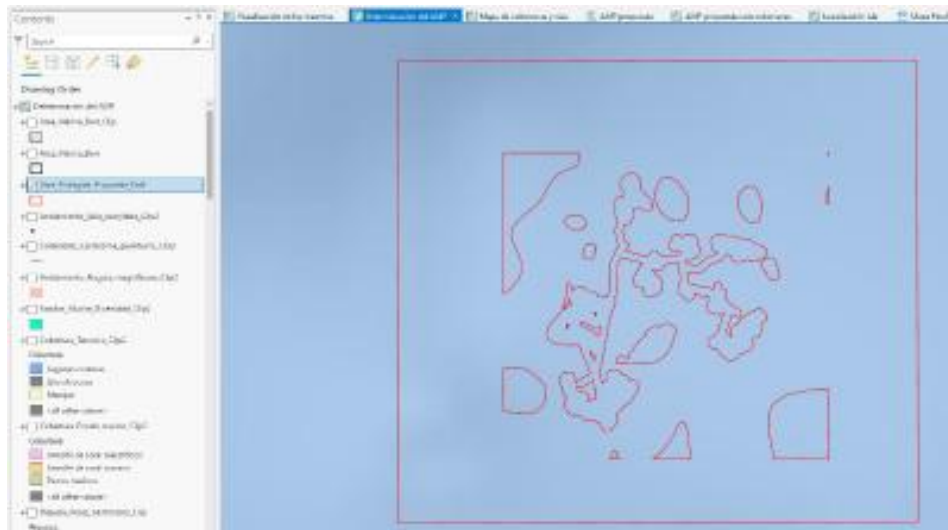


Figura 18: Resultado obtenido de los posibles sectores que puede abarcar el Área Marina Protegida. Las áreas internas marcadas en rojo corresponden a sectores cercanos a vías y tejidos urbanos y a sectores con calidades "Pésimas" de agua marina. El recuadro rojo exterior muestra el sector que podría abarcar el Área Marina Protegida.

## Visualización de los sectores que se desean conservar

Para cumplir con la condición de conservar al menos dos fondos marinos con altos registros de diversidad de fauna bentónica, se utilizó la herramienta **Spline** para convertir las estaciones con información en un raster con las áreas de diversidad de fauna bentónica. Como **Input point features** se seleccionó el shapefile correctamente proyectado de diversidad bentónica, como **Z value field** se seleccionó Shannon que muestra en una categoría de 1 a 4 el nivel de diversidad de fauna bentónica y como **Output cell size** se usó el valor 5. Luego, se indicó el nombre y carpeta de guardado. A continuación, en Symbology se hizo una clasificación por intervalo manual para visualizar con los colores adecuado las distintas diversidades de fauna bentónica. El resultado final se observa en la figura 19.

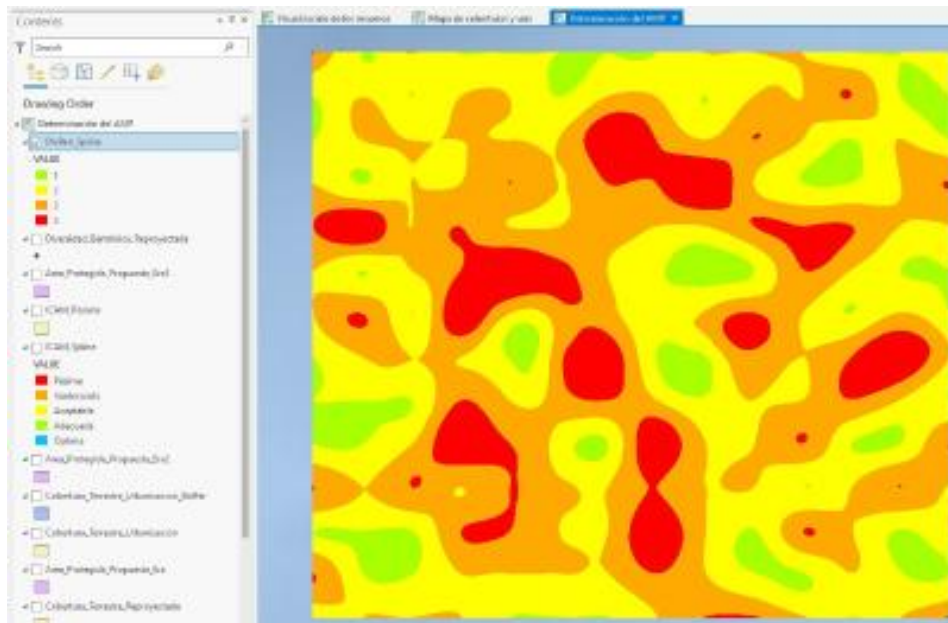


Figura 19: Diversidad de Fauna Bentónica. El color verde muestra las áreas con menor biodiversidad y el color verde las áreas con mayor biodiversidad.

Finalmente, observando el raster de diversidad de fauna bentónica generado con la herramienta **Spline** se creó un nuevo shapefile de polígonos que solamente contenía las áreas en color rojo, es decir, aquellas con mayor diversidad de fauna bentónica. Para esto se siguieron los mismos pasos que se habían realizado para la creación del polígono de la capa *Area\_Protegida\_Propuesta* que se explicó al principio de esta sección.

En cuanto a la riqueza de peces bentónicos, se desea conservar al menos dos de los cinco sitios con mayor riqueza de peces. Para esto, utilizando una correcta simbolización del shapefile, se puede visualizar en la figura 20 que los sectores que se encuentran en color rojo o naranja oscuro son aquellos que más riqueza de peces bentónicos poseen. Para lograr esta simbolización, se hizo click derecho sobre el shapefile de riqueza de peces bentónicos en la tabla de contenidos y se seleccionó la opción **Symbolology**. Se seleccionó la opción **Unique values** dentro de **Primary symbology**, se seleccionó **Riqueza** como **Field** y para aplicarla se hizo click en **Add all values**, figura 21. Luego, haciendo doble click en cada referencia de color en la tabla de contenidos (cuadrado de color que se visualiza en la figura 20) se fue asignando el color deseado a cada valor.



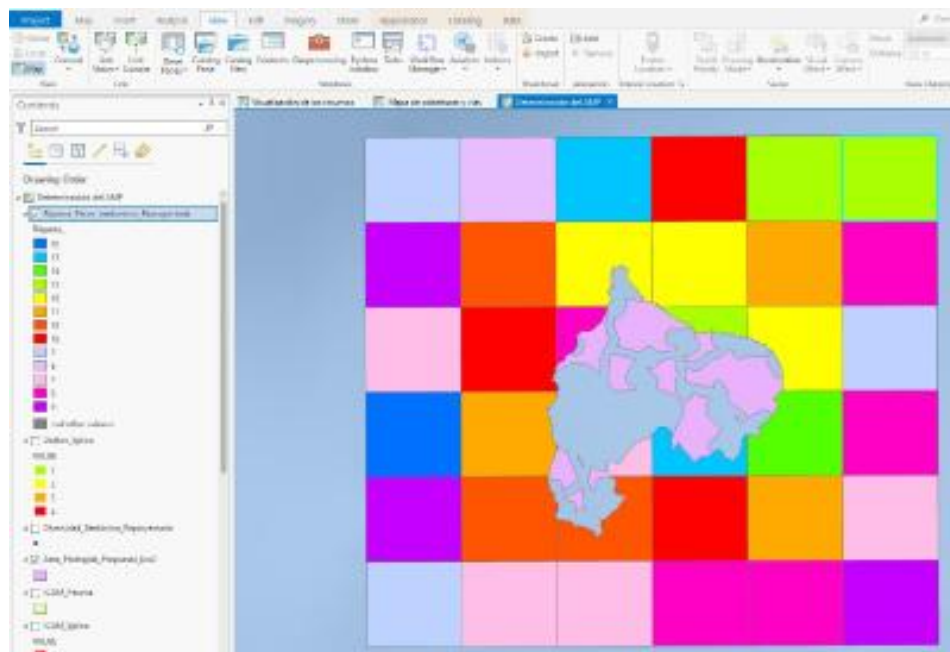


Figura 20: Riquezas de peces bentónicos. Los sectores en rojo y naranja oscuro corresponden a las áreas con mayor riqueza de peces bentónicos.



