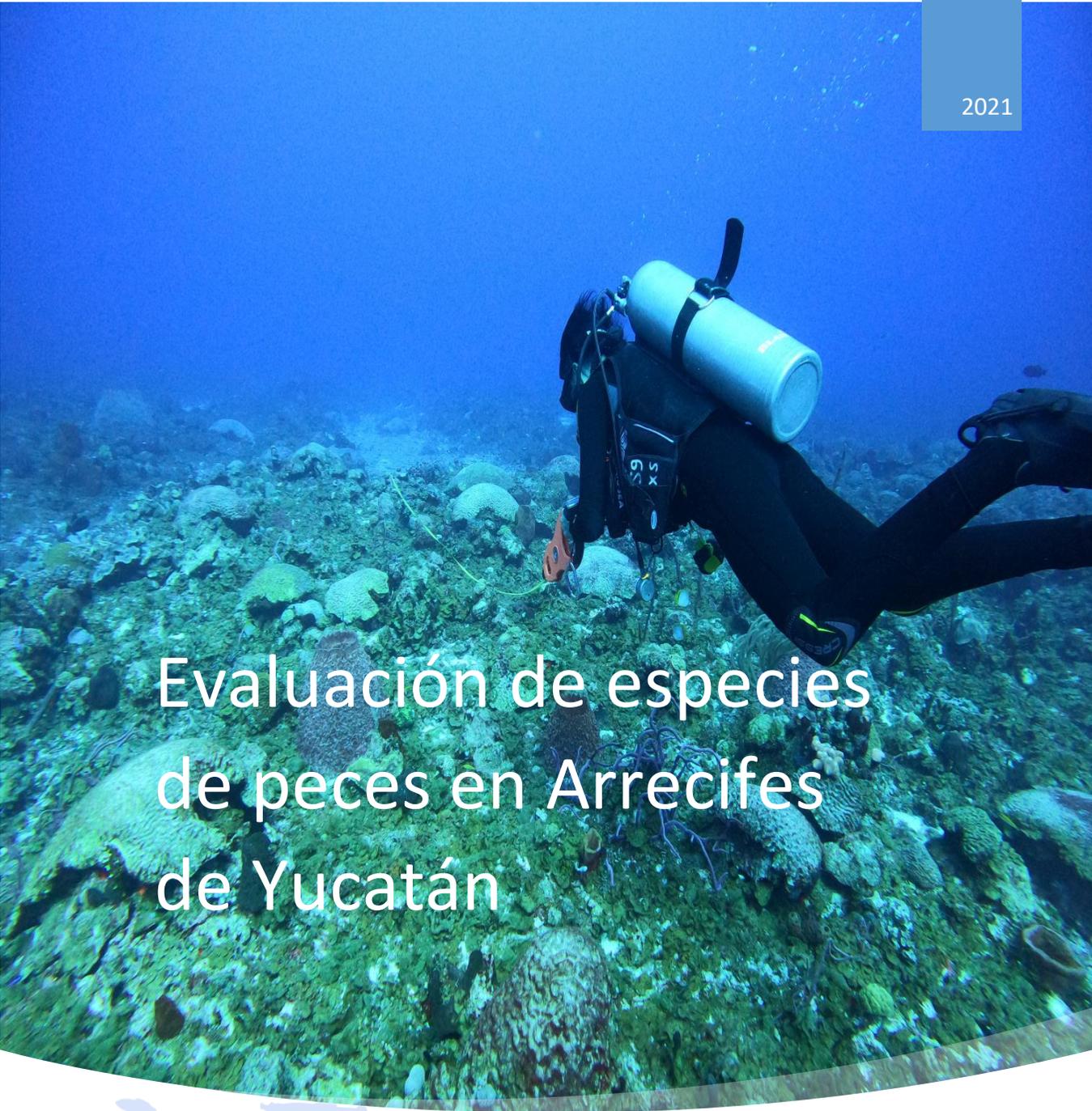


2021



Evaluación de especies de peces en Arrecifes de Yucatán

BAJOS DEL NORTE Y ARRECIFE ALACRANES
DR. ALFONSO MEDELLÍN-ORTIZ

2021 | Mérida, Yucatán

Contenido

Puntos relevantes	3
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Métodos.....	4
Estimación de abundancia relativa y riqueza de especies mediante buceo y video:	4
Diversidad alfa (α):.....	5
Diversidad beta (β):.....	5
Comparación de métodos visuales <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> :	6
Diversidad y riqueza de especies y variabilidad ambiental:	6
Captura, esfuerzo y biomasa de especies de peces de interés comercial	8
Descripción de las operaciones de captura y especies:	8
Uso del hábitat de Bajos del Norte y Arrecife Alacranes por la flota pesquera:	8
Calculo de biomasa de peces de importancia comercial.....	9
Estado del stock	11
Resultados	12
Descripción general de los sitios de muestreo	12
Inventario taxonómico	14
Comparación entre métodos <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	15
Abundancia de las especies de peces identificadas.....	16
Diversidad alfa (α)	19
Diversidad beta (β).....	20
Caracterización de la variabilidad ambiental en Bajos del Norte	22
Especies de peces capturadas por la pesca comercial.....	26
Captura de peces óseos (escama marina) por la flota mediana altura en Yucatán.....	28
Uso de las aguas circundantes al Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán.....	31
Perfiles de captura de escama marina dentro de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán	36
Captura anual y mensual de escama marina dentro de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán	37
Diversidad y riqueza de especies de la captura de escama marina dentro de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán	38

Biomasa y estado de los stocks de especies de peces de escama de interés comercial39

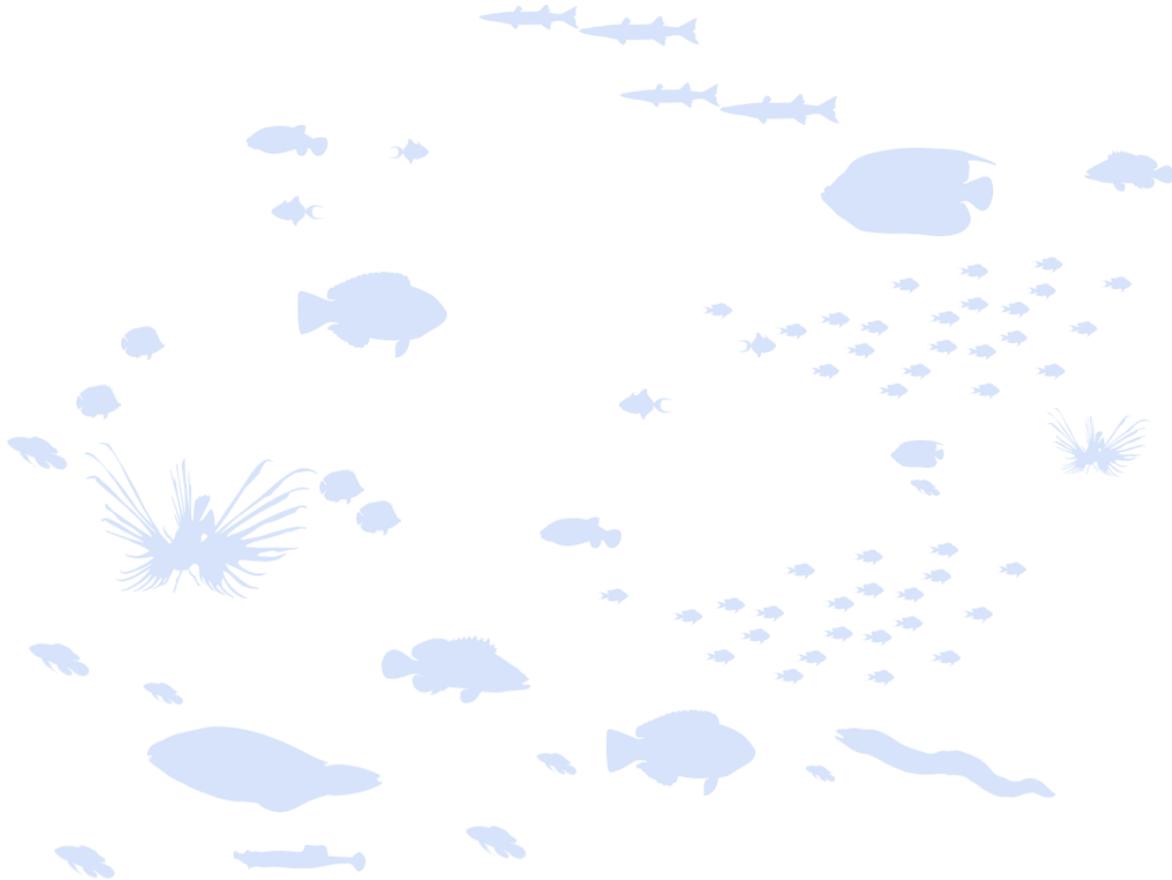
Conclusiones.....44

Diversidad de peces en Bajos del Norte44

Variabilidad ambiental44

Pesca, diversidad, abundancia y estado de los stocks.....44

Anexo I. Inventario fotográfico de especies de peces observadas durante los muestreos subacuáticos en Bajos del Norte durante agosto 2021.46



Puntos relevantes

-  No se observaron residuos plásticos ni artes de pesca abandonadas en el sitio
-  La diversidad y riqueza de especies en los sitios de muestreo concuerda con la de un arrecife remoto saludable
-  Se observó un gran número de alevines y juveniles de diferentes especies de peces óseos
-  La talla de los organismos observados indica que el sitio puede ser un importante sitio de agregación de juveniles de peces (zona de crianza)
-  No se observaron diferencias en la diversidad y riqueza de especies con respecto a la profundidad de los sitios de muestreo
-  Se detectó la presencia de pez león en 2 de los 4 sitios muestreados; la talla de estos organismos (>30 cm) sugiere que fueron llevados a Bajos del Norte por acción de las corrientes durante alguna fase larvaria o como alevines
-  Se observó una probabilidad menor al 10% de que las operaciones de captura de peces se realicen dentro del PNAA y el sitio Bajos del Norte
-  Se detectó una relación inversamente proporcional entre el volumen y la diversidad de las capturas de peces por parte de la flota de mediana altura
-  Con base en la información analizada, las condiciones ambientales en Bajos del Norte en términos de temperatura superficial del mar, producción primaria neta y velocidad del viento durante huracanes, se han mantenido sin grandes cambios por lo menos en los últimos 20 años
-  Es necesario trabajar en la mejora del registro de la información pesquera para dar mejor seguimiento a la diversidad de especies y localidades donde se pescan, detectar cambios y establecer medidas de manejo adecuadas para asegurar el aprovechamiento sostenible de las especies de peces en la región
-  La presencia de pez león en Bajos del Norte es motivo de preocupación y se requerirá del desarrollo e implementación de un plan de erradicación de la especie invasora antes de que su presencia cause cambios en las comunidades y el ecosistema del sitio

Objetivo general

Proporcionar una estimación de la abundancia relativa, riqueza de especies y biomasa de las especies de peces en Bajos del Norte y Arrecife Alacranes

Objetivos específicos

- i) Estimar la abundancia y riqueza de especies mediante buceo autónomo y filmación
- ii) Comparar la diversidad y riqueza de especies de los sitios muestreados
- iii) Estimar los niveles de captura de especies comerciales de peces en los sitios
- iv) Evaluar el estado de los stocks de especies de peces de interés comercial a través de información pesquera

Métodos

Estimación de abundancia relativa y riqueza de especies mediante buceo y video:

Se realizaron 6 inmersiones en cuatro sitios designados para los muestreos de invertebrados utilizando equipo autónomo y cámaras digitales de alta definición para grabar las mismas. Se recorrieron 2 transectos de 50 m de longitud, comenzando la filmación al inicio y fin del recorrido. Se identificaron y cuantificaron todos los peces en la línea de visión del buzo en un espacio tridimensional de 1 m sobre el fondo y 1 m a cada lado del transecto (Fig. 1). Una vez concluido el transecto de 50 m, el buzo se trasladó entre 5 y 10 m de distancia en dirección aleatoria, para realizar otro transecto de 50 m. El número de organismos de las diferentes especies observadas fue registrado en una tabla de muestreo subacuática. El conteo e identificación de especies fue contrastado con el mismo conteo realizado en la filmación para cada transecto y cada sitio. Para cada especie, la densidad promedio en cada transecto estará dada por:

$$Densidad = \frac{\sum_{i=1}^p n_i}{Lw}$$

dónde n_i es el número de peces observados de la especie i en el transecto i de longitud L y ancho w ; para este caso el area cubierta por cada transecto fue de 100 m². Las filmaciones de cada transecto fueron analizadas cuadro por cuadro utilizando el editor de video FilmForth (2.3.9). Se realizaron perfiles batimétricos de los sitios muestreados utilizando la profundidad registrada por la computadora de buceo con una precisión de ±0.5 m.

Diversidad alfa (α):

La riqueza de especies fue estimada como el número total de especies por sitio, así como a través del índice de Menhinick (D), dividiendo el número de especies por transecto (s) entre la raíz cuadrada del número de individuos observados (N):

$$D = \frac{s}{\sqrt{N}}$$

La diversidad de especies en cada sitio fue estimada a través del índice de Shannon (H'):

$$H' = - \sum (p_i) \ln p_i$$

dónde p_i es la proporción del total del número de individuos en la población de la especie i

Además, se calculó la uniformidad (evenness) de Pielou (J'), la cual refleja que tan homogéneamente se encuentran distribuidas las abundancias entre todas las especies presentes en un sitio. Se deriva del índice de diversidad de Shannon (H'):

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

dónde H'_{max} es el valor máximo posible de H' para una comunidad obtenido con:

$$H'_{max} = - \sum_{i=1}^S \frac{1}{S} \ln \frac{1}{S} = \ln S$$

dónde S es el número de especies observadas y \ln es el logaritmo natural.

Diversidad beta (β):

La diversidad entre localidades fue estimada mediante el índice de Bray-Curtis (BC), que se calcula utilizando:

$$BC_{jk} = \frac{\sum |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum (x_{ij} + x_{ik})}$$

dónde BC_{jk} es la disimilitud entre los sitios j y k , x_{ij} es la abundancia de la especie i en la comunidad j y x_{ik} representa la abundancia de la especie i en la comunidad k .

Además, se realizó un análisis de coordenadas principales (PCoA) mediante el cálculo de matrices de disimilitud entre sitios, con la finalidad de tener una representación que permita que las relaciones subyacentes sean visibles a través de las características combinadas de la meta comunidad. A diferencia del análisis de correspondencia (CA), el PCoA conserva las distancias generadas por cualquier índice de disimilitud, lo que permite mayor flexibilidad para el análisis de información ecológica.

Todas las estimaciones de diversidad alfa y beta se realizaron utilizando el paquete *vegan* en el lenguaje estadístico R (4.0.5).

Comparación de métodos visuales *in situ* y *ex situ*.

Con las identificaciones y conteos a través de los buceos (*in situ*) y los videos (*ex situ*) de cada transecto, se comparó la variación de los conteos entre sitios utilizando el coeficiente de variación (**V**) que es la desviación estándar como una fracción de la media expresada como porcentaje, se obtiene del reemplazo de la desviación absoluta promedio de la media aritmética del conteo en la ecuación $APE = 1/R \sum_{i=1}^R (|x_{ij} - x_j|) / x_j$ (donde **R** es el número de veces que se realizó el conteo a cada transecto, x_{ij} es el *i*-ésimo conteo del *j*-ésimo transecto, y x_j es el conteo promedio del *j*-ésimo cardumen) por la desviación estándar; y el índice de precisión (**D**) que es el resultado de V/\sqrt{R} (Chang, 1982).

Diversidad y riqueza de especies y variabilidad ambiental:

Se contrastaron los resultados de diversidad y riqueza de especies para cada sitio con los valores de profundidad máxima y promedio del transecto, así como la ubicación geográfica de cada sitio en términos de latitud y longitud. Además, se obtuvo información sobre la temperatura superficial del mar y velocidad del viento a 850 milibares (huracanes) para la zona de Bajos del Norte a partir del "Climate Predictability tool" (16.5.5), así como información de producción primaria neta (PPN) mensual obtenida de "Ocean Productivity", con la finalidad de caracterizar las condiciones ambientales del sitio previas y durante a las actividades de monitoreo. De esta manera es posible establecer si las condiciones

ambientales durante el monitoreo estuvieron dentro de la variabilidad natural del sitio o durante condiciones anómalas.

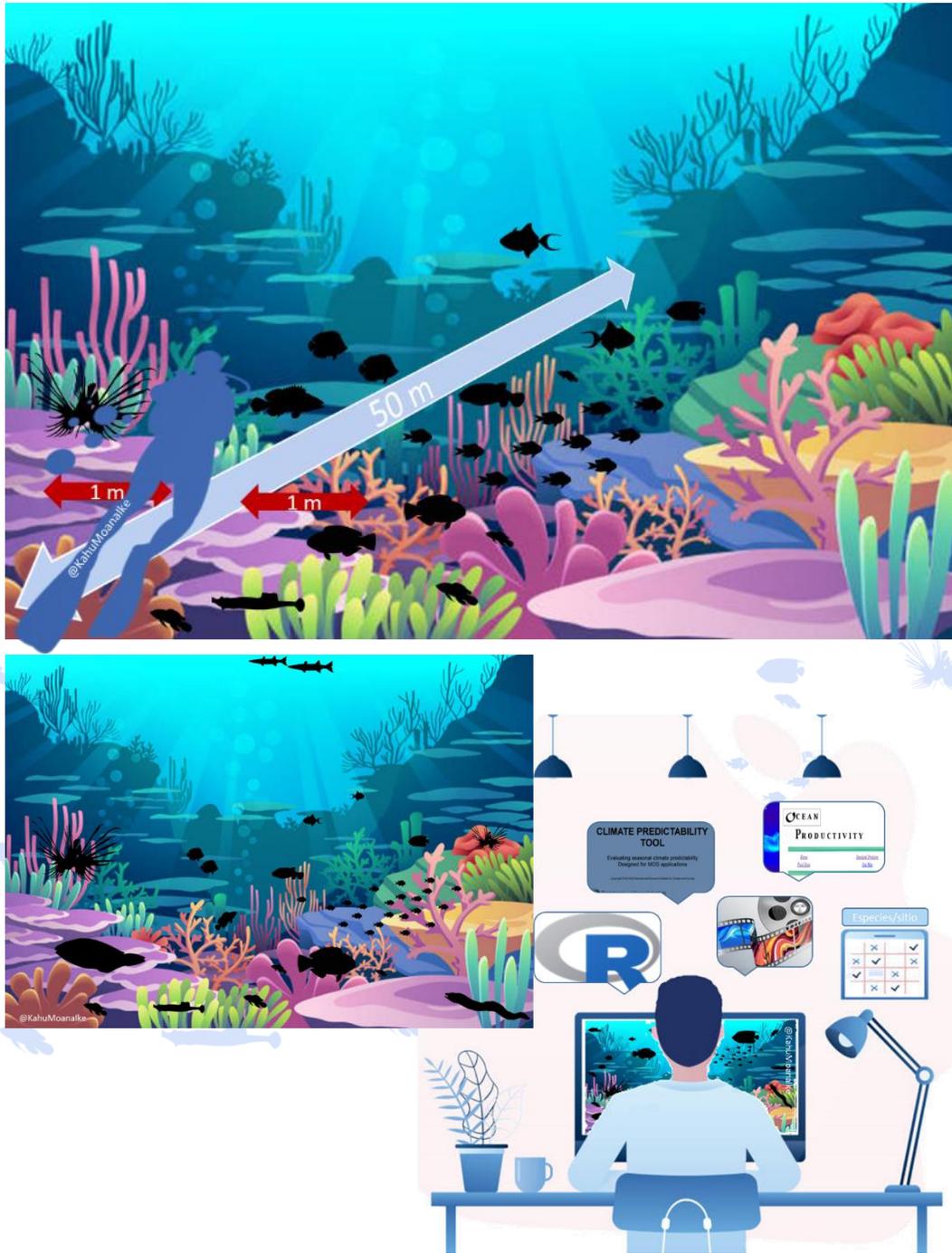


Figura 1. Método de muestreo para la identificación, conteo y filmación de peces en Bajos del Norte (panel superior); proceso de análisis ex situ (panel inferior).

Captura, esfuerzo y biomasa de especies de peces de interés comercial

Descripción de las operaciones de captura y especies:

Se analizaron bases de datos diarias de captura por permisionario de toda la flota (mediana altura y ribereña) registrada en Yucatan¹, separando todas aquellas especies que corresponden a peces (incluyendo tiburones) capturados por la flota de mediana altura. Se filtró la información correspondiente únicamente a las especies de peces óseos (excluyendo a tiburones y rayas); esta información fue utilizada para cotejar que embarcaciones de mediana altura registraron captura de peces óseos en las aguas circundantes a Bajos del Norte y Arrecife Alacranes (definidas para este trabajo por un polígono entre los 22 - 23.5° Lat N y -88.5 -90.5 Long W). Las especies capturadas son registradas en los avisos de arribo con nombre común de la región, por lo que se cotejaron los nombres comunes de las especies con las especies descritas en la Carta Nacional Pesquera, FishBase² y guías de identificación de peces de la región. Además, todos los nombres científicos fueron cotejados con el registro mundial de especies marinas (WoRMS³).

Uso del hábitat de Bajos del Norte y Arrecife Alacranes por la flota pesquera:

El area que rodea Bajos del Norte fue delimitada de acuerdo a los sitios de muestreo durante la expedición, además se utilizó el perfil batimétrico obtenido de GEBCO_08 utilizando la isobata de 50 m como límite de cada bajo. Para Arrecife Alacranes, se utilizó la zonificación del parque de acuerdo con lo descrito en el Programa de Manejo y disponible en línea⁴.

Con la información anterior se realizó el filtrado de información anualizada de posición geográfica (AIS) de las embarcaciones de mediana altura con captura de peces óseos confirmada en avisos de arribo dentro del polígono definido como aguas circundantes a las áreas de interés, utilizando un filtrado adicional para las ubicaciones con velocidades entre 2-5 nudos (velocidades que indican operaciones de pesca con palangre). Con esta información se calculó la densidad de probabilidad (kernel) de las ubicaciones de las embarcaciones con la finalidad de visualizar de mejor manera la extensión y forma geográfica de la zona de operación de la flota pesquera, calculada a través del peso de las

¹ Obtenidas a través de solicitudes de transparencia. <https://www.infomex.org.mx/>

² <https://www.fishbase.se/search.php>

³ WoRMS World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org/index.php>

⁴ CONANP: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/>

distancias entre todos los puntos del juego de datos. Entre más puntos hay agregados de manera contigua, la estimación de densidad es mayor indicando que la probabilidad de encontrar un punto en esa ubicación es mayor. Las distancias entre las observaciones están determinadas por el radio de búsqueda o “ancho de banda” que se utiliza, por lo que se realizaron pruebas con diferentes anchos de banda para determinar el más adecuado de acuerdo a la dispersión de las ubicaciones. Para este caso, se determinó utilizar un radio de búsqueda ≈ 10 m (0.005 millas náuticas), dada la dispersión de ubicaciones. Así, las zonas con mayor densidad de ubicaciones pueden ser relacionadas a un mayor uso de la zona por parte de la flota pesquera en los diferentes años y zonas analizados.

De esta manera, la densidad fue calculada para las embarcaciones de mediana altura que registraron captura de peces óseos en avisos de arribo en aguas circundantes y dentro de las áreas de interés. Se realizó el mismo procedimiento de cálculo de densidad para las embarcaciones que registraron captura de peces óseos en avisos de arribo y se encontraron dentro de las áreas de interés con el mismo radio de búsqueda de 10 m.

Así mismo, se calculó la proporción ubicaciones y captura en los sitios con respecto del total registrado por la flota de mediana altura y se calculó la diversidad, riqueza e igualdad de las capturas por año.

Calculo de biomasa de peces de importancia comercial

Con base en la información de captura y esfuerzo de las flotas ribereña y mediana altura, se desarrolló un modelo dinámico de biomasa:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t$$

donde B es la biomasa del stock al tiempo t , r es la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, K es el parámetro que corresponde al tamaño del stock en equilibrio y C es la captura al tiempo t que se supone es proporcional al tamaño del stock y al esfuerzo pesquero (Hilborn y Walters, 1992). Los parámetros r y K fueron ajustados utilizando dos métodos de ajuste: mínimos cuadrados y perfiles de máxima verosimilitud.

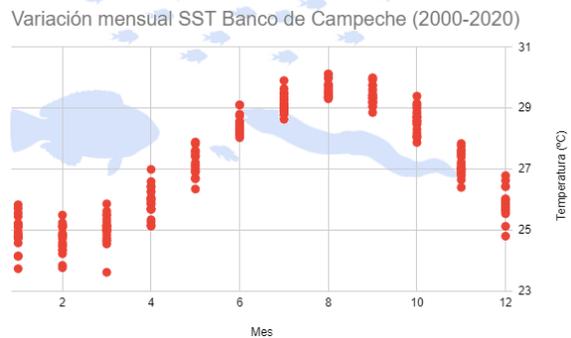
Para el caso de mero rojo, se realizó un análisis virtual de población basado en tallas, simulando diferentes tallas de captura:

$$N_{L1} = N_{L2} \left(\frac{L_{\infty} - L_1}{L_{\infty} - L_2} \right)^{M/K} + C_{1-2} \left(\frac{L_{\infty} - L_1}{L_{\infty} - L_2} \right)^{M/K}$$

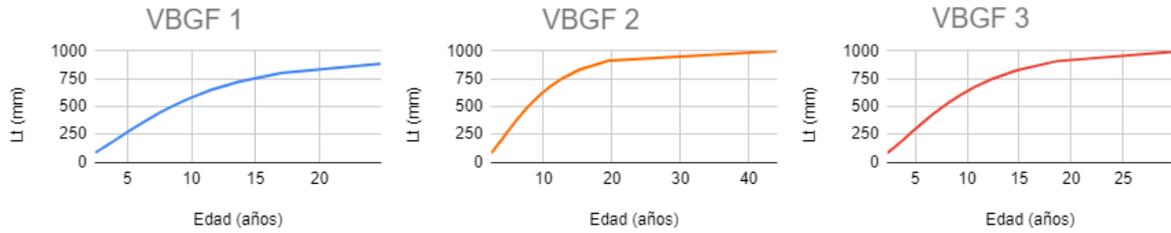
donde N_{L_i} es el número de peces a la talla L_i , C_{1-2} es la captura en número de organismos entre las tallas L_1 y L_2 , L_{∞} y k son parámetros de crecimiento individual de la especie y M es la mortalidad natural. En este caso, la mortalidad natural fue calculada utilizando la ecuación de Pauly (1980):

$$\log(M) = 0.0066 - 0.279(\log(L_{\infty})) + 0.6543(\log(K)) + 0.4634(\log(T))$$

donde L_{∞} y K son parámetros de crecimiento individual en la población y T es la temperatura (en °C). Se utilizó información de temperatura superficial promedio para la región del Banco de Campeche obtenida de "Climate Predictability tool" (16.5.5) entre enero de 2000 y diciembre de 2020:



Los parámetros de crecimiento individual de la función de crecimiento de von Bertalanffy (VBGF) L_{∞} y k fueron promediados de diferentes estudios de edad y crecimiento de mero rojo ($L_{\infty} \geq 800 \leq 1010$ mm and $k \geq 0.05 \leq 0.16$):



Estado del stock

Con base en los resultados de los modelos, se calcularon las razones de biomasa y mortalidad por pesca (B/B_{MSY} y F/F_{MSY} , respectivamente) y fueron integrados en diagramas de fase (diagramas de Kobe) para observar la tendencia entre la biomasa calculada y la mortalidad por pesca asociada. Estos diagramas de fase indican de manera práctica si la especie y pesquería se encuentra en la "zona segura" (safe zone - biomasa alta y mortalidad por pesca baja), si está ocurriendo "sobrepesca" (overfishing - biomasa alta y mortalidad por pesca alta), si la especie está "sobrerpescada" (overfished - biomasa baja y mortalidad por pesca alta) o "en recuperación" (recovery - biomasa baja y mortalidad por pesca baja).



Resultados

Descripción general de los sitios de muestreo

Bajos del Norte se encuentra ubicado entre los 23 y 23.5° Lat N y los -88.5 y -89.1° Long Oeste, a una distancia aproximada de 240 km con rumbo 50° NE de Puerto Progreso, Yucatan. La zona de estudio fue delimitada con la isobata de 50 m de profundidad, ubicando 3 bajos principales. Únicamente se realizaron actividades de muestreo en uno de los bajos y en un sitio conocido como El Estadio. De acuerdo con información batimétrica existente para la zona, los Bajos del Norte son un grupo de elevaciones submarinas rodeadas por profundidades mayores a 100 m (Fig. 2).

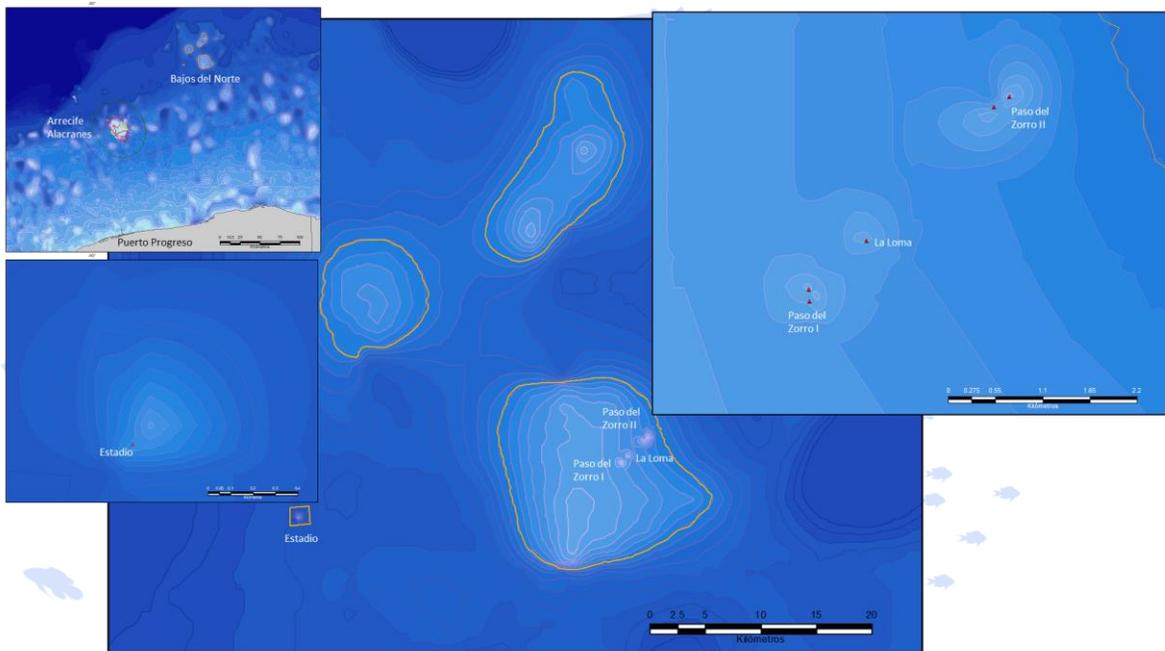


Figura 2. Ubicación geográfica de Bajos del Norte y los sitios de muestreo. Las líneas de contorno representan la profundidad cada 5 m. Datos batimétricos de GEBCO_08, actualizados con profundidad del fondo de los sitios de muestreo.

En general, los sitios de muestreo estuvieron dominados por paisaje de arrecife de coral, con parches extensos de macro algas principalmente en los sitios menos profundos (Paso del Zorro I, II y la Loma). El sitio identificado como El Estadio fue el sitio más profundo, presentando un paisaje de arrecife de coral con pequeños parches de arena y extensas áreas cubiertas con pedacera de coral. A lo largo de los transectos se registraron temperaturas superficiales y de fondo entre 30 y 31° C. Se identificó que los quiebres del perfil (sitio donde la profundidad presentaba una caída en una corta distancia; Fig. 3), además de observarse que en los bordes entre parches de macro algas y arrecife de coral

y los bordes entre pedacera de coral y arrecife fueron los lugares donde observamos mayor cantidad de organismos juveniles (alevines) de peces demasiado pequeños para poder ser identificados. A parte de los alevines, casi todas las especies observadas presentaron tallas menores a 10 cm, con excepción de algunos meros, mariposas, ángeles, ballestas y cirujanos, además se observó la presencia de pez león adulto con tallas mayores a 30 cm.

Otra generalidad de los sitios de muestreo fue la ausencia de equipo de pesca abandonado o residuos plásticos en el fondo.

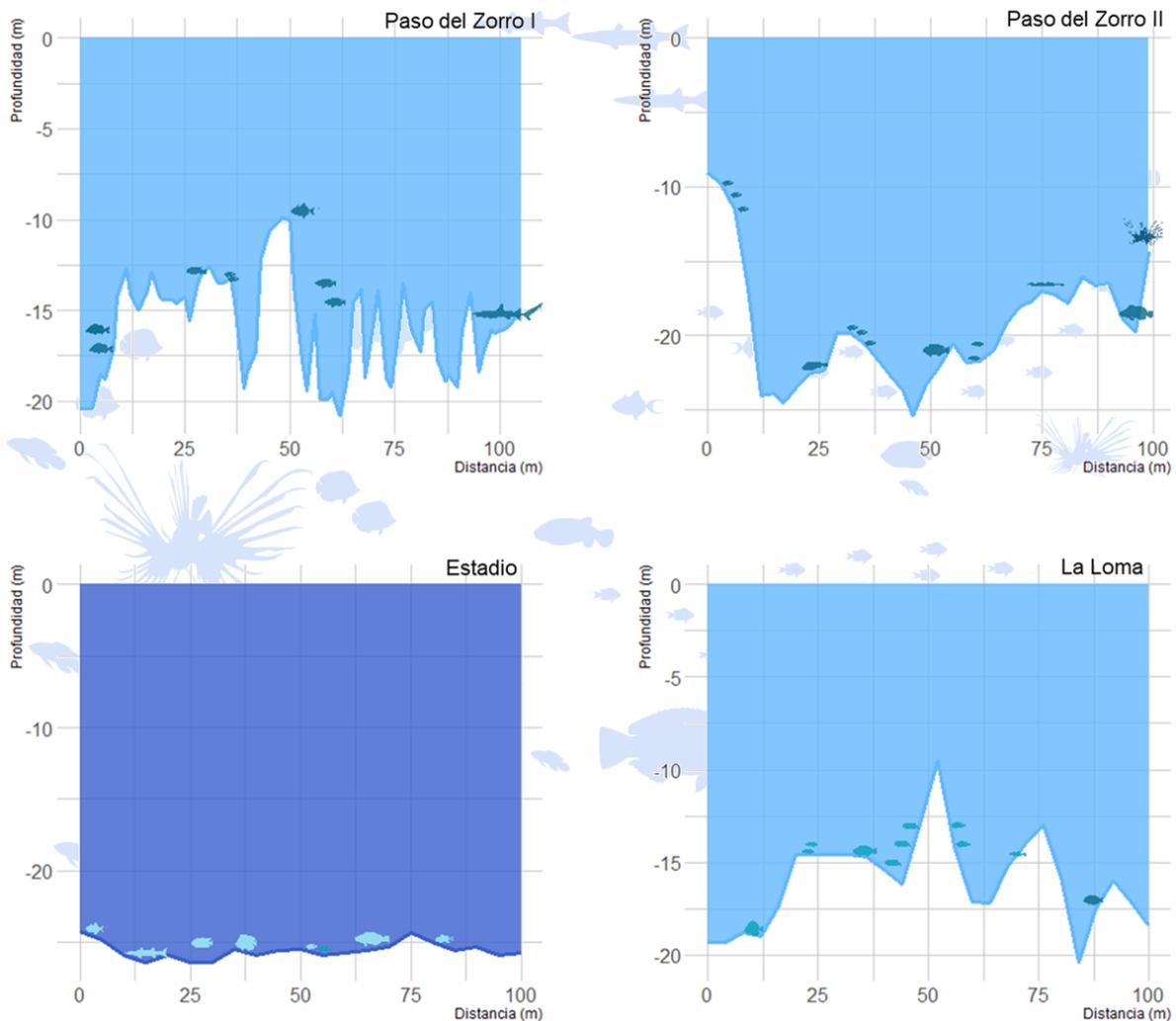


Figura 3. Perfiles del fondo de los sitios muestreados. Las siluetas de los peces representan la ubicación física donde fueron observados dentro del perfil.

Inventario taxonómico

Se identificaron 47 especies de peces, distribuidas en 24 familias pertenecientes a 15 órdenes y dos clases (Tabla I). Se observó únicamente un integrante de la clase Elasmobranchii orden Carcharhiniformes. Se identificaron únicamente 7 de las 47 especies como especies de interés comercial. Además, se documentó lo que podría representar como el primer registro de la presencia de pez León en la zona de arrecifes fuera de la costa del Banco de Campeche.

Tabla I. Inventario taxonómico de peces observados en Bajos del Norte durante agosto 2021. Especies de interés comercial (*), especies invasoras (**).

Clase	Orden	Familia	Género	Especie	
Actinopteri	Acanthuriformes	Acanthuridae		<i>Acanthurus</i>	<i>bahianus</i>
				<i>Acanthurus</i>	<i>coeruleus</i>
		Chaetodontidae		<i>Chaetodon</i>	<i>ocellatus</i>
				<i>Chaetodon</i>	<i>sedentarius</i>
				<i>Chaetodon</i>	<i>striatus</i>
		Pomacanthidae		<i>Holacanthus</i>	<i>bermudensis</i>
	<i>Holacanthus</i>			<i>ciliaris</i>	
	Anguilliformes	Muraenidae		<i>Gymnothorax</i>	<i>moringa</i>
	Blenniiformes	Blenniidae		<i>Ophioblennius</i>	<i>macclurei</i>
	Carangaria incertae sedis	Sphyrnaeidae		<i>Sphyrna</i>	<i>barracuda*</i>
	Carangiformes	Carangidae		<i>Caranx</i>	<i>ruber*</i>
	Centrarchiformes	Cirrhitidae		<i>Amblycirrhitus</i>	<i>pinos</i>
	Eupercaria incertae sedis	Gerreidae		<i>Eucinostomus</i>	<i>melanopterus</i>
				<i>Clepticus</i>	<i>parrae</i>
		Labridae		<i>Halichoeres</i>	<i>garnoti</i>
				<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>
				<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus*</i>
		Scaridae		<i>Scarus</i>	<i>taeniopterus</i>
				<i>Scarus</i>	<i>vetula</i>
				<i>Sparisoma</i>	<i>aurofrenatum</i>
				<i>Sparisoma</i>	<i>viride</i>
		Gobiiformes	Gobiidae		<i>Elacatinus</i>
	Holocentriformes	Holocentridae		<i>Holocentrus</i>	<i>rufus</i>
				<i>Neoniphon</i>	<i>marianus</i>
Mulliformes	Mullidae		<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>	
Ovalentaria incertae sedis	Grammatidae		<i>Gramma</i>	<i>loreto</i>	
	Pomacentridae		<i>Abudefduf</i>	<i>saxatilis</i>	
<i>Chromis</i>			<i>cyanea</i>		

				<i>Chromis</i>	<i>enchrysurus</i>	
				<i>Chromis</i>	<i>multilineata</i>	
				<i>Chromis</i>	<i>scotti</i>	
				<i>Microspathodon</i>	<i>chrysurus</i>	
				<i>Stegastes</i>	<i>partitus</i>	
				<i>Stegastes</i>	<i>planifrons</i>	
				<i>Stegastes</i>	<i>variabilis</i>	
Perciformes	Scorpaenidae			<i>Pterois</i>	<i>volitans**</i>	
						Serranidae
	<i>Epinephelus</i>	<i>morio*</i>				
	<i>Hypoplectrus</i>	<i>puella</i>				
	<i>Serranus</i>	<i>tigrinus</i>				
	Syngnathiformes	Syngnathidae			<i>Syngnathus</i>	
	Tetraodontiformes	Balistidae			<i>Balistes</i>	<i>vetula*</i>
<i>Melichthys</i>					<i>niger</i>	
Diodontidae				<i>Diodon</i>	<i>holocanthus</i>	
Tetraodontidae				<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>	
	<i>Sphoeroides</i>			<i>testudineus</i>		
Elasmobranchii	Carcharhiniformes	Carcharhinidae		<i>Triaenodon</i>	<i>obesus*</i>	

Comparación entre métodos in situ y ex situ

De la comparación entre identificaciones sub acuáticas (in situ) y en video (ex situ), observamos que los sitios Pazo del Zorro I y La Loma fueron aquellos con menor porcentaje de error promedio, lo que indica una mayor similitud en la identificación y conteo entre ambos métodos. El Estadio fue el sitio con mayor porcentaje de error promedio (17.64%), que puede estar asociado a la profundidad del buceo, la disponibilidad de sitios para esconderse y evadir el conteo in situ, situación que es fácilmente corregida en video al tener la posibilidad de pausar y avanzar las imágenes cuadro por cuadro, hacer acercamientos, etc. En general, la precisión entre métodos se mantuvo por arriba de 80% (Tabla II).

Tabla II. Comparación de métodos visuales in situ y ex situ. Porcentaje de error promedio (APE), coeficiente de variación (V) y coeficiente de precisión (D) entre observaciones.

<i>Sitio</i>	<i>APE</i>	<i>V</i>	<i>D</i>
PZI	5.26	0.07	0.05
PZII	11.11	0.15	0.11
Estadio	17.64	0.24	0.17
La Loma	8.10	0.11	0.08

Abundancia de las especies de peces identificadas

De las 47 especies identificadas, 13 fueron observadas en los 4 sitios, las 34 restantes se encontraron presentes en no más de 3 sitios. Las especies de damisela *Chromis multilineata* y *Chromis cyaena* presentaron mayor densidad de organismos en todos los sitios de muestreo, seguidas por los lábridos *Grama loreto* y *Thalassoma bifasciatum*. Otras especies observadas en gran número fueron los peces loro (*Scarus* spp) y las damiselas del genero *Stegastes*. Las especies que se observaron con menor frecuencia fueron el tiburón *Triaenodon obesus* y los peces *Sphyraena barracuda*, *Sphoeroides testudineus*, *Syngnatus pelagicus*, *Eucinostomus melanopterus*, *Chaetodon striatus*, *Chaetodon sedentarius*, *Chaetodon ocellatus*, *Ocyurus chrysopterus*, *Caranx ruber*, *Balistes vetula*, *Amblycirrhitus pinos*, *Acanthurus bahianus* y *Abudefduf saxatilis* (Figura 4).

De las 13 especies que se observaron consistentemente en los cuatro sitios de muestreo destacan las damiselas *Chromis cyaena* y *Chromis multilineata*, con densidades de 3 organismos m⁻², seguidas de los lábridos *Thalassoma bifasciatum* y *Grama loreto* con 1.2 y 1 organismo m⁻², respectivamente. Los peces loro *Sparisoma viridae*, *Scarus vetula* y *Scarus taeniopterus* estuvieron presentes en los cuatro sitios con densidades menores a 0.2 organismos m⁻² (Fig. 5). Cabe mencionar que para *Thalassoma bifasciatum*, el número de adultos siempre se mantuvo por debajo de 0.5 organismos m⁻², mientras que los juveniles conformaron el mayor número de organismos observados de esta especie. Igualmente, es necesario destacar que los juveniles de *Halichoeres garnoti* (otra de las especie presente en los cuatro sitios) son muy similares a los juveniles de *Thalassoma bifasciatum*, por lo que es posible que la alta abundancia de juveniles incluya a ambas especies. Sin embargo, la abundancia de *Thalassoma bifasciatum* sugiere que sus juveniles también sean mas abundantes.

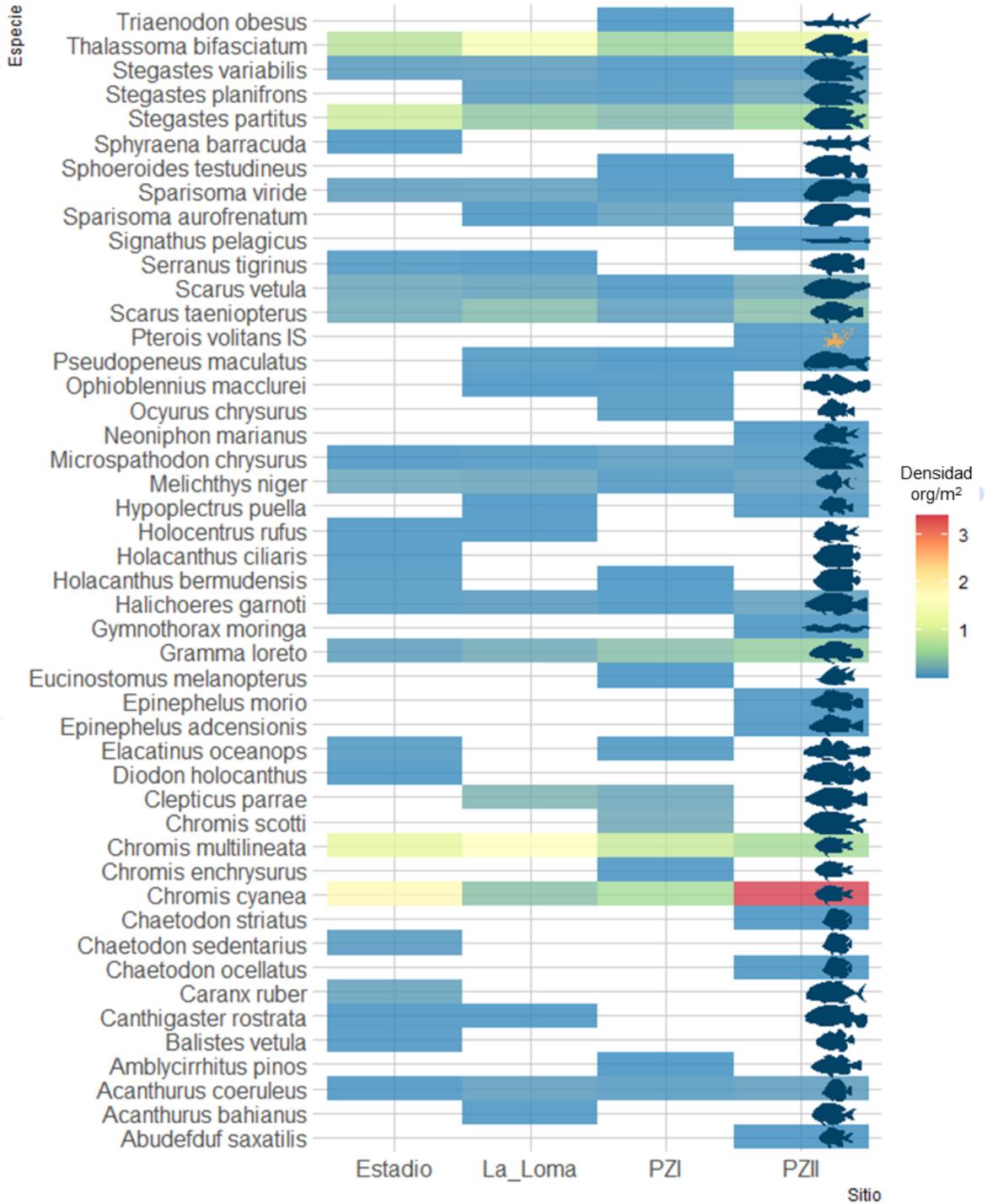


Figura 4. Densidad total de especies de peces por sitio de muestreo en Bajos del Norte.

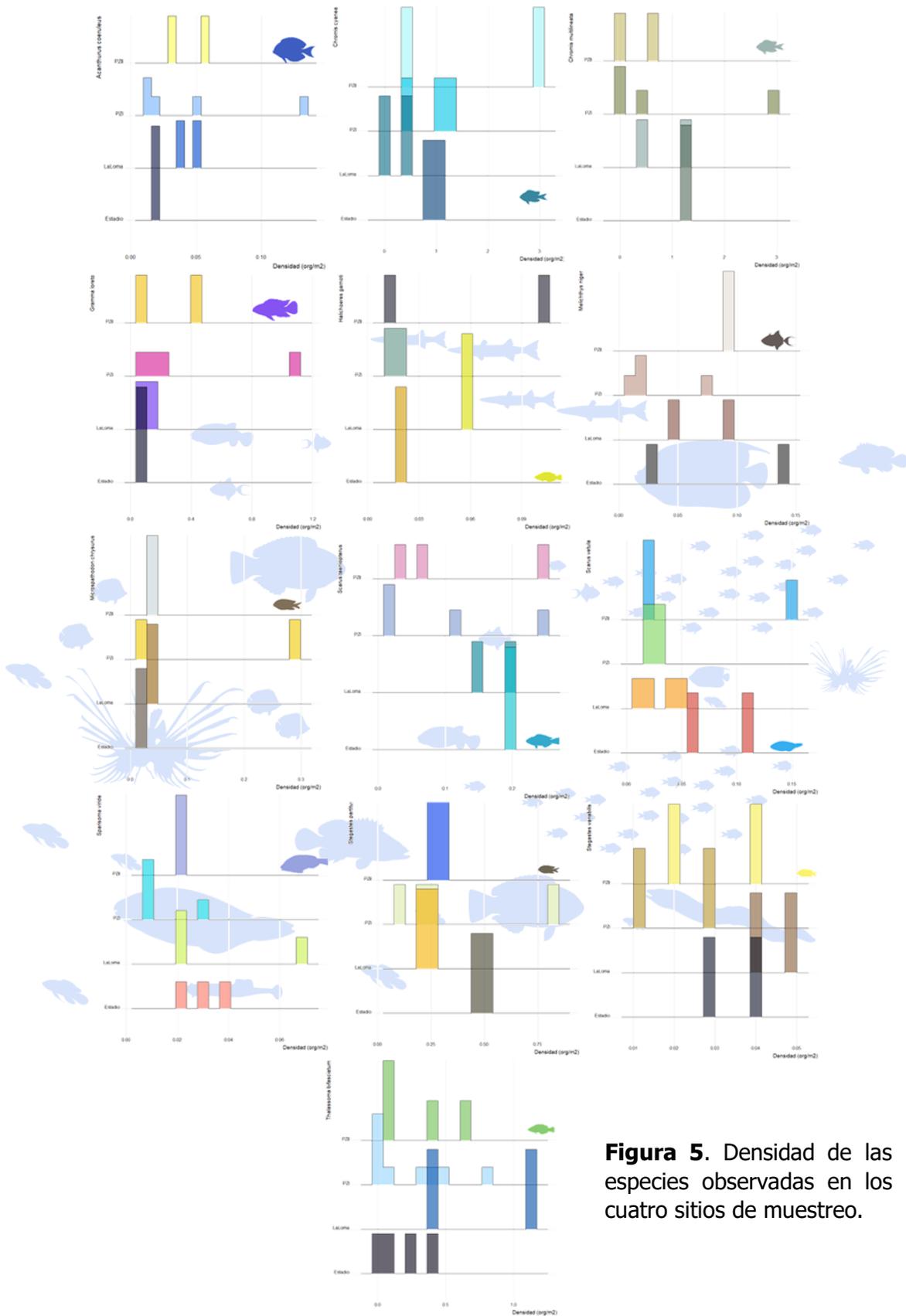


Figura 5. Densidad de las especies observadas en los cuatro sitios de muestreo.

Diversidad alfa (α)

El sitio con mayor diversidad de peces observada fue Pazo del Zorro I (PZI, $H=2.3$), seguido de La Loma ($H=2.15$) y El estadio ($H=2.10$); Pazo del Zorro II (PZII) fue el sitio con el valor más bajo de diversidad ($H=1.91$). La riqueza de especies medida únicamente como el número total de especies observadas fue mayor en PZI (27 especies), seguido de PZII (25 especies) y Estadio (24 especies); La Loma fue el sitio con el menor número de especies observadas (23). Los resultados de medir la riqueza de especies con el índice de Menhinick (D) resultan diferentes, ya que ubica al Estadio como el sitio con mayor riqueza (0.98), seguido de La Loma (0.96) y PZII (0.90), ubicando a PZI como el sitio con menor riqueza de especies (0.70). El índice de igualdad de Pielou ubica a PZII como el sitio menos uniforme (0.6), mientras que PZI es catalogado como el sitio más uniforme (0.7). Cabe resaltar que los resultados de todos los índices se encuentran dentro de un intervalo de dispersión no mayor a 0.4 décimas, lo que sugiere que los cuatro sitios muestreados son altamente parecidos entre sí (Fig. 6).

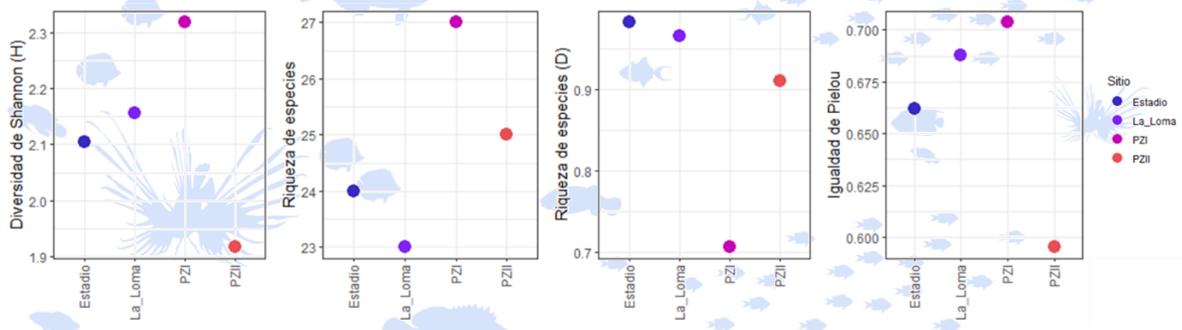


Figura 6. Diversidad, riqueza (total de especies y Menhinick) e igualdad de especies de peces para los 4 sitios muestreados en Bajos del Norte.

Al comparar los valores de diversidad y riqueza con la profundidad y ubicación geográfica de las zonas de muestreo observamos que los sitios con mayor diversidad fueron aquellos con profundidad máxima no mayor a 21 m (PZI y La Loma), mientras que los sitios con valores de profundidad máxima mayor a 25 m presentaron valores menores de diversidad (PZII y Estadio). Por el contrario, al contrastar la diversidad con la profundidad promedio del sitio, se observa que PZII rompe con el patrón observado con la profundidad máxima. En cuanto a la relación entre la posición geográfica de los sitios y la diversidad se observa un patrón similar al encontrado con la profundidad media. En cuanto a la riqueza de especies, se observa una mayor diversidad en los sitios con mayor profundidad máxima

y promedio (Estadio). En todos los casos, no se observa una relación clara entre la diversidad y riqueza de especies con la profundidad o la ubicación geográfica (Fig. 7).

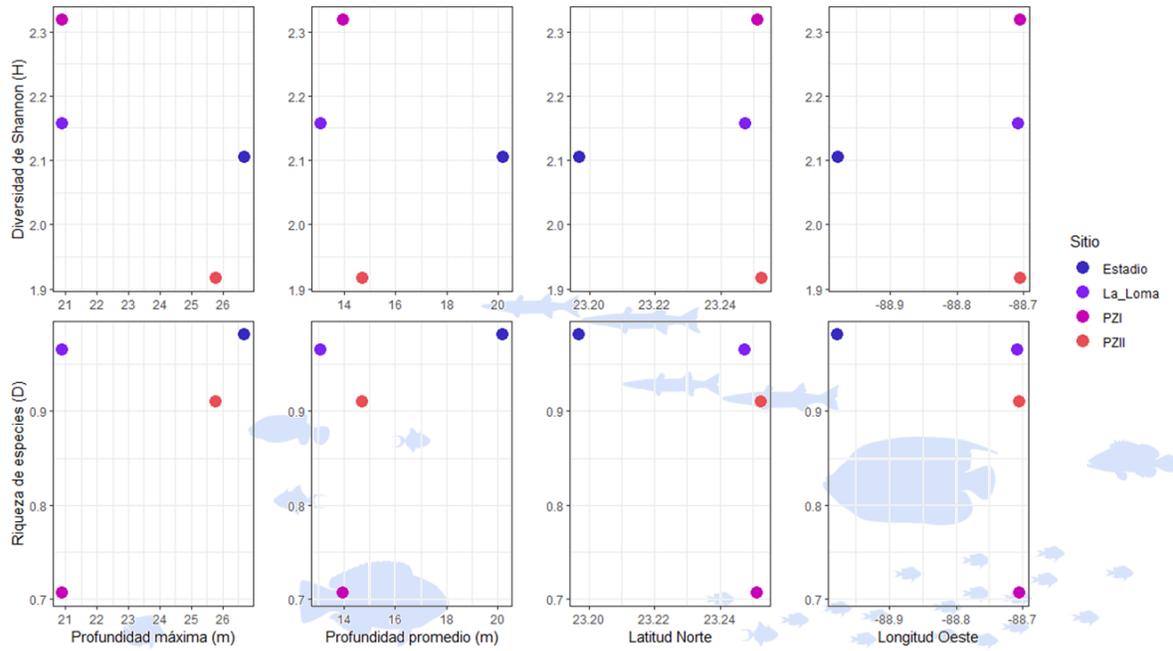


Figura 7. Relación entre la profundidad, posición geográfica, diversidad y riqueza de especies de los sitios muestreados.

Diversidad beta (β)

El análisis de disimilitud de Bray-Curtis refleja que el sitio denominado La Loma es más disímil con PZI y PZII (aprox. 40%), comparado con el Estadio (33%). Los sitios PZII y Estadio son disimiles alrededor de 30% (Tabla III). Los valores de disimilitud entre sitios no exceden 0.1 décimas, que representaría una disimilitud máxima de 10%.

Tabla III. Matriz de disimilitud (Diversidad β) observada entre los cuatro sitios de muestreo en Bajos del Norte.

SITIO	PZI	PZII	ESTADIO
PZII	0.362		
ESTADIO	0.396	0.301	
LA LOMA	0.434	0.408	0.333

Los resultados del análisis de coordenadas principales (PCoA) muestran que más del 84% de la variabilidad observada en la información de los sitios muestreados es explicada en dos ejes ortogonales. Además, se observa que PZI y La Loma son los sitios más disimiles entre sí, mientras que el Estadio y PZII son menos disimiles (Fig. 8).

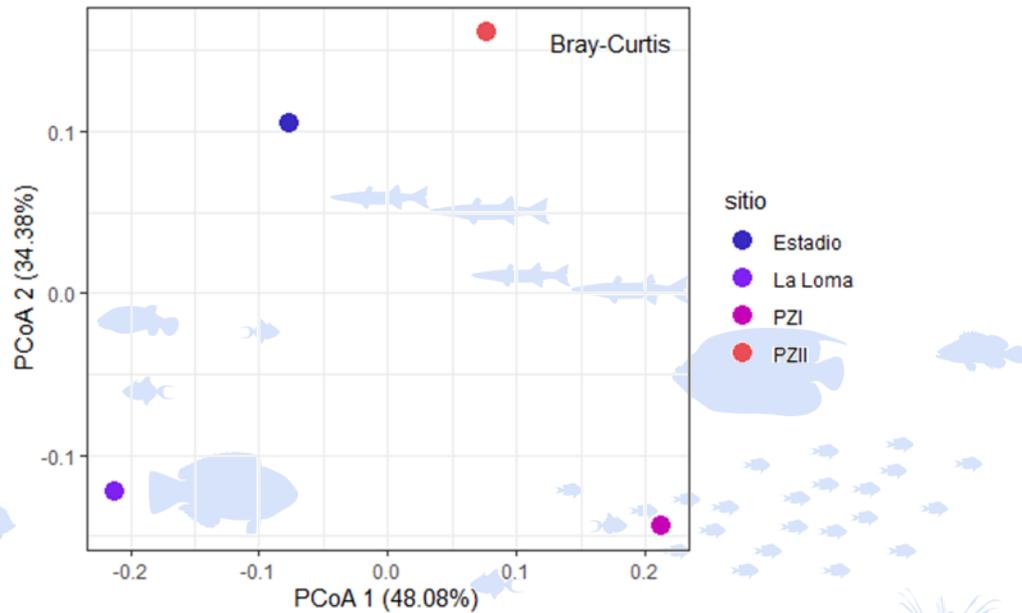


Figura 8. Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) para los sitios muestreados.

Caracterización de la variabilidad ambiental en Bajos del Norte

Temperatura superficial del mar (SST)

Con base en la información obtenida del "Climate Predictability Tool", se observa una progresión en la temperatura superficial del mar a lo largo del año, siendo los meses de Junio a Octubre aquellos donde la temperatura supera los 27° C, mientras que el periodo entre enero y marzo la temperatura no es mayor a los 26° C. Este patrón de meses con temperaturas superiores a los 27° C en verano y menores a 26° en invierno y primavera se ha mantenido en la zona por al menos 167 años de acuerdo con la información a la que se tuvo acceso. En algunos años, principalmente previos a 1900, se observaron temperaturas superficiales mayores a los 30° C, así como años más "fríos" con temperaturas menores a 25° C (Fig. 9). Es por lo anterior que no resulta fuera de lo normal haber registrado temperaturas alrededor de los 30° C durante los muestreos de agosto de 2021.

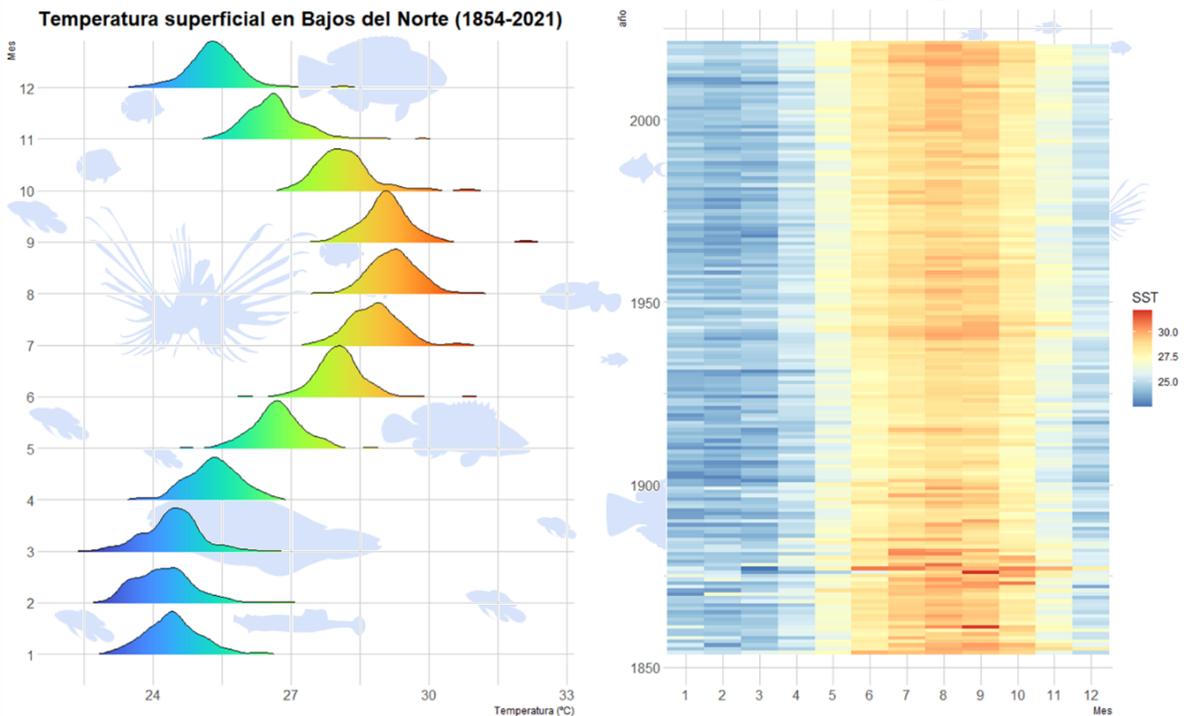


Figura 9. Distribución mensual (panel izquierdo) y mapa de calor anualizado (panel derecho) de la temperatura superficial del mar en Bajos del Norte para el periodo entre enero de 1854 y octubre de 2021.

Producción primaria neta (NPP)

Con base en la información obtenida de producción primaria, derivada del procesamiento de imágenes de satélite de concentración de clorofila *a*, temperatura superficial y radiación fotosintéticamente activa, se observa que los meses de diciembre a marzo son los meses con mayores valores de carbono orgánico por metro cuadrado al día en la zona, con valores superiores a $500 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para el mes de enero. A partir de abril, se observa un patrón de disminución en la producción primaria neta que se mantiene por debajo de $300 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Este patrón en la NPP se ha mantenido desde el inicio de las misiones satelitales con sensores remotos en 2002 a la fecha, con los meses de invierno-primavera siendo más productivos en cuanto al carbono orgánico generado en la superficie del océano. Se observó que durante los meses de febrero y marzo de 2010 y enero y febrero de 2016 hubo un incremento en la NPP en la zona que pasó de $450 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a más de $600 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. En general, Bajos del Norte puede ser considerado una zona de baja producción primaria neta la mayor parte del año. Esta situación permite que la luz solar tenga una mayor penetración en la columna de agua durante al menos 8 meses del año, situación ideal para los arrecifes de coral y sus comunidades asociadas.



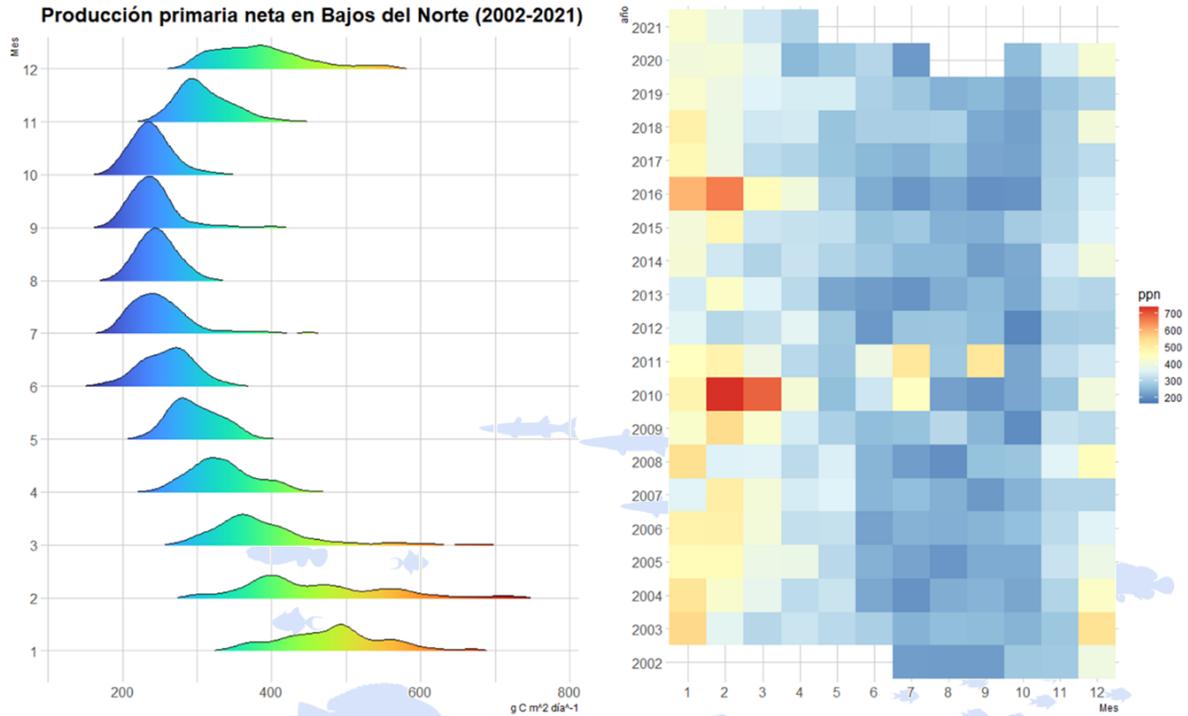


Figura 10. Distribución mensual (panel izquierdo) y mapa de calor anualizado (panel derecho) de la producción primaria neta en Bajos del Norte para el periodo entre julio de 2002 y abril de 2021.

Velocidad del viento durante huracanes (presión barométrica ≈ 850 mb)

De acuerdo con la información analizada, la velocidad del viento durante huracanes (periodos de presión barométrica ≈ 850 milibares) se mantiene por debajo de $5 km h^{-1}$, siendo los meses de marzo a junio donde es probable observar velocidades mayores a $10 km h^{-1}$. Este patrón de vientos se ha mantenido relativamente sin alteración desde 1949 a la fecha (Fig. 11). El patrón de vientos observados, así como los perfiles de profundidad de la zona pudieran haber permitido que las comunidades asociadas a estos arrecifes lejanos se mantenga sin afectaciones severas por el paso de huracanes.

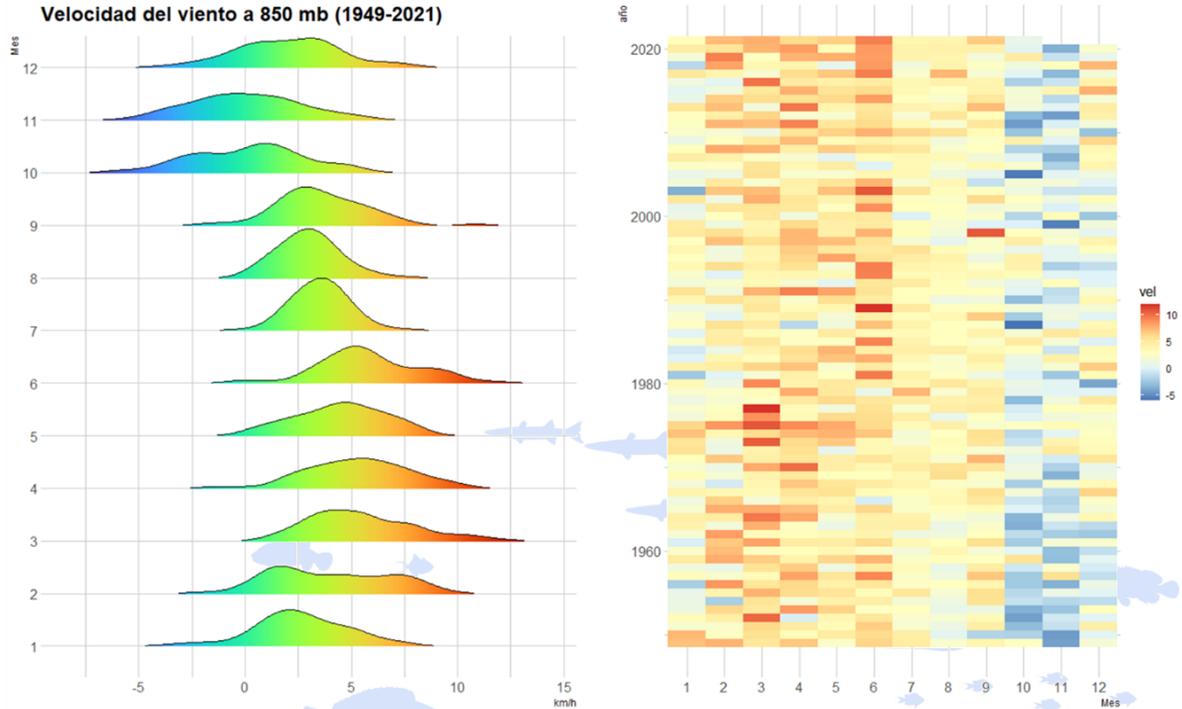


Figura 11. Distribución mensual (panel izquierdo) y mapa de calor anualizado (panel derecho) de la velocidad del viento a 850 milibares (huracanes) en Bajos del Norte para el periodo entre noviembre de 1949 y septiembre de 2021.

Especies de peces capturadas por la pesca comercial

Captura comercial de peces por la flota de mediana altura en Yucatán

Se identificaron 92 especies de peces óseos y cartilagosos registradas en los avisos de arribo de la flota de mediana altura Yucateca para el periodo entre enero de 2009 y diciembre de 2020. Se utilizó únicamente este periodo ya que previo a 2009 no se encontraron registros de embarcaciones de mediana altura Yucatecas en las bases de datos de AIS, posiblemente debido al retraso entre la publicación de la NOM-062 en 2007 y la instalación de los dispositivos de seguimiento satelital a toda la flota nacional. Se observó que algunas especies únicamente fueron registradas durante un año (ej. *Prionace glauca*, *Pterois volitans*, *Mugil* spp, *Menticirrhus* spp). Los datos de capturas corresponden a toda la zona de operaciones de la flota Yucateca, que abarca prácticamente toda la plataforma continental correspondiente al Estado. En general, las capturas de todas las especies de peces registradas se mantienen por debajo de 15 toneladas para todo el periodo analizado. Los túnidos, así como el pez espada y tiburones como el tigre o el toro, han sido capturados por la flota de mediana altura de manera intermitente, mientras que tiburones del género *Carcharhinus* y *Sphyrna* fueron registrados durante todo el periodo analizado. Es importante señalar que algunas especies fueron registradas en los avisos de arribo con un nombre común que no corresponde a ninguno identificado en las diversas bases de datos consultadas, por lo que se encuentran listadas con el nombre registrado más el distintivo "NA" (Fig. 12).



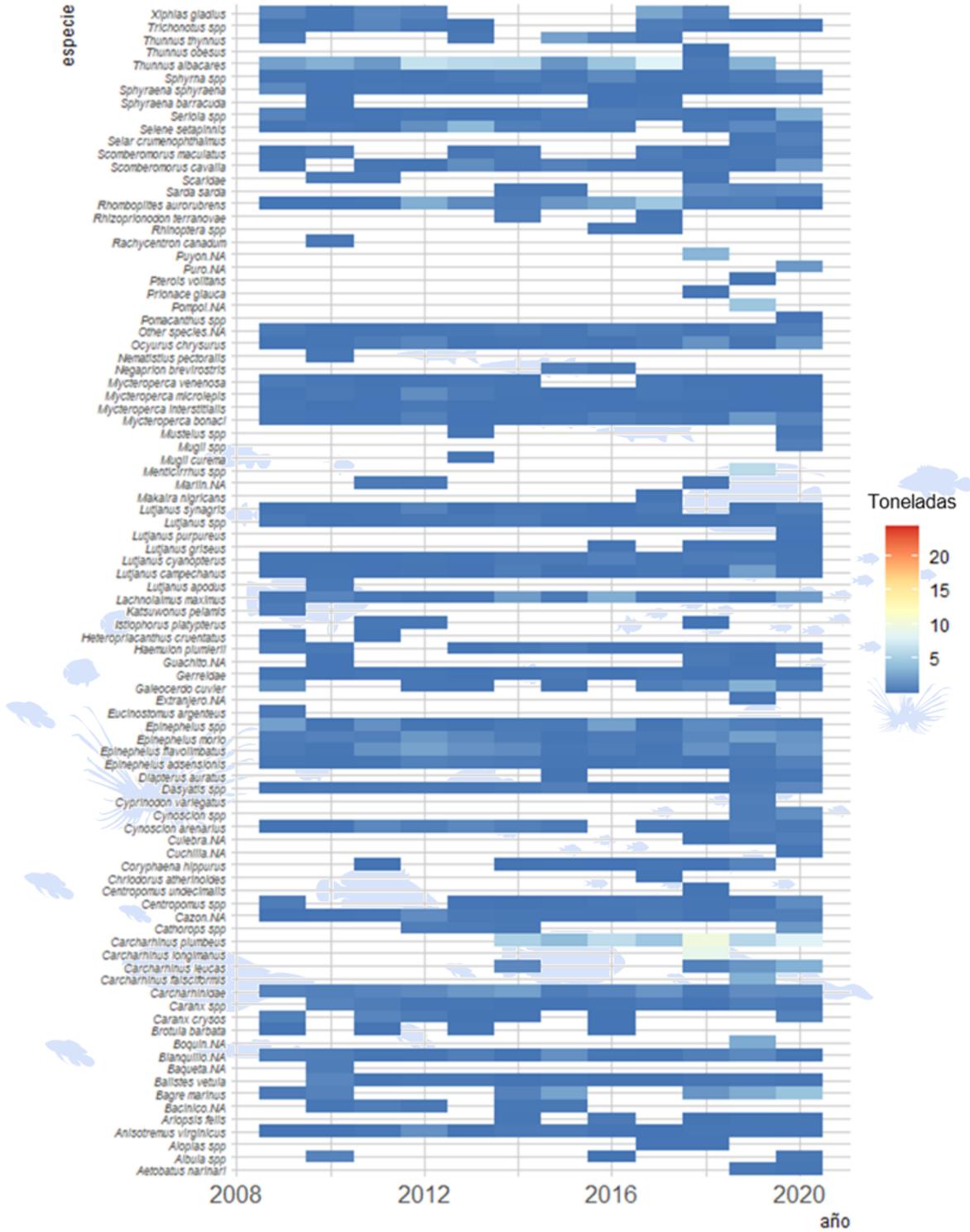


Figura 12. Captura total anual de peces (óseos y cartilagosos) por la flota de mediana altura de Yucatán.

Captura de peces óseos (escama marina) por la flota mediana altura en Yucatán

Las especies de peces óseos (escama marina) que fueron registradas durante todo el periodo analizado corresponden a especies de meros, huachinangos, pargos, mojarra (no tilapia), medregales y barracudas. Durante el periodo analizado, las capturas de cada especie de pez óseo no sobrepasaron 15 toneladas, siendo los meros del género *Epinephelus* y *Mycteroperca* los que registraron capturas mayores a 5 toneladas. Es importante señalar que se observó el registro continuo de "otras especies" que son identificadas como peces óseos o escama marina *sin registro oficial* por parte de la CONAPESCA, lo que hace imposible su identificación (Fig. 13). De los registros anualizados y mensuales de capturas destaca la presencia del pez león *Pterois volitans*, que fue registrado en la captura de la flota de mediana altura únicamente durante el mes de abril de 2019 con volúmenes menores a 1 tonelada. Las especies con presencia en las capturas todos los meses del año corresponden a meros del genero *Epinephelus* y *Mycteroperca*, huachinangos y pargos del genero *Lutjanus*, jureles del genero *Caranx*, medregales del genero *Seriola*, entre otros (Fig. 14). En el registro mensual se puede observar que no se capturan todas las especies con los mismos volúmenes a lo largo del año, además de que los volúmenes de captura no sobrepasan 10 toneladas acumuladas por una especie en un mes en particular.



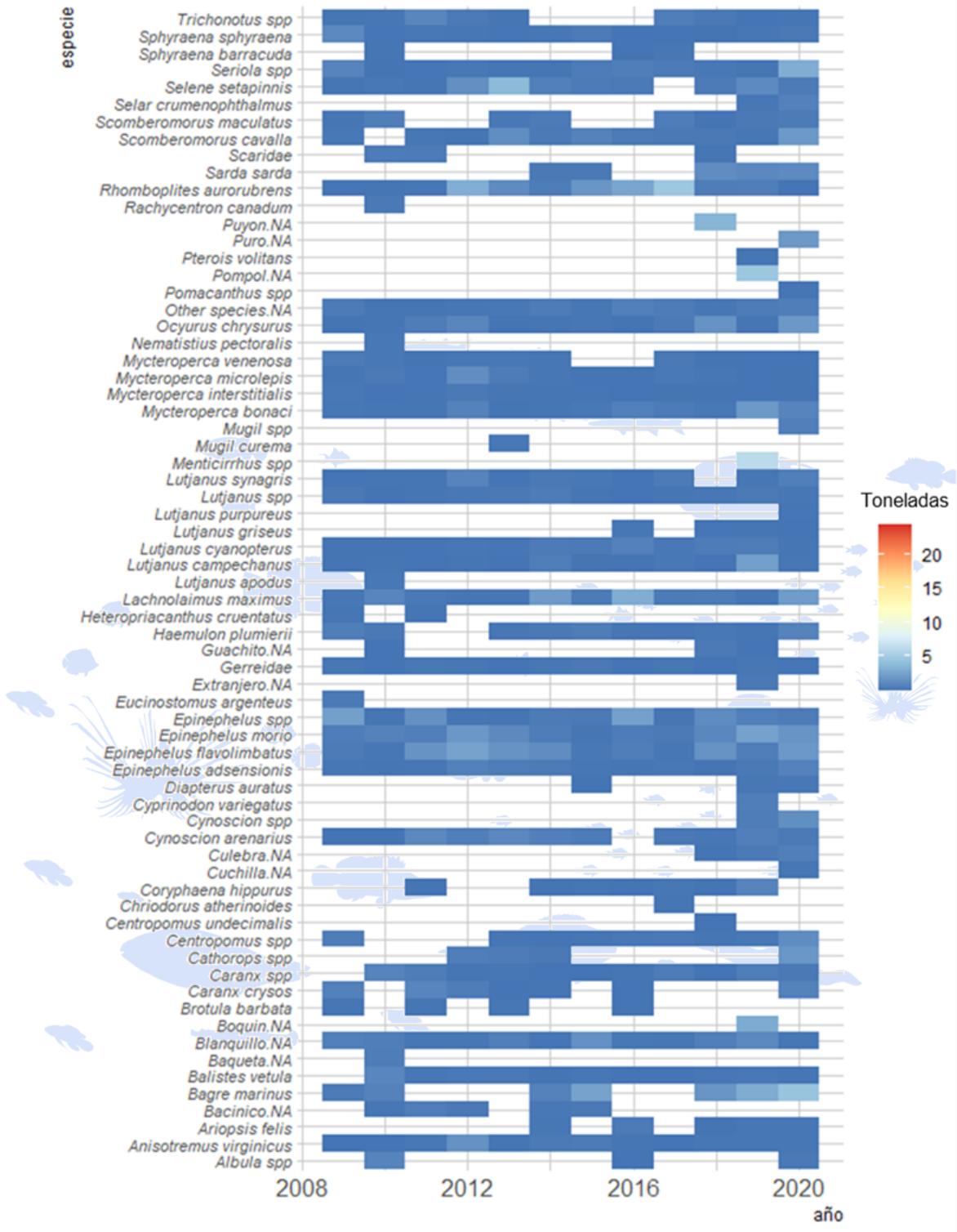


Figura 13. Captura total anual de peces óseos bajo el permiso comercial de "escama marina" por la flota de mediana altura de Yucatán.

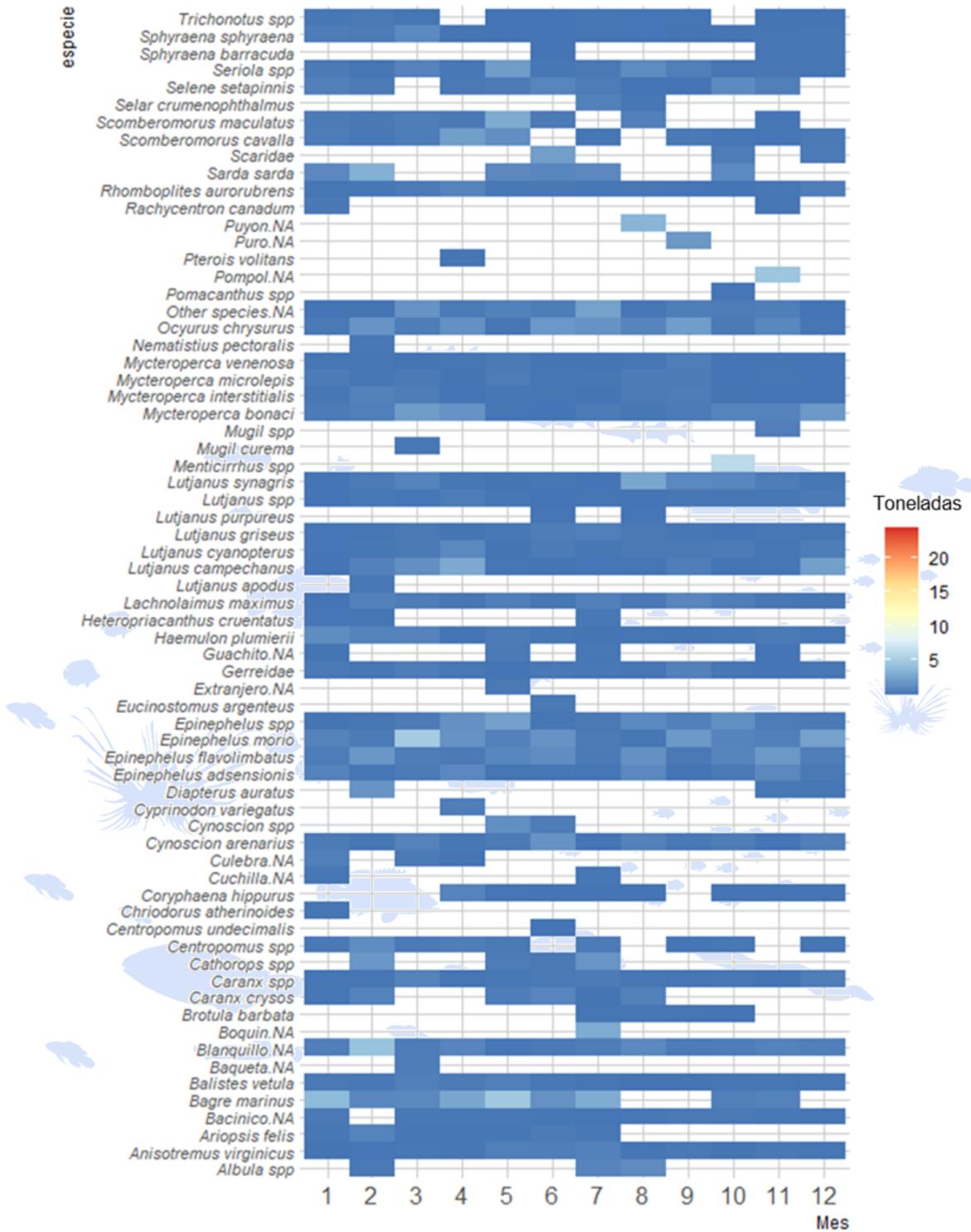


Figura 14. Captura total mensual de peces óseos bajo el permiso comercial de “escama marina” por la flota de mediana altura de Yucatán. Información de 2009 a 2020.

Uso de las aguas circundantes al Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán

De acuerdo con el Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Arrecife Alacranes⁵, dentro del parque se encuentran cuatro sociedades cooperativas con áreas concesionadas para el aprovechamiento de langosta, además de existir pesca de escama y utilizar isla Perez como base mientras trabajan en el area. Este PCM reconoce a los pescadores como