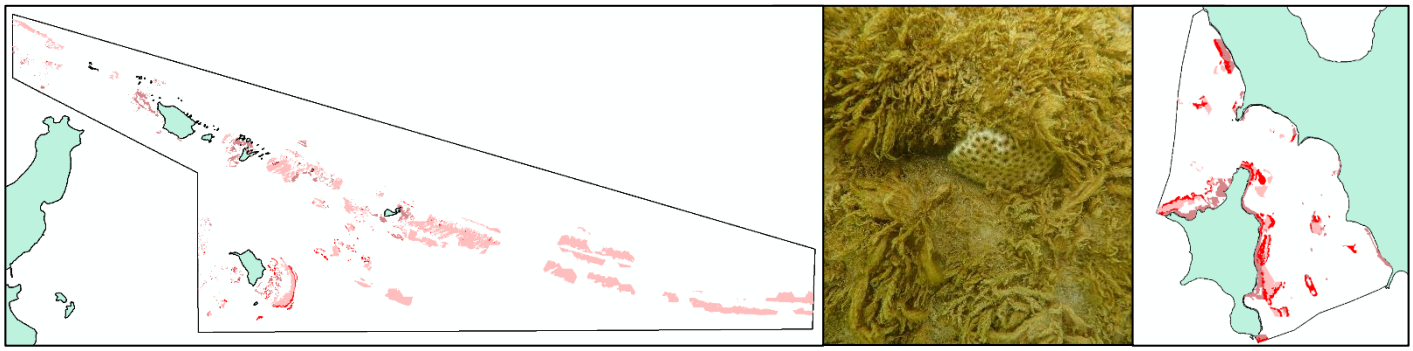


Reclutamiento de coral y cartografía de arrecifes de coral de interés en la Reserva Natural Canal Luis Peña (RNCLP) y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera (RNAC)

Preparado por Alfredo A. Montañez-Acuña
Especialista Conservación de Recursos Marinos, contratista ind. del DRNA

Informe sometido al Programa de Arrecifes de Coral del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) sobre los datos y referencias disponibles recopiladas para cumplir con el producto #8 bajo contrato y los siguientes objetivos: 1) entender los patrones de reclutamiento de coral en la Reserva Natural Canal de Luis Peña (RNCLP) al oeste de la Isla Municipio de Culebra y en la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera (RNAC), al noreste de Fajardo; e 2) identificar los arrecifes de coral saludables y sensitivos, y los arrecifes de coral saludables y resilientes de ambas AMPs de enfoque basado en la información geoespacial disponible. Este trabajo fue financiado por el Programa de Conservación de Arrecifes de Coral de la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica (NOAA por sus siglas en inglés) y se realizó a partir de las publicaciones y geodatos espaciales existentes hasta enero 2017.

Agosto, 2017

Tabla de contenido

Objetivos del trabajo 6
Métodos y geoprocesamientos 6
Reclutamiento de coral en las AMPs 6
Definiciones y métricas de medición para los arrecifes de coral sensitivos y los arrecifes de coral resilientes 6
Arrecifes de coral saludables 7
Arrecifes saludables y sensitivos 8
Arrecifes de coral saludables y resilientes 8
Descripción de los geodatos y criterios utilizados para el análisis y generación de mapas 8
Geoprocesamiento utilizado para el análisis espacial 13
Resultados 14
Información recopilada sobre el reclutamiento de corales en las reservas naturales de enfoque 14
Reclutamiento de corales en la RNCLP 18
Reclutamiento de corales en la RNAC 20
Arrecifes de coral saludables en la Reserva Natural Canal Luis Peña 22
Arrecifes de coral saludables y sensitivos de la RNCLP 22
Arrecifes saludables y resilientes de la RNCLP 24
Arrecifes de coral saludables en la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera 25
Arrecifes saludables y sensitivos de la RNAC 26
Arrecifes saludables y resilientes de la RNAC 27
Discusión y conclusiones 29
Limitaciones del trabajo 33
Recomendaciones de manejo 34
Conservación y uso sustentable 34
Monitoreo 35
Intervención y rehabilitación 36
Referencias 37
Apéndice 42
Apéndice #1- Geoprocesamiento detallado 42
Apéndice #2: 'By-products', información o capas generadas como parte del geoprocesamiento realizado para el análisis 60

Delimitación legal de las áreas marinas protegidas de enfoque 60
Resumen de amenazas basadas en el conocimiento de expertos consultados por la NOAA para las AMPs de enfoque 61
Estadísticas generadas a partir de la selección de los polígonos identificados para las AMPs de enfoque: Índice de Impacto Cumulativo Humano 61
Resumen de hábitat béntico por AMP de enfoque 62
Comparación de hábitat béntico de la RNAC y la RNCLP 63
Comparación de porciento de hábitat béntico entre AMPs de enfoque 64
Arrecifes de coral saludables en la RNCLP 64
Arrecife de coral saludables en la RNAC 65
Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) del Este de Puerto Rico 66
Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) de las AMPs de enfoque 67
Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) del Este de Puerto Rico 68
Sitios de estudio de reclutamiento de coral en la RNCLP y la RNAC 69

Foto 1: Arrecife de coral saludable (pavimento colonizado por una alta cobertura de coral vivo y bajo relieve) del Arrecife El Banderote de la RNCLP

Reclutamiento de coral y cartografía de arrecifes de coral de interés en la Reserva Natural Canal Luis Peña (RNCLP) y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera (RNAC)

Objetivos

Recopilar y evaluar la información y literatura científica disponible sobre el reclutamiento de coral en la RNCLP y la RNAC.

Identificar los arrecifes de coral saludables y sensitivos de la RNCLP y la RNAC basado en la información y datos geoespaciales disponibles.

Identificar arrecifes de coral saludables y resilientes de la RNCLP y la RNAC basado en la información y datos geoespaciales disponibles.

El arrecife de coral es uno de los ecosistemas más productivos y diversos del planeta tierra (Connell, 1978). Este ecosistema cumple con una variedad de funciones ecológicas (ej. hábitat) y, a su vez, provee servicios y beneficios socioeconómicos que influyen en la calidad de vida de las comunidades costeras, especialmente en las islas caribeñas como Puerto Rico (Moberg and Folke, 1999; Estudios Técnicos, 2007; Shivlani, 2009). Las estructuras tri-dimensionales de carbonato de calcio construidas por los corales proveen hábitat para una alta biodiversidad de organismos marinos de gran importancia a nivel comercial para la industria pesquera y para la industria turística. Sin embargo, a través del tiempo se ha documentado una disminución regional en cobertura de coral vivo y una degradación de los servicios ecológicos que proveen los arrecifes de coral de la región caribeña (Jackson et al, 2014). Científicos a nivel local e internacional han atribuido estos cambios en cobertura de coral vivo a estresores locales crónicos (actividades humanas como por ejemplo descargas y fuentes de contaminación directa y dispersa de la costa, el desarrollo desmedido sin prácticas de control de erosión y sedimentación, la sobre pesca comercial y pesca ilegal de especies claves, entre otros) y a disturbios regionales agudos (ej. eventos de huracanes y blanqueamiento debido a cambios de temperatura oceánica) (Goenaga and Cintrón, 1979; Rogers, 1990; García-Sais, et al., 2008; Hernández-Delgado et al., 2017).

En las últimas décadas, el aumento poblacional a nivel mundial ha provocado un aumento sin precedentes en el consumo y aprovechamiento de los recursos naturales (Chapin, 2009). Como consecuencia, los ecosistemas cada vez se exponen a una mayor intensidad y frecuencia de estresores locales y regionales, provocando grandes cambios en funciones y propiedades fundamentales de los mismos (Chapin, 2009). Entre las consecuencias de estos cambios, se encuentra la degradación de hábitat y la extinción masiva de especies de organismos, incluyendo los que habitan en el océano. La continua

Beneficios y servicios ecológicos del arrecife dominado por corales:

1) Fuente de alimento
2) Amortiguación del oleaje provocado por fenómenos atmosféricos
3) Fuente de elementos para el desarrollo de medicinas (hábitat para una gran biodiversidad de organismos)
4) Atractivos turísticos y espacios para el desarrollo económico, y
5) Espacio altamente valorado para la educación, recreación y el fortalecimiento de la calidad de vida de muchos.

degradación de los ecosistemas marinos a consecuencia de las acciones humanas locales y eventos regionales hace cada vez más pertinente la adopción de estrategias de manejo adaptativo basado en ecosistema con la meta de asegurar el uso racional y sustentable de los recursos costeros y marinos (DRNA, 2014). La capacidad del ecosistema coralino para sostener el aprovechamiento humano está directamente influenciada por las decisiones de cada una de las naciones islas y por lo tanto requiere de políticas públicas enfocadas en dirigir un desarrollo socioeconómico sustentable a largo plazo en un sistema cambiante e incierto (Chapin, 2009). Sin embargo, para lograr tomar decisiones efectivas y eficientes con fines de conservar los arrecifes de coral y mantener y fortalecer su resiliencia en tiempos de inestabilidad económica, incertidumbre climática y cambios ambientales, hace falta conocer donde se encuentran los arrecifes de coral sensitivos y aquellos saludables dentro de las AMPs de enfoque, como también entender los procesos de retroalimentación ecológica que inducen y promueven el aumento de cobertura de coral en el arrecife para mantener sus servicios ecológicos a largo plazo, como lo es el reclutamiento de coral.

El reclutamiento de coral en los arrecifes ya sea a través de la reproducción sexual o asexual, es uno de los procesos ecológicos esenciales que determinan la resiliencia del ecosistema marino y construye, a largo plazo, la estructura calcárea tridimensional que mantiene y provee hábitat para una gran diversidad biológica (Birrell et al., 2005). Importante mencionar que el reclutamiento de coral es determinado no solo por la entrada y asentamiento de larvas al fondo marino, sino también por el crecimiento y supervivencia del coral luego de asentarse (Fabricius 2011). Por consiguiente, la capacidad de crecimiento y supervivencia de los reclutas es controlada, en gran parte, por las condiciones ambientales de la columna de agua, especialmente la intensidad de la luz y la composición espectral (Baird et al 2003, Fabricius 2011). Por tanto, l**os arrecifes de coral saludables y resilientes dependen de 1) densidades estables de corales vivos, 2) un continuo abastecimiento de la población de corales a través del transporte oceánico de larvas y la conectividad entre arrecifes de coral, y que 3) existan condiciones favorables para su asentamiento y**

crecimiento (Hughes et al 1999). En el caso de arrecifes aislados, estos dependen, en gran medida, del estado de la población local de corales y en su propio aporte de larvas (McClanahan et al., 2002).

Investigadores científicos internacionales han denominado los reclutas o juveniles de corales escleractínios como aquellos corales con talla menor de 5cm de diámetro, según la especie, que se predice que se han adherido al sustrato hace dos años o menos (Dueñas et al., 2010; Maynard et al 2017)). Estos corales se encuentran en una fase de vida altamente sensitiva y vulnerable, especialmente si las condiciones no son las óptimas para su crecimiento como, por ejemplo, cuando 1)existen altos niveles de contaminación, 2)competencia por espacio con otros organismos bénticos (la cobertura béntica de algas céspedes) y 3)cuando existe la interferencia de deposición de sedimentos y/o otros contaminantes que imposibilitan el desarrollo y crecimiento exitoso de las larvas de corales luego de asentarse (Birrell et al., 2005; McField and Kramer, 2007; Fabricius, 2011; Moeller et al., 2016). Además, el asentamiento de larvas y crecimiento de corales juveniles son altamente vulnerables a periodos prolongados de poca luz, especialmente aquellas especies de corales sensitivas de tejido fino y morfología plana que crecen lento y necesiten luz para crecer (Fabricius, 2011). Por consiguiente, es crucial tomar decisiones de manejo a nivel local que promuevan el reclutamiento de coral para facilitar los procesos naturales de recuperación de los arrecifes de coral.

La protección y conservación de la biodiversidad marina, como también la rehabilitación de sus hábitats, se ha identificado como una de las metas y objetivos de manejo claves para múltiples áreas marinas protegidas (AMPs) de Puerto Rico, entre las cuales se encuentra la Reserva Natural Canal Luis Peña (RNCLP) y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera (RNAC) (DRNA, 2014). Sin embargo, para lograr planificar intervenciones en los arrecifes de ambas AMPs

Mecanismos de retroalimentación ecológica que promueven el reclutamiento de coral (Mumby & Steneck, Z. Dubinski & Stambler, 2011):

1. Poca entrada de sedimentos al sistema arrecifal y/o **condiciones que disminuyan** la cantidad de luz que recibe el fondo, el flujo de nutrientes y la razón de crecimiento de corales
2. Poca bioerosión del arrecife (ej. ausencia de macrobioerosores como erizos (*Diadema antillarum*), esponjas encrustantes (*Cliona sp.*) y bivalvos (*Lithophaga spp.*)
3. Poca cobertura y/o colonización béntica (competencia) de macroalgas carnosas
4. Alta herbivoría (ej. Loros, médicos, erizos espina larga *D. antillarum*,etc)
5. Cobertura de algas crustosas calcáreas que facilitan o inducen el asentamiento de corales (ej. *Porolython pachydermun*)
6. Hábitats o viveros crípticos con alta complejidad estructural o rugosidad
7. Densidad estable y/o cobertura viva de corales para evitar efectos Allee y mantener abastecimiento de larvas y aumentar éxito de fertilización

hacia esta dirección de forma costo efectivas y eficientes, hace falta entender las tendencias de reclutamiento e identificar los arrecifes sensitivos de ambas AMPs. Por tanto, el Programa de Conservación y Manejo de Corales del DRNA ha liderado este esfuerzo para recopilar la información disponible sobre reclutamiento de coral en estas dos AMPs de interés y entender las tendencias y dinámicas poblacionales de los corales que protegen estas reservas naturales.

Objetivos del trabajo

1. Recopilar y resumir la literatura científica disponible sobre el reclutamiento de corales en la Reserva Natural Canal Luis Peña y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera.
2. Definir y cartografiar los arrecifes de coral saludables y sensitivos de la Reserva Natural Canal Luis Peña y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera utilizando la información geoespacial y base de datos disponibles.
3. Definir y cartografiar los arrecifes de coral saludables y resilientes de la Reserva Natural Canal Luis Peña y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera utilizando la información geoespacial y base de datos disponibles.

Métodos y geoprocesamientos

Reclutamiento de coral en las AMPs

Para lograr completar el objetivo 1 del trabajo, se realizó una búsqueda en *internet* y en las bases de datos públicas disponibles y se identificó la literatura científica existente hasta enero 2017 sobre reclutamiento de coral en la RNCLP y la RNAC. De la información existente, se identificaron los lugares donde se ha documentado la presencia de corales juveniles, las tendencias en densidades, y/o la composición de las especies de reclutas en las reservas naturales de enfoque. De haber coordenadas o referencia espacial en las fuentes de información recopiladas, se cartografiaron los puntos de monitoreo de reclutamiento de ambas AMPs. Además, se resumió la información disponible en una tabla y se realizó una síntesis de los resultados obtenidos sobre el reclutamiento de coral en la Reserva Natural Canal Luis Peña y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera.

Definiciones y métricas de medición para los arrecifes de coral sensitivos y los arrecifes de coral resilientes

Para lograr completar los objetivos 2 y 3 del trabajo, se utilizó la base de datos geoespacial de la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA por sus siglas en inglés) levantado para el Gran Corredor Marino del Noreste de Puerto Rico. Para generar los mapas, primero se definieron los conceptos de 'arrecife de coral saludable', 'arrecife de coral sensitivo' y 'arrecife de coral resiliente' respaldada con la información científica y geodatos espaciales disponibles, y luego se validaron las definiciones en conjunto al oficial de manejo del DRNA de ambas AMPs. Tras validar las definiciones, se utilizó la información

espacial disponible para lograr cartografiar los arrecifes de coral sensitivos y los arrecifes de coral resilientes.

Arrecifes de coral saludables

Para fines de este trabajo y debido a los geodatos disponibles para hacer el análisis exploratorio espacial, se definió un arrecife de coral saludable como aquel arrecife de coral **caracterizado por una alta complejidad estructural (rugosidad o relieve) y/o una alta cobertura de coral vivo.**

Se entiende que los arrecifes de coral saludables son ecosistemas coralinos no degradados con una cobertura béntica dominada por corales vivos y/o con los mecanismos de retroalimentación y procesos ecológicos necesarios para mantener su función y flujo de servicios ecológicos y socioeconómicos ~~básicos~~ como lo es la tridimensionalidad estructural del arrecife (Pitman, et al., 2010, Mumby & Steneck, Z. Dubinski & Stambler, 2011). **Un arrecife saludable es el estado de dominancia del sustrato o arrecife deseado y promueve la conservación de la biodiversidad de las AMPs. Según la información científica disponible (Hernández-Delgado, 2000, McClanahan 2012, Graham 2015, Heron et al 2016, y Maynard et al. 2017), los mismos son caracterizados por un(a):**

1. **Alta cobertura de coral vivo**
2. **Alto relieve o complejidad estructural; alta tridimensionalidad del sustrato**
3. Alto reclutamiento de corales (número de reclutas por metro cuadrado), especialmente de especies masivas constructoras de arrecife
4. Alta diversidad (índice) y abundancia de corales, especialmente especies resistentes (por ciento de comunidad de corales)
5. Alta abundancia y biomasa de organismos claves para el ecosistema como, por ejemplo, herbívoros como el erizo espina larga y las algas calcáreas beneficiosas que inducen el reclutamiento de coral.
6. Baja cobertura de macroalgas
7. Alta biomasa de peces, especialmente herbívoros
8. Corrientes y oleaje que diluye nutrientes, sedimentos y promueve la oxigenación del ecosistema
9. Bajo por ciento de colonias afectadas por enfermedades o baja prevalencia de enfermedades de corales
10. Zonas con alta variabilidad de temperaturas durante las temporadas calientes.
11. Arrecifes con baja densidades de coralívoros y sinergia de estresores ecológicos
12. **Baja exposición a estresores o amenazas (poca cantidad del estresores y tiempo expuesto al mismo) como por ejemplo la eutrofización o aumento de nutrientes (contaminación), la sedimentación, impactos humanos físicos y presión de pesca comercial no sostenible**

Entre los geodatos disponibles para las AMPs de enfoque, la NOAA levantó una información de alta resolución en el 2015 donde identifican arrecifes de coral con alta cobertura de coral o dominancia de coral y arrecifes con alta complejidad estructural. Estas

son dos de las características principales que la comunidad científica reconoce para un arrecife de coral saludable. Estudios ecológicos de paisajes submarinos relacionan la alta complejidad estructural o topográfica con el reclutamiento y distribución de peces (Pitman, et al., 2010). Un aumento de diversidad de peces, especialmente herbívoros, facilita el pastoreo de macroalgas en el arrecife, que a su vez, deja el sustrato limpio promoviendo el reclutamiento de coral y manteniendo la cobertura de coral viva.

Arrecifes saludables y sensitivos

Para fines de este trabajo y debido a los geodatos disponibles, se definió un arrecife de coral sensitivo y saludable como aquel arrecife **caracterizado por una alta complejidad estructural (rugosidad o relieve) y/o una alta cobertura de coral vivo expuesto a amenazas de estresores locales. Aquellos arrecifes saludables con una alta amenaza relativa de estresores locales se consideran arrecifes altamente sensitivos.**

Los arrecifes de coral saludables y sensitivos son ecosistemas coralinos con características de un arrecife saludable, pero a su vez, con características que lo hacen más vulnerables a estresores externos (ej. una baja diversidad de corales resistentes) y, a su vez, se encuentran expuestos a impactos de amenazas y estresores locales haciéndolos más susceptibles a cambios ecológicos regionales que empujan el ecosistema hacia un proceso de transición a un estado alterno estable que no es dominado por corales pétreos constructores de arrecifes.

Arrecifes de coral saludables y resilientes

Para fines de este estudio y debido a los geodatos disponibles, se definió un arrecife de coral saludable y resiliente como aquel arrecife caracterizado por una **alta cobertura de coral vivo y/o con una alta complejidad estructural (relieve o rugosidad) expuesto a una baja amenaza relativa de estresores locales.**

Los arrecifes de coral resilientes y saludables se identifican como ecosistemas coralinos no degradados con características que promueven la capacidad del mismo a resistir impactos y recuperarse de disturbios; mientras mantienen sus servicios socioeconómicos y bienes ecosistémicos ante la exposición de estresores ambientales crónicos y/o agudos (Mumby et al 2007, Maynard et al 2017). Por consiguiente, estos arrecifes de coral son más resistentes a cambios ambientales, o sea, difícilmente cambian de fase a causa de un estresor crónico o respuesta a un disturbio regional (Fabricius, 2011). Estos arrecifes tienen mayor probabilidad de mantener sus funciones claves y sostener el flujo de servicios y bienes cuando son expuestos a estresores locales y disturbios regionales (Maynard, 2017). Además. se consideran arrecifes resilientes, aquellos ecosistemas que están menos expuestos a estresores antrópicos, ya que estos reducen la capacidad del mismo a recuperarse hacia un estado dominado por corales (Maynard, 2017).

Descripción de los geodatos y criterios utilizados para el análisis y generación de mapas

Para cartografiar los arrecifes de coral sensitivos como también los arrecifes saludables y resilientes, se utilizó la capa de *amenazas humanas* representados a través del '*índice de impacto humano cumulativo* para el este de Puerto Rico' y la capa de *conocimiento de expertos* de las *amenazas cumulativas* de la base de datos geoespaciales *Puerto Rico*

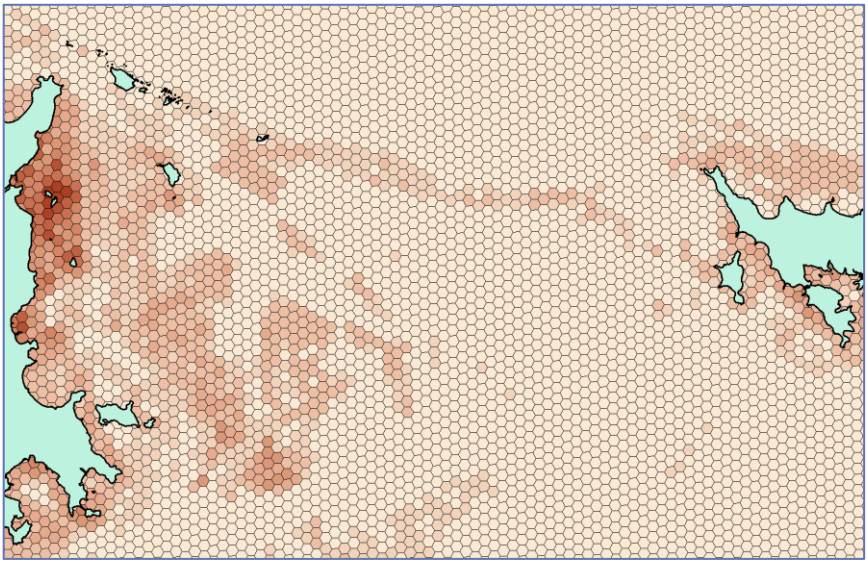
Northeast Marine Corridor Biomapper producidas y generadas por el Programa de Conservación de Corales de la NOAA entre el 2014 y el 2017.

Descripción de geodatos específicos:

Capa de índice de impacto humano cumulativo (IIHC): La capa de información contiene un total de 20,402 polígonos en forma de hexágonos de 200,000m² o 20 hectáreas. Cada hexágono contiene un valor promedio del índice, que varía desde 0 a 10.45 (para las AMPs de enfoque varió entre 0-3). El índice fue generado por la Rama Biogeográfica de la NOAA, a partir de los atributos de impacto humano identificados y evaluados en el esfuerzo para facilitar el manejo del Gran Corredor Marino del Noreste. Se identificaron ocho impactos humanos directos a recursos ecológicamente importantes:

1. Actividad de embarcaciones
2. Infraestructura costera
3. Contaminación lumínica
4. Blanqueamiento de coral
5. Contaminación marina
6. Contaminación por la agricultura
7. Contaminación urbana
8. Contaminación costera

Estos impactos directos fueron cartografiados, y luego, fueron combinados para generar un estimado comparable de impacto humano cumulativo a partir de los mismos. El índice fue definido por el número de atributos ecológicos solapando y las clases fueron sub-divididas produciendo un rojo más oscuro en aquellas zonas con un alto índice. Los índices son valores de media registrados en un análisis de unidad hexagonal y fueron divididos en 5 clases. Se utilizó un método cuantitativo estandarizado que se desarrolló a partir de un trabajo realizado por Halpern et al (2008), Selkoe et al. (2009) y "Reefs at Risk Revisited" (2011) para cartografiar impactos humanos.



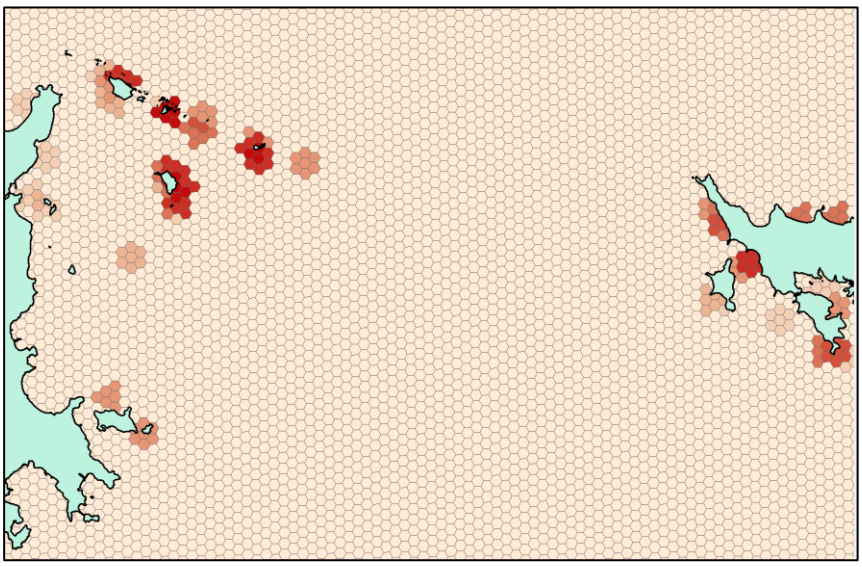
Criterios de la capa utilizados para identificar:

Arrecifes de coral sensitivos: se seleccionó aquellos polígonos con media del índice mayor de 1.5 debido a que es mayor de la mitad del rango de valores identificados para las AMPs de interés (0-3).

Arrecifes de coral resilientes: se seleccionó aquellos polígonos con media del índice mayor de 0.75 o menor o igual que 1.5 ya que es menor de la mitad del rango de valores identificados en total para las AMPs de interés (0-3) y a su vez no son valores menores de la mitad de la mitad; es decir, se consideran polígonos con baja exposición relativa de impacto humano cumulativo basado en la capa geoespacial.

Capa de conocimiento de expertos de las amenazas cumulativas (AC): La capa de información fue generada por el Centro Nacional para la Ciencia de Océano Costero (NCCOS, por sus siglas en inglés) de la NOAA luego de un ejercicio de cartografía participativa con ocho expertos locales de vasta experiencia (de 5 a 40 años de experiencia), y diversas áreas de *expertise*, mayormente del DRNA, sobre las amenazas que enfrentan los ecosistemas costeros del este de Puerto Rico. La capa contiene un total de 20,402 polígonos en forma de hexágonos de 200,000m^2 o 20 hectáreas. Cada hexágono expresa ausencia y presencia basado en el conocimiento local de expertos por amenaza como también puede representar el valor acumulativo de todas las amenazas cartografiadas a través del ejercicio. Los expertos identificaron sitios de prioridad para la conservación y acciones de manejo, e indicaron las amenazas potenciales para las áreas basado en sus experiencias y observaciones en la zona. Las siguientes categorías de amenazas fueron identificadas:

1. **Anclaje:** presencia y ausencia por hexágono
2. **Desarrollo:** presencia y ausencia por hexágono
3. **Pesca:** presencia y ausencia por hexágono
4. **Encallamiento de embarcaciones:** presencia y ausencia por hexágono
5. **Uso Humano:** presencia y ausencia por hexágono
6. **Especies invasoras**: presencia y ausencia por hexágono
7. **Estrés termal:** presencia y ausencia por hexágono
8. **Baja calidad de agua**: presencia y ausencia por hexágono
9. **Suma de todas las amenazas identificadas por hexágono**; categoría en donde se añadieron todas las participaciones e indica si al menos un experto indico la presencia de una amenaza; no indica que más de un experto indico la presencia de la amenaza en el espacio.



Criterios de la capa utilizados para identificar:

Arrecifes de coral sensitivos: se seleccionó aquellos polígonos con una suma de amenazas de al menos 1 debido a que todo aquel arrecife expuesto a al menos un estresor antrópico se considera sensitivo bajo la definición acogida en este trabajo. Además, se seleccionó aquellos polígonos con más de 3 amenazas para contar con un análisis adicional sobre aquellos arrecifes de coral con alta exposición de estresores antrópicos basado en el conocimiento de los expertos consultados por la NOAA.

Arrecifes de coral resilientes: se seleccionó aquellos polígonos con una suma de amenazas de 1 a 3 amenazas debido a que todo aquel arrecife expuesto a este nivel de estresores antrópicos se consideras arrecifes con baja suma de amenazas según la capa de información (valores de 7), y, por consiguiente, se considera como una relativa baja exposición acumulativa de amenazas bajo la definición acogida en este trabajo.

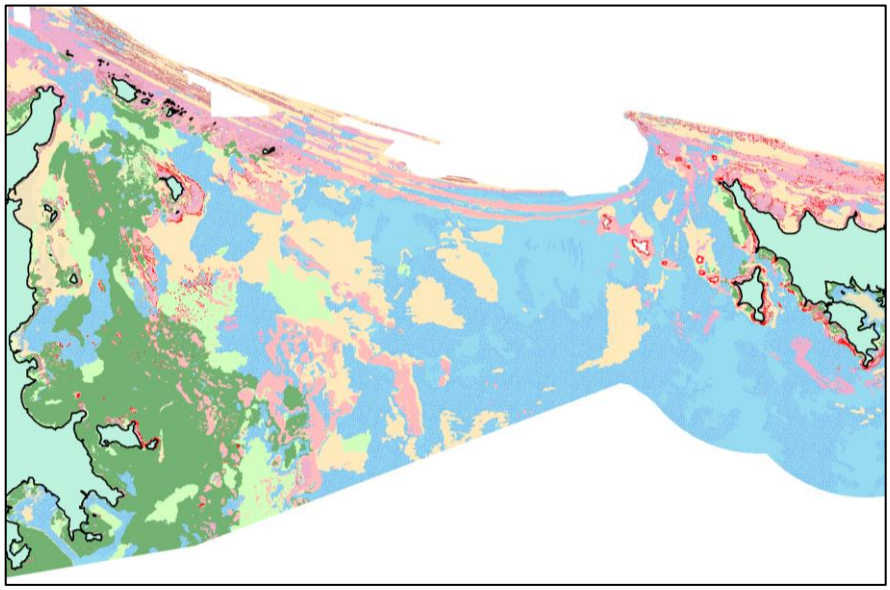
Capa de hábitat béntico del Gran Corredor Marino del Noreste de Puerto Rico (HB): La capa de información fue generada por la NOAA en el 2015 y contiene polígonos que representan los hábitats bénticos del noreste de Puerto Rico basado en un análisis geoespacial realizado a una escala de 100m^2. El campo de valores utilizados de la tabla de atributos de la capa de información fue el de 'hábitat", el cual contiene los siguientes valores:

1. **Algas continuas**
2. **Algas de parcho**
3. **Artificial**
4. **Arrecifes de coral (alto relieve y alto coral)**
5. **Arrecifes de coral (alto relieve, bajo coral)**
6. **Arrecifes de coral (bajo relieve y alto coral)**
7. **Arrecifes de coral (bajo relieve y bajo coral)**
8. **Tierra**
9. **Mangle continuo**
10. **Mangle de parche**
11. **Arena**
12. **Hierbas marinas continuas**
13. **Hierbas marinas de parcho**
14. **Desconocido**

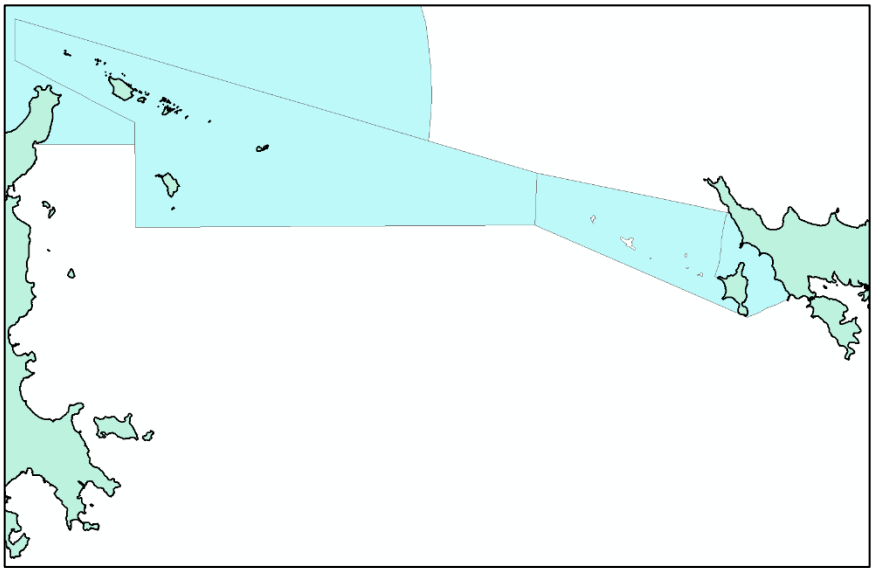
Criterios de la capa utilizados para identificar arrecifes de coral saludables:

Se seleccionó aquellos polígonos de arrecifes de coral con al menos un alto relieve y/o una alta cobertura de coral vivo debido a que cumple con la definición acogida en este trabajo para un arrecife de coral saludable; y es la información más actualizada y completa disponible hasta el momento para poder hacer dicha aseveración.

- **Arrecifes de coral con alto relieve y alto coral**= cobertura de coral de mayor de 10% con una complejidad topográfica moderada a bien alta.
- **Arrecifes de coral con bajo relieve y alto coral**= cobertura de coral de mayor de 10% con una complejidad topográfica baja
- **Arrecifes de coral con alto relieve y bajo coral=** cobertura de coral menor de 10% con una complejidad topográfica moderada a bien alta.



Capa de límites legales de las reservas naturales del noreste de Puerto Rico: La capa de información fue generada por el DRNA y contiene cinco polígonos que representan las reservas naturales del noreste de Puerto Rico.



**Todas las capas de información se mantuvieron con el sistema de coordenadas geográficas y proyectadas que ya tenían en la 'geodatabase' de la NOAA:

Projected Coordinate System: NAD_1983_UTM_Zone_20N
Projection: Transverse_Mercator
False_Easting: 500000.00000000
False_Northing: 0.00000000
Central_Meridian: -63.00000000

Scale_Factor: 0.99960000
Latitude_Of_Origin: 0.00000000
Linear Unit: Meter

Geographic Coordinate System: GCS_North_American_1983
Datum: D_North_American_1983
Prime Meridian: Greenwich
Angular Unit: Degree

Geoprocesamiento utilizado para el análisis espacial

Para generar la capa de **arrecifes saludables y sensitivos**, se realizó el siguiente geoprocesamiento:

1. Generación de la capa 'AMPs de enfoque'
2. Generación de las capas de interés (amenazas cumulativas (AC), índice de impacto humano cumulativo (IIHC), hábitat béntico (HB)) que contienen los límites legales de las dos AMPs de interés (RNAC y RNCLP)
3. Generación de las capas de amenazas e impacto humano cumulativo con criterios seleccionados para cumplir con los objetivos de este trabajo (hábitat sensitivo).
4. Generación de la capa con hábitat bénticos bajo alguna amenaza o impacto humano en las AMPs'
5. Generación de la capa con arrecifes de coral saludables y sensitivos de las AMPs basado en los criterios seleccionados.
6. Generación de las "capas de arrecifes de coral sensitivos de las AMPs de enfoque".

Para generar la capa de **arrecifes saludables y resilientes**, se realizó el siguiente geoprocesamiento (mismos pasos del geoprocesamiento anterior desde el 1-2):

1. Generación de la capa de 'AMPs de enfoque'
2. Generación de las capas de interés (IIHC, AC y HB) que contiene los límites legales de las dos AMPs de enfoque
3. Generación de las capas de amenazas e impacto humano cumulativo con criterios seleccionados para arrecifes de coral saludables y resilientes.
4. Generación de la 'capa con hábitat bénticos bajo poca amenaza o impacto humano relativo en las AMPs':
5. Generación de la capa con arrecifes de coral saludables y resilientes de las AMPs basado en los criterios seleccionados.
6. Generación de las "capas de arrecifes de coral resilientes y saludables de las AMPs de enfoque".

*Ver Apéndice #1 para el geoprocesamiento detallado y resumen de las capas generadas por paso.

**Ver Apéndice #2 para ver los '*by-products*' o sub-resultados generados del geoprocesamiento realizado para este trabajo.

Resultados

Información recopilada sobre el reclutamiento de corales en las reservas naturales de enfoque

Tras la revisión de literatura disponible sobre reclutamiento de coral en los arrecifes de las AMPs de interés, se validó que existe información limitada sobre el tema y la necesidad de dirigir esfuerzos de monitoreo específicamente enfocado para caracterizar y entender, de forma más precisa y robusta, los patrones de reclutamiento de coral. En general, **se** recopiló un total de 5 fuentes de información que describen, mayormente de forma cualitativa (basado en observaciones de campo), el reclutamiento de coral en las AMPs de enfoque: una (1) para RNAC y cuatro (4) para RNCLP. Del total de publicaciones, se encontraron dos publicaciones científicas revisadas por pares, dos reportes sometidos al gobierno de Puerto Rico, y una tesis de maestría. Ver tabla #1 que resume la información disponible para ambas AMPs.

Título de referencia	**Autor(es)**	**Año y reserva natural**	**Tipo de referencia**
[1]*Suplemento Técnico para el Plan de Manejo de la Reserva Natural La Cordillera, Fajardo Apéndice 4. Informe de observaciones de campo sobre corales y organismos asociados. En: "Suplemento Técnico para el Plan de Manejo de la Reserva Natural La Cordillera, Fajardo".*	Goenaga, C. Mestey, V. Vicente, V. Berrios, J. Caballero, J. Dávila, O. Delgado, D. Diaz, I. Rivera, M. Quevedo, V.	1990: RNAC	Reporte técnico
[2]*Suplemento Técnico al Plan de Manejo para la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, Puerto Rico. I. Caracterización de habitáculos.*	Hernández-Delgado, E.A.	2003: RNCLP	Reporte técnico
[3]*Long-term ecological changes of coral reefs in the Luis Peña Channel No-Take Natural Reserve, Culebra, PR.*	Hernández-Delgado, E.A. Sabat, A.M.	2003: RNCLP	Reporte técnico
[4]*Bomb-cratered coral reefs in Puerto Rico, the untold story about a novel habitat: from reef destruction to*	Hernández-Delgado, E.A. Montañez-Acuña, A. Otaño-Cruz, A. Suleimán-Ramos, S.	2014: RNCLP	Artículo científico arbitrado

community-based ecological rehabilitation.			
[5]*Coastal Ecosystem Connectivity: Watershed Management, Sedimentation, and the Response of Coral Reefs.*	Otaño-Cruz, A.	2017: RNCLP	Tesis

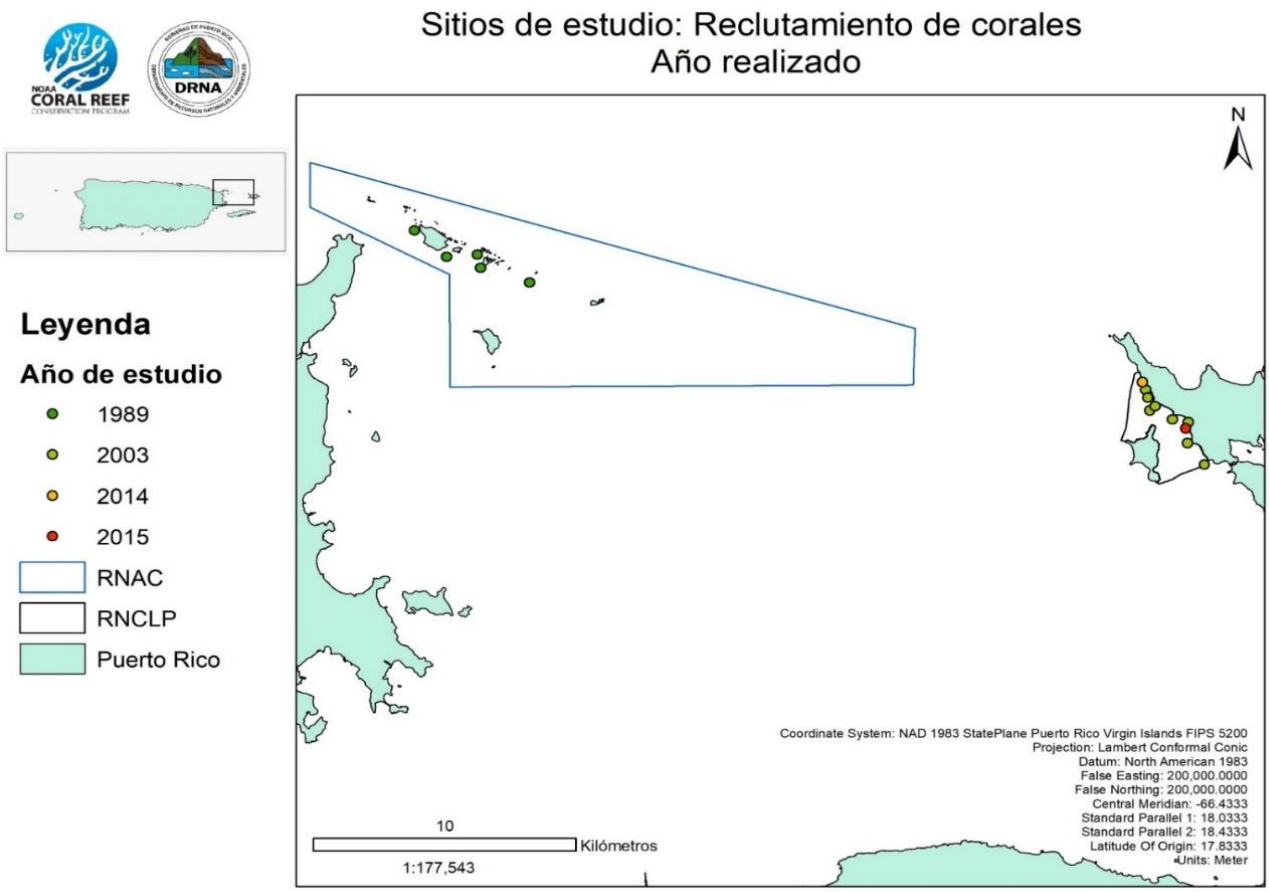
Tabla 1: Referencias encontradas sobre el reclutamiento de coral en las AMPs de enfoque

Área marina protegida de enfoque	**Lugar de estudio, zona geográfica**	**Especies de recluta/ juvenil identificados**	**Descripción/ densidad de reclutamiento de coral (ind/m2) por sitio**	**Referencia**
RNAC	'Suroeste' del Cayo Icacos (0-16 pies), Sur de Cayo Icacos		"Alejado de la cresta (3m profundidad), hay colonias de escleractinios generalmente menores de 30 cm…"	Goenaga et al., 1990 Suplemento Técnico para el Plan de Manejo de la Reserva Natural La Cordillera, Fajardo
	Suroeste de Cayo Lobos , Sur de Cayo Lobos	*Pseudodiploria strigosa, Orbicella annularis, Diploria labyrinthiformis, Porites astreoides, Montastrea cavernosa, Siderastrea siderea.*	"Colonias pequeñas de escleractínios"	
	Audrey Rock, Sur de Cayo Lobos	*Diploria strigosa, Porites astreoides, Agariacia agaricites* (incrustante), *Favia fragum* (incrustante), *Acropora palmata*	"Colonias menores de 4 cm diámetro" "… mayor cobertura de coral en zona llana con menos sedimento; sustrato generalmente plano con poco relieve"	
	Rompeolas, Norte de Cayo Lobos	*Agaricia agaricites* y *Pseudodiploria strigosa, Porites astreoides y Millepora complanata*	"…colonias menores de 5cm diámetro"	
	La Blanquilla		"Colonias pequeñas y aisladas de escleractineos"	
	Punta Tamarindo	*Orbicella annularis*, *Montastraea cavernosa*, *Diploria spp.* y	"…Alta abundancia de colonias juveniles", "..se	

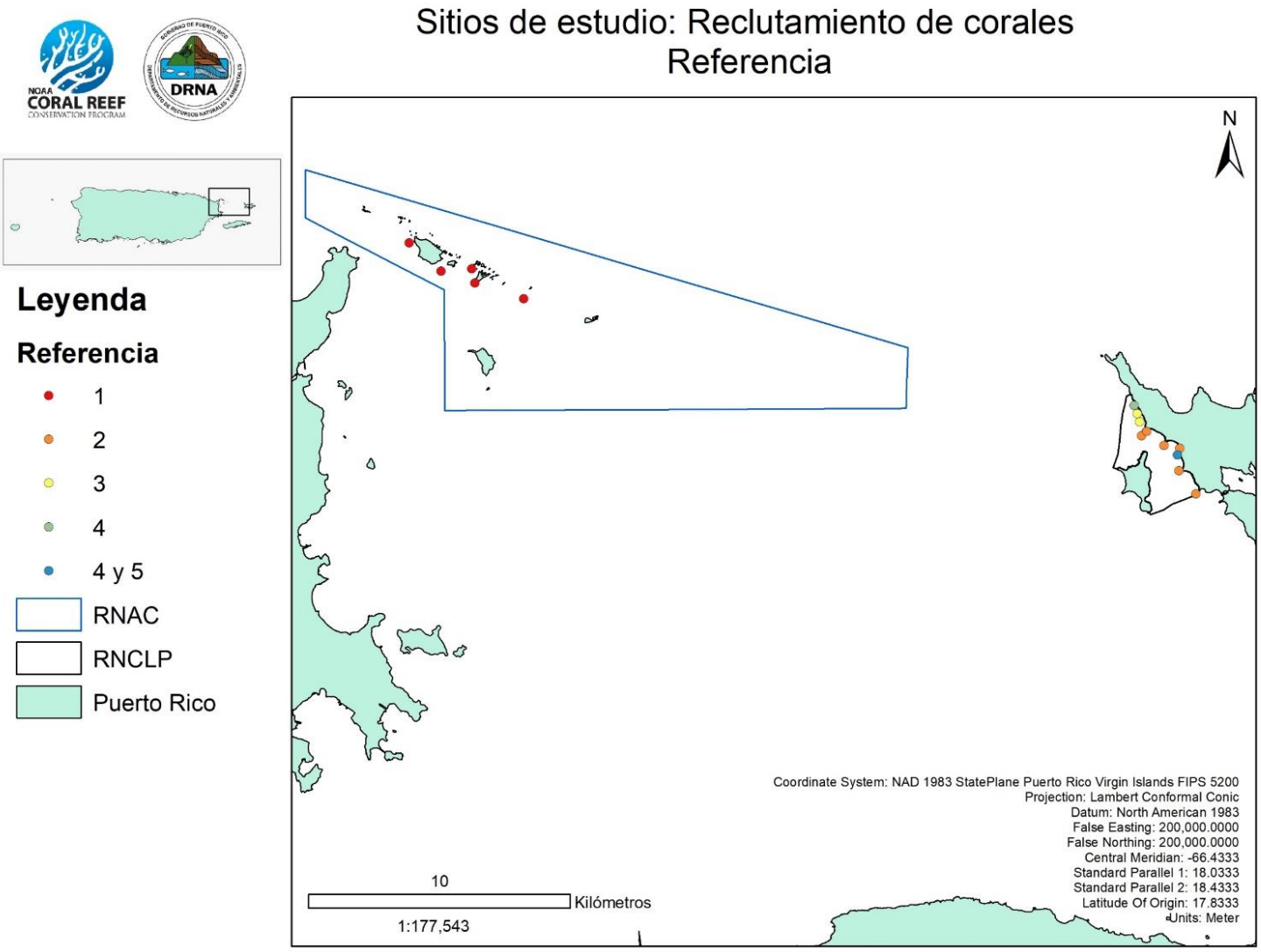
RNCLP	Grande, Bahía Tamarindo	*Meandrina meandrites*, entre otras.	caracteriza por la abundancia de reclutas de diversas especies de peces y corales."	Hernández-Delgado, 2003 Suplemento Técnico al Plan de Manejo para la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, Puerto Rico. I.
	Punta Rompeanzuelos	*Pseudodiploria strigosa* y *Pseudodiploria clivosa, Porites astreoides, P. porites, Siderastrea radians y Favia fragum*	"…sostiene una abundancia muy alta de reclutas de peces y de colonias juveniles de corales de diversas especies."	
	Bahía Tamarindo Sur		"…sostiene un reclutamiento significativo de corales"	
	Punta Tamarindo Chico	*Orbicella annularis*, *Montastraea cavernosa*, *Diploria spp.* y *Meandrina meandrites*, entre otras.	"Esta localidad se caracteriza por la abundancia de reclutas de diversas especies de peces y corales"	
	Punta Melones	*Orbicella annularis*, *Montastraea cavernosa*, *Diploria spp.* y *Meandrina meandrites*, entre otras.	"Punta Melones sostiene densidades altas de reclutas de corales de diversas especies"	
	Carlos Rosario and Punta Flamenco Norte		"…there was a slight increase in the mean coral species richness between years 2002 and 2003 as a resulto f coral recruitment processes." "…decline trend in colony abundance slowed down to only 4% between years 2002 and 2003…resulto f a buffering effect of a combined increase in physiological fragmentation in some colonies of O. annularis species complex and an increase in the abundance of coral recruit".	Hernández-Delgado y Sabat, 2003
	Punta Flamenco Norte (norte de Carlos Rosario; zona	*Siderastrea radians y Porites astreoides*	Menos de 0.1 reclutas por m^2	Hernández-Delgado et al., 2014

	de impacto o ímpact beach')			
	Bahía Tamarindo Arrecife el Banderote	*Favia fragum, Siderastrea radians, Millepora spp, y Porites astreoides*	1.7 reclutas por m^2	
		Agaricia agaricites, Diploria labyrinthiformis, Pseudodiploria strigosa, Favia fragum, Montastraea cavernosa, Porites astreoides, Porites porites, Siderastrea radians, Siderastrea siderea.	"…densidad promedio total de reclutas de 1.96±0.46 ind/m^2" La densidad promedio aumento de 0.88ind/m^{-2} en primavera 2014 a 2.96ind/m^{-2} en invierno 2014-2015.	Otaño-Cruz, 2017
			…"se caracteriza por la abundancia de reclutas de diversas especies de peces y corales	Hernández-Delgado, 2003

Tabla 2: Información sobre reclutamiento de coral de las referencias encontradas para las AMPs de enfoque



Mapa 2: Sitios de estudio con información de reclutamiento de coral en las AMPs de enfoque con respectivos años de estudio.



Mapa 2: Sitios de estudio con información de reclutamiento de coral en las AMPs de enfoque con respectivas referencias (ver Tabla 1 arriba)

Reclutamiento de corales en la RNCLP

Se identificaron cuatro publicaciones disponibles que describen el reclutamiento de corales de 10 arrecifes en nueve de las 21 zonas geográficas (47%) de la Reserva Natural Canal Luis Peña. Se recopilaron las siguientes fuentes no revisadas por pares: un suplemento técnico de caracterización béntica sometido al DRNA por el Dr. Hernández Delgado en el 2003, un reporte técnico sobre los cambios ecológicos a largo plazo de los arrecifes de la RNAC sometido al Programa de Sea Grant Mayagüez de la UPRM por el Grupo de Arrecifes de Coral del Departamento de Biología de la UPRRP en el 2003 y una tesis de maestría de la UPRRP sobre el efecto de la distribución y entrada de sedimento en los arrecifes de coral de Tamarindo del 2014 y 2015. La única publicación científica revisada por pares encontrada que describe el reclutamiento de coral en la RNCLP fue trabajada por

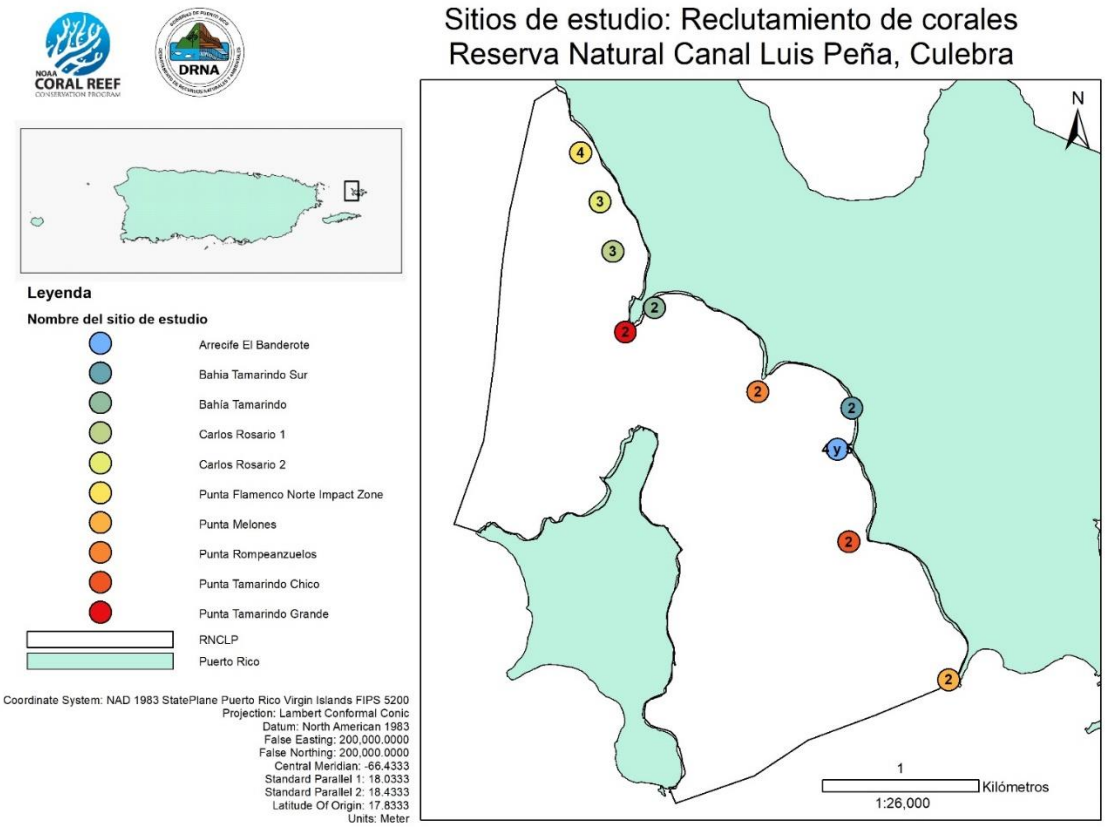
el Grupo de Arrecifes de Coral del Centro para la Ecología Tropical Aplicada y Conservación (CATEC por sus siglas en inglés) liderada por el Dr. Hernández Delgado en el 2014 a cerca los impactos de las prácticas militares en los arrecifes de la RNCLP. Los datos para los reportes técnicos fueron recopilados a través de diversas metodologías cualitativas y cuantitativas; mientras para la tesis de maestría y la publicación revisada por pares, se recopilaron los datos de reclutamiento a través de fototransectos. Los mismos exponen que existen al menos nueve zonas geográficas de la reserva natural que cuentan con al menos una evaluación de reclutamiento de coral y abundancia de juveniles de especies de corales esceleractinios: Punta Tamarindo Chico, Punta Tamarindo Grande, Bahía Tamarindo Norte, Bahía Tamarindo (Banderote), Punta Melones, Punta Rompeanzuelos, Bahía Tamarindo Sur, Carlos Rosario). Ver mapa #

El suplemento técnico de caracterización béntica[2] sometido al DRNA en el 2003 expone que en Punta Tamarindo Grande, Bahía Tamarindo, Punta Rompeanzuelos, Bahía Tamarindo Sur, Punta Tamarindo Chico y Punta Melones albergan arrecifes que tienen 'alta abundancia de colonias juveniles', especialmente coral de estrella rocoso *(Orbicella annularis),* coral gran estrella (*Montastrea cavernosa*), coral cerebros (*Pseudodiploria spp*) y coral de láminas (*Meandrina meandrites)*. En el caso de Punta Rompeanzuelos, indican una alta abundancia de juveniles en la zona llana del coral cerebro (*Pseudodiploria strigosa* y *Pseudodiploria clivosa),* coral mostaza *(Porites astreoides),* coral de dedos *(P. porites),* y el coral estrella de agua llana *(Siderastrea radians) y* coral pelota de 'golf' *(Favia fragum*).

El reporte sometido técnico [3] sometido al Programa Sea Grant en el 2003 sugiere un ligero aumento en la abundancia y riqueza promedio de especies de coral del 2002 al 2003 como resultado de procesos de reclutamiento de coral en Carlos Rosario. Por otro lado, la publicación científica revisada por pares[4] en el 2014, sugiere una diferencia significativa entre el reclutamiento de coral en zonas impactadas por prácticas militares históricas vs zonas no impactadas en la RNCLP. Hernández et al demostró una diferencia significativo de densidad de reclutamiento de coral en zona control (Arrecife El Banderote, Bahía Tamarindo), con un promedio de 51 colonias por 30m^2 o 1.7 reclutas por m^2 comparado con zonas bombardeadas en la zona de la Península de Flamenco al norte de Carlos Rosario, con un promedio de menos de 3 colonias por 30m^2 o menos de 0.1 reclutas por m^2. El reclutamiento en el Arrecife El Banderote se compone mayormente de coral pelota de 'golf' *(Favia fragum)*, el coral estrella de agua llana *(Siderastrea radians)* , coral de fuego *(Millepora spp.)* y coral mostaza *(Porites astreoides*), mientras las zonas impactadas por prácticas militares fueron caracterizadas por colonias de estrella de agua llana *(Siderastrea radians)* y coral mostaza *(Porites astreoides*), especialmente las zonas evaluadas menos llanas.

Por último, la tesis de maestría[5] de la Sra. Otaño de la UPRR identificó 9 especies de corales reclutando en el 'Arrecife El Banderote' (*Agaricia agaricites, Diploria labyrinthiformis, Pseudodiploria strigosa, Favia fragum, Montastraea cavernosa, Porites astreoides, Porites porites, Siderastrea radians, Siderastrea sidérea).* Sin embargo, no documentó reclutas de especies de coral constructoras de la estructura coralina. Las especies de reclutas con mayor densidad relativa promedio (%) documentadas fueron *Siderastrea radias* (45.45%), *Porites astreoides* (22.10%) *y Siderastrea siderea* (19.35). La densidad promedio total de reclutas calculada fue de 1.96 individuos por m^2. Las densidades

encontradas entre los años de estudio (2014-2015) vario de 0.88 a 2.96 individuos por m². La densidad de reclutas documentada fue mayor en zonas llanas (3-6m) del arrecife de coral lejos de la costa (>60m), área menos impactado por la sedimentación.

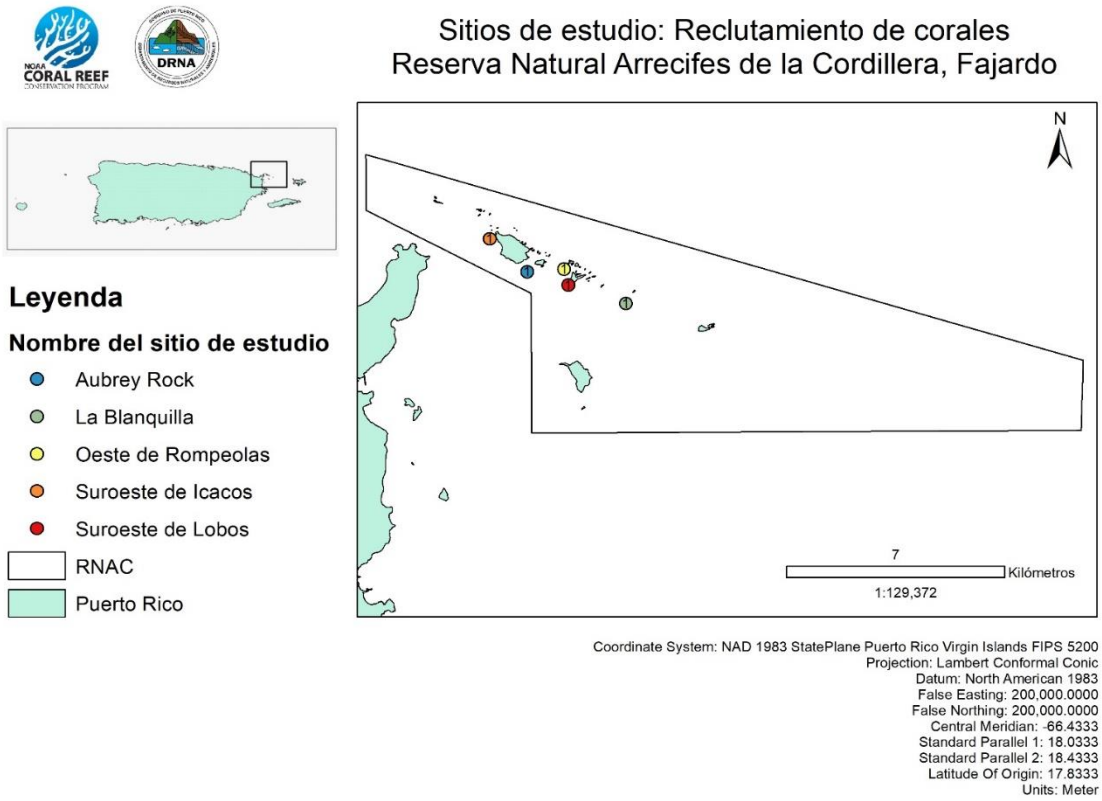


Mapa 3: Nombre de los sitios de estudio con información de reclutamiento de coral en la RNCLP con respectivas referencias (Ver tabla #1 para verificar referencias) .

Reclutamiento de corales en la RNAC

Existe información limitada disponible sobre el reclutamiento de coral en la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera. Se identificó solamente una fuente de información que describe, de forma cualitativa, el reclutamiento de corales de cinco arrecifes de la AMP para junio del 1990. El trabajo es un suplemento técnico realizado por científicos del Centro de Estudios Energéticos, el Colegio Universitario de Cayey, la Agencia Federal Servicio de Pesca y Vida Silvestre, el DRNA y la Universidad de Puerto Rico sometido al Programa de Manejo de Zona Costanera del DRNA para informar el desarrollo del Plan de Manejo de la RNAC. En el mismo se caracteriza y recoge la información disponible sobre los recursos naturales (el hábitat, suelos, geología, clima, vegetación, flora, fauna, comunidades naturales) de la RNAC como también se identifican necesidades de investigación para la protección de los mismos. La información relacionada al reclutamiento de coral presentada en el reporte técnico fue recopilada a través de transectos cualitativos perpendiculares a la costa de 35m de largo con observaciones cada 5 metros en cuatro estaciones de monitoreo.

El estudio expone que para el 1990, se observaron juveniles y colonias pequeñas de especies escleractinias, incluyendo especies claves constructores de arrecife (ej. *Orbicella annularis* y *Acropora palmata*) en cinco de las 8 estaciones visitadas en la RNAC. Al noroeste de Cayo Icacos en el arrecife cercano a las boyas de amarre instaladas por el DRNA se observaron colonias de escleractinios menores de 30 cm sin especificar las especies de las mismas, mientras al suroeste de Cayo Lobos el equipo de trabajo identificó colonias pequeñas de corales cerebro *(Pseudodiploria strigosa, Diploria labyrinthiformis,)*, corales mostaza *(Porites astreoides*), coral de estrella rocoso *(Orbicella annularis),* coral gran estrella (*Montastrea cavernosa) y* coral estrella masiva *(Siderastrea sidérea)*. En la etación de Audrey Rock al sureste de Cayo Icacos observaron colonias menores de 4 cm diámetro de coral cerebro (*Pseudodiploria strigosa),* coral mostaza *(Porites astreoides),* coral cuerno de alce *(Acropora palmata), Agaricia agaricites* (incrustante), *Favia fragum* (incrustante) en una zona llana con un sustrato generalmente plano con poco relieve. En Cayo Lobos, observaron colonias menos de 5cm de diámetro de coral cerebro *(Pseudodiploria strigosa)*, coral mostaza (*Porites astreoides),* coral de fuego (*Millepora complanata)* y *Agaricia agaricites*. Por último, el equipo de trabajo realizó un recorrido bordeando el Cayo Blanquilla y observaron 'colonias menores de 5cm de diámetro' sin identificar específicamente las especies; aunque indican que el sustrato era plano con alta abundancia de octocorales reduciendo con profundidad.

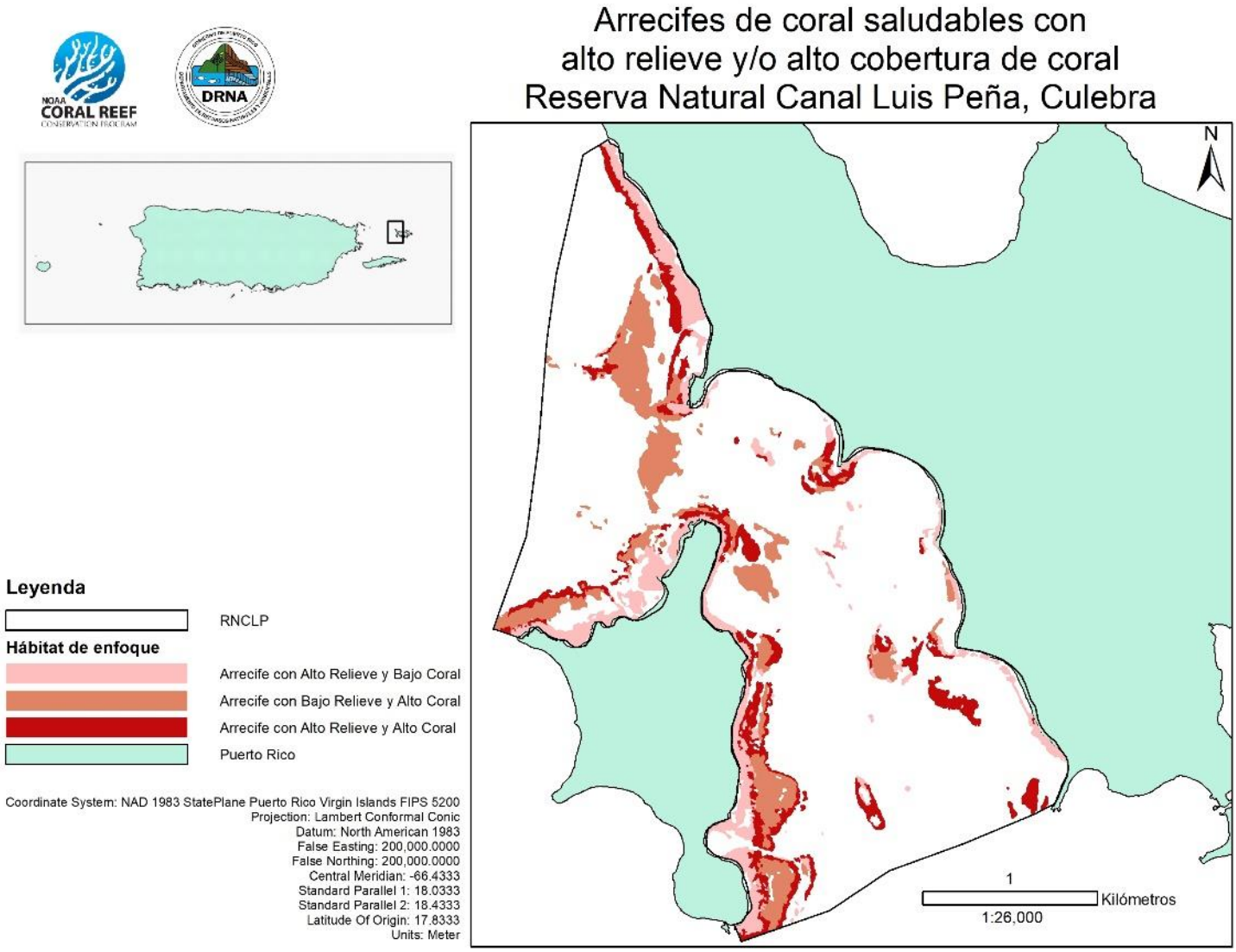


Mapa 4: Nombre de sitios de estudio con información de reclutamiento de coral en la RNAC con respectivos número de referencia (Ver table 1 para verificar referencia)

Arrecifes de coral saludables en la Reserva Natural Canal Luis Peña

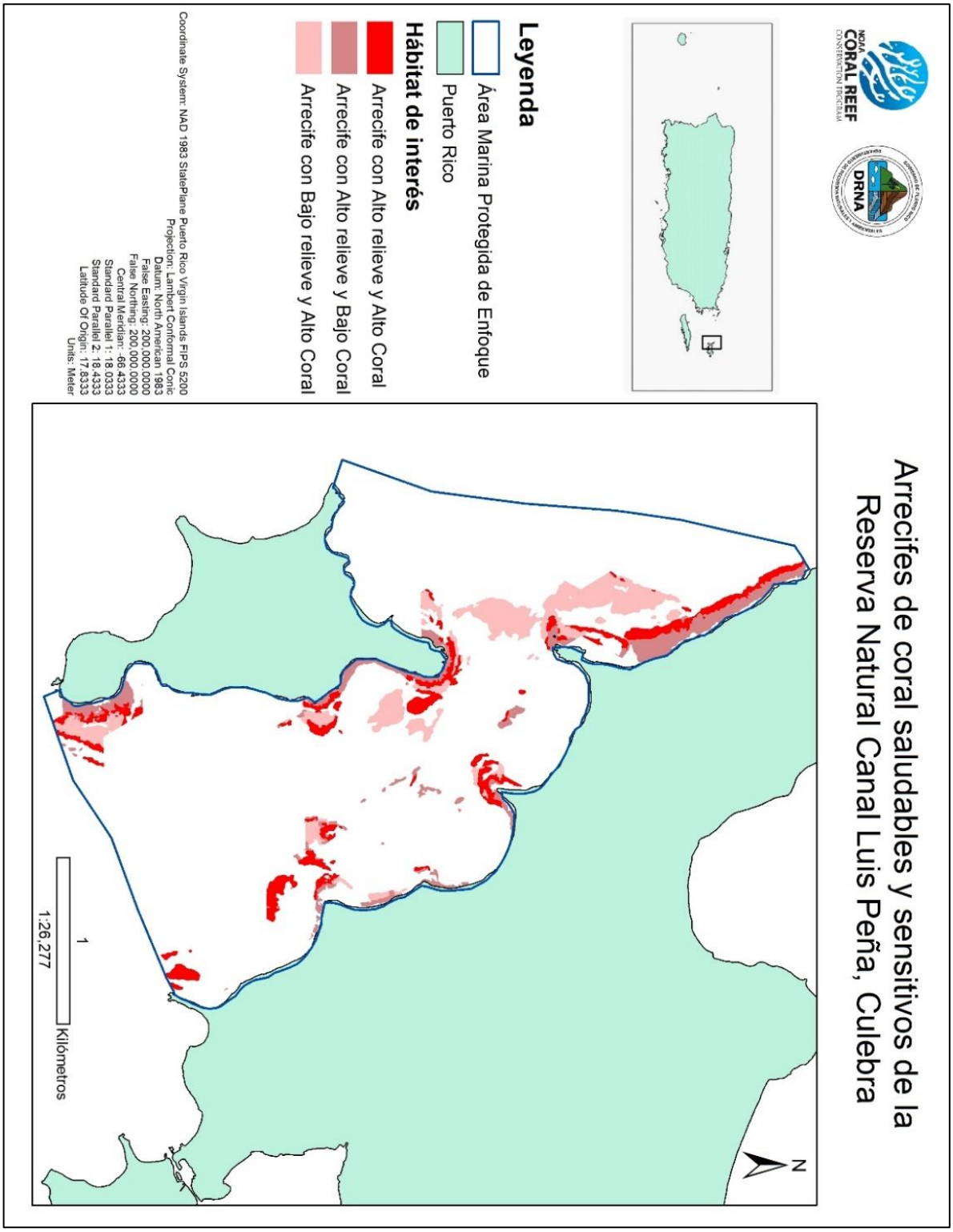
Basado en el geoprocesamiento realizado con los geodatos espaciales disponibles y las definiciones validadas, se identificó un total de 141.97 hectáreas de arrecifes de coral considerados como saludables en la RNCLP (82% del total de hectáreas de arrecifes de coral de la AMP), de los cuales el 61% son arrecifes de coral considerados como sensitivos y el 54% son arrecifes de coral considerados como resilientes. Ver resumen en tabla #3 .

Arrecifes de coral saludables en la RNCLP



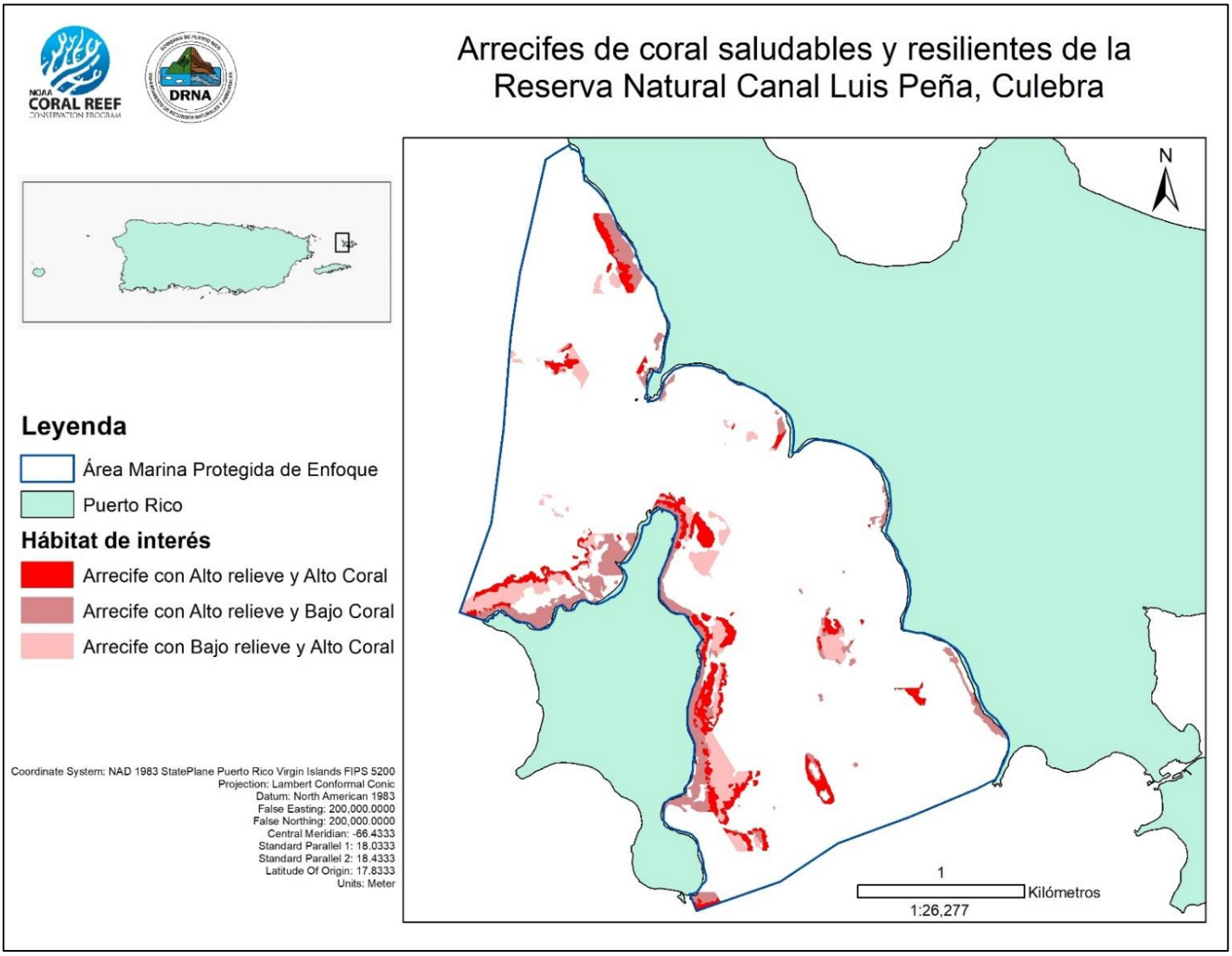
Mapa 5: Arrecifes de coral saludables de la RNAC basado en los geodatos disponibles y la definición validada para el trabajo

Arrecifes de coral saludables y sensitivos de la RNCLP



Mapa 6: Arrecifes de coral saludables y sensitivas de la RNCLP basado en los geodatos disponibles y la definición validada para el trabajo

Arrecifes saludables y resilientes de la RNCLP



Mapa 7: Arrecifes de coral saludables y resilientes de la RNCLP basado en los geodatos disponibles y la definición validada para el trabajo.

Categorías: hábitat de interés- Arrecife de coral saludable de la RNCLP	Hectáreas de arrecifes de coral sensitivos/ % del total de arrecifes de coral saludables por categoría de hábitat	Hectáreas de arrecifes de coral resilientes/ % del total de arrecifes de coral saludables por categoría de hábitat	Hectáreas de arrecifes de coral saludables en total por categoría
Arrecife con alto relieve y alto coral	26.55 (62% de los arrecifes con alto relieve y alto coral de RNCLP son sensitivos)	23.51 (55% de los arrecifes con alto relieve y alto coral de RNCLP son resilientes))	42.22 (100% de los arrecifes con alto relieve y alto coral de RNCLP son saludables))
Arrecife con alto relieve y bajo coral	24.04 (52%)	30.34 (66%)	45.91 (100%)
Arrecife con bajo relieve y alto coral	36.38 (67%)	23 (42%)	53.84 (100%)

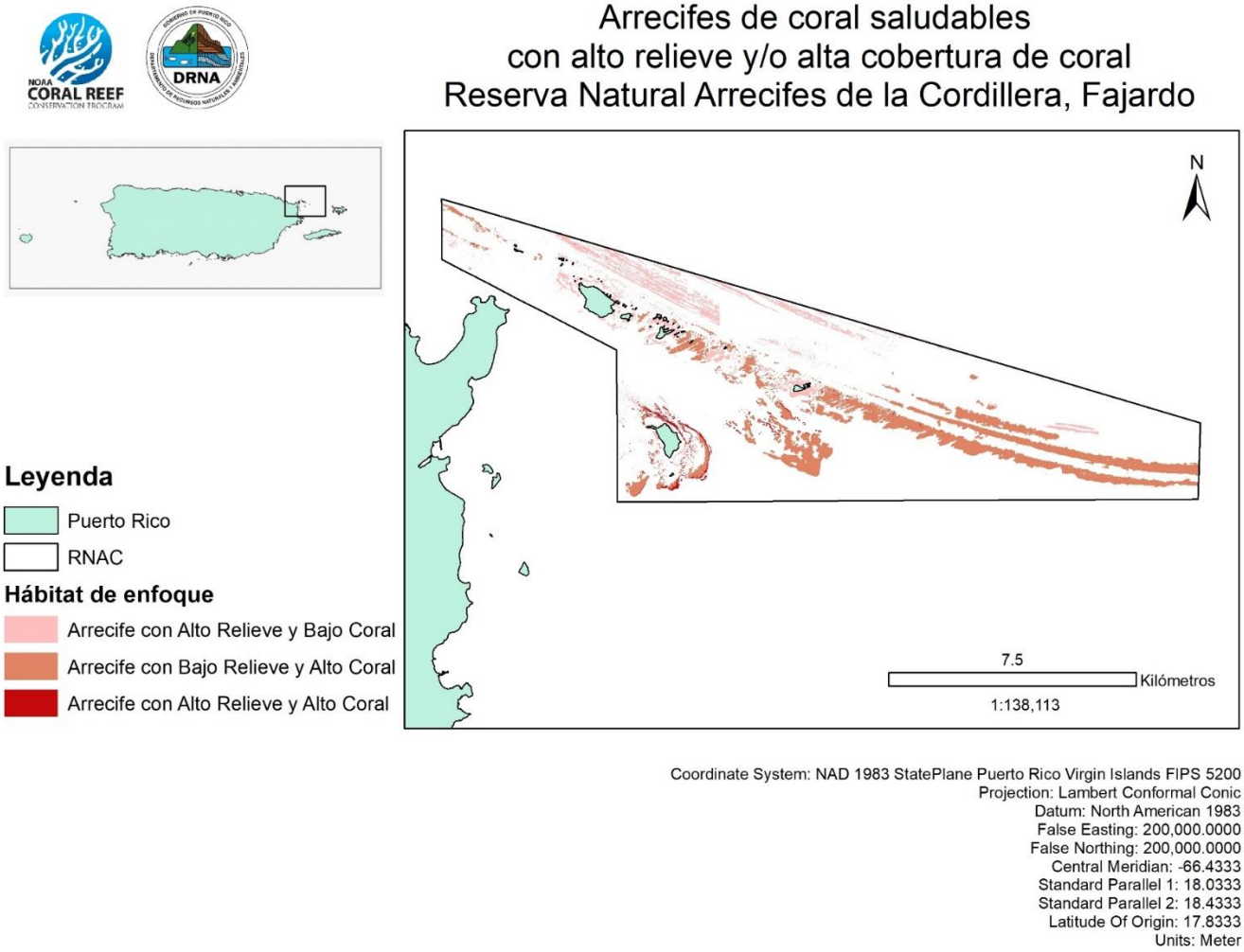
Total hectáreas de arrecifes de coral saludable	86.97 (61% del total de arrecifes de coral saludables son sensitivos, 50% del total de arrecifes de la RNCLP son sensitivos)	76.85 (54% del total de arrecifes de coral saludables son resilientes, 44% del total de arrecifes de la RNCLP son resilientes)	141.97 (100%) (82% del total de arrecifes de coral de la RNCLP son saludables 141/171)

Tabla 3: Resumen de área con arrecifes de coral sensitivos y arrecifes de coral resilientes de la RNCLP.

Arrecifes de coral saludables en la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera

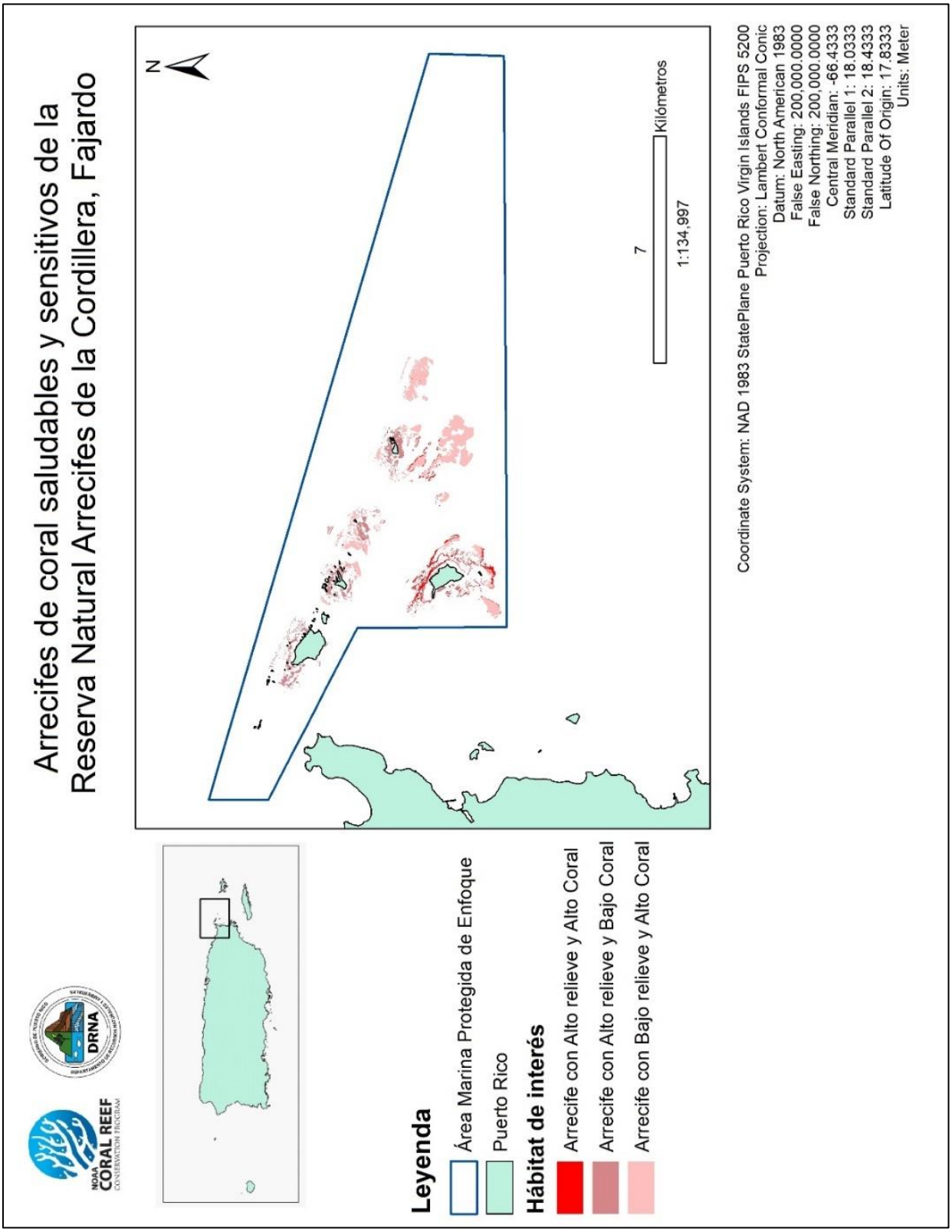
Basado en el geoprocesamiento realizado con los geodatos espaciales disponibles y las definiciones validadas, se identificó un total de 1,537 hectáreas de arrecifes de coral considerados como saludables en la RNAC (48% del total de hectáreas de arrecifes de coral de la AMP), de los cuales el 31% son arrecifes de coral considerados como sensitivos (484 hectáreas) y el 28% son arrecifes de coral considerados como resilientes (586 hectáreas). Ver resumen en tabla 4 y 5.

Arrecife de coral saludables en la RNAC



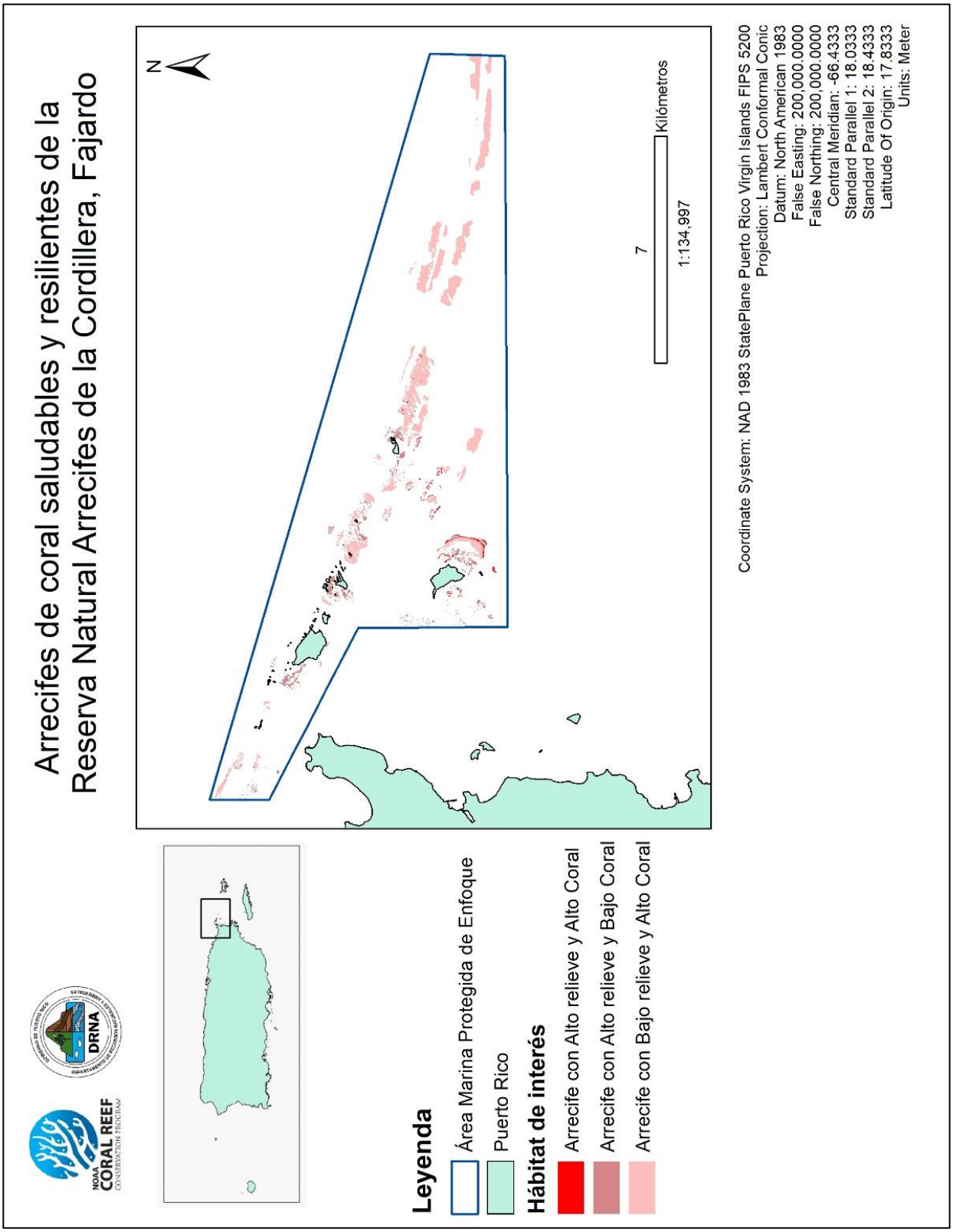
Mapa 8: Arrecifes de coral saludables de la RNAC basado en los geodatos disponibles y la definición validada para el trabajo

Arrecifes saludables y sensitivos de la RNAC



Mapa 9: Arrecifes de coral saludables y sensitives de la RNAC basado en los geodatos disponibles y la definición validada para el trabajo

Arrecifes saludables y resilientes de la RNAC



Mapa 10: Arrecifes de coral saludables y resilientes de la RNAC basado en los geodatos disponibles y la definición validada para el trabajo

Categorías: hábitat de interés- Arrecife de coral saludable de la RNAC	**Hectáreas de arrecifes de coral sensitivos/ % del total de arrecifes de coral saludables por categoría de hábitat**	**Hectáreas de arrecifes de coral resilientes/ % del total de arrecifes de coral saludables por categoría de hábitat**	**Hectáreas de arrecifes de coral saludables en total por categoría**
Arrecife con alto relieve y alto coral	48.37 (73% de los arrecifes con alto relieve y alto coral de RNAC son sensitivos)	23.9 (36%)de los arrecifes con alto relieve y alto coral de RNAC son resilientes))	66.15 (100% de los arrecifes con alto relieve y alto coral de RNAC son saludables))
Arrecife con alto relieve y bajo coral	147.94 (32%)	76.35 (16%)	452.51 (100%)
Arrecife con bajo relieve y alto coral	288.68 (28%)	486.11 (47%)	1019.32 (100%)
Total hectáreas de arrecifes de coral saludable	484.99 (31% del total de arrecifes de coral saludables de la RNAC son sensitivos, 15% del total de arrecifes de la RNAC son sensitivos)	586.36 (28% del total de arrecifes de coral saludables son resilientes, 18% del total de arrecifes de la RNAC son resilientes)	1537.98 (48% del total de arrecifes de coral de la RNAC son saludables 1537.98/ 3180.6)

Hábitat de interés según definido en este trabajo	**% del total de hectáreas de arrecifes de coral por AMP**
Arrecifes de coral saludables de RNAC	48%
Arrecifes de coral saludables y sensitivos de RNAC	15%
Arrecifes de coral saludables y resilientes de RNAC	18%
Arrecifes de coral saludables de RNCLP	82%
Arrecifes de coral saludables y sensitivos de RNCLP	50%
Arrecifes de coral saludables y resilientes de RNCLP	44%

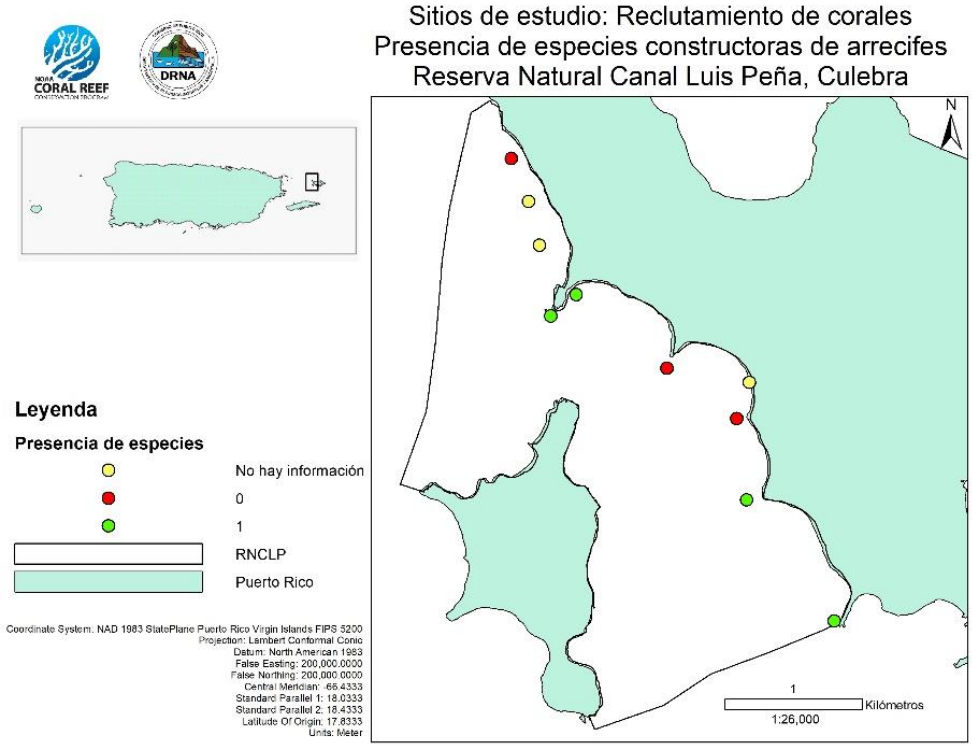
Tabla 4 y 5: Resumen de hectáreas de arrecifes de coral sensitives y arrecifes de coral resilientes en la RNAC. Comparación de habitat de interés segun definido en este trabajo.

AMP	% de arrecifes de coral del área total	% de arrecifes de coral saludables del área total	% de arrecifes de coral saludables y sensitivos del área total	% de arrecifes de coral saludables y resilientes del área total	Área total de la AMP (km^2)
RNCLP	27% (1.71km^2)	22% (1.41km^2)	14% (0.869km^2)	12% (0.768km^2)	6.33
RNAC	32% (31.80km^2)	15% (15.37km^2)	5% (4.84km^2)	6% (5.86km^2)	100
Ambas AMPs de enfoque	32%	16%	5%	6%	106.33

Tabla 6: Comparación de habitat de interés segun definido en este trabajo entre las AMPs de enfoque

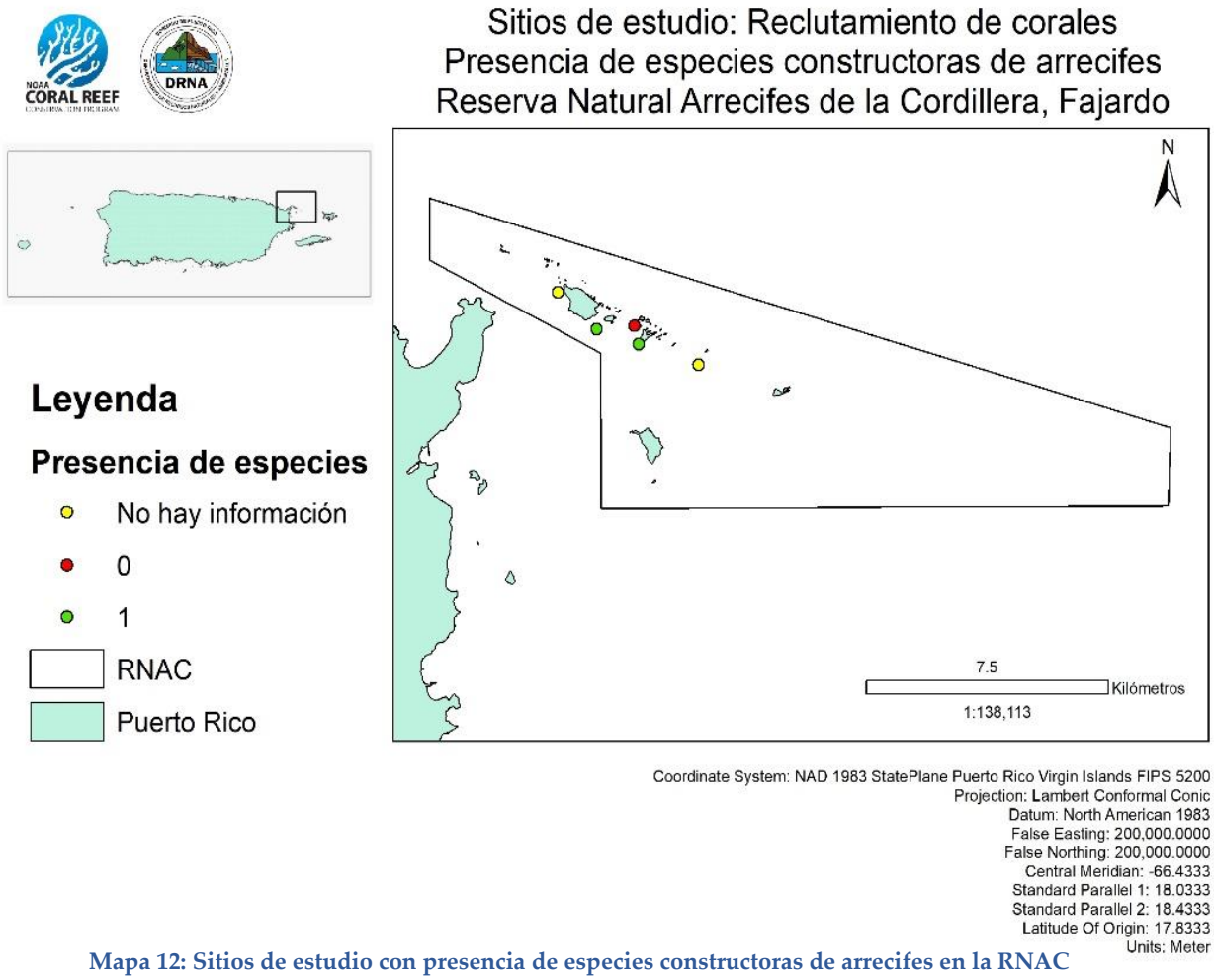
Discusión y conclusiones

En general, la información existente sobre reclutamiento de coral en las AMPs de enfoque sugiere patrones similares a los documentados por científicos internacionales para la región caribeña: la mayoría de las especies constructoras de arrecife están presentando bajas tasas de reclutamiento, la dominancia de especies no constructores ha aumentado en el arrecife y, a su vez, ha aumentado la competencia por el sustrato arrecifal (Edmund, 2010; Hernández-Delgado et al 2014b). Según Hernández-Delgado, las estructuras coralinas estudiadas en la RNCLP (Ej. Carlos Rosario), que una vez fueron dominadas por especies constructoras de arrecife, como el *O. annularis*, no han mostrado signos de recuperación luego de varias décadas de reclutamiento sexual de larvas de coral (Hernández-Delgado et al., 2014). Además, la información recopilada para la RNCLP sugiere patrones de cambios graduales en dominancia béntica de un arrecife dominado por coral en el 1997 a uno con mayor dominancia de algas filamentosas y carnosas. Los científicos han relacionado estos cambios bénticos a la degradación crónica de la calidad de agua en Culebra. Más aun, para el 2003, se evidenció una disponibilidad de hábitat restringida o fondo disponible limitado para el reclutamiento de corales debido a la competencia ecológica, en particular, el sobre crecimiento o proliferación de macroalgas. Sin embargo, existen también lugares que se ha documentado un aumento de abundancia de corales como en la zona llana del sistema arrecifal de Carlos Rosario, pero no necesariamente dominan especies constructoras de arrecifes. En los arrecifes evaluados de la RNCLP, se ha documentado el reclutamiento de especies de coral no constructoras de arrecifes, de crecimiento rápido y resistentes a disturbios, como lo son *Siderastrea radians*, *S. siderea, Porites astreoides* and *Undaria agaricites.* En general, se identificó reclutamiento de especies de corales constructoras de arrecife en el 40% de los arrecifes donde se ha observado y documentado reclutamiento de coral en la reserva natural (n=10). Importante mencionar que no se identificaron estudios de reclutamiento de coral en los arrecifes de coral cercanos al cayo Luis Peña.



Mapa 11: Sitios de estudio donde se ha observado reclutamiento de coral en la RNCLP

En el caso de RNAC, la única información accesible fue trabajada a partir de datos y observaciones cualitativas recopiladas en el 1989 y provee una base limitada para entender los patrones de reclutamiento de coral. Según las observaciones realizadas, se documentó presencia de colonias pequeñas de corales en el 50% de los arrecifes de coral monitoreados para el estudio (n=10) en la RNAC. En un 40% de estos lugares se reportaron especies constructoras de arrecife. Importante mencionar que no se realizaron observaciones de reclutamiento de coral en los arrecifes que bordean el Cayo Palominos y Palominitos. Ver mapa #10.



Mapa 12: Sitios de estudio con presencia de especies constructoras de arrecifes en la RNAC

Tras el análisis geoespacial realizado para este trabajo, se identificó que el 82% de los arrecifes de coral de la RNCLP se pudiesen considerar como arrecifes coralinos potencialmente saludables mientras para la RNAC, se identificó un 48% del total de arrecifes de coral de la misma como ecosistemas potencialmente saludables. La mayoría de los arrecifes de coral saludables de la RNCLP se encuentran a menos de 500 metros del Cayo Luis Peña, al noreste de la reserva natural (Punta Flamenco Oeste y Carlos Rosario) y las puntas peninsulares de la misma (Punta Rompeanzuelos, Punta Tamarindo Chico, Punta Tamarindo Grande y Punta Melones). En el caso de la RNAC, las zonas con mayor área de arrecifes de coral potencialmente saludables son los alrededores del Cayo Palominos y Palominitos, y la zona de Cayo Diablos y el Bajo Blake al suroeste de Cayo Diablos. Ver

apéndice #2. Por otro lado, el 15% de los arrecifes de coral de la RNAC y el 50% de los arrecifes de coral de la RNCLP se identificaron como arrecifes bajo algún nivel de amenaza antrópica y, a su vez, son considerados como arrecifes de coral saludables basado en las definiciones validadas para este trabajo. Para la RNCLP, gran parte de los arrecifes saludables y sensitivos se identificaron al noreste de la reserva natural (Punta Flamenco Oeste), y al sureste y noreste del Cayo Luis Peña. Para la RNAC, gran parte de los arrecifes identificados como saludables y sensitivos se encuentran a 500m de los cayos (Palominos, Icacos y Lobos) y al suroeste del Cayo Diablos en el Bajo Blake.

Por otro lado, el análisis espacial sugiere que el 18% de los arrecifes de coral de la RNAC y el 44% de los arrecifes de coral de la RNCLP se consideran como arrecifes de coral saludables y resilientes basado en las definiciones validadas para este trabajo. Para la RNCLP, la mayoría de estos arrecifes resilientes se encuentran al este y norte del Cayo Luis Peña. Mientras para la RNAC, la mayoría de los arrecifes identificados como resilientes y saludables se encuentran al sureste de Palominitos, alrededor del Cayo Blanquilla y al este del Cayo Diablos. Ver tabla 4 y 5. Los ecosistemas arrecifales saludables se consideran como ecosistemas con mayor capacidad de resistencia al cambio de estados alternos estables ya que cuentan con una cobertura de coral viva alta y/o una alta complejidad estructural, entre otras características que fortalecen la resiliencia del ecosistema. Por consiguiente, son arrecifes con mayor capacidad y probabilidad de resistir estresores regionales. Sin embargo, cuando se unen los estresores regionales con los estresores locales, se genera una sinergia de procesos y mecanismos de retroalimentación ecológica que, entre otras consecuencias, pudiesen provocar cambios en los patrones de reclutamiento coralino, facilitando el cambio del arrecife hacia un estado alterno estable no deseable a largo plazo.

Los procesos ecológicos provocados por la sinergia entre estresores locales y regionales pudiesen empujar los arrecifes de coral saludables de las AMPs de enfoque a un estado más vulnerable en donde la recuperación de la composición y funcionalidad del arrecife dominado por coral quedaría limitada. Por tanto, se recomienda enfocar esfuerzos de manejo y conservación en los arrecifes de coral identificados en este trabajo enfocado en fomentar el reclutamiento de corales, especialmente de especies constructores de arrecifes. El reclutamiento exitoso de corales constructores de arrecifes es uno de los factores que determinan la capacidad de crecimiento arrecifal como también la velocidad de la recuperación de arrecifes coralinos ante disturbios regionales agudos.

Uno de los estresores locales de mayor impacto en el reclutamiento de coral es la sedimentación y eutrofización (Fabricius, 2011). Al aumentar los sedimentos terrígenos y nutrientes al sistema arrecifal, aumenta la competencia y colonización del sustrato por macroalgas a largo plazo, lo cual inhibe el asentamiento de larvas de coral, y trastorna la resiliencia y capacidad del arrecife de recuperarse luego de disturbios agudos (Birrell et al., 2005; Vermeij, 2006; Fong and Paul, 2014; Stubler et al., 2016)". A través del tiempo, se ha estudiado como los arrecifes de coral en las AMPs de enfoque se encuentran más expuestos a estresores locales, como la sedimentación, en tiempos donde la ocurrencia de estresores regionales agudos como los huracanes y brotes regionales de enfermedades de coral, son menos predecibles. Una síntesis realizada recientemente con bases de datos de monitoreo de arrecifes de coral regionales validó la disminución en cobertura viva de corales

constructores de arrecife, un aumento de cobertura de macroalgas, y un aumento de organismos compitiendo con los corales por el sustrato a través del Caribe. Además, estudios previos en la región han mostrado patrones similares a los documentados en los arrecifes de la RNCLP donde los arrecifes de coral expuestos a impactos por alta sedimentación fueron sujeto a reducción o inhibición de reclutamiento de coral, debido a que el substrato disponible es reducido (Pastorok and Bilyard, 1985; Edmunds and Gray, 2014). Por consiguiente, para evitar cambios de fase ecológicos no deseables, se recomienda promover intervenciones de manejo que faciliten el reclutamiento de coral de especies constructoras de arrecifes como los Acropóridos y el complejo de *Orbicella*, y disminuyan la sedimentación y eutrofización de los arrecifes de coral cercanos a la costa, especialmente aquellos arrecifes de coral saludables identificados en este trabajo.

Foto 2: Recluta de coral sobreviviendo en un sustrato dominado por algas tipo césped ('turf') con alta sedimentación en la RNCLP

Los cambios de fase arrecifales (arrecife dominado por corales a uno dominado por alguna otra comunidad béntica como por ejemplo macroalgas o esponjas), como también la dominancia y el reclutamiento de especies tolerantes a la sedimentación y/o al estrés térmico en el arrecife, (no necesariamente especies constructoras de arrecifes), son procesos ecológicos extensamente documentados en el Caribe, y Puerto Rico no es la excepción (Lirman & Fong, 2007; Green et al., 2008; Edmund, 2010; Hernández-Delgado et al., 2014b, Perry, et al 2015). A largo plazo, estos patrones generan cambios significativos en composición de especies y biodiversidad coralina como también en el potencial de crecimiento arrecifal (Hernández-Delgado, 2000; Van Woesik et al., 2014; Otaño-Cruz, 2017). La actualización de información ecológica y el monitoreo de reclutamiento de coral son claves para entender los posibles efectos a corto y largo plazo provocado por la combinación de estresores locales manejables y los disturbios regionales impredecibles en los arrecifes de coral de alta importancia ecológica. Una reducción en el reclutamiento de especies no constructoras de arrecifes, un aumento en el reclutamiento de especies tolerantes al estrés termal y un aumento en la competencia por

Estresores locales que influyen los patrones de reclutamiento de coral en las AMPs de enfoque:

1. Entrada de sedimentos finos terrígenos y la resuspensión de estos
2. Resuspensión y movimiento masivo de arena luego de frentes de frio y eventos de alto oleaje
3. Entrada de nutrientes y agua dulce

el espacio béntico con organismos agresivos (ej. macroalgas calcáreas encrustantes, esponjas encrustantes, algas calcáreas, césped de turf), provocarían cambios significativos en la composición de la biodiversidad coralina en el ecosistema y limitaría el flujo de servicios ecológicos en general. Ante un escenario de mayor incertidumbre climática y cambios ambientales, cada vez se hace más importante implementar esfuerzos de manejo enfocados en la disminución de los estresores locales y a su vez, que promuevan las condiciones que faciliten el aumento o recuperación de cobertura de coral vivo en el arrecife, especialmente de especies constructoras de arrecifes (Mumby & Steneck, 2011). De lo contrario, el sistema arrecifal cambiará a un estado alterno estable dominado por algas que difícilmente volverá a recuperarse a uno dominado por corales debido a la persistencia y frecuencia de los procesos ecológicos que estabilizan el arrecife dominado por algas (Fong & Paul, 2011).

Procesos ecológicos que promueven la proliferación de macroalgas y estabiliación de un estado arrecifal dominado por algas:

1. aumento de substrato abierto disponible para colonización debido a la mortandad de corales
2. aumento de nutrientes al sistema
3. reducción de herbivoría por sobrepesca y enfermedades
4. proliferación de especies de algas con defensas químicas contra la herbivoría

Tras la recopilación y cartografía de la información existente relacionada a los arrecifes de coral de las AMPs de enfoque, se valida:

1. la necesidad de evaluar la abundancia y diversidad de reclutas de coral en los arrecifes históricamente monitoreados para entender los patrones locales de especies de corales juveniles y para evaluar implicaciones a largo plazo de los cambios en composición de especies en los mismos,
2. la necesidad de evaluar la abundancia y diversidad de reclutamiento de coral en los arrecifes de coral identificados como resilientes y saludables en este trabajo,
3. la necesidad de validar definiciones y metas de manejo a corto y mediano plazo de recursos marinos de las AMPs a nivel institucional/ nacional tomando en cuenta la incertidumbre climática y los cambios ambientales,
4. la necesidad de seguir validando la información geoespacial disponible de los arrecifes de coral de ambas AMPs de enfoque.

Limitaciones del trabajo

A pesar de que la información utilizada para realizar el análisis fue validada por expertos locales y la información béntica fue validada en el campo, es importante recalcar que la información que apoya este análisis geoespacial se limita a la información existente y recolectada por la NOAA. Entre las lagunas de conocimiento espacial y temático identificadas por los científicos que levantaron la información para la NOAA, incluyen la necesidad de fortalecer el entendimiento de la distribución de los arrecifes de coral más diversos, localización de especies amenazas o en peligro de extinción, conocimiento sobre

poblaciones de especies invasoras, e información espacial más robusta de patrones de uso humano, especialmente las zonas de alta intensidad de pesca. Además, se identificó la necesidad de robustecer la información de estresores específicos como la turbidez, nutrientes, y estrés térmico que causa blanqueamiento de coral para la zona. A pesar de estas limitaciones, la información aquí presentada se hace útil para adelantar los procesos de validación de información y reconocer las zonas de interés ecológico para facilitar los esfuerzos de zonificación para el uso sustentable de los recursos marinos del este de Puerto Rico, en especial, las reservas naturales de enfoque.

Poder definir arrecifes de coral sensitivos es una tarea compleja debido a la variedad de procesos ecológicos que lo caracterizan. El ejercicio espacial realizado en este trabajo se pudiese desarrollar con otras variables para comparar resultados con las metodologías aquí utilizadas. A pesar de la información limitada para ambas AMPs, existe un consenso regional sobre el efecto de la sedimentación en los patrones locales de reclutamiento y competencia en el arrecife (Fabricius, 2011). Por consiguiente, se recomienda identificar la exposición de arrecifes a escorrentías terrestre como *proxy* para validar arrecifes de coral sensitivos a través de un modelaje hidrológico por cuenca que influye en los arrecifes de las AMPs utilizando el programa ARCSWAT. Mientas más cercano corriente abajo un arrecife de coral se encuentra de una fuente de sedimento o contaminación, y mientras más grande es la descarga, más expuesto está el arrecife al contaminante (Fabricius, 2011). Además, existe información espacial recopilada a nivel local sobre encallamientos, uso turístico comercial y zonas de prácticas militares históricas en las AMPs de enfoque. Por tanto, con fines de comparar y validar los resultados obtenidos en este trabajo sobre los arrecifes sensitivos, se recomienda cartografiar los arrecifes que estén localizados en:

1)zonas adyacentes (a 250 metros o menos) a los drenajes de agua de las microcuencas o desembocadura de algún rio o quebrada,
2) zonas de alta intensidad de uso turístico,
3) zonas de alta frecuencia de encallamientos,
4) zonas cercanas a accesos y entradas terrestres y
5) áreas históricamente utilizadas como zonas de practica militar.

Recomendaciones de manejo

Para fortalecer la capacidad de recuperación de los arrecifes de coral de ambas AMPs ante los cambios regionales y mantener el flujo de los servicios y beneficios socioeconómicos que el ecosistema coralino provee a largo plazo, se recomienda implementar estrategias de acción local que promuevan el reclutamiento exitoso de corales. Por tanto, se recomienda las siguientes acciones de manejo:

Conservación y uso sustentable

1. Darles seguimiento a los procesos necesarios de planificación espacial marina para zonificar ambas AMPs y ordenar los usos y actividades humanas de forma tal que se logre regular el uso de ecosistemas sensitivos, promover una economía

ambientalmente sostenible y responsable y proteger los arrecifes de coral resilientes y saludables.

   a. Establecer, delimitar y validar unidades de manejo basado en la información disponible para facilitar los procesos de planificación espacial marina para ambas AMPs
   b. Evaluar las opciones de zonificación basado en la información disponible para los diversos usos existentes.
   c. Delimitar y validar unidades de manejo de cuencas (subcuencas) que influyen el manejo de los arrecifes de coral de ambas AMPs e identificar los puntos de drenaje o 'outlets' hacia el mar como también identificar posibles puntos de entrada de nutrientes.

2. Promover una gobernanza colaborativa de los recursos marinos de ambas AMPs de enfoque para aumentar la escala de los esfuerzos de conservación a nivel regional a largo plazo, incluyendo los espacios marinos adyacentes a las reservas naturales que componen el Gran Corredor Marino del Noreste de Puerto Rico.

Monitoreo

1. Evaluar la resiliencia relativa de los arrecifes de coral saludables identificados en este informe para cada AMP siguiendo la guía desarrollada por el Grupo Ambiental de las Naciones Unidas (Maynard et al. 2017) para fortalecer el entendimiento sobre la resiliencia de los arrecifes de ambas AMPs. De esta manera, se podrá identificar con mayor precisión cuáles son los arrecifes de coral con baja vulnerabilidad relativa y alta resiliencia relativa en ambas AMPs, y a su vez, facilitará los procesos de manejo y zonificación (selección de zonas de prioridad para diversos usos).
   a. Caracterizar el reclutamiento de corales por zonas de mayor porciento de cobertura de arrecife coralino saludable
   b. Caracterizar la biomasa y abundancia de herbívoros como también la tasa de herbivoría en los arrecifes sensitivos y saludables de ambas AMPs
   c. Caracterizar las comunidades bénticas (a nivel de grupos funcionales y especie de ser posible) de los arrecifes sensitivos y saludables de ambas AMPs como también la rugosidad o complejidad estructural de los mismos.
2. Caracterizar los factores físicos y oceanográficos que influyen en la conectividad entre ecosistemas del Gran Corredor Marino del Noreste de Puerto Rico para identificar las fuentes y sumideros de larvas y así validar zonas de prioridad de manejo: aquellas zonas con buenas fuentes de larva y que no sean sumideros pobres (Maynard, 2017).
3. Caracterizar y entender la dinámica poblacional de las algas calcáreas beneficiosas y negativas para el asentamiento y reclutamiento de coral en los arrecifes sensitivos.
4. Diseñar experimentos *in situ* y *ex situ* para medir herbivoría, reclutamientos de organismos marinos en general, como también el efecto de enriquecimiento orgánico provocado por sedimentos.

Intervención y rehabilitación

1. Planificar esfuerzos de siembra y monitoreo de corales pétreos masivos o ramificados en los arrecifes de coral menos sensitivos, especialmente aquellos arrecifes con menos disturbios físicos y estresores, para rehabilitar la tridimensionalidad y hábitat para especies de peces herbívoros claves para el ecosistema.
2. Planificar esfuerzos de estabilización de corales de oportunidad luego de eventos climáticos con alto oleaje (ej. frentes de fríos, tormentas, huracanes)
3. Planificar esfuerzos de relocalización (de ser posible/ viable) de erizos espina larga en lugares claves de ambas AMPs para promover la herbivoría y fomentar el reclutamiento de coral.
4. Planificar esfuerzos de restauración y monitoreo de las zonas de drenaje hacia las AMPs, aumentando los sistemas de filtración para disminuir las posibilidades de entrada de sedimentos y exceso de nutrientes hacia los arrecifes de coral, especialmente hacia los ecosistemas sensitivos. Así, se espera disminuir la pérdida de luz en el sistema y la alteración de las propiedades de los corales por la sedimentación.

Referencias

Birrell, C.L. McCook, L.J. Willis, B.L. (2005). Effects of algal turfs and sediment on coral settlement. *Marien Pollution Bulletin. 51,* 408-414.

Baird AH, Badcock RC, Mundy CP (2003) Habitat selection by larvae influences the depth distribution of six common coral species. Mar Ecol Prog Ser 252: 289-293.

Centro Interdisciplinario de Estudios del Litoral (2008). Plan de Manejo de la Reserva Natural Canal Luis Peña. Sometido a la Administración para el Desarrollo y la Conservación de Culebra (ACDEC) y el DRNA .

Connell, J.H. (1978). Diversity on tropical rain forests and coral reefs. *Science. 199.* 1302-1310.

Consultores Educativos Ambientales, CSP. (2009) Plan de Manejo de la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera, Fajardo. revisado, y sometido al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales en el 2009.

Chapin F., Folke, C., & Kofinas, G. (2009) A Framework for Understanding Change. Principles of Ecosystem Stewardship, Springer Science Business Media, LLC

DRNA (2014). Plan de Manejo Estratégico de los Arrecifes de Coral de Puerto Rico.

Dueñas, L.F., Montenegro, J., Acosta, A. Cardenas, F., Sepúlveda, M. Vidal, A., Villamil, C,. (2010). Guía para el Reconocimiento de Corales Escleractinios Juveniles en el Caribe. INVEMAR. Serie de Documentos Generales. No. 42. XPRESS Estudio Gráfico Digital, Bogotá. D.C. Colombia

Estudios Técnicos, Inc. (2007.) Valorización Económica de los Arrecifes de Coral y Ambientales Asociados en el este de Puerto Rico: Fajardo, Arrecife de la Cordillera, Vieques y Culebra. Informe Final. Sometido al Programa de Conservación y Manejo de Arrecifes de coral del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. NOAA. 94pp.

Edmunds, P.J. (2004). Juvenile coral population dynamics track rising seawater temperature on a Caribbean reef. *Marine Ecology Progress Series. 269.* 111-119.

Edmunds, P.J. (2010). Population Biology of Porites Astreoides and Diploria Strigosa on a Shallow Caribbean Reef. *Marine Ecology Progress Series*, 418, 87-104.

Edmunds, P.J. & Gray, S. (2014). The Effects of Storm, Heavy Rains, and Sedimentation on the Shallow Coral Reefs in St. John, U.S. Virgin Islands. *Hydrobiologia,* 734, p. 143-158

Fabricius, K.E. (2011). Factors Determining the Resilience of Coral Reefs to Eutrophication: A Review and conceptual Model. In, Dubinsky, N. Stambler, N. (Eds) *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. 493-508 pp.

Fong, P. & Paul. V. (2014). Coral Reef Algae. In, Dubinsky, N. Stambler, N. (Eds) *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. 241-272pp.

García-Sais, J.R. Appeldoorn, R. Batista, T. Bauer, L. Buckner, A. Caldow, C. Carruba, L.M. Corredor, J. Díaz, E. Lyliestrom, C. García-Moliner, G. Hernández-Delgado, E. Menza, C. Morell, J. Pait, A. Sabater, J. Weil, E. Williams, E. Williams, S. (2008). The state of coral reef ecosystems in Puerto rIco. Pp 75-116. In, Waddell, J. E. Clarke, A. M. (eds.), *The State of Coral Reef Ecosystems of the United States and PAcific Freely Associated States: 2008.* NOAA Tech, Mem. NOS NCCOS 73. NOAA/NCCOS Center for Coastal Monitoring and Assessment's Biogeography Team. Silver Spring, MD, 569 pp. https://coastalscience.noaa.gov/research/docs/CoralReport2008.pdf

Goenaga, C. Cintron, G. (1979). Inventory of the Puerto Rican Coral Reefs. Report submitted to the Coastal Zone Management of the Department of Natural Resources, S, PR, 190 pp. https://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2017/02/Goenaga-and-Cintron-1979-Inventory-of-the-Puerto-Rican-coral-reefs.pdf

Goenaga, C. Mestey, V. Vicente, V. Berrios, J. Caballero, J. Dávila, O. Delgado, D. Díaz, I. Rivera, M. Quevedo, V. (1990). Suplemento Técnico para el Plan de Manejo de la Reserva Natural La Cordillera, Fajardo

Goenaga, C. Vicente, V.P. (1990). Apéndice 4. Informe de observaciones de campo sobre corales y organismos asociados. En: "Suplemento Técnico para el Plan de Manejo de la Reserva Natural La Cordillera, Fajardo".

Graham, N. A., Jennings, s., Macneil, M. A., Mouillot, d., & Wilson, s. K. (2015). Predicting Climate-driven Regime Shifts versus Rebound Potential in Coral Reefs. Nature, 518(7537), 94-97.

Green, D., Edmunds, P. & Carpenter R., (2008). Increasing Relative Abundance of Porites Astreoides on Caribbean Reefs Mediated by an Overall Decline in Coral Cover. Marine Ecology Progress Series. 359, 1-10.

Hernández-Delgado, E.A. (2003). Suplemento Técnico al Plan de Manejo para la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, Puerto Rico. I. Caracterización de habitáculos. Informe sometido al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. San Juan, PR. 109 pp.

Hernández-Delgado, E.A., y B.J. Rosado-Matías. Suplemento técnico al Plan de Manejo

para la Reserva Natural del Canal Luis Peña, Culebra, Puerto Rico. II. Inventario biológico. Informe sometido al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. San Juan, PR. 30 de agosto de 2003. 60 pp.

Hernández-Delgado, E.A. Sabat, A.M. (2003). Long-term ecological changes of coral reefs in the Luis Peña Channel No-Take Natural Reserve, Culebra, PR. Technical Report submitted to Sea Grant College Program, University of Puerto Rico, Mayaguez, P.R. 149 pp.

Hernández-Delgado, E.A. Medina-Muñiz, J.L. Ortiz, V. Marilisa, M. Marrero, P. Mattei, H. Norat-Ramírez, J. (2009). Biological characterization of shallow-water coral reef communities across a water quality gradient within the Luis Peña Channel Natural Reserve, Culebra Island, Puerto Rico. Final Technical Report. Dep of Environmental Health, UPR Medical Science Campus; DNER, SJ. 77 pp.

Hernández-Delgado, E.A. Medina-Muñiz, J.L. Mattei, H. Norat-Ramírez, J. (2017). Unsustainable Land Use, Sediment-Laden Runoff, and Chronic Raw Sewage Offset the Benefits of Coral Reef Ecosystems in a No-take Marine Protected Area. *Environmental Management and Sustainable Development. 6* (2), 292-333.

Hernández-Delgado, E.A. Montañez-Acuña, A. Otaño-Cruz, A. Suleimán-Ramos, S. (2014). Bomb-cratered coral reefs in Puerto Rico, the untold story about a novel habitat: from reef destruction to community-based ecological rehabilitation. *Rev. Biol. Trop., 62*(3), 183-200.

Heron F, Maynard JA, Van Hooidonk R, & Eakin CM (2016) Warming Trends and Bleaching Stress of the World's Coral Reefs 19852012. Nature Scientific Reports. doi: 10.1038/srep38402

Hughes, T.P. Baird, A.H. Dinsdale, E.A. et al. (1999) Patterns of recruitment and abundance of corals along the Great Barrier Reef. *Nature. 397,*59-63.

Jackson, J. Donovan, M. Cramer, K, Kam, V. (2014). Status and Trends of Caribbean Coral Reefs. International Coral Reef Initiative.

Lirman, D. & Fong,. P., (2007). Is Proximity to Land-Based Sources of Coral Stressors an Appropriate Measure of Risk to Coral Reefs?, An Example from the Florida Reef Tract. Marine Pollution Bulletin, 54, (6) 779-791.

Maynard, J.A., Marshall, P.A., Parker, B., Mcleod, E., Ahmadia, G., van Hooidonk, R., Planes, S., Williams, G.J., Raymundo, L., Beeden, R., Tamelander, J. (2017). A Guide to Assessing Coral Reef Resilience for Decision Support. Nairobi, Kenya: UN Environment.

McClanahan, T. Polunin, N. Done, T. (2002). Ecological States and the Resilience of Coral Reefs. *Conservation Ecology. 6*(2), 18.

Mcclanahan, T Donner, D, Maynard, J. A., Macneil, M. A., Graham, n. A., Maina, J., . & Eakin, M. (2012). Prioritizing Key Resilience Indicators to Support Coral Reef Management in a Changing Climate. PloS one, 7(8).

McField, M. & Kramer, P. (2007). Healthy Reefs for Healthy People: A guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region. 208 pp.

Moberg, F. & Folke, C. (1999) Ecological Goods and Services of Coral Reef Ecosystems. *Ecological Economics. 29.* 215-233.

Moeller, M. Nietzer, S. Schils, T. Schupp, P. (2016). Low sediment loads affect survival of coral recruits: the first weeks are crucial. *Coral Reefs, 35,* 1-11. https://doi.org/10.1007/s00338-016-1513-1

Montañez-Acuña, A. (2017a) Usos y Comportamientos Recreativos en Bahía Tamarindo, Reserva Natural Canal Luis Peña, Culebra. Informe sometido al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 65 pp.

Montañez-Acuña, A. (2017b) Usos y Comportamientos Recreativos al Sur de Cayo Icacos, Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera. Informe sometido al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.

Mumby, P., Hastings, A., & Edwards, H. J. (2007). Thresholds and the Resilience of Caribbean Coral Reefs. Nature, 450(7166), 98-101.

Mumby, P.,& Steneck, R. (2011) The Resilience of Coral Reefs and its Implications for Reef Management. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. Springer Science.p. 509-519.

Otaño-Cruz, A. (2017). Coastal Ecosystem Connectivity: Watershed Management, Sedimentation, and the Response of Coral Reefs. M.Sc. Thesis. University of Puerto Rico

Pastorok, R. & Bilyard, G. (1985). Effect of Sewage Pollution on Coral Reefs Communities. *Marine Ecology*, 21, 175-189.

Pittman, S.j., B.M. Costa, C.F. Jeffrey and C. Caldow (2010). Importance of seascape complexity for resilient fish hábitat and sustainable fisheries. In Book Importance of seascape complexitiy for resilient fish hábitat and sustainable fisheris (eds), p. 420-426. Guld and Caribbean Fisheries Institute, c/o Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc. For Pierce FL United States.

Perry, C., Steneck, R., Murphy, G., Kench, P., Edinger, E., Smithers, S., Mumby, P. (2014). Regional-scale dominance of non-framework building coral son Caribbean reef affects

carbonate production and future reef growth. Global Change Biology. Vol. 21, Issue 3. P. 1153-1164

Rogers CS (1990). Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. Mar Ecol Prog Ser 62:185-202

Shivlani, M. (2009). Characterization of stakeholder uses in marine protected areas in support of establishing limits of acceptable change: Five case studies in the coastal and marine natural reserve system of Puerto Rico. Unpublished.

Stafford-Smith MG, Ormond RFG. (1992). Sediment-rejection mechanisms of 42 species of Australian scleractinian corals. Aust J Mar Freshwa Res 43: 683-705

Stubler, A., Stevens, A., & Peterson, B. (2016) Using Community-Wide Recruitment and Succesion Patterns to Assess Sediment Stress on Jamaican Coral Reefs. *Journal of Marine Biology and Ecology, 474,* 29-38

Van Woesik, R. & Jordán-Garza, A. (2011). Coral Population in a Rapidly Changing Environment. *Journal of Experimental Marine Biology, 408,* 11-20

Vermeij, M. (2006). Early Life History of a Dynamic of Caribbean Coral Species on Artificial Substratum: Importance of Competition, Growth, and Variation in Life History Strategy*. Coral Reefs, 25,* 59-61

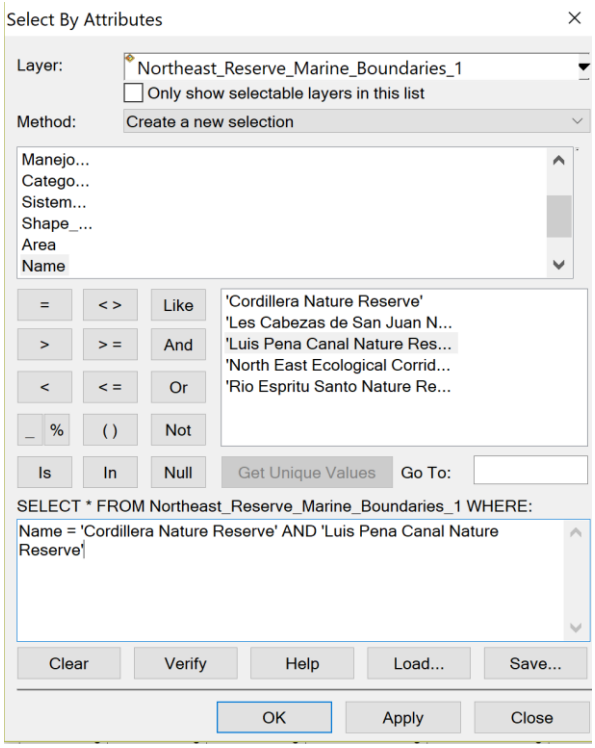
Apéndice

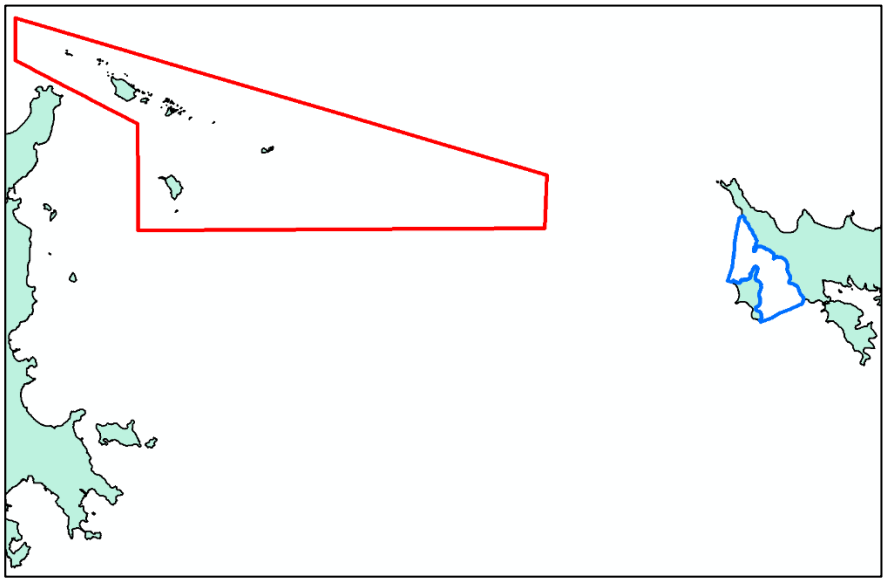
Apéndice #1- Geoprocesamiento detallado

Geoprocesamiento utilizado para el análisis con resumen de capas generadas

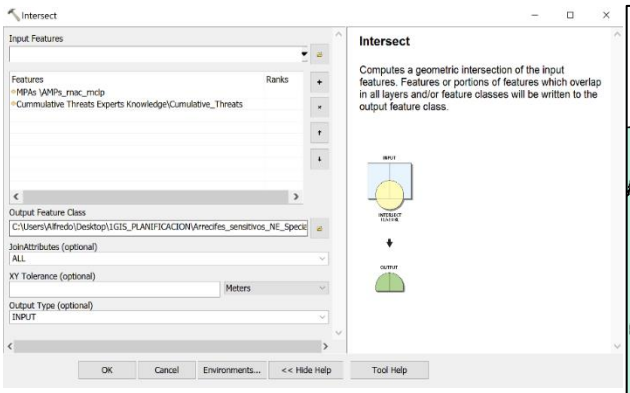
Para generar la capa de arrecifes saludables y sensitivos, se realizó el siguiente geoprocesamiento:

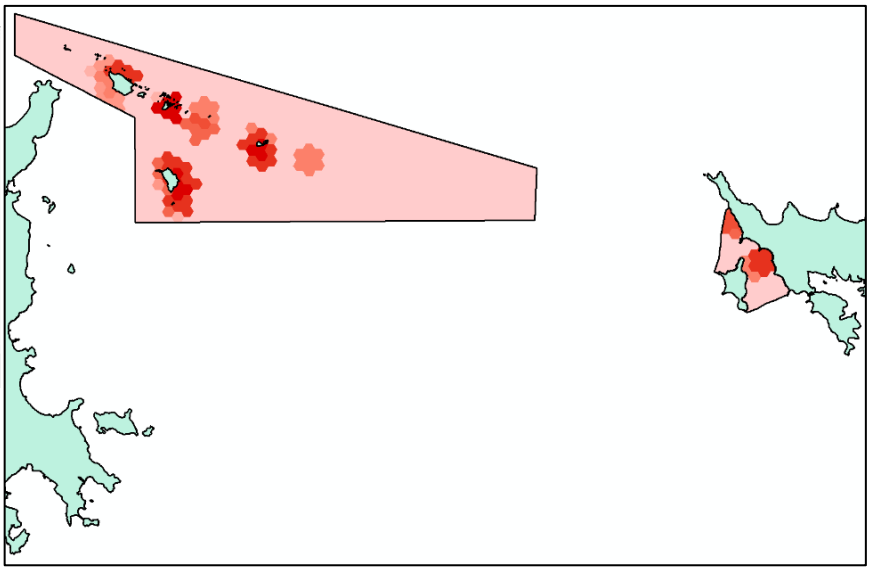
1. **Generación de la capa 'AMPs de enfoque'**
   'Selección por atributo' de la 'capa de límites legales de las reservas naturales del noreste de Puerto Rico' para seleccionar los polígonos con nombre 'Cordillera Nature Reserve' y 'Luis Pena Canal Nature Reserve'
   b. **RNAC:** capa de los límites legales de la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera de 100km^2
   c. **RNCLP:** capa de los límites legales de la Reserva Natural Canal Luis Peña de 6.33km^2





2. **Generación de capas con la intersección de los polígonos de las capas de interés que contienen los límites legales de las dos AMPs de interés (RNAC y RNCLP)**
   Intersección individual de las capas de IIHC, AC y HB con la capa de 'AMPs de enfoque' del paso 1:
   a. **Generación de capa de amenazas cumulativas de las AMPs de enfoque**
   Intersección con la capa de conocimiento de expertos de las amenazas cumulativas (AC) para generar una capa (**AC de las AMPs**) con 630 polígonos, (3% del total de la capa (20,402 polígonos) mayormente hexágonos, de aprox. 200,000m^2 o 0.01 a 20 hectáreas por hexágono.

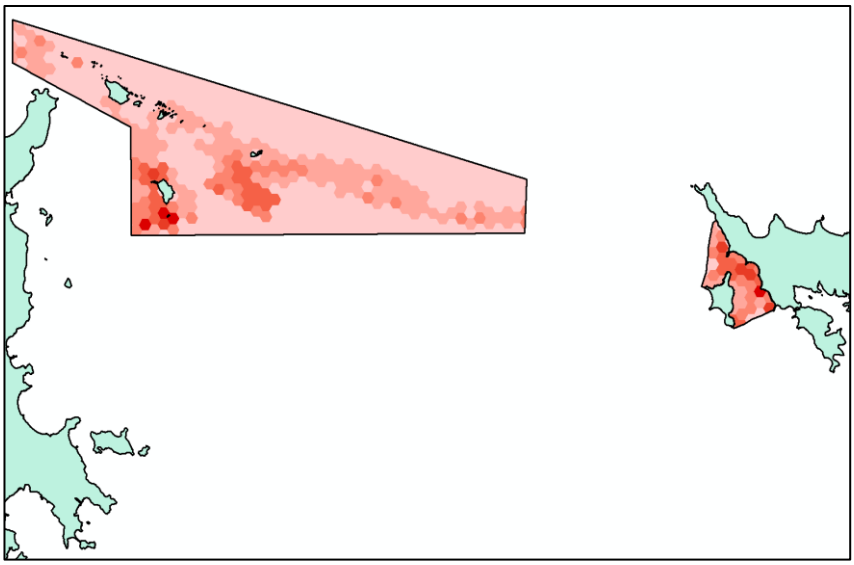


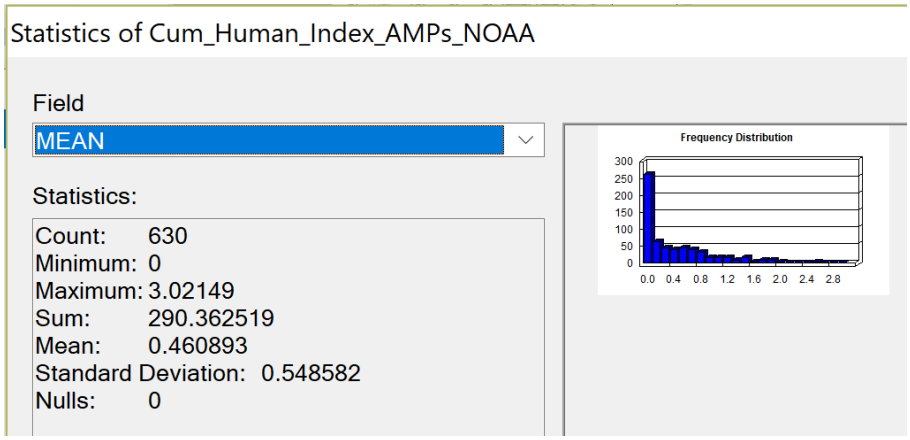


i. Comparación entre AMPs: selección por atributo de la capa generada en paso 2a para cada AMP. Ver apéndice #1.
   1. RNAC: se generó una capa con 580 polígonos (desde 0.04m^2 hasta 200,000m^2) de las amenazas basadas en el conocimiento de expertos para la RNAC
   2. RNCLP: se generó una capa con 50 polígonos (desde 806m^2 hasta 200,000m^2) de las amenazas basada en el conocimiento de expertos para la RNCLP

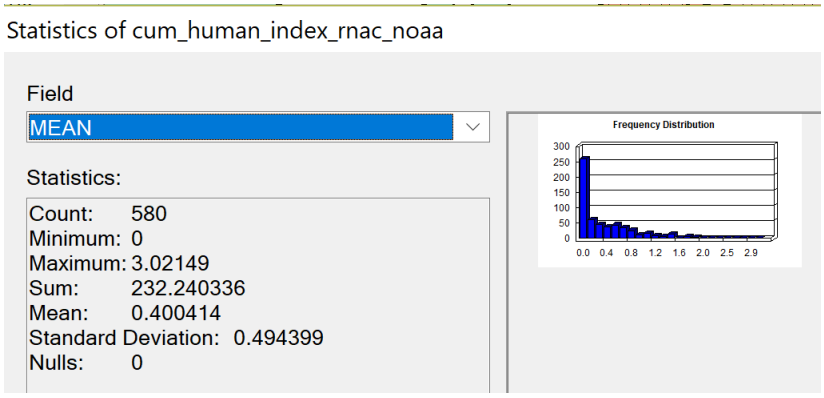
b. **Generación de capa con el índice de impacto humano cumulativo de ambas AMPs**

Intersección con la capa de índice de impacto humano cumulativo (IIHC) para generar una capa (**IIHC de AMPs**) con 630 polígonos (3% del total de la capa (20,402 polígonos), mayormente hexágonos, de aprox. 200,000 metros cuadrados o 0.01 a 20 hectáreas por hexágono. Los polígonos seleccionados contienen valores desde 0 a 3.02, con promedio total de 0.46 y D.E. de 0.54.

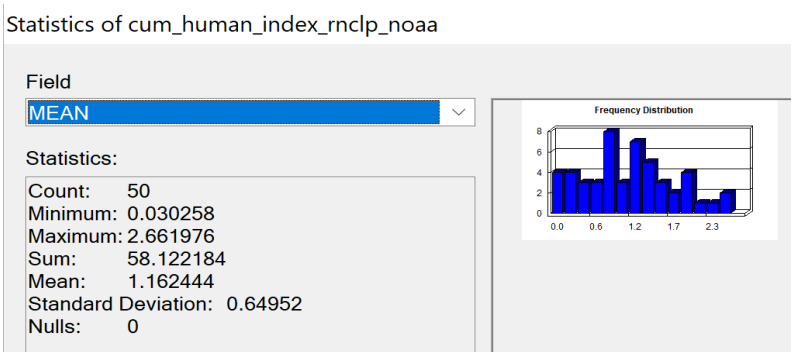




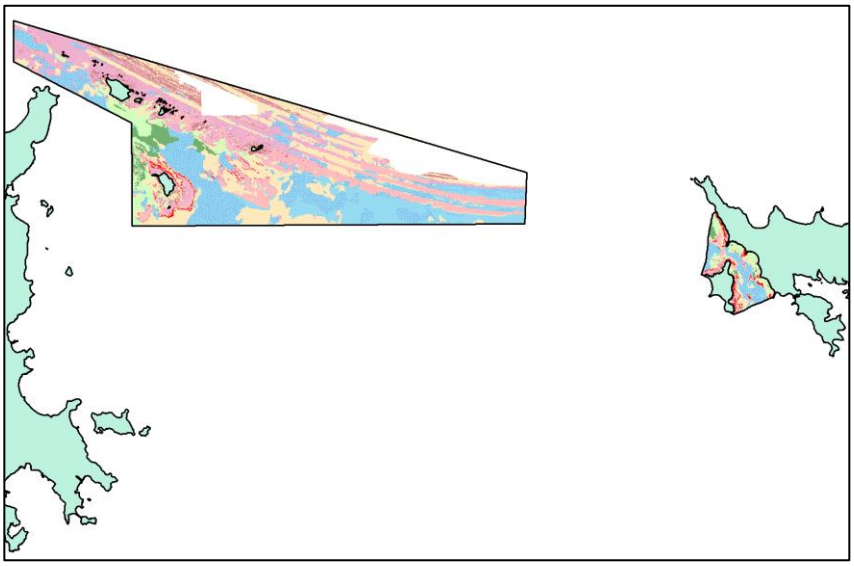
i. Comparación entre AMPs: selección por atributo de la capa generada en paso 2b para cada AMP.
   1. RNAC: se generó una capa con 580 polígonos (desde 0.04m² hasta 200,000m²) del índice de impacto humano cumulativo de la NOAA para la RNAC, con promedio de 0.4 con valor máximo de 3.02 y valor mínimo de 0.



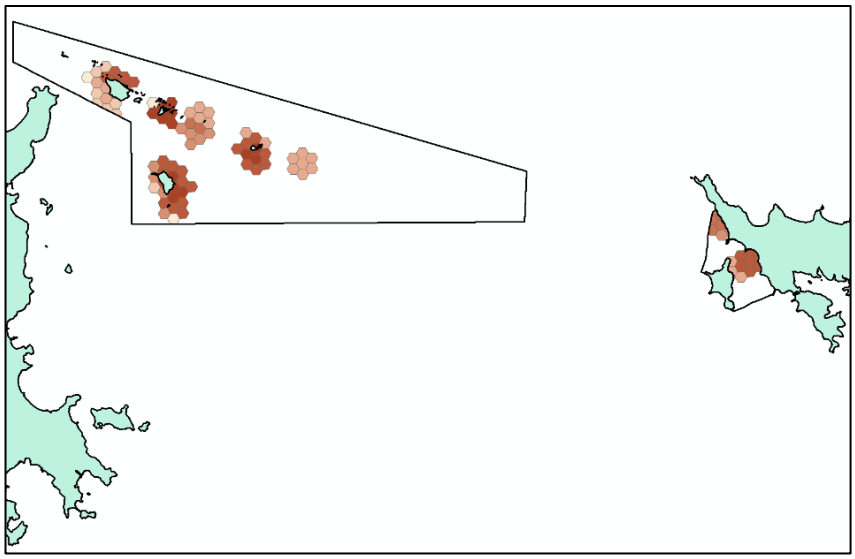
   2. RNCLP: se generó una capa con 50 polígonos (desde 806m² hasta 200,000m²) del índice de impacto humano cumulativo de la NOAA para la RNCLP, con un promedio de 1.16 con valor máximo de 2.66 y valor mínimo de 0.03



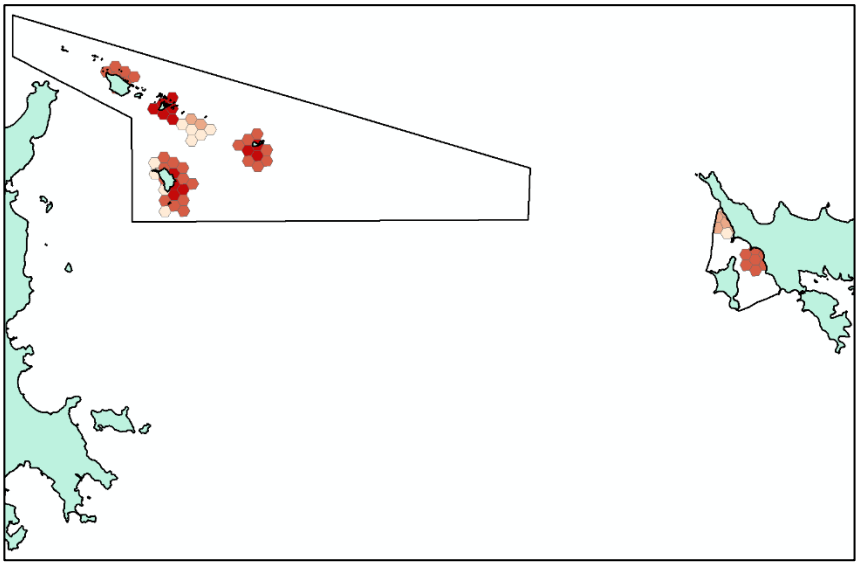
c. **Generación de capa con hábitat béntico de las AMPs de enfoque Intersección con la capa de hábitat béntico del Gran Corredor Marino del Noreste de Puerto Rico (HB)** para generar una capa (**hábitat bénticos de AMPs**) con los polígonos que representan los hábitats bénticos de las AMPs de interés.
   i. **Ver apéndice #2 para comparación de hábitat bénticos entre AMPs**



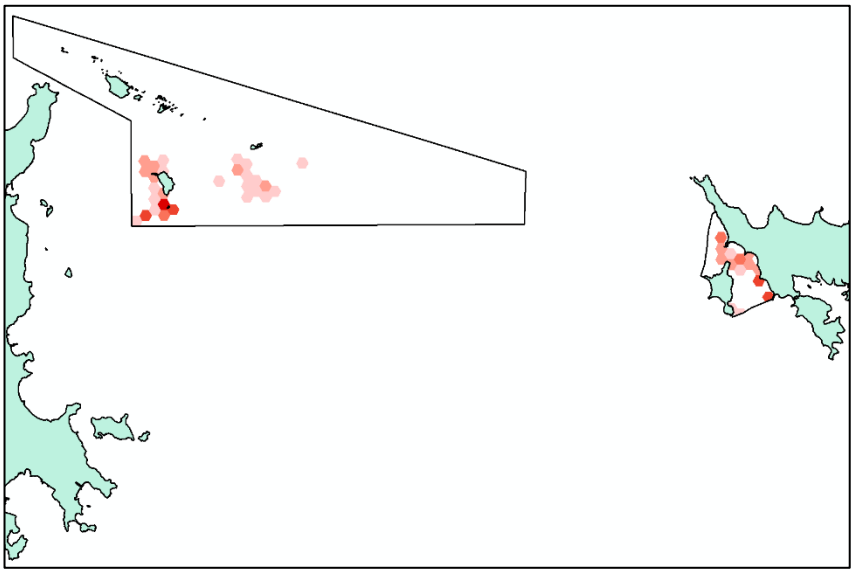
3. **Generación de las capas de amenazas e impacto humano cumulativo con criterios seleccionados para cumplir con los objetivos de este trabajo.**
   'Selección por atributo' de criterios de interés:
   d. Selección de valores "1 o más" del atributo de 'Suma de amenazas" de la capa generada en el paso 2a para generar la **capa de "AC con al menos 1 amenaza en las AMPs".**



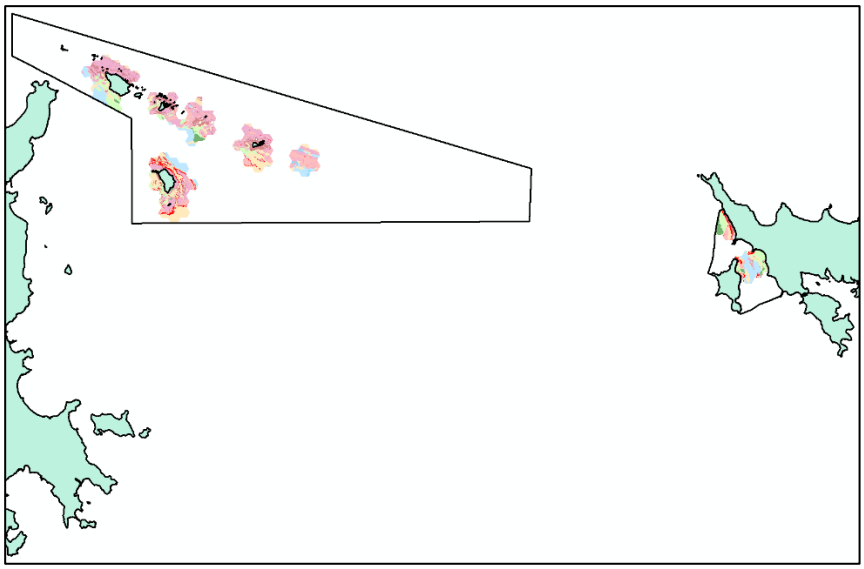
e. Selección de valores "4 o más" del atributo de 'Suma de amenazas" de la capa generada en el paso 2a para generar la **capa de "AC con más de 3 amenazas en las AMPs"**



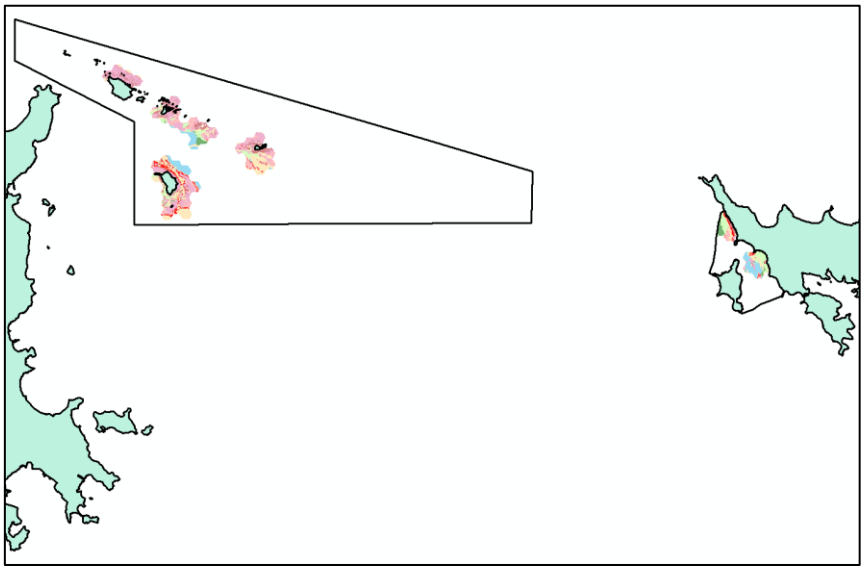
f. Selección de valores de "más de 1.5" del atributo "media" de la capa generada en el paso 2b para generar la **capa de IIHC de mayor o igual que 1.5 en las AMPs.**



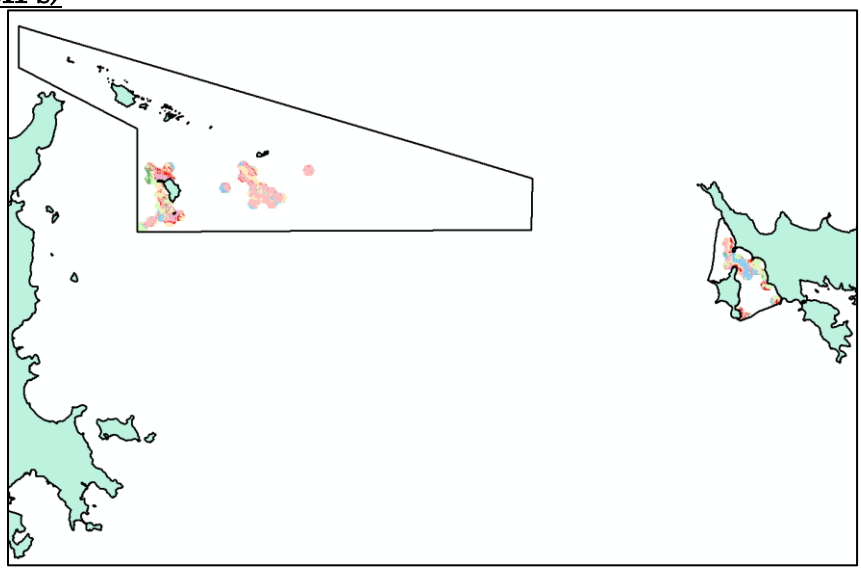
4. Generación de la '**capa con hábitat bénticos bajo amenazas o impacto humano en las AMPs':**
   Intersección de los polígonos generados en el paso 3a (AC), 3b (4AC) y 3c (IIHC>1.5) con la capa de hábitat bénticos de las AMPs generada en el paso 2c y luego se realizó un "dissolve" para agregar valores basado en el atributo de 'hábitat':
   g. **Intersección entre la capa generada en el paso 4a ('AC de al menos 1 amenaza') y la capa de 'hábitat béntico de AMPs'** para generar la capa **'hábitat béntico con al menos una amenaza cumulativa de las AMPs'**



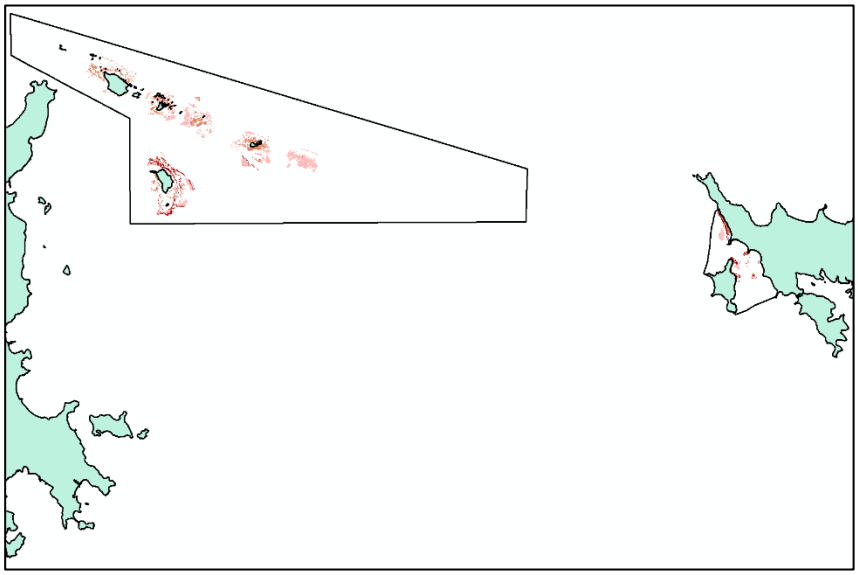
   h. **Intersección entre la capa generada en el paso 4b ('AC con más de 3 amenazas' en la AMPs') y la capa de 'hábitat béntico de AMPs'** para generar la capa **'hábitat béntico con más de 3 amenazas cumulativas de las AMPs'**



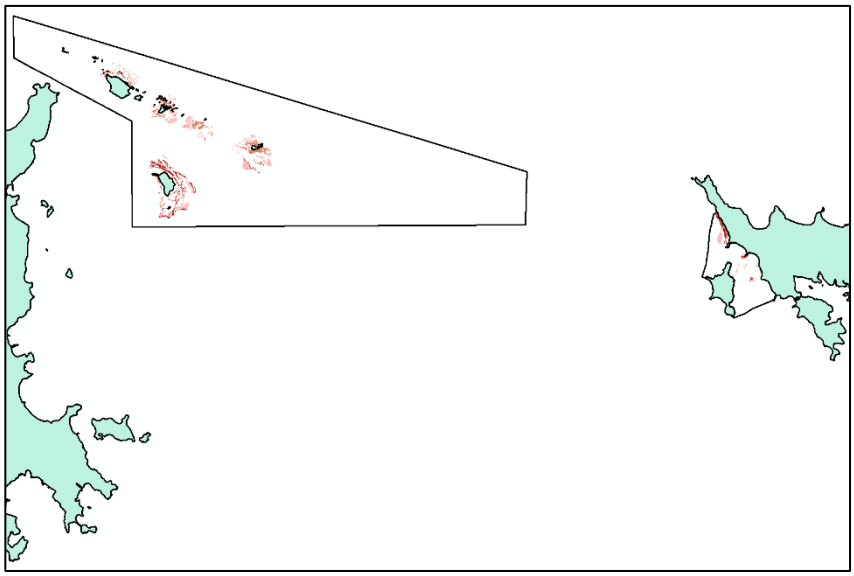
i. **Intersección entre la capa generada en el paso 4c de 'Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) mayor de 1.5' y la capa de 'hábitat béntico de AMPs'** para generar la capa ('**hábitat béntico con IIHC mayor de 1.5 de las AMPs)**



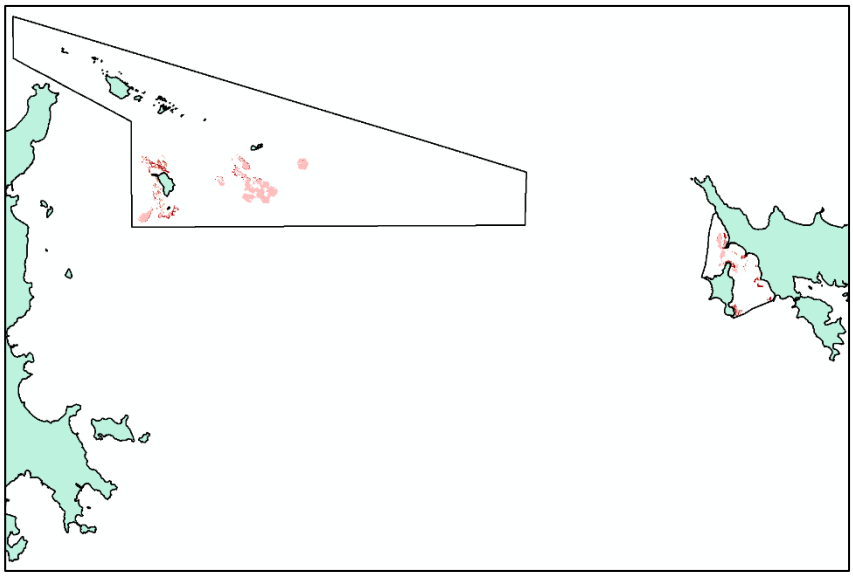
5. Generación de **la capa con arrecifes de coral saludables y sensitivos de las AMPs basado en los criterios seleccionados.**
   Selección de los polígonos con arrecifes de coral con al menos un relieve alto y/o una cobertura de coral alta (alto relieve-alto coral, alto relieve-bajo coral, alto coral-bajo relieve) de la capa generada en el paso 4a, 4b y 4c:
   j. **Selección de los polígonos con arrecifes de coral con al menos un alto relieve y/o una alto cobertura de coral de la "capa de hábitat béntico con al menos una amenaza" para generar la 'capa de arrecifes de coral sensitivos con al menos una amenaza cumulativa'**



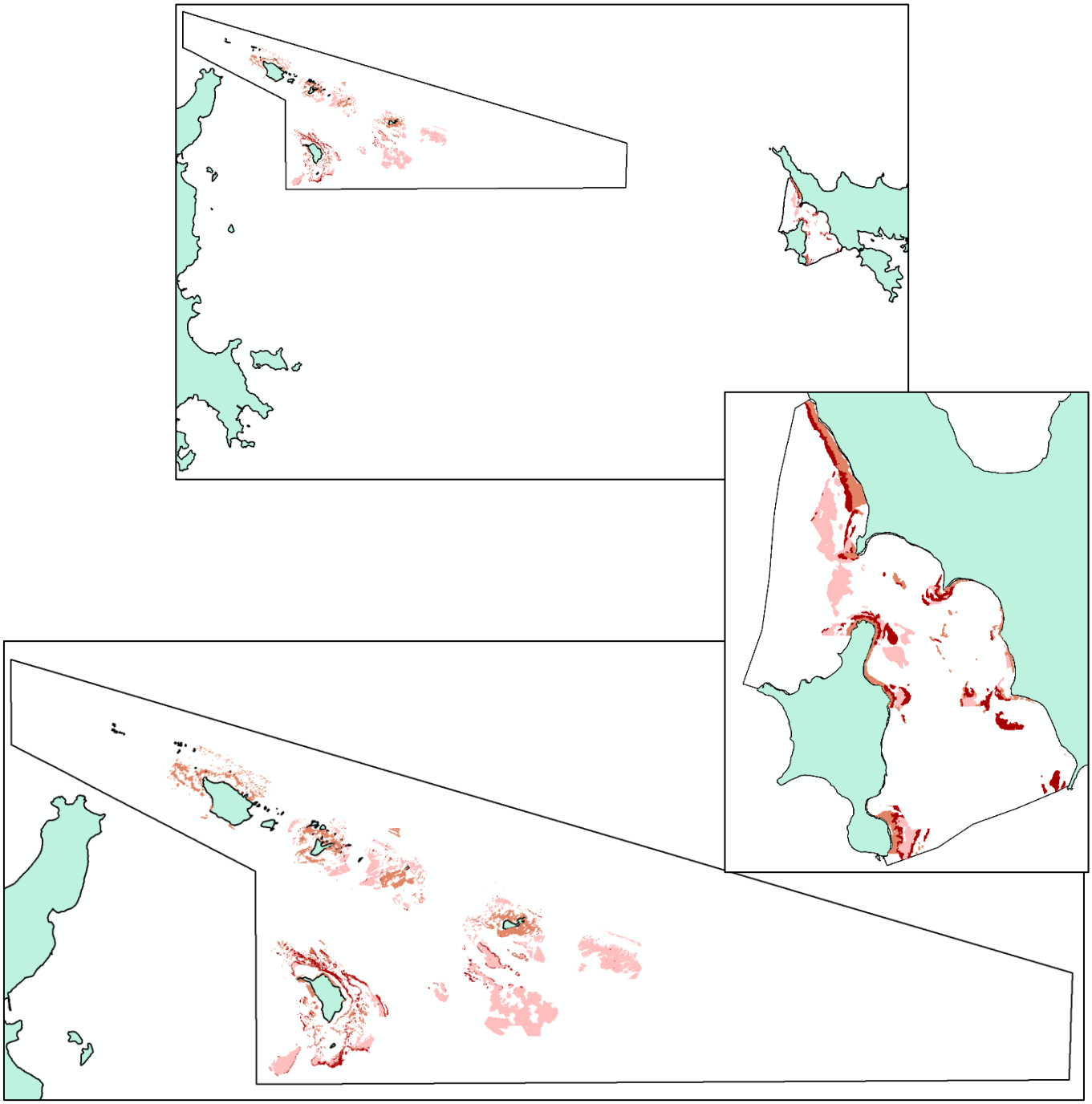
k. Selección de los polígonos con arrecifes de coral con al menos un alto relieve y/o una alto cobertura de coral de la "capa de hábitat béntico con más de 3 amenazas" para generar la 'capa de arrecifes de coral altamente sensitivos con más de 3 amenazas'



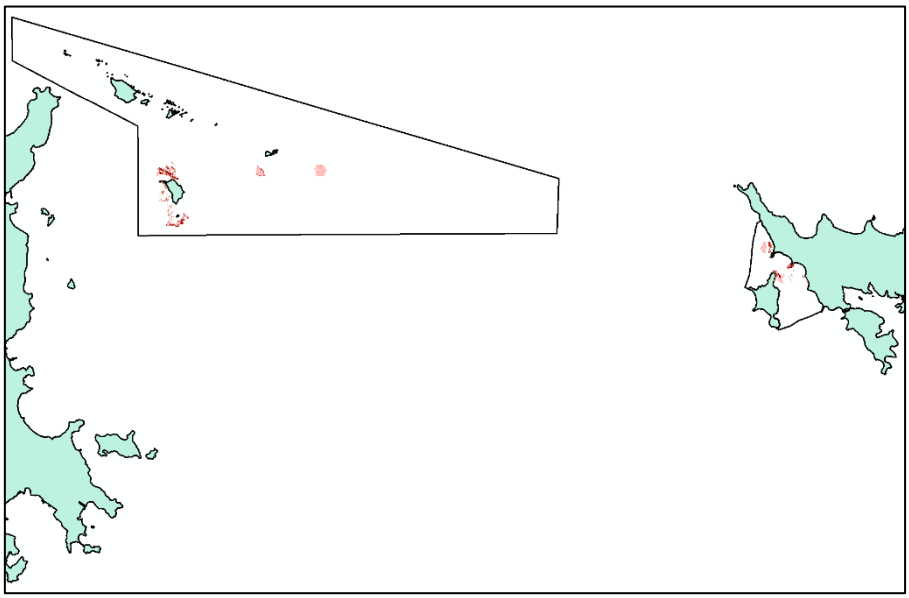
l. Selección de los polígonos con arrecifes de coral con al menos un alto relieve y/o una alto cobertura de coral de la "capa con hábitat bénticos sensitivos con un IICH mayor de 1.5" para generar la "capa con arrecifes de coral sensitivos con un IICH mayor de 1.5"

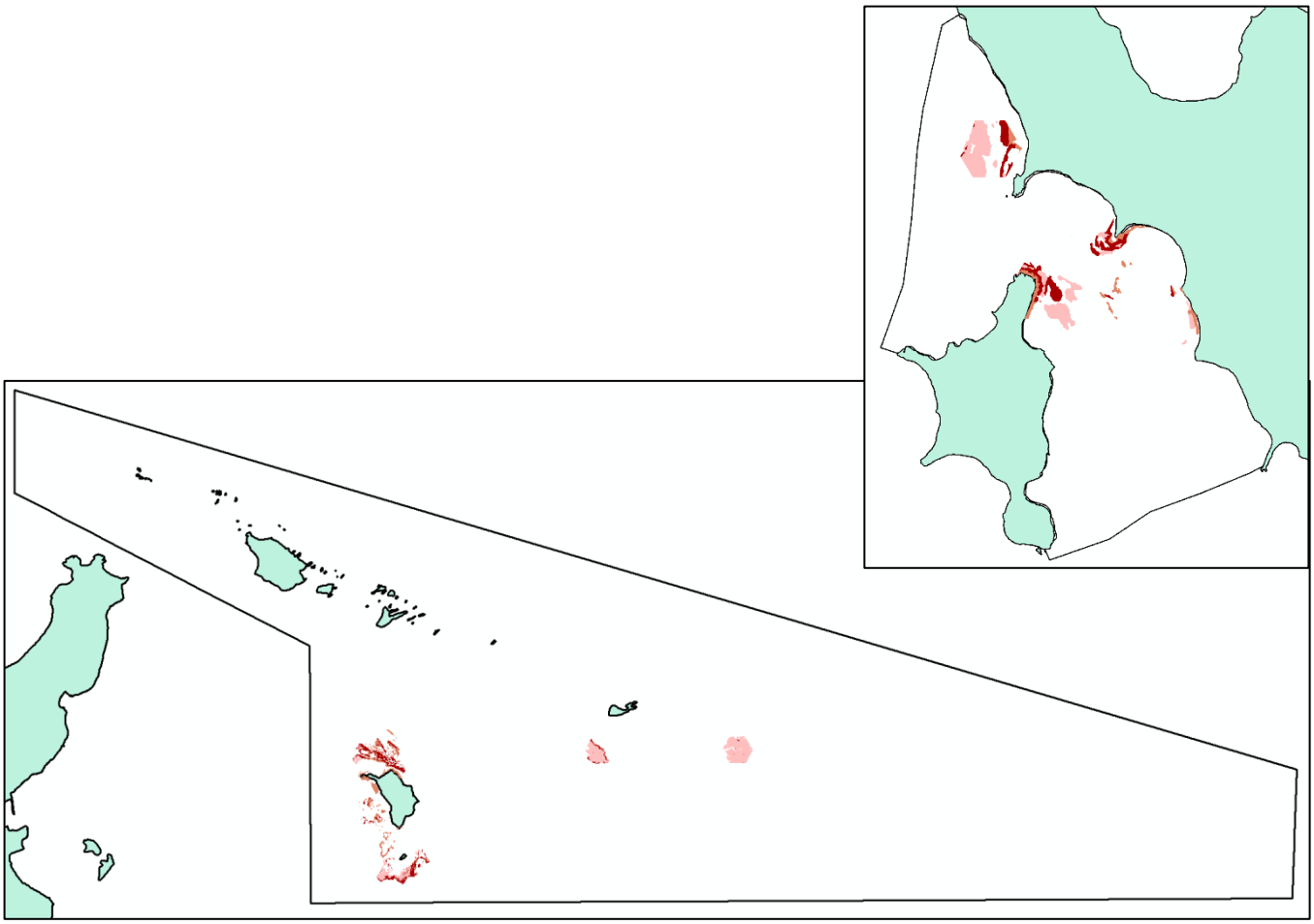


6. **Generación de las "capas de arrecifes de coral sensitivos de las AMPs de enfoque".**
   m. 'Merge' entre la **"capa con arrecifes de coral sensitivos con un IICH mayor de 1.5" y la 'capa de arrecifes de coral sensitivos con al menos 1 amenaza' para generar <u>la capa con 'arrecifes de coral sensitivos de las AMPs de enfoque con un IICH mayor de 1.5 y/o con al menos 1 amenaza'</u>**



n. Intersección entre la **"capa con arrecifes de coral sensitivos con un IICH mayor de 1.5" y la 'capa de arrecifes de coral sensitivos con al menos 1 amenaza' para generar la capa con 'arrecifes de coral sensitivos de las AMPs de enfoque con un IICH mayor de 1.5 y con al menos 1 amenaza'**





Resumen de capas generadas por pasos:

Pasos	Capas generadas	Núm #	Capas específicas	Descripción
1	Capa de 'AMPs de enfoque'	1	AMPs de enfoque	Capa polígonos con las AMPs de enfoque (2 polígonos): Reserva Natural Canal Luis Peña, Culebra y la Reserva Natural Arrecifes de la Cordillera, Fajardo
2	Capas con la intersección de los polígonos que contiene los límites legales de las AMPs de enfoque	2	AC de AMPs	Capa de polígonos con las amenazas cumulativas en las AMPs de enfoque, basado en el conocimiento de los expertos consultados por la NOAA
		3	IIHC de AMPs	Capa de polígonos con el índice de impacto humano cumulativo desarrollado por la NOAA en las AMPs de enfoque
		4	Hábitat béntico de AMPs	Capa de polígonos con los hábitats bénticos de las AMPs de enfoque
3	Capas de amenazas e índice de impacto humano cum.	5	Zonas con al menos 1 amenaza (AC)	Capa de polígonos con las zonas con al menos 1 amenaza cumulativas en las AMPs de enfoque, basado en el conocimiento de los expertos consultados por la NOAA
		6	Zonas con más de 3 amenazas cumulativas (AC)	Capa de polígonos con las zonas con más de 3 amenazas cumulativas en las AMPs de enfoque, basado en el conocimiento de los expertos consultados por la NOAA
		7	Zonas con un IIHC de mayor de 1.5	Capa de polígonos con las zonas con un índice de impacto humano cumulativo mayor de 1.5 en las AMPs de enfoque
4	Capas con hábitat bénticos bajo amenazas o impacto humano cumulativo	8	Hábitat béntico con al menos una amenaza cumulativa de las AMPs	Capa de polígonos con el hábitat béntico en zonas expuestas a al menos una amenaza cumulativa de las AMPs de enfoque
		9	Hábitat béntico con más de 3 amenazas cumulativas de las AMPs	Capa de polígonos con el hábitat béntico en zonas expuestas a más de 3 amenazas cumulativas de las AMPs de enfoque
		10	Hábitat béntico con un IIHC mayor de 1.5 de AMPs	Capa de polígonos con el hábitat béntico en zonas expuestas a un índice de impacto humano cumulativo mayor de 1.5 en las AMPs de enfoque

5	Capa con arrecifes sensitivos de las AMPs basado en los criterios seleccionados.	11	Arrecifes de coral sensitivos con más de 3 amenazas cumulativas	Capa de polígonos con los arrecifes de coral sensitivos en zonas expuestas a más de 3 amenazas cumulativas de las AMPs de enfoque
		12	Arrecifes de coral sensitivos con al menos una amenaza cumulativa	Capa de polígonos con los arrecifes de coral sensitivos en zonas expuestas a al menos una amenaza cumulativa de las AMPs de enfoque
		13	Arrecifes de coral sensitivos con un IICH mayor de 1.5	Capa de polígonos con los arrecifes de coral sensitivos en zonas expuestas a un índice de impacto humano cumulativo mayor de 1.5 en las AMPs de enfoque
6	Capa de arrecifes de coral saludales y sensitivos de las AMPs de enfoque	**14**	**Arrecifes de coral saludables y sensitivos con al menos una amenaza cumulativa y un IICH mayor de 1.5**	Capa de polígonos con los arrecifes de coral saludables y sensitivos en zonas expuestas a al menos una amenaza cumulativa y un IICH mayor de 1.5 de las AMPs de enfoque
		15	**Arrecifes de coral sensitivos con al menos una amenaza cumulativa y/o un IICH mayor de 1.5**	Capa de polígonos con los arrecifes de coral saludables y sensitivos en zonas expuestas a al menos una amenaza cumulativa y/o un IICH mayor de 1.5 de las AMPs de enfoque

Descripción de los geodatos utilizados para generar los mapas de arrecifes saludables y resilientes:

Capas de polígonos utilizadas (previamente descritas en sección anterior):

1. **Capa de índice de impacto humano cumulativo (IIHC)**
2. **Capa de conocimiento de expertos de las amenazas cumulativas (AC)**
3. **Capa de hábitat béntico del Gran Corredor Marino del Noreste de Puerto Rico (HB)**
4. **Capa de límites legales de las reservas naturales del noreste de Puerto Rico**

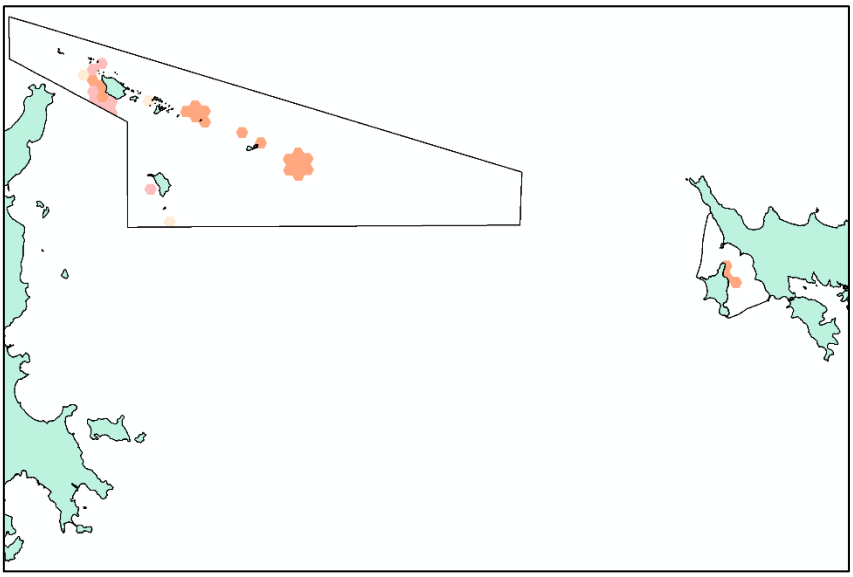
Geoprocesamiento de los datos disponibles:

Para generar la capa de arrecifes saludables y resilientes, se realizó el siguiente geoprocesamiento (mismos pasos del geoprocesamiento anterior desde el 1-2):

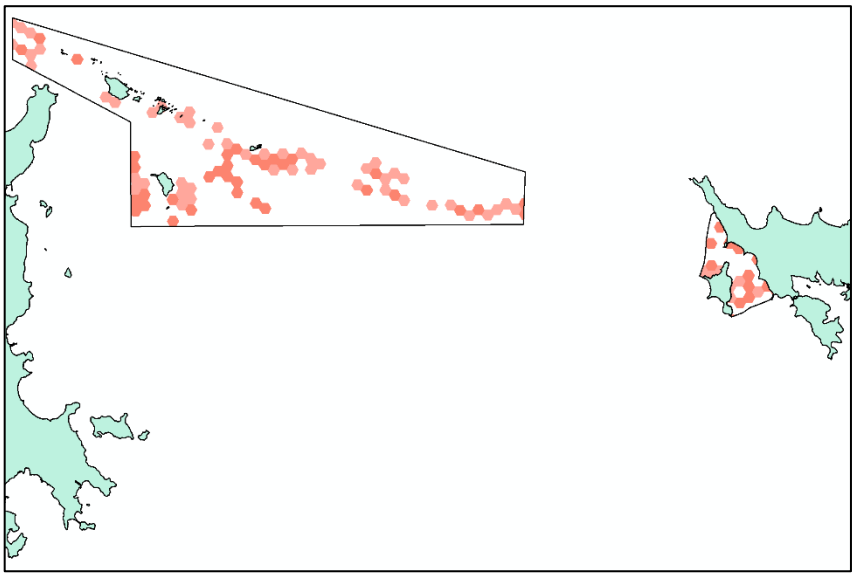
7. **Generación de la capa de 'AMPs de enfoque'**
8. **Generación de las capas de interés (IIHC, AC y HB) que contiene los límites legales de las dos AMPs de enfoque**
9. **Generación de las capas de amenazas e impacto humano cumulativo con criterios seleccionados para arrecifes de coral saludables y resilientes.**

'Selección por atributo' de criterios de interés:

a. Selección de valores "de 1 a 3" del atributo de 'Suma de amenazas" de la capa generada en el paso 2 para generar la **capa de "AC con 1 a 3 amenazas en las AMPs"**



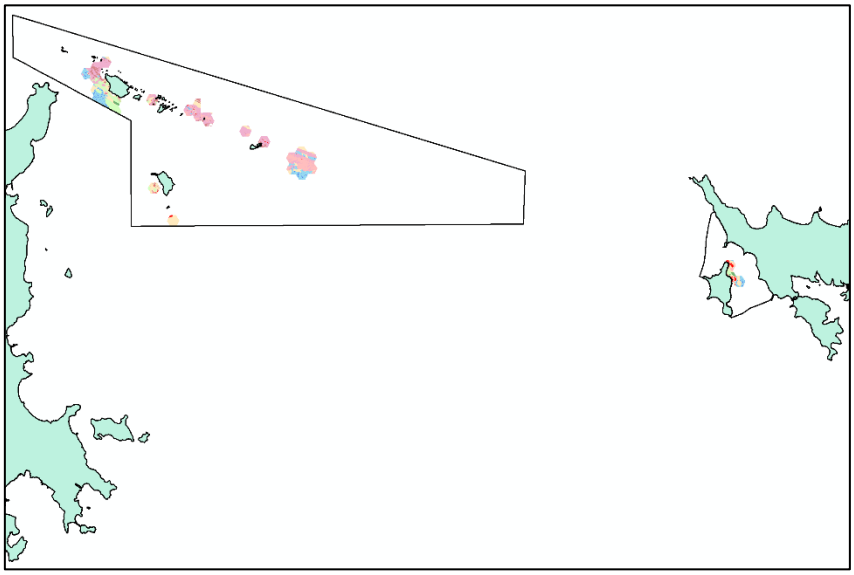
b. Selección de valores de "0.75 a 1.5" del atributo "media" de la capa generada en el paso 2b para generar la **capa de IIHC entre 0.75 y 1.5 en las AMPs.**



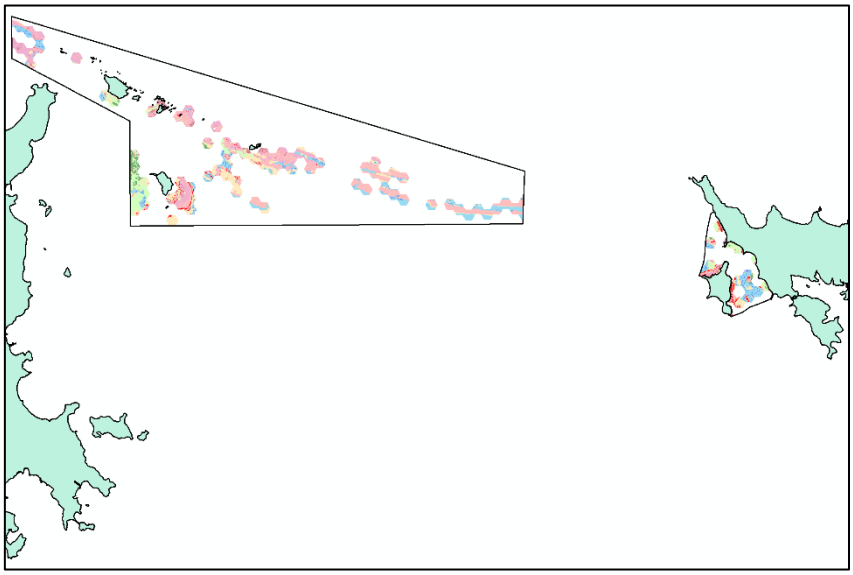
10. Generación de la '**capa con hábitat bénticos bajo poca amenaza o impacto humano relativo en las AMPs':**

Intersección de los polígonos generados en el paso 3a y 3b con la capa de hábitat bénticos de las AMPs generada en el paso 2 y luego se realizó un "dissolve" para agregar valores basado en el atributo de 'hábitat':

a. **Intersección entre la capa generada en el paso 3a ('AC de 1 a 3 amenazas') y la capa de 'hábitat béntico de AMPs'** para generar la capa **'hábitat béntico con 1 a 3 amenazas cumulativa de las AMPs'**



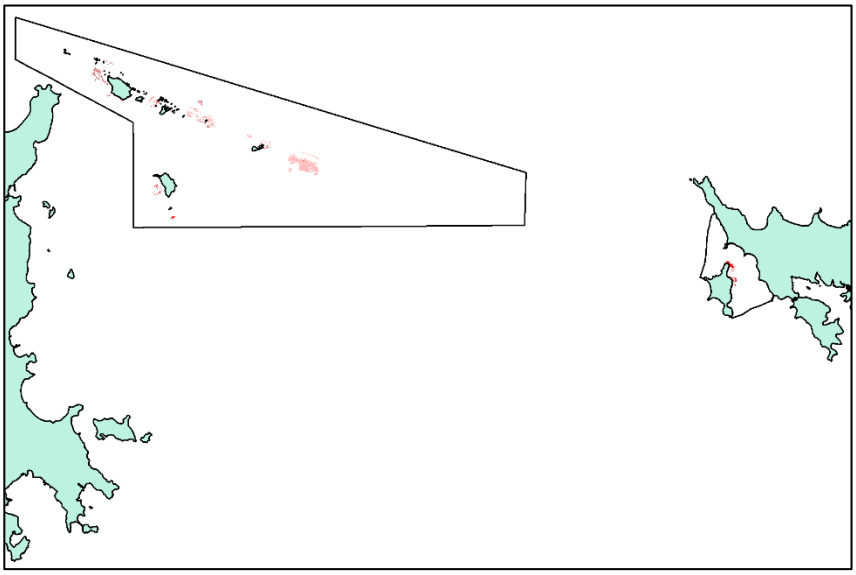
b. **Intersección entre la capa generada en el paso 3b de 'Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) de 0.75 a 1.5' y la capa de 'hábitat béntico de AMPs'** para generar la capa ('**hábitat béntico con IIHC de 0.75 a 1.5 de las AMPs)**



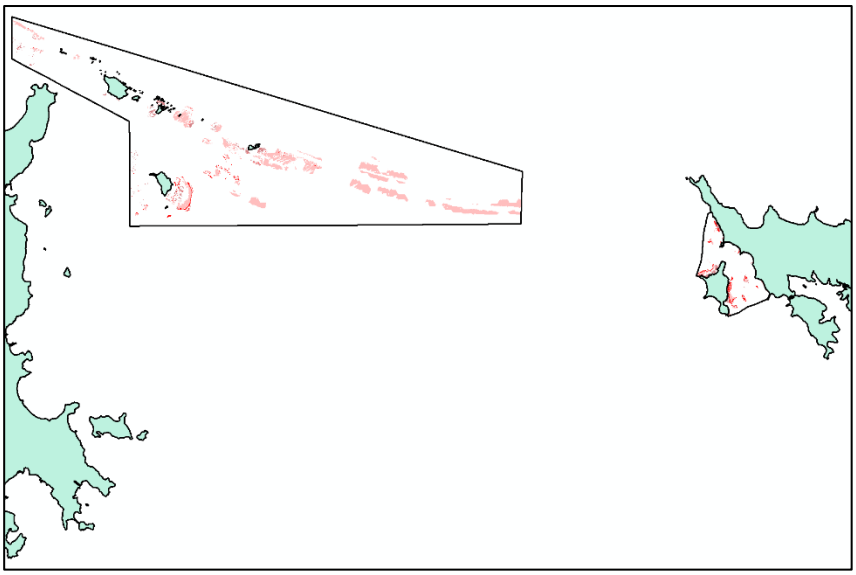
11. Generación de **la capa con arrecifes de coral saludables y resilientes de las AMPs basado en los criterios seleccionados.**

Selección de los polígonos con arrecifes de coral con un alto relieve y/o una alta cobertura de coral (alto relieve-alto coral, Alto relieve-bajo coral, bajo relieve, alto coral) de las "capas con hábitat bénticos con relativa baja exposición" generadas en el paso 4.

a. Selección de los polígonos con arrecifes de coral con alto relieve y/o una alta cobertura de coral de la 'capa de hábitat béntico con 1 a 3 amenazas' para generar la 'capa de arrecifes de coral saludables y resilientes con 1 a 3 amenazas'

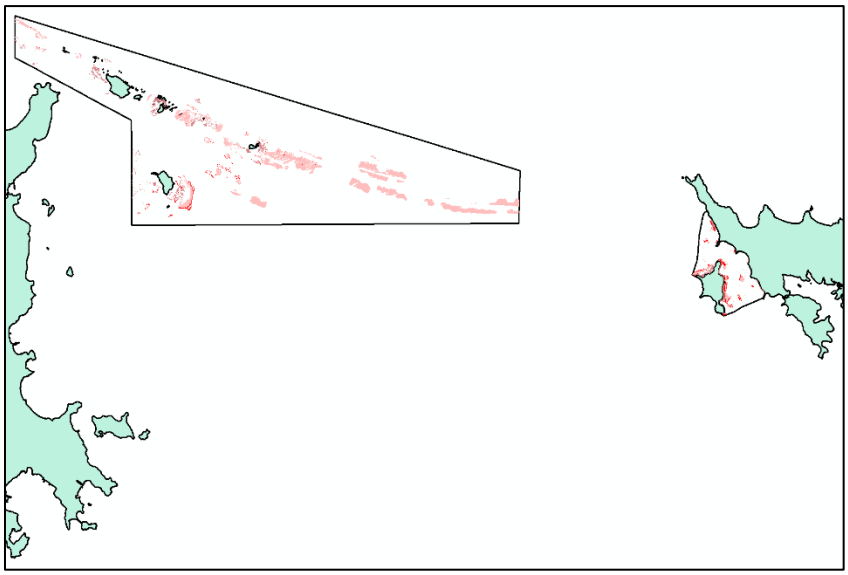


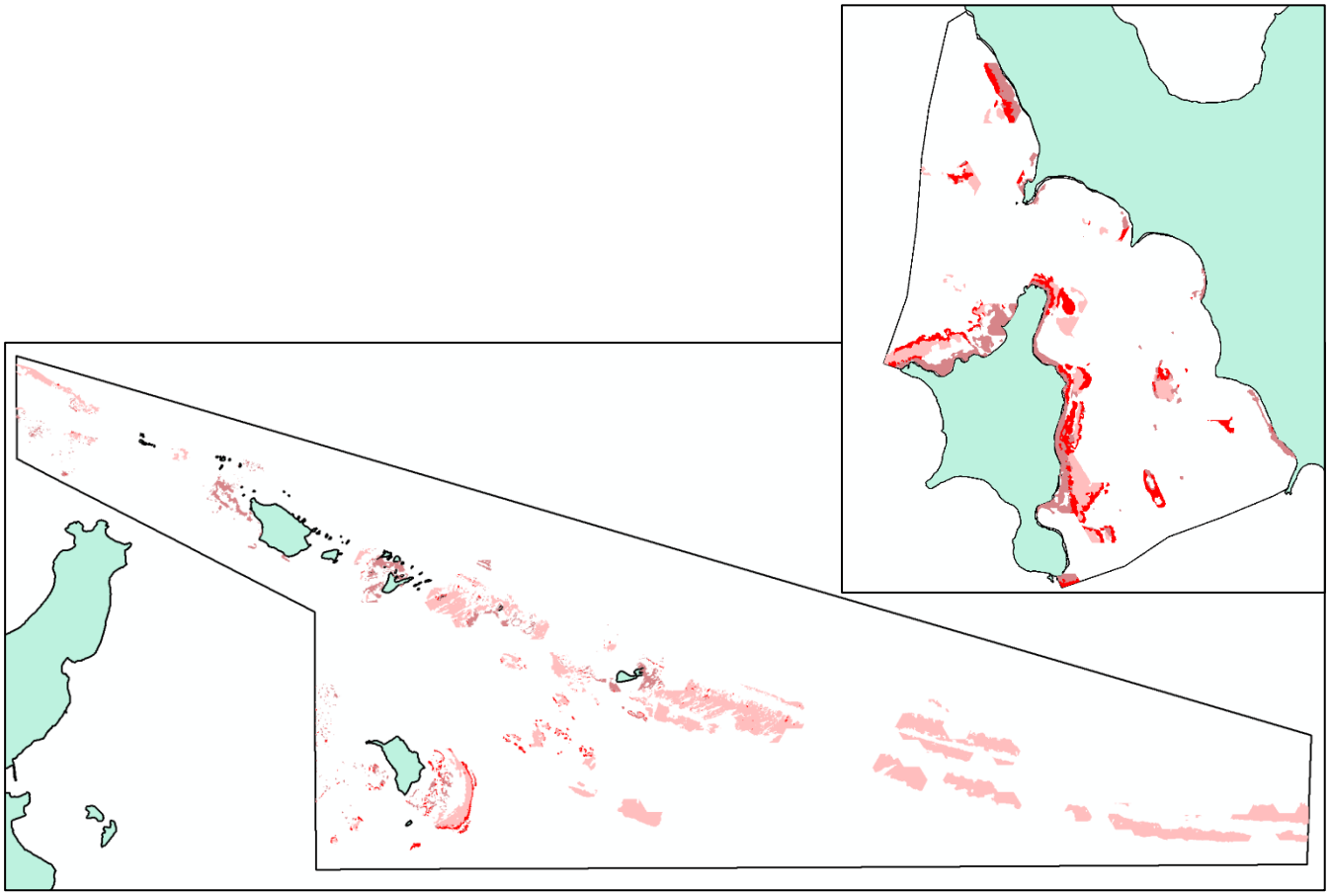
b. Selección de los polígonos con arrecifes de coral con alto relieve y/o una alta cobertura de coral de la "capa con hábitat bénticos con baja exposición con un IICH de 0.75 a 1.5" para generar la "capa con arrecifes de coral saludables y resilientes con un IICH de 0.75 a 1.5"



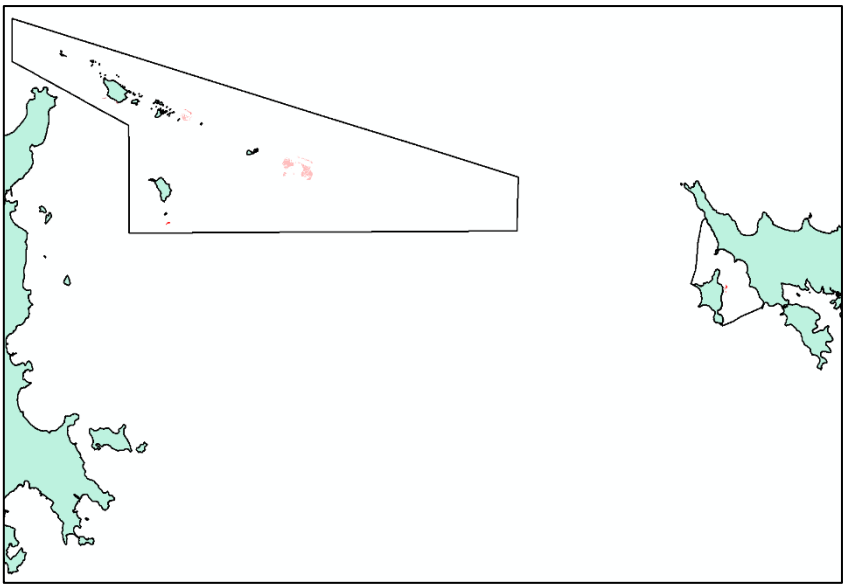
12. Generación de las "capas de arrecifes de coral resilientes y saludables de las AMPs de enfoque".

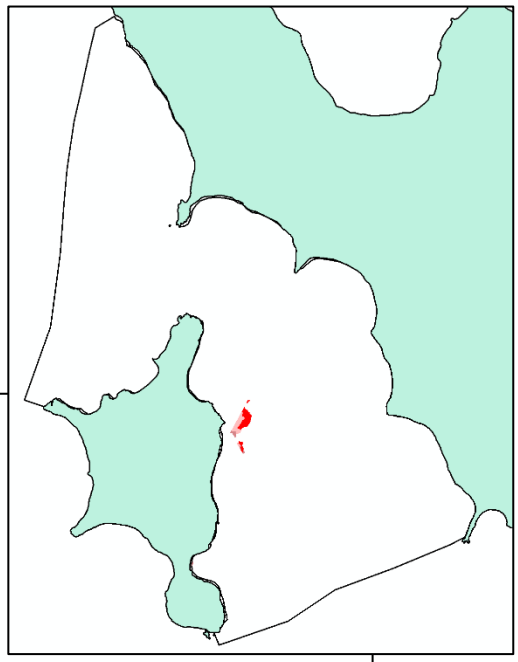
a. 'Merge' entre la **"capa con arrecifes de coral saludables con un IICH de 0.75 a 1.5" y la 'capa de arrecifes de coral saludables con 1 a 3 amenazas cumulativas' para generar <u>la capa con 'arrecifes de coral saludables y resilientes de las AMPs de enfoque con un IICH de 0.75 a 1.5 y/o con 1 a 3 amenazas cumulativas'</u>**

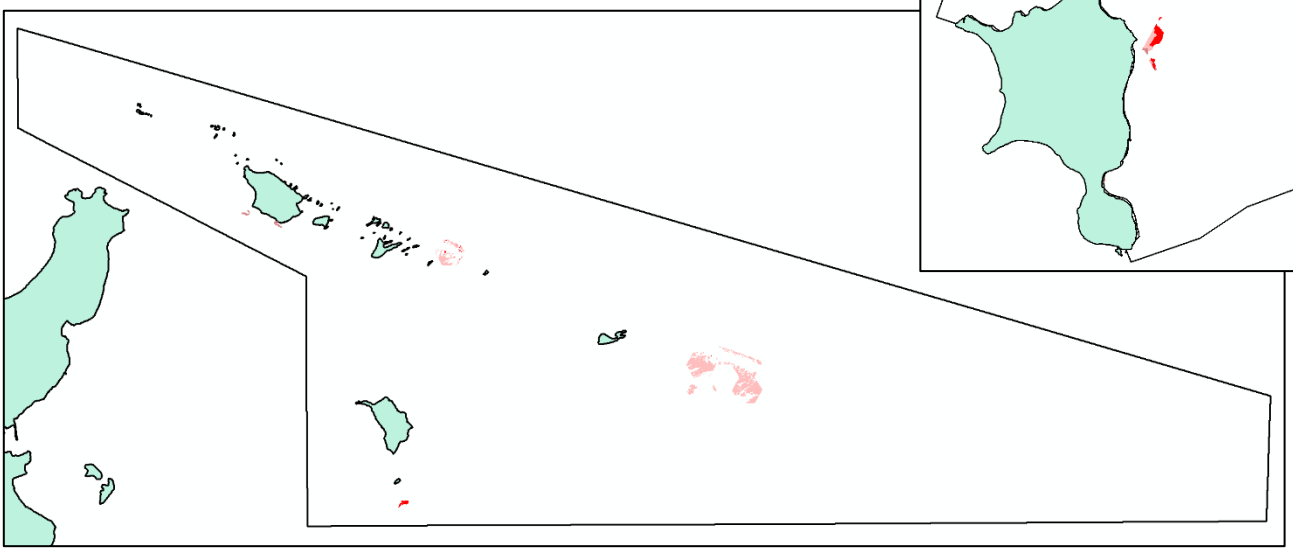




b. Intersección entre la **"capa con arrecifes de coral saludables con un IICH de 0.75 a 1.5" y la 'capa de arrecifes de coral saludables con 1 a 3 amenazas cumulativas' para <u>generar la capa con 'arrecifes de coral saludables y resilientes de las AMPs de enfoque con un IICH de 0.75 a 1.5 y con 1 a 3 amenazas cumulativas'</u>**







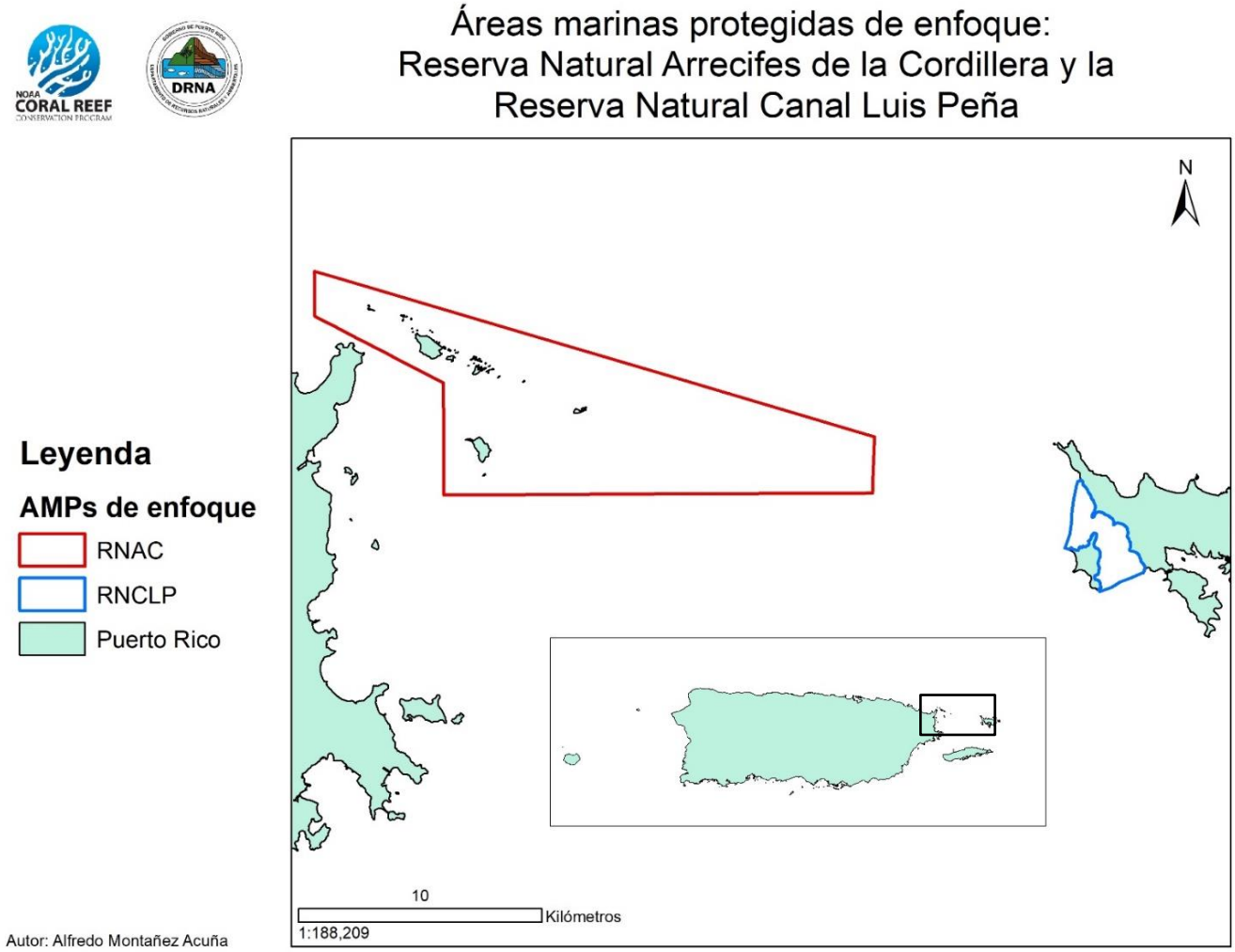
Resumen de capas adicionales generadas:

Pasos	Capas generadas	Núm #	Capas específicas	Descripción
3	**Capas de amenazas e impacto humano cumulativo con criterios seleccionados para arrecifes de coral saludables y resilientes**	16 ***	Zonas con 1 a 3 amenazas cumulativas (AC)	Capa de polígonos con las zonas con 1 a 3 amenazas cumulativas en las AMPs de enfoque, basado en el conocimiento de los expertos consultados por la NOAA
		17	**Zonas con IIHC de 0.75 a 1.5 en las AMPs.**	Capa de polígonos con las zonas con un índice de impacto humano cumulativo de 0.75 a 1.5 en las AMPs de enfoque
4	Capas **con hábitat bénticos con baja amenaza o impacto humano relativo en las AMPs'**	18	**Hábitat béntico con 1 a 3 amenazas cumulativas de las AMPs'**	Capa de polígonos con el hábitat béntico en zonas con 1 a 3 amenazas cumulativas de las AMPs de enfoque
		19	**Hábitat béntico con IIHC de 0.75 a 1.5 de las AMPs**	Capa de polígonos con el hábitat béntico en zonas expuestas a un índice de impacto humano cumulativo de 0.75 a 1.5 en las AMPs de enfoque
5	Capas con arrecifes saludables y resilientes de las AMPs basado en los criterios seleccionados	20	Arrecifes de coral saludables y resilientes con 1 a 3 amenazas cumulativas	Capa de polígonos con los arrecifes de coral saludables y resilientes en zonas con 1 a 3 amenazas cumulativas de las AMPs de enfoque
		21	Arrecifes de coral saludables y resilientes con un IICH de 0.75 a 1.5	Capa de polígonos con los arrecifes de coral sensitivos en zonas expuestas a un índice de impacto humano cumulativo de 0.75 a 1.5 en las AMPs de enfoque
6	Capas de arrecifes de coral saludables y resilientes de las AMPs de enfoque con baja exposición basado en los	**22**	Arrecifes de coral saludables y resilientes de las AMPs de enfoque con 1 a 3 amenazas cumulativas y/o un IICH de 0.75 a 1.5	Capa de polígonos con los arrecifes de coral saludables y resilientes en zonas con 1 a 3 amenazas cumulativas y/o un IICH de 0.75 a 1.5 de las AMPs de enfoque
		23	Arrecifes de coral saludables y resilientes de las AMPs de enfoque con 1 a 3 amenazas	Capa de polígonos con los arrecifes de coral saludables y resilientes en zonas con 1 a 3 amenazas cumulativas y un IICH de 0.75 a 1.5 de las AMPs de enfoque

	criterios seleccionados		cumulativas y un IICH de 0.75 a 1.5	

Apéndice #2: 'By-products', información o capas generadas como parte del geoprocesamiento realizado para el análisis

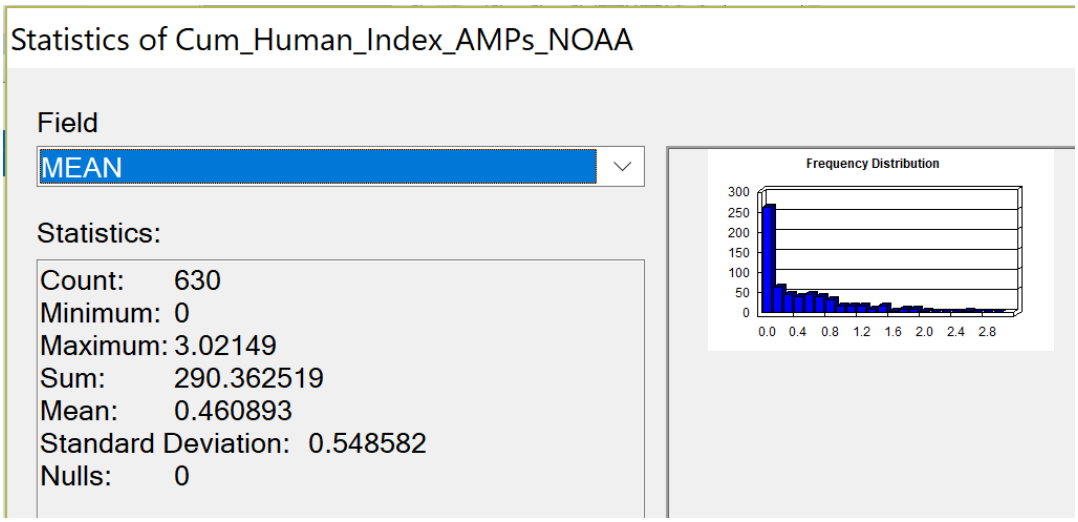
Delimitación legal de las áreas marinas protegidas de enfoque

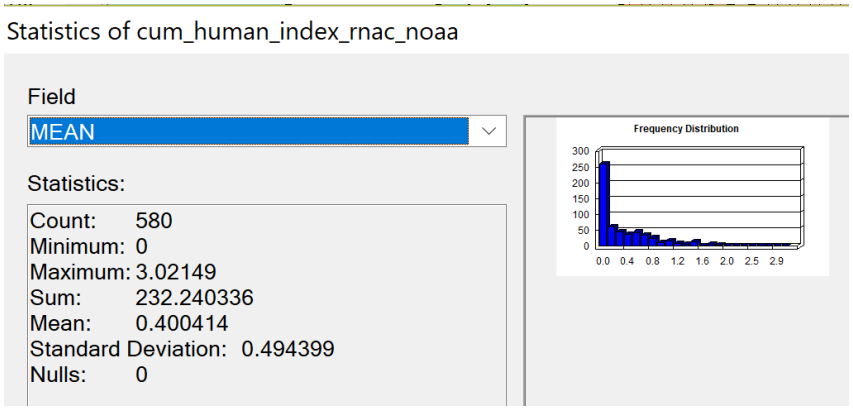


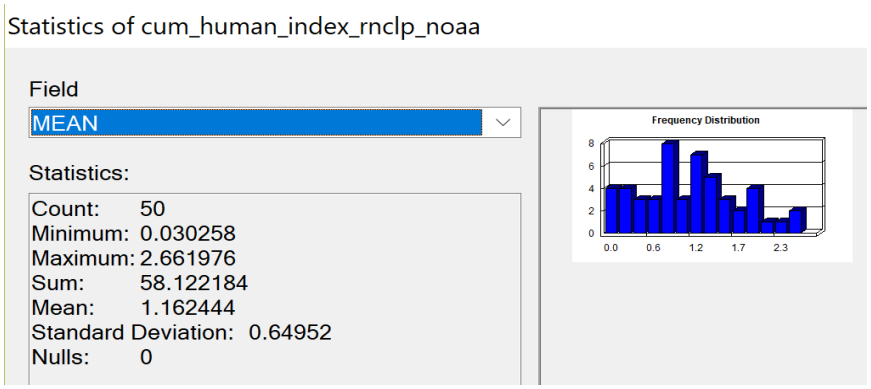
Resumen de amenazas basadas en el conocimiento de expertos consultados por la NOAA para las AMPs de enfoque

Amenazas basadas en el conocimiento de expertos consultados por la NOAA	Número de polígonos de la RNAC (n=580)	Número de polígonos de la RNCLP (n=50)
Anclaje	**66 (11%)**	**14 (28%)**
Desarrollo	0	0
Pesca	63 (10%)	17 (34%)
Encallamiento	19 (3%)	7 (14%)
Uso Humano	**63 (10%)**	**18 (36%)**
Invasivas	38 (6%)	0
Termal	54 (9%)	14 (32%)
Calidad de agua	54 (9%)	16 (32%)
Todas	**13 con 7 (2%), 49 (8%) con 4 o más, 77 (13%) con al menos 1 amenaza**	**14 (28%) con 4 o más, 18 (36%) con al menos 1 amenaza**

Estadísticas generadas a partir de la selección de los polígonos identificados para las AMPs de enfoque: Índice de Impacto Cumulativo Humano







Resumen de hábitat béntico por AMP de enfoque

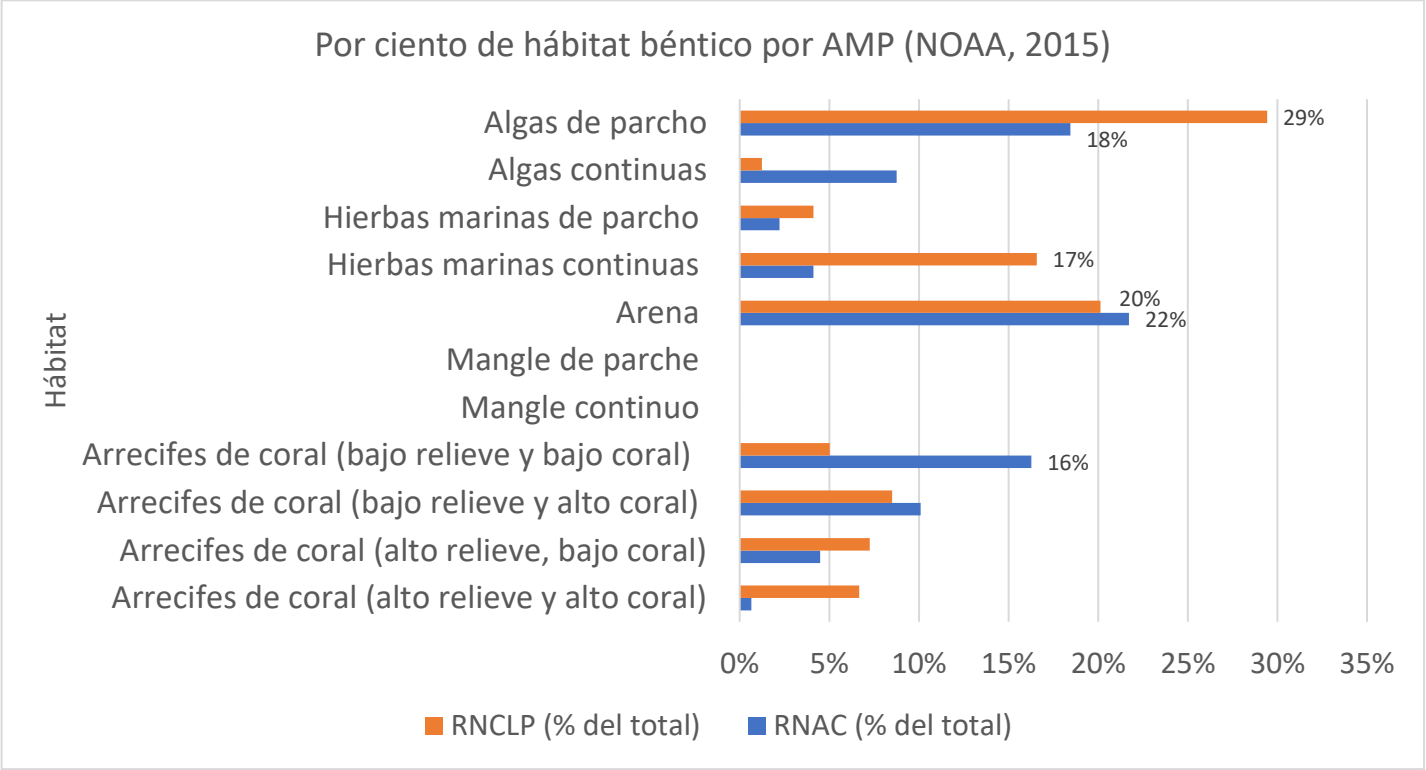
Hábitat béntico (NOAA 2015)	Área de **RNAC** (hectáreas)	Área de **RNCLP** (hectáreas)
Arrecifes de coral (alto relieve y alto coral)	66.15	42.22
Arrecifes de coral (alto relieve, bajo coral)	452.51	45.91
Arrecifes de coral (bajo relieve y alto coral)	1019.32	53.84
Arrecifes de coral (bajo relieve y bajo coral)	1642.62	31.8
Mangle continuo	0	0.002
Mangle de parche	0	0
Arena	2191.93	127.46
Hierbas marinas continuas	415.49	104.98
Hierbas marinas de parcho	224.72	26.035

Algas continuas	884.32	7.88
Algas de parcho	1861.7	186.31
Artificial	0.08	0
Desconocido	1196.89	0
Tierra	136.62	6.77
Total	10092.35	633.207

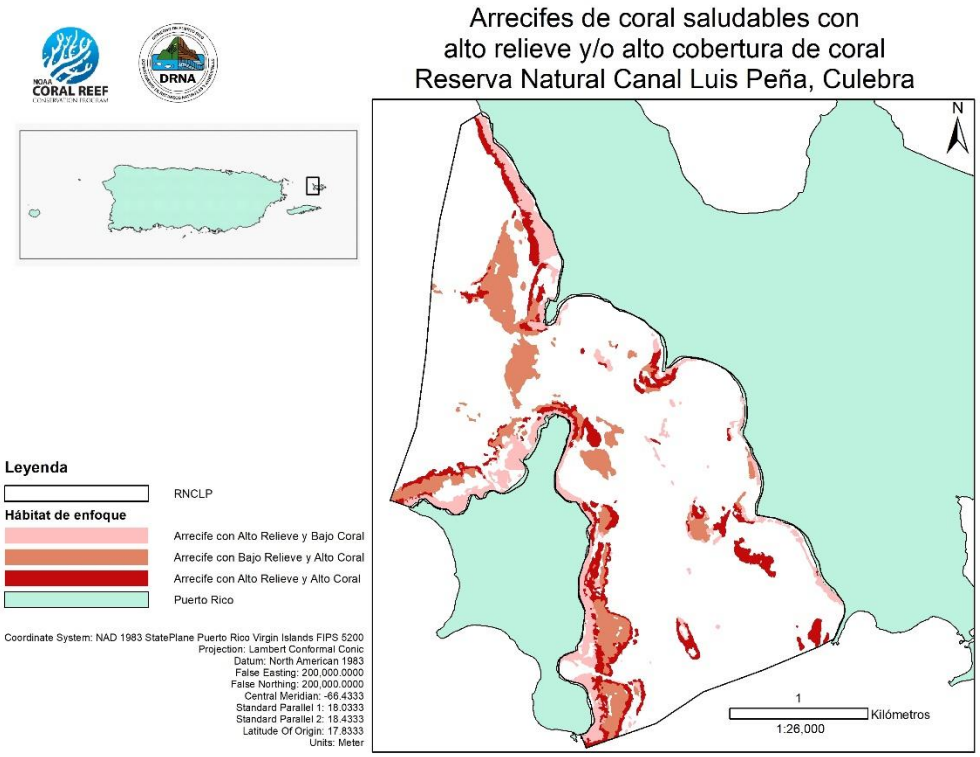
Comparación de hábitat béntico de la RNAC y la RNCLP

Hábitat béntico (NOAA 2015)	**RNAC (hectáreas)**	**% del total (n=10092 hectáreas)**	**RNCLP (hectáreas)**	**% del total (n=633 hectáreas)**
Arrecifes de coral	3180.6	**32%**	173.77	27%
Mangle	0	0%	0.002	0%
Arena	2191.93	22%	127.46	20%
Hierbas marinas	640.21	6%	131.015	21%
Algas	2746.02	27%	194.19	**31%**

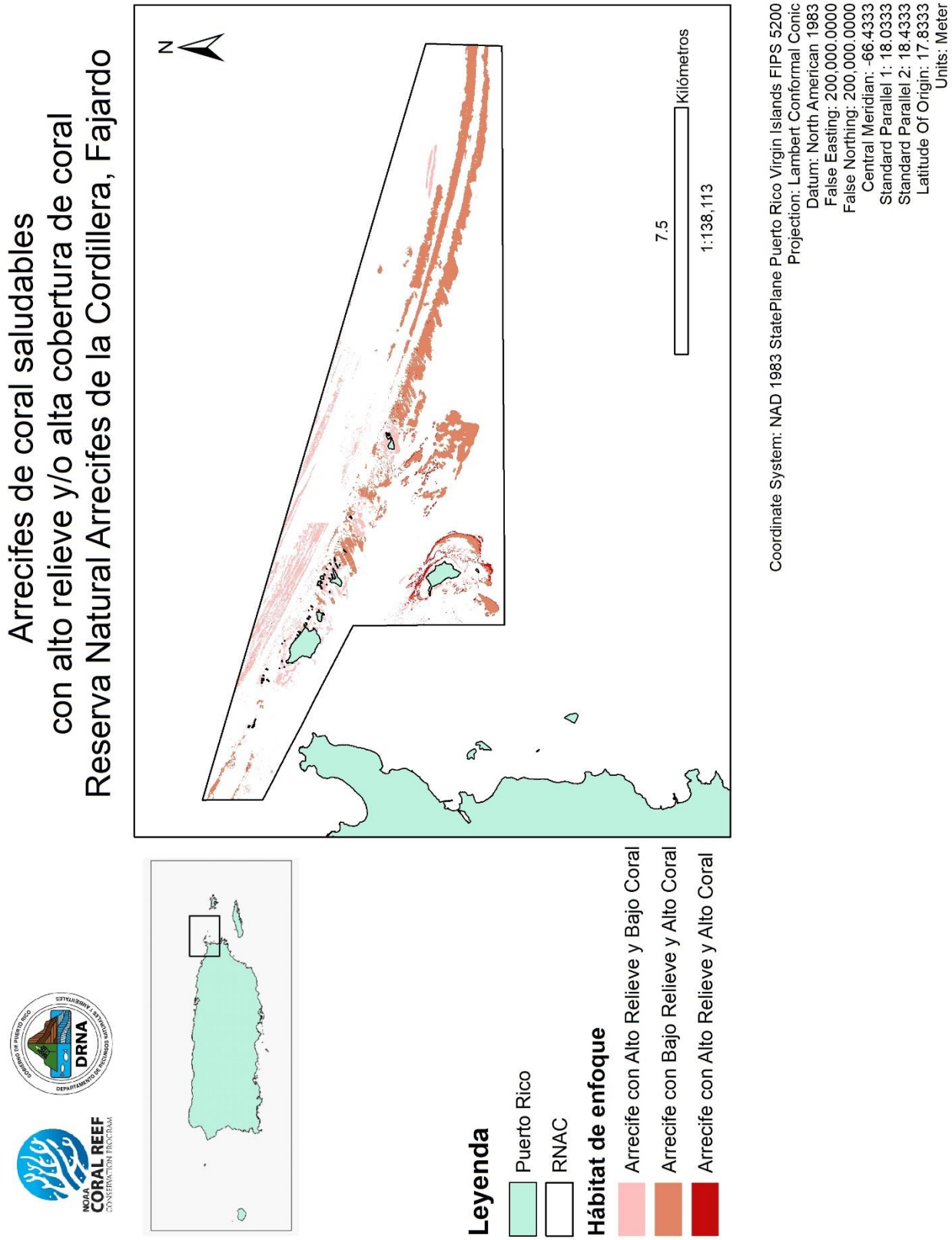
Comparación de porciento de hábitat béntico entre AMPs de enfoque



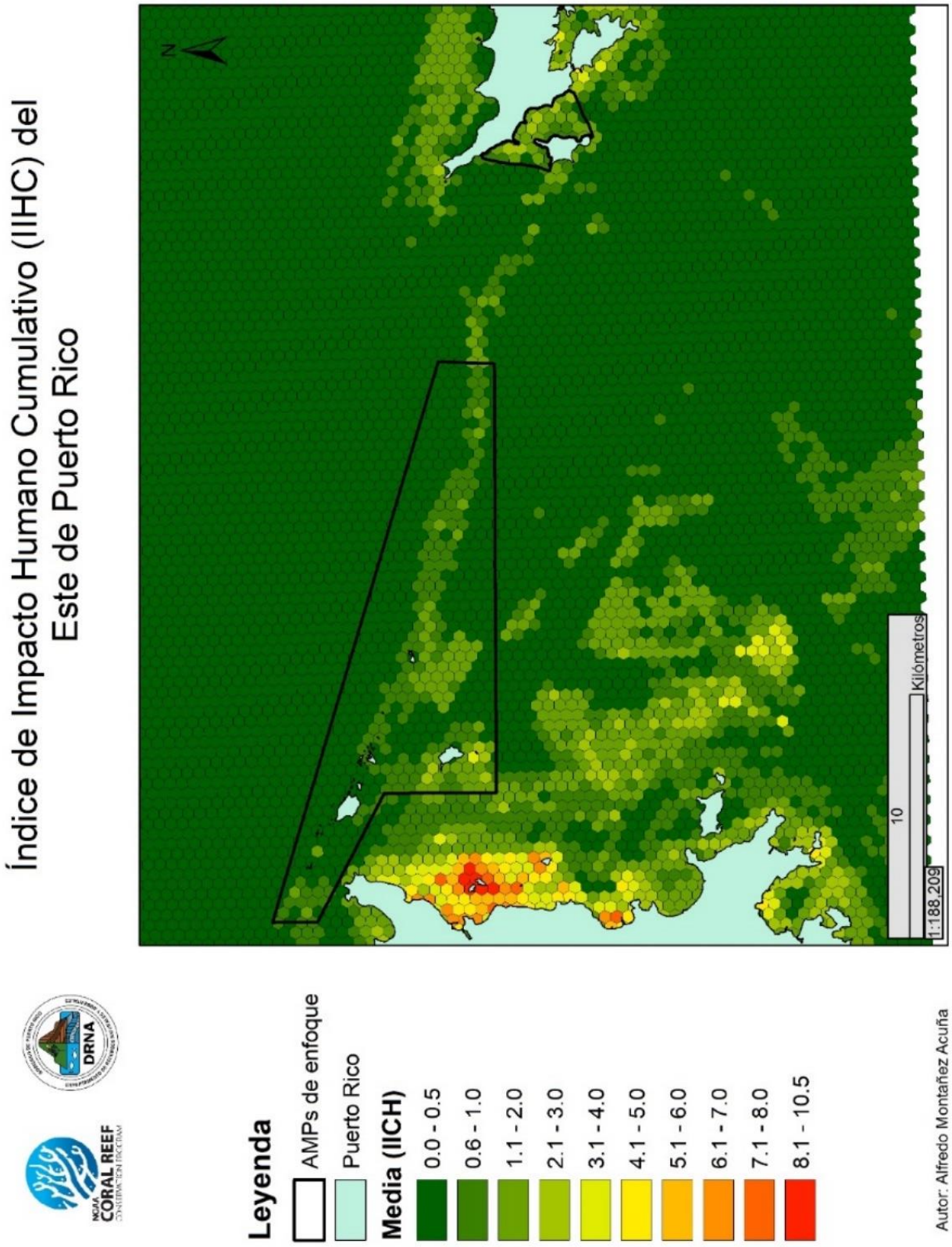
Arrecifes de coral saludables en la RNCLP



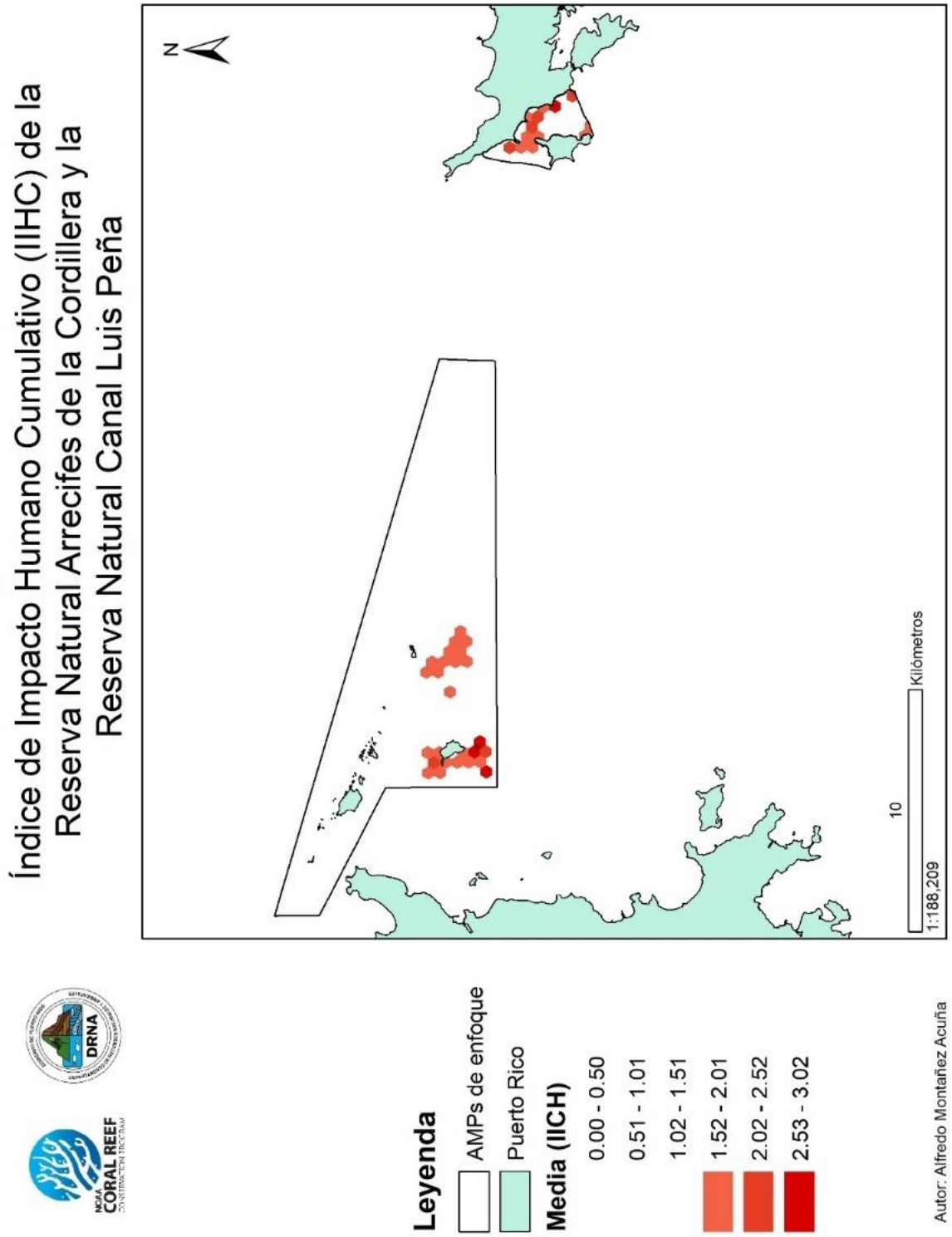
Arrecife de coral saludables en la RNAC



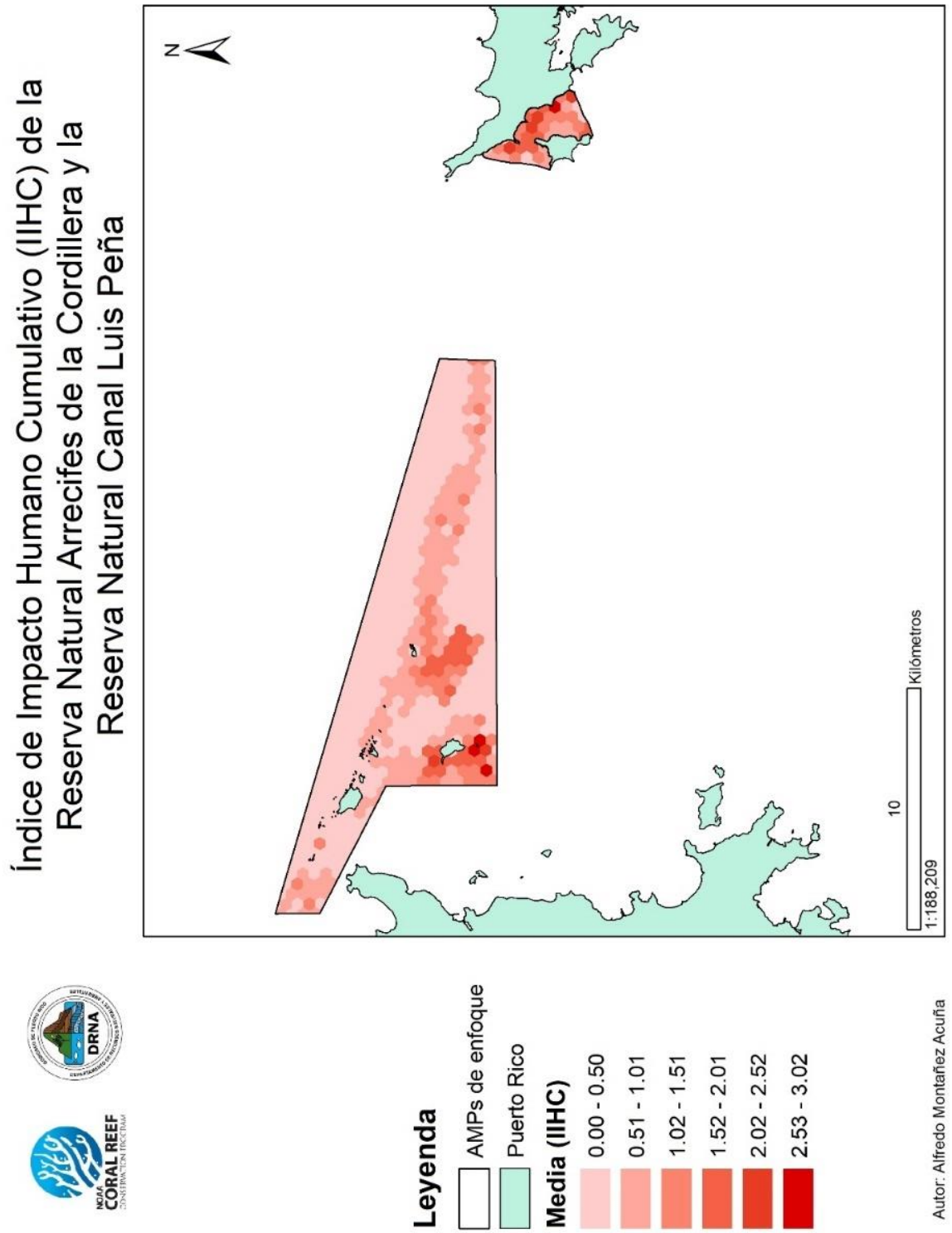
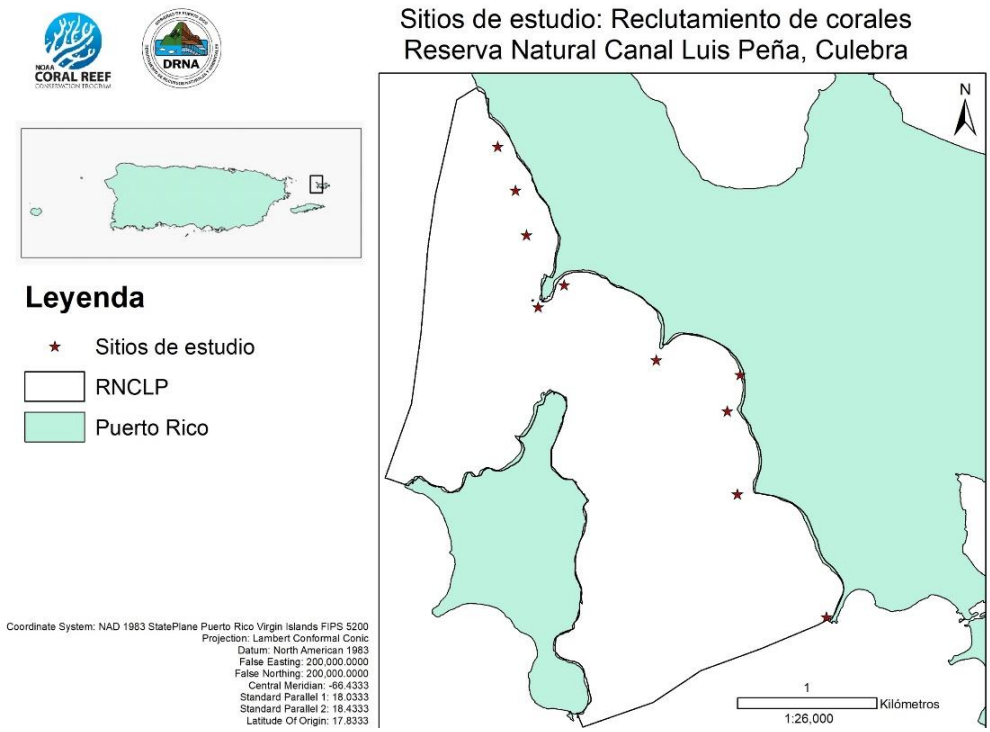
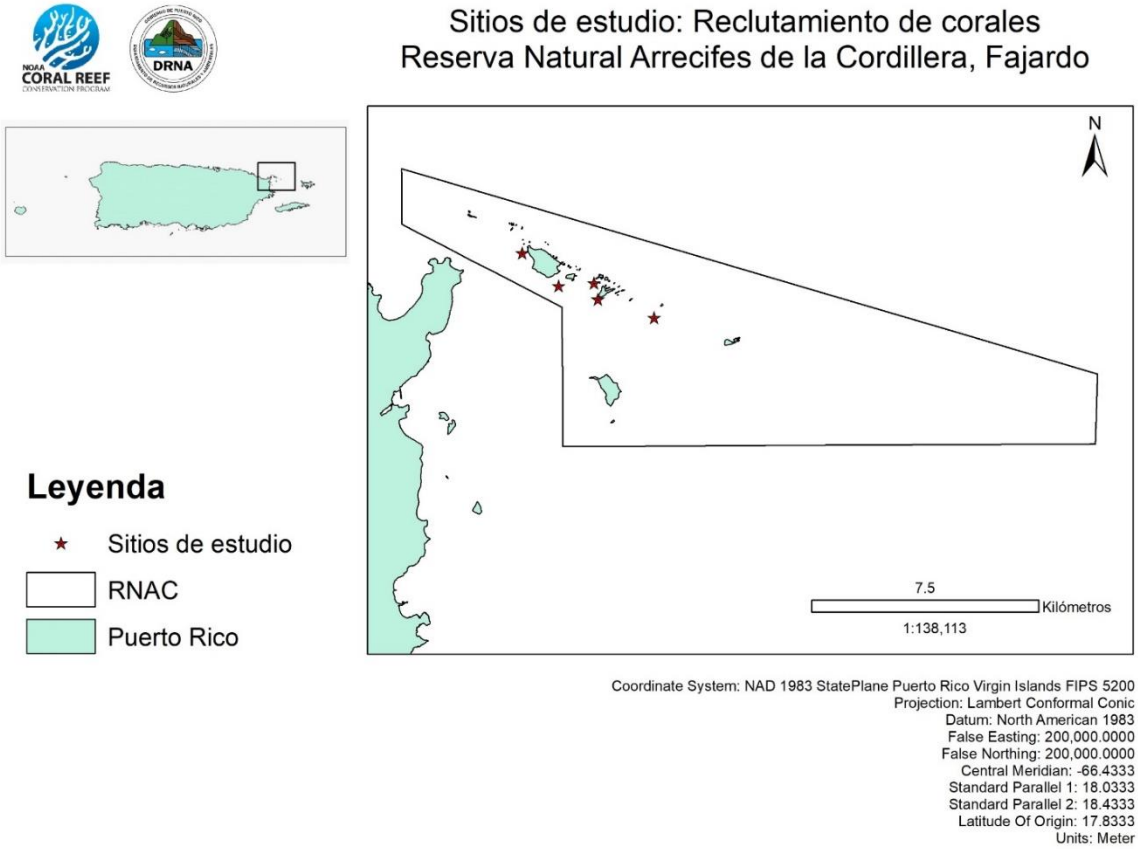
Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) del Este de Puerto Rico



Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) de las AMPs de enfoque



Índice de Impacto Humano Cumulativo (IIHC) del Este de Puerto Rico



Sitios de estudio de reclutamiento de coral en la RNCLP y la RNAC