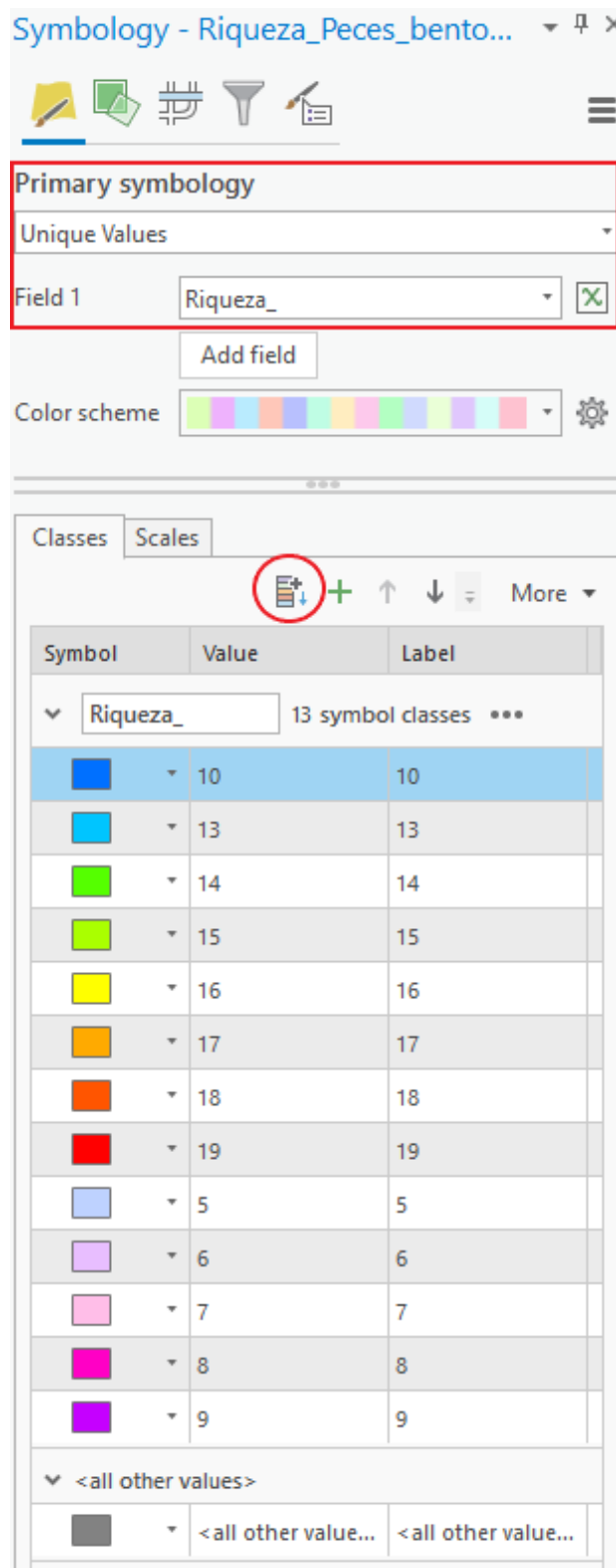


Figura 21: Simbología aplicada a la capa de riqueza de peces bentónicos.

Otra condición que debe cumplir el Área Marina Protegida es que represente todos los ecosistemas naturales, especialmente arrecifes de coral, pastos marinos, manglares, litoral rocoso y lagunas costeras. Para poder ver de forma fácil las áreas que se quieren conservarse en el Área Marina Protegida, se usó nuevamente la herramienta **Select**, figura 22. De esta forma se creó un shapefile que incluía solamente los arrecifes de coral, pastos marinos y manglares y otro que

contenía exclusivamente los sectores de litoral rocoso y lagunas costeras. En la figura 23 se observan los resultados obtenidos.

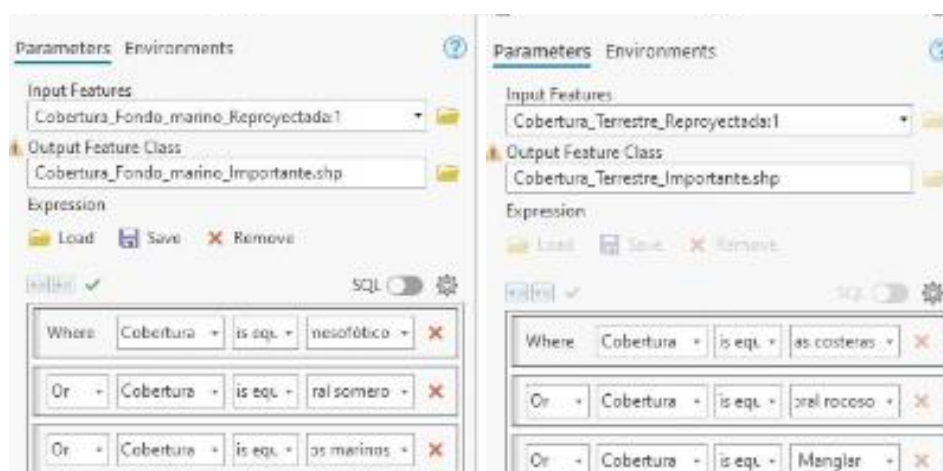


Figura 22: Uso de la herramienta Select para crear dos shapefiles con los ecosistemas naturales que se desean representar en el Área Marina Protegida.

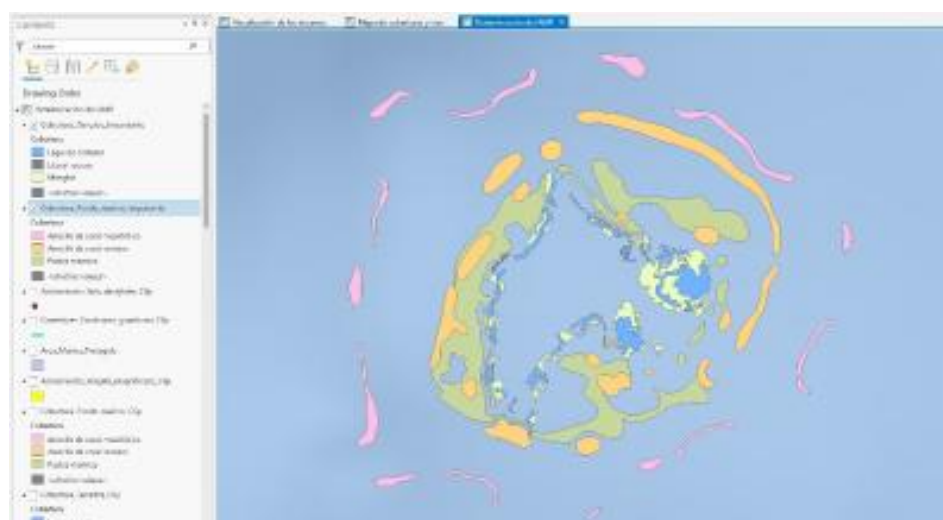


Figura 23: Áreas de ecosistemas naturales que desean representarse en el Área Marina Protegida.

A continuación, utilizando la herramienta **Clip** que permite recortar una silueta desde una capa base, se recortaron los shapefiles de riqueza de peces bentónicos, de diversidad de fauna bentónica, de coberturas, de corredores de *Cardisoma guanhumi* y de sitios de anidamiento de *Sula dactylatra* y *Fregata magnificens*. En la figura 24 puede observarse el uso de esta herramienta, se seleccionó como silueta a recortar (**Clip Feature**) al shapefile de Área Marina Protegida que muestra las áreas que no se desean incluir.

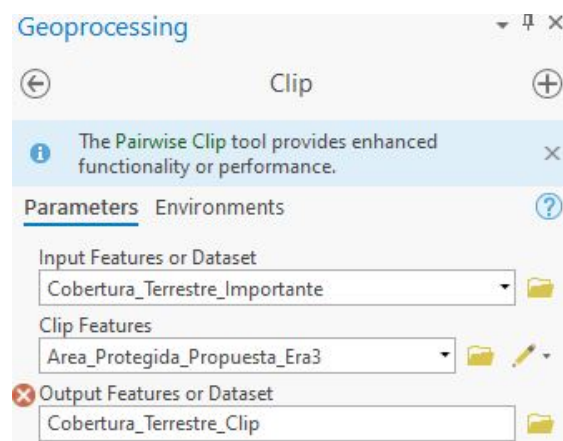


Figura 24: Uso de la herramienta Clip.

En la figura 25 pueden observarse los resultados de los shapefiles de coberturas terrestres y fondos marinos que se desean conservar, de corredores de *Cardisoma guanhumi*, de diversidad de fauna bentónica, de sitios de anidamiento de *Sula dactylatra* y *Fregata magnificen*, y de riqueza de peces bentónicos, que corresponden a los posibles sectores que pueden considerarse como Área Marina Protegida, es decir, se eliminaron las áreas con pésimo índice de calidad de agua marina y los sectores que se encontraban a una distancia menor o igual a 100 metros de las carreteras y a 150 metros de las urbanizaciones.

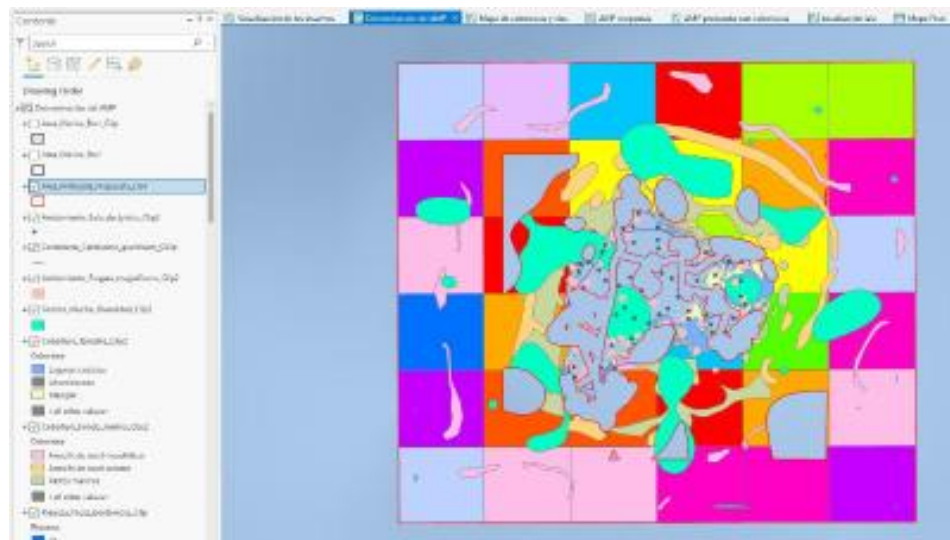


Figura 25: Shapefiles de coberturas terrestres y fondos marinos que se desean conservar, de corredores de *Cardisoma guanhumi*, de diversidad de fauna bentónica, de sitios de anidamiento de *Sula dactylatra* y *Fregata magnificen*, y de riqueza de peces bentónicos, que corresponden a los posibles sectores que pueden considerarse como Área Marina Protegida.

## Selección del Área Marina Protegida que se desea proponer

Observando los shapefiles de coberturas, corredores de *Cardisoma guanhumi*, de diversidad de fauna bentónica, de sitios de anidamiento de *Sula dactylatra* y *Fregata magnificen*, y de riqueza de peces bentónicos, figura 25, se tomó la decisión de cuál sería la mejor Área Marina Protegida teniendo en cuenta los requisitos indicados en la introducción. En el apartado **Justificación** se encuentra la argumentación de por qué se seleccionó dicha área.

Para representar esta área en el mapa se creó un nuevo archivo shapefile de tipo polígono. Para esto se siguieron los mismos pasos

que se habían realizado para la creación del polígono de la capa Area\_Protegida\_Propuesta que se explicó al principio de esta sección. A continuación, se utilizó la herramienta **Clip** sobre el shapefile generado, utilizando como **Clip features** la capa de Área Protegida Propuesta que no incluía los sectores con pésima calidad de agua marina y los que se encontraban a una distancia menor o igual a 100 metros de las carreteras o a 150 metros de los tejidos urbanizados. Esto se realizó para que el área quede correctamente recortada y no incluya por error las áreas que no se deseaban incluir; además, de esta forma fue más sencillo dibujar el polígono.

Luego, el último requisito por cumplir era que el Área Marina Protegida tuviera un tamaño entre 400 y 2000 ha. Entonces, para comprobar que el área seleccionada cumpliera con esto se seleccionó con botón derecho el shapefile en la tabla de contenidos del área creada y se seleccionó la opción abrir tabla de atributos. Dentro de esta se seleccionó la opción **Add**, como se observa en la figura 26. A continuación, en la pestaña que se abre, figura 27, se agregó una nueva columna llamada Area\_ha y con tipo de dato doble. Hecho esto se seleccionó **Save** en el menú de **Feature Layer > Data**.

	OBJECTID *	Shape *	Id	Shape_Length	Shape_Area
1	1	Polygon	0	19952,175682	13222382,649209

Click to add new row.

Figura 26: Opción Add que permite añadir una nueva columna en la tabla de atributos.

	Visible	Read Only	Field Name	Alias	Data Type	Allow NULL	Highlight	Number Format
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECTID	OBJECTID	Object ID	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Shape	Shape	Geometry	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Id	Id	Long	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Shape_Length	Shape_Length	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Shape_Area	Shape_Area	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Area_ha	Area	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric

Figura 27: Creación de una nueva columna para calcular el área en hectáreas.

Agregado este nuevo atributo, se procedió en la pestaña de la tabla de atributos de la capa a calcular el área. Para esto, se hizo click derecho sobre el encabezado del atributo y se seleccionó **Calculate Geometry**. En la ventana emergente se indicó como **Input features** la capa del shapefile del polígono generado, en la opción **Geometry Property Area\_ha** en

Calculate Geometry

This tool modifies the Input Features

Input Features: Area\_Marina\_Borr\_Clip

Geometry Attributes

Field (Existing or New): Area

Property: Area

Area Unit: Hectares

Coordinate System: MAGNA-SIRGAS-CMT12

Figura 28: Uso de Calculate Geometry para calcular el área en hectáreas del área propuesta.

**Target Field** y **Area** en **Property**, como

**Area Unit** se seleccionó hectáreas y se indicó el sistema de coordenadas correspondiente al shapefile, figura 28.

Como resultado, se obtuvo que el área propuesta tiene un tamaño de 1322, 24 hectáreas, por lo que cumple con lo solicitado.

## Visualización del Área Marina Protegida

Seleccionada el Área Marina Protegida, se generó su mapa para visualizar esta área donde se utilizaron como base las capas de coberturas y de vías. Para esto, en primer lugar se aplicó la simbología correcta, como se explicó anteriormente, a cada capa de forma de que la visualización sea lo más atractiva y simple posible.

A continuación, dentro de la pestaña **Insert** se desplegó la opción de la herramienta **New Layout**, figura 29, y se aceptó la opción tipo carta horizontal. Como consecuencia, en una nueva pestaña se visualiza la vista del **Layout** en blanco.

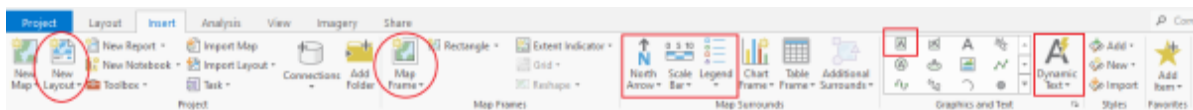


Figura 29: Ubicación de la opción New Layout, Map Frame y todos los elementos utilizados para la creación del mapa.

Luego, se crearon las guías donde se pondrá el **Map Frame** y diferentes características del mapa. Para esto se hizo click derecho sobre la regla del **Layout** y se aceptó la opción **Add Guides**. Dentro de esta se seleccionó la opción **Both** como **Orientation**, **Offset form edge** como **Placement** y se indicó un margen de 0,25 in. Las demás líneas se crearon manualmente en los lugares deseados, haciendo click derecho en el lugar de la regla donde se querían crear y aceptando la opción **Add guide**.

Después, se agregó el **Map Frame**, figura 29, desde la pestaña **Insert**, dando en la opción crear un marco del mapa a la misma escala que se tenía el **Map**. Luego, se desplegó el **Map Frame** sobre las guías de plantilla creadas anteriormente. En la tabla de contenido se hizo click derecho sobre la capa y se eligió la opción **Zoom to layer** para que se visualizara correctamente el mapa.

Para asignar una grilla de coordenadas se seleccionó la opción **Grid** dentro de **Insert** y se eligió la opción de la retícula vertical. Esto debe hacerse teniendo seleccionado el **Map Frame** en el **Layout**, por este motivo en la figura 29 la opción Grid aparece no disponible.

A continuación, se creó la localización del mapa. Para esto se creó un nuevo mapa desde la pestaña **Insert > New Map** y se seleccionaron las capas de coberturas. Se le dio una simbología completamente roja. Después, en el **Layout** se insertó un nuevo **Map Frame** como se había realizado previamente, insertándolo en la parte superior derecha del mapa.

Para asignar la leyenda se utilizó la opción **Legend**, figura 29, y se desplegó la ventana en la parte inferior derecha del mapa. Desde la tabla de contenidos se modificaron los nombres de los distintos shapefiles para que sean correctos. Esto se logró dando click derecho a cada uno y yendo a la opción **Properties**. También se modificaron ciertos aspectos de la leyenda, como el título, espaciados, tamaños mínimos de elementos. Esto se realizó desde la ventana emergente que se abre al posicionarse sobre la leyenda en el mapa. Además, desde la opción de simbología se ocultó la opción **All other Values** para que no figure dentro de la leyenda.

También se insertó una flecha que indique el norte en ambos mapas (localización y de visualización del Área Marina Protegida). Y se agregó una escala gráfica en la parte inferior del mapa de visualización del Área Marina Protegida. Para esto se seleccionaron las opciones **North Arrow** y **Scale Bar** que se observan en la figura 29. En el caso de la barra de escala se configuró la división de las unidades y otros atributos para mejorar su visualización.

Luego, dentro de la opción **Dynamic Text**, figura 29, se seleccionó la opción **Scale** para desplegar la escala del mapa debajo de la leyenda. También, desde este menú se seleccionó la opción **Name of Map** y **Credits** para poner el título del mapa y su autor. Luego, se modificó la letra (tipo, tamaño, centrado, etc.) desde el menú superior que se despliega al seleccionar estos ítems en el **Layout**.

Por último, desde la opción **Graphics and Text**, figura 29, se dibujaron una serie de recuadros negros para encasillar los distintos



elementos y darle una vista más prolija al mapa.

Terminado el mapa, se prosiguió a exportarlo en el formato deseado, PNG. Para esto en la pestaña **Share** se aceptó la opción **Export layout**, figura 30. En la ventana emergente se seleccionó el tipo de archivo que se deseaba generar, el nombre y ubicación de guardado y la resolución espacial (300 dpi). De esta forma, el mapa puede visualizarse en formato PNG fuera del programa ArcGIS Pro.

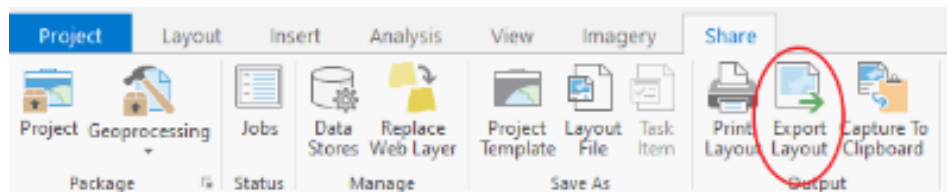


Figura 30: Ubicación de la opción para exportar el mapa creado.

## Cálculo del valor de los porcentajes conservados de cada cobertura respecto al área total

Para que el shapefile del polígono del Área Marina Protegida incluyera los datos de cobertura de fondo marino y terrestre se utilizaron las herramientas **Identity** y **Union**.

La herramienta **Identity**, figura 31, permite que el elemento indicado en **Input Feature**, el área marina seleccionada, tome los atributos del elemento indicado en **Identity Features**, capas de cobertura. De esta forma, utilizando la herramienta para cada capa de cobertura, se logró generar dos shapefiles que presentaban la geometría de la capa del Área Marina Protegida con las distintas coberturas.

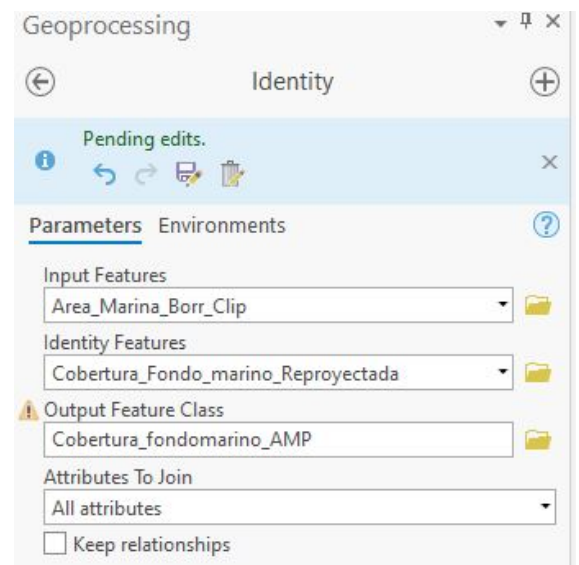


Figura 31: Uso de la herramienta Identity.

Para que ambos shapefiles se unifiquen se utilizó la herramienta **Union**, figura 32. En **Input features** se seleccionaron ambos shapefiles y se le dio un nombre y dirección de guardado.



De esta manera, se generó un shapefile del Área Marina Protegida y en su tabla de atributos se podían visualizar las distintas coberturas dentro de ella. También, como se explicó previamente, desde la tabla de atributos se calculó el área en hectáreas de cada cobertura.

A continuación, para calcular los porcentajes que representaba cada cobertura y para generar una visualización más dinámica, se creó un nuevo Dashboard en ArcGIS Online.

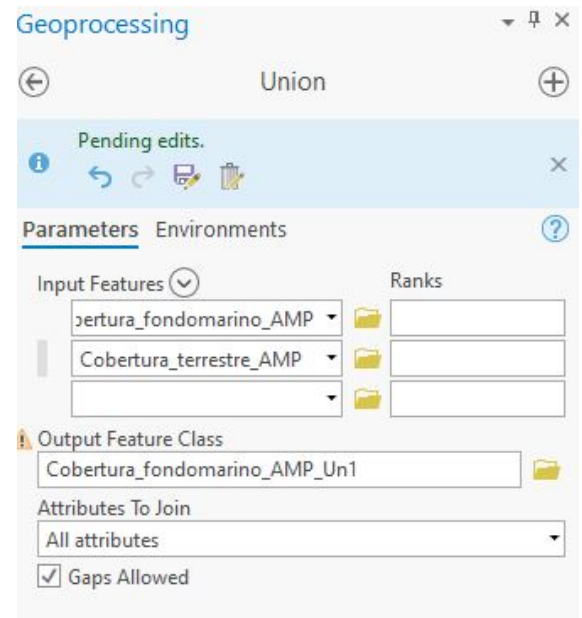


Figura 32: Uso de la herramienta Union.

Para trabajar con este shapefile dentro de ArcGIS Online, primero se lo comprimió en una carpeta ZIP y se cargó como nuevo elemento dentro de la pestaña de **Contenido** en ArcGIS Online, figura 33.



Figura 33: Carga de un nuevo elemento en ArcGIS Online.

Luego, desde la opción **Mapa** en el menú superior de ArcGIS Online se creó un nuevo mapa para visualizar esta capa. Se añadió el shapefile cargado desde la opción añadir datos, se le indicó como mapa base la opción "Oceans" y se le dio una simbología adecuada. Finalmente, se lo guardó indicando el nombre y ubicación de carpeta de guardado. En la figura 34 puede visualizarse una captura de pantalla de la sección Mapa de ArcGIS Online.



Figura 34: Creación de un mapa en ArcGIS Online.

A continuación, desde el menú de ArcGIS Online se seleccionó la aplicación **Dashboards**, figura 35.

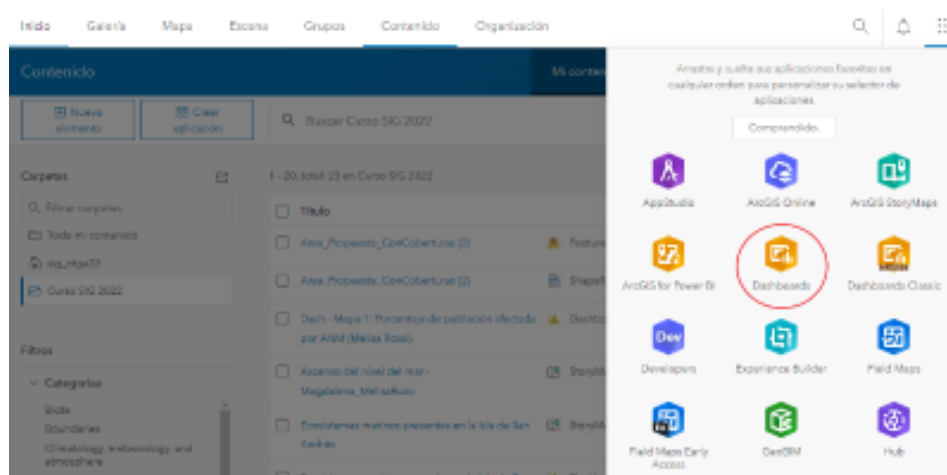


Figura 35: Selección de la aplicación Dashboards.

Dentro de esta se creó un nuevo Dashboard y se le dio un título, etiquetas, resumen y lugar de guardado.

En el Dashboard creado se añadió el nuevo mapa creado en ArcGIS Online desde la opción **Agregar elemento > Mapa**. También, desde **Agregar elemento** se añadió la leyenda del mapa.

Luego, se creó un gráfico circular para representar de forma visual la proporción del área en hectáreas de cada ecosistema. Para esto, como se observa en la figura 36, se seleccionó como **Campo de categoría** a la cobertura y como **Campo** al área en hectáreas que se había calculado en ArcGIS Pro previamente. Además, se le añadió la opción acciones para que sea interactivo, es decir, al seleccionar una categoría esta se remarca en el mapa. Como leyenda se puede visualizar el porcentaje que ocupa cada ecosistema y posicionándose

sobre el gráfico circular se lee el tipo de cobertura, área que ocupa en hectáreas y su porcentaje.



Figura 36: Creación de un gráfico circular que muestra el porcentaje de hectáreas que comprende cada ecosistema con respecto al Área Marina Protegida Total.

También se añadió un indicador para mostrar el área en hectáreas total que abarca el Área Marina Protegida, en este se seleccionó como **Campo** el área en hectáreas y como **Estadística** suma. Además, se agregó un encabezado para el título y se lo cambió a modo oscuro para una mejor visualización. Por último, se guardaron los cambios.

## Generación y edición de un metadato al shapefile que contiene la propuesta del área protegida

En primer lugar, para generar y editar un metadato al shapefile que contiene la propuesta del Área Marina Protegida, se insertó un nuevo mapa, como se explicó previamente, desde el menú **Insert > New Map**. Luego, se seleccionó como mapa base la opción "Oceans" y se agregó el shapefile que contiene el Área Marina Protegida propuesta con las coberturas terrestres y de fondo marino.

Después, haciendo click derecho sobre este shapefile en el panel de catálogo, se seleccionó la opción **Edit Metadatos**. En la nueva pestaña emergente, figura 37, se editaron todos los datos que se consideraron necesarios (título, descripción, créditos, temas y palabras claves, citas, contactos, extensiones, etc.). Finalmente, se

hizo click en **Save** en el menú superior y se guardaron los cambios generados.

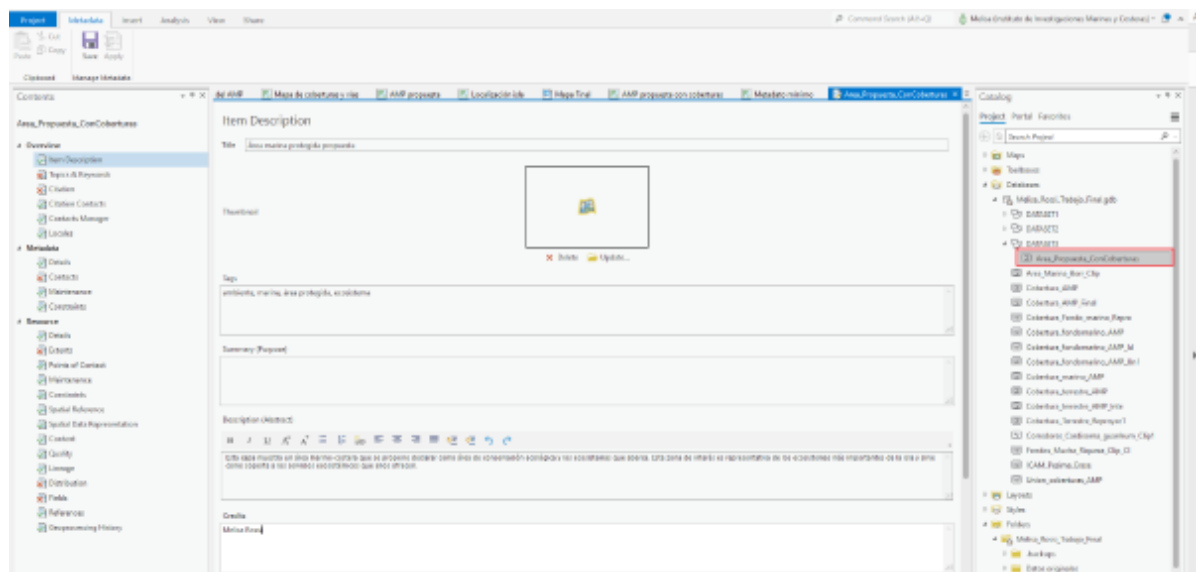


Figura 37: Opción para editar metadatos. El recuadro rojo muestra la ubicación del shapefile a editar dentro del panel de catálogo.

Para comprobar si los metadatos fueron editados correctamente, se hizo click derecho sobre el shapefile en el panel de contenidos y se seleccionó **View Metadata**. De esta forma se pudo corroborar que se creó y editó correctamente el metadato. En la figura 38 puede observarse el metadato creado para el shapefile que contiene la propuesta del área protegida con sus ecosistemas.

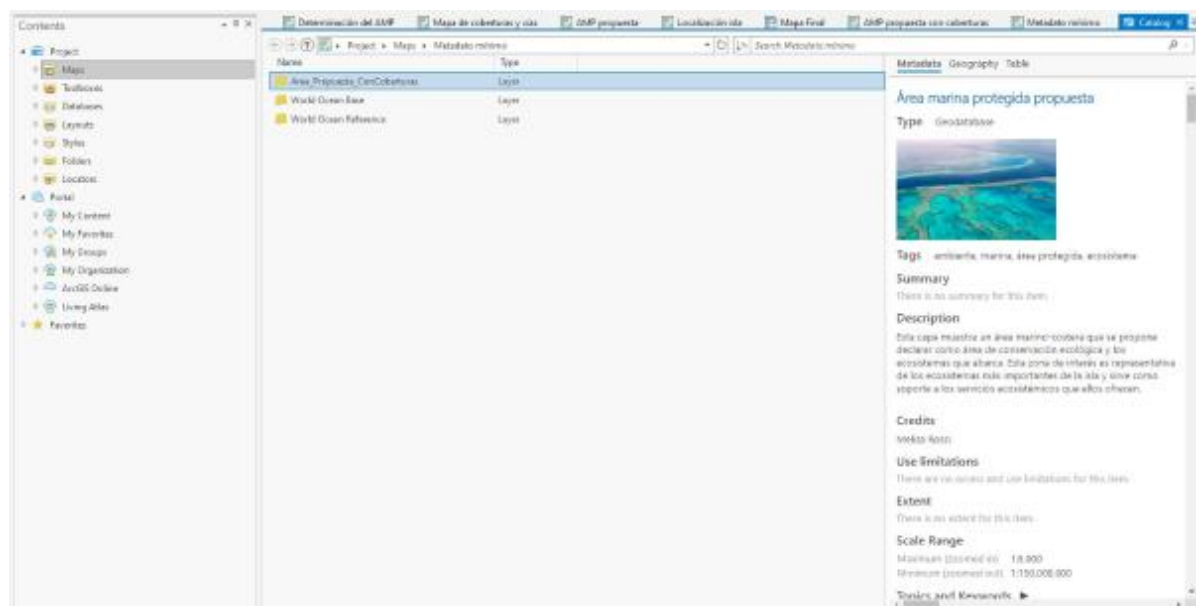


Figura 38: Visualización del metadato del shapefile que contiene el Área Marina Protegida propuesta y sus ecosistemas.

## Generación de un StoryMap

Por último, para presentar este trabajo de forma dinámica y visualmente atractiva se generó en ArcGIS Online un **StoryMap**. Para esto, dentro del menú de ArcGIS Online, se seleccionó la opción **StoryMaps**, figura 39, y en la pestaña emergente se seleccionó **Nueva historia**.

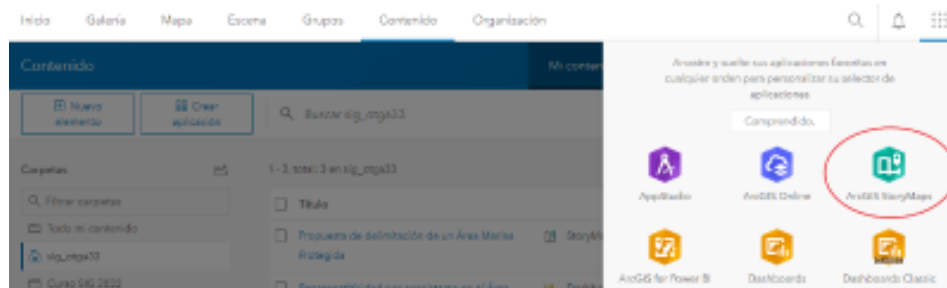


Figura 39: Apertura de un nuevo proyecto de StoryMap en ArcGIS Online.

A continuación, desde la pestaña **Diseño** en el menú superior, figura 40, se seleccionó cómo se deseaba presentar la portada, se tildaron las opciones de barra de navegación y créditos, se eligió el tema y se agregó el logo.

Luego, se le indicó un título y resumen en la portada y se fueron agregando los distintos elementos (texto, imágenes, dashboard, etc.) apretando los símbolos más que se encuentran a lo largo del documento.

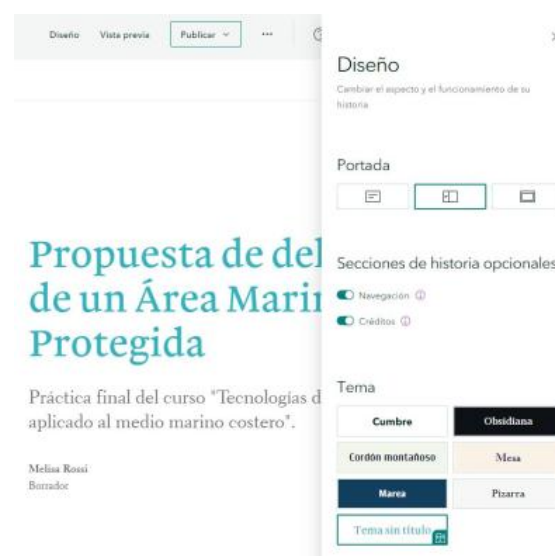


Figura 40: Opción Diseño en StoryMap de ArcGIS Online.

Una vez terminado el **StoryMap** se seleccionó la opción **Publicar** en el menú superior, figura 40, y se indicó que sea de acceso a todo público.

## Resultados

### Área Marina Protegida propuesta

En la figura 41 puede visualizarse el mapa que contiene el Área Marina Protegida propuesta. Como información base se encuentran los shapefiles de coberturas y las carreteras.

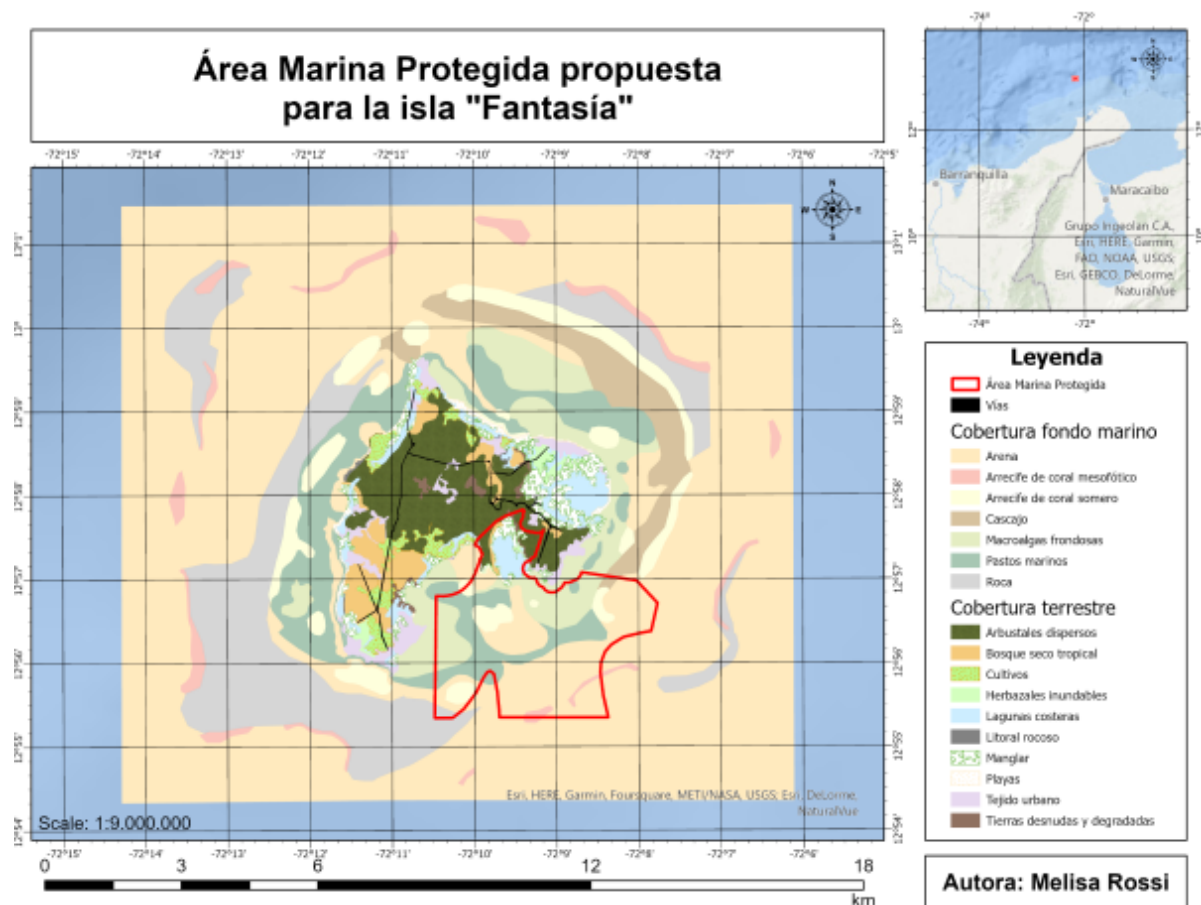


Figura 41: El recuadro rojo muestra el Área Marina Protegida propuesta. Como base se observan las carreteras en color negro y las distintas coberturas que se encuentran en el área.

## Área conservada en hectáreas por ecosistema

En el siguiente Dashboard, figura 42, se puede observar la representatividad por ecosistema en el Área Marina Protegida propuesta. Se observa un gráfico circular que, al posicionarse sobre cada opción, se puede visualizar el nombre de la cobertura, su área y el porcentaje que representa con respecto al área total protegida. También, haciendo click sobre la opción deseada en el gráfico circular se puede visualizar en el mapa solamente los sectores correspondientes a este ecosistema. Además, en el extremo inferior derecho se puede observar el área total que ocupa el Área Marina Protegida propuesta, esta es de 1300 hectáreas aproximadamente.

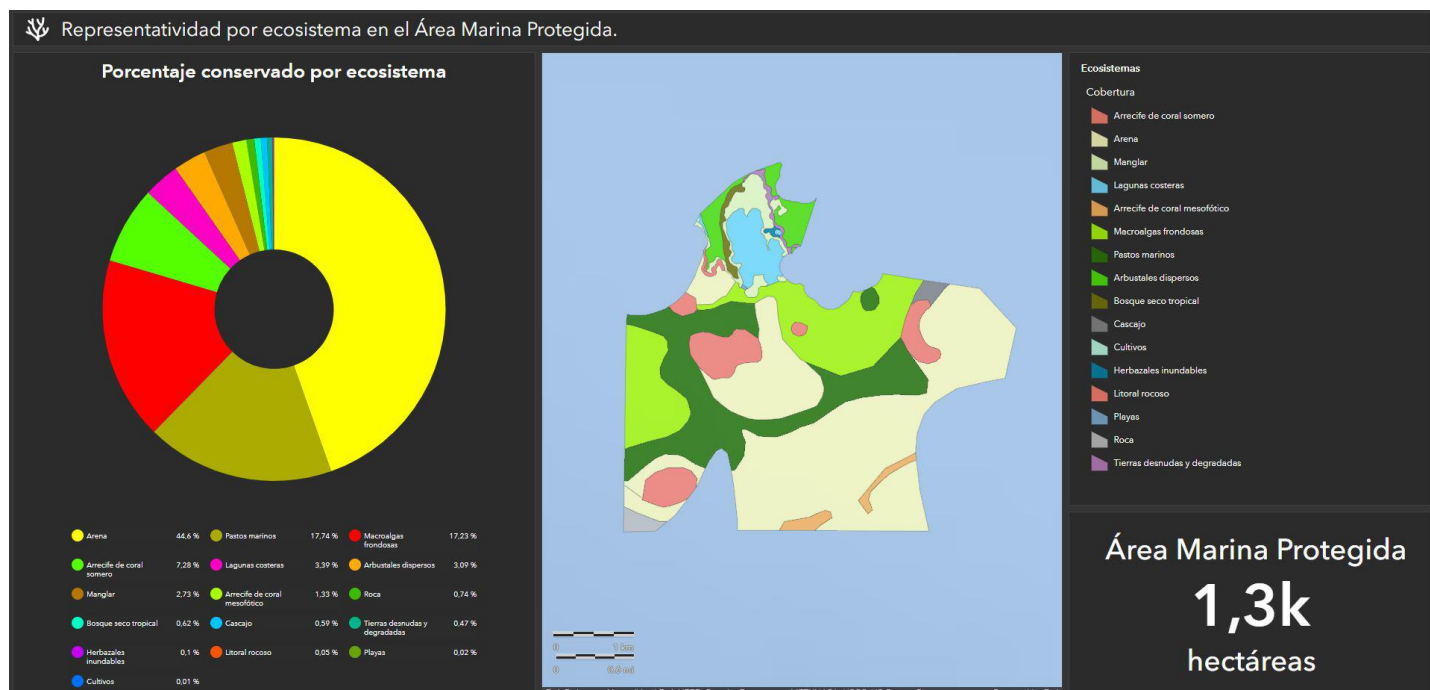


Figura 42: Representatividad por ecosistema en el Área Marina Protegida.

## Link a la geodatabase del proyecto

En el siguiente botón se puede acceder a la geodatabase generada para este proyecto. En el Dataset 1 se encuentran las capas e insumos generados en el proceso, en el Dataset 2 las capas de coberturas y de vías, y en el Dataset 3 la capa con el Área Marina Protegida propuesta con sus ecosistemas.

[GEODATABASE](#)

## Justificación

### Descarte del shapefile de Avistamientos de *Tursiops truncatus* para proponer el Área Marina Protegida

*Tursiops truncatus*, conocido comúnmente como delfín mular o nariz de botella, es una de las especies de delfines más comunes y conocidas, figura 43.



Si bien las zonas con avistamientos de estos ejemplares son importantes, no era un requisito obligatorio a tener en cuenta para la delimitación del área protegida. Por el otro lado, al ser una especie tan común y abundante, su estado de conservación es de *preocupación menor* y se distribuye a lo largo de todo el planeta (figura 44), no resulta de interés urgente su protección.

Por todos estos motivos, no se consideraron las zonas de avistamiento de *Tursiops truncatus* para proponer el Área Marina Protegida.



Figura 43: Ejemplar de *Tursiops truncatus*. Imagen propiedad de [Dolphins World](#).

## Selección del Área Marina Protegida propuesta

El sector delimitado como área protegida es la mejor propuesta de conservación para la isla "Fantasía" porque cumple con todos los requisitos indicados a tener en cuenta.



Figura 44: Distribución del delfín nariz de botella en los océanos. Imagen propiedad de [Wikipedia](#).

En primer lugar, en esta zona hay una gran concentración de sitios de anidamiento de aves marinas (*Sula dactylatra* y *Fregata magnificens*) y si tienen cuatro corredores del cangrejo *Cardisoma guanhumi* que conectan distintos sectores de manglar con sectores de lagunas costeras. No se encontró en la isla ningún otro sitio que comprenda tantos corredores de estos cangrejos y que conecten distintas coberturas naturales. En segundo lugar, en este sitio se representan todos los ecosistemas naturales. También, en este sitio se conservaron dos fondos con alta diversidad de fauna bentónica y de forma parcial tres fondos con alta riqueza de peces pelágicos. No se consideró necesario extender el área protegida hacia el oeste o este para abarcar más sectores con riqueza de peces bentónicos

porque estas áreas no tenían otra característica especial y los tres fondos parciales seleccionados eran equivalentes a dos fondos en total. Por último, en el área seleccionada no se incluyeron los sectores con aguas marinas que tenían calidades "Pésimas" según el Índice de Calidad de Agua Marina, ni sectores que se encontraban cercanos a carreteras (100 metros) y zonas urbanizadas (150 metros). Además, esta área comprende 1300 hectáreas que es un valor intermedio del rango de tamaño que se quería conservar (400 a 2000 hectáreas).

No se encontró ningún otro sector sin ciudades o vías dentro de la selección que cumpliera con todos los requisitos indicados.

## Conclusiones

### Objetivos alcanzados

ArcGIS Pro es una aplicación profesional de SIG que permite explorar, visualizar y analizar datos, crear mapas 2D y escenas 3D. Además, con ArcGIS Online es posible compartir el trabajo realizado de forma dinámica y visualmente atractiva.

Utilizando estas herramientas fue posible proponer una zona de interés para ser declarada como área de conservación ecológica, visualizar los ecosistemas presentes en esta, calcular el área en hectáreas que comprendían estos ecosistemas, y compartir los resultados generados en forma de Geodatabases, Mapas, StoryMaps y Dashboards. De esta forma, se puede considerar que se cumplió con el objetivo propuesto.

### Propuestas a futuro

Para mejorar la selección del Área Marina Protegida propuesta se recomienda verificar sus límites a detalle para no incluir ningún área que corresponda a coberturas que no se desean incluir, como cultivos o roca. También, sería recomendable no considerar áreas con tierras desnudas y degradadas, excepto que se desee remediarlas.

Además, sería conveniente disminuir la extensión del área protegida hacia el sur y hacia el este para no incluir zonas con calidades de

agua inadecuadas según el Índice de Calidad de Aguas Marinas, zonas naranjas en la figura 45.

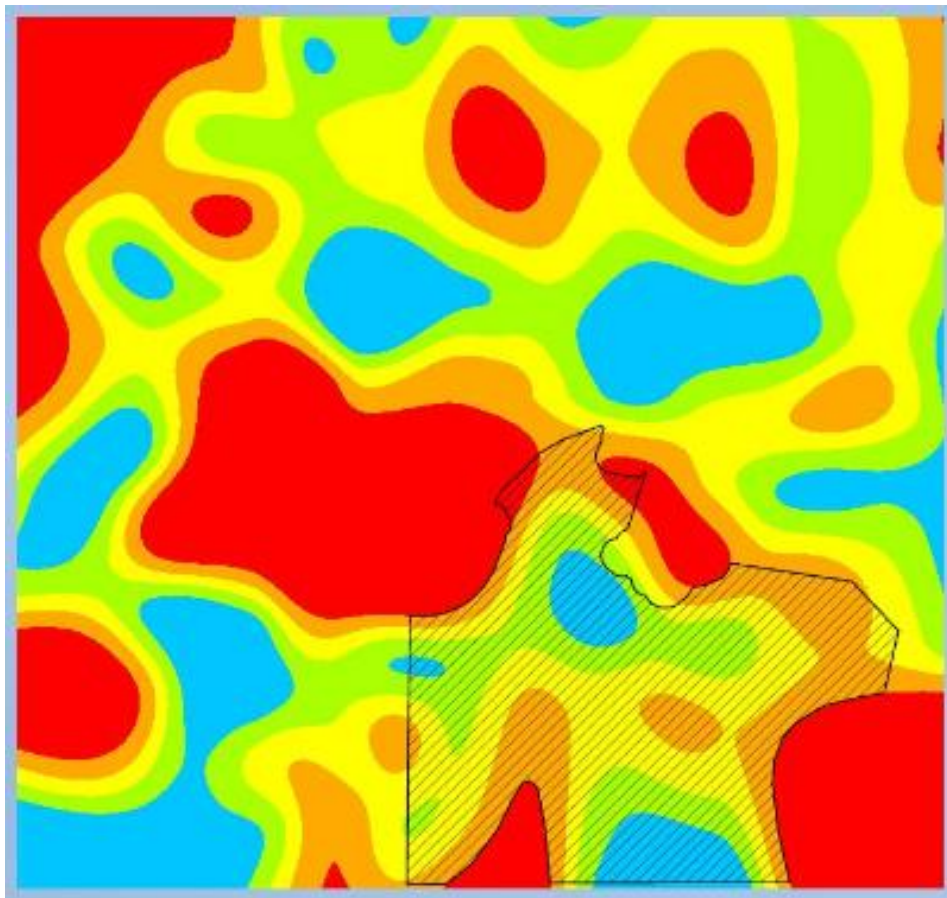


Figura 45: El área rayada en color negro corresponde al Área Marina Protegida. Los sectores en rojo corresponden a sectores con índices de calidad de agua marina pésimos y los sectores en naranja a calidades inadecuadas. Si bien se observa que el área seleccionada para su protección incluye sectores con calidad de agua pésima en el norte, en realidad estos sectores son continentales y no es correcto definir calidades de agua marina en estos, simplemente es consecuencia de la interpolación que realiza la herramienta Spline.

## Consideraciones finales

Las Áreas Marinas Protegidas son herramientas de conservación originadas desde la Ley. Estas zonas son sumamente importantes porque son las herramientas más eficientes y simbólicas para preservar la biodiversidad y el patrimonio cultural marino, proteger las especies amenazadas y el medio ambiente, restaurar áreas degradadas y recursos pesqueros sobreexplotados, asegurar áreas de regeneración permanente de recursos de interés comercial, desarrollar el turismo y la pesca responsable y estimular el conocimiento científico.

En los próximos 50 años, el cambio climático modificará drásticamente el modelo económico y social. Por este motivo, contar

con un mar saludable y efectivamente protegido contribuye a asegurar nuestra alimentación, a generar mayor resiliencia frente a la variabilidad climática, a facilitar el transporte y ofrecer oportunidades enormes para la recreación y la educación ambiental.

En este trabajo se comprobó que las herramientas de Sistemas de Información Geográficas son sumamente útiles para proponer zonas de interés para ser declaradas como áreas de conservación ecológica. Estas herramientas permiten realizar análisis multivariados de forma sencilla y rápida. Además, permiten compartir los resultados generados del análisis de formas muy diversas y atractivas.

## Bibliografía

Campos, J. (5 de julio de 2021). *La Gran Barrera de Coral en la lista de riesgo de la UNESCO*. Meteored. [Link al artículo](#).

Cavila, I. y Ludena, A. (4 de mayo de 2022). *Delfín Mular Tursiops truncatus*. Naturalista Co. [Link al artículo](#).

Dolphins - World. (s.f.). Common Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*). [Link al artículo](#).

Actualidad ambiental. (18 de abril de 2021). *¿Qué son las áreas marinas protegidas y por qué son importantes?* [Link al artículo](#).

Higghins, S. y Jotage, C. (19 de agosto de 2022). *Fragata Real (Fragata magnificens)*. NaturalistaCO. [Link al artículo](#).

INVEMAR. (s.f.). *Sistema de Indicadores Ambientales Marinos y Costeros de Colombia*. [Link al artículo](#).

Karsten, A. (31 de enero de 2020). *Guide to San Andres Island in Colombia*. Anna Everywhere. [Link al artículo](#).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Gobierno de Colombia. (s.f.) *Certificación 30x30*. [Link al artículo](#).

Seguí, P. (5 de enero de 2018). *Ecosistemas naturales; qué son, tipos y ejemplos*. OVACEN. [Link al artículo](#).

Riosmena Rodríguez, R. y López Calderón, J. M. (27 de enero de 2022). *Praderas de pastos marinos*. Biodiversidad mexicana - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [Link al artículo](#).

Ross, R. (24 de septiembre de 2018). *What are coral reefs?* Live Science. [Link al artículo](#).

## Créditos

<a href="#">Melisa Rossi</a>	Autora
<a href="#">Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis (INVEMAR)</a>	Suministro de las consignas, insumos y herramientas de trabajo.
<a href="#">Ocean Teacher Global Acedemy (OTGA)</a>	Plataforma de aprendizaje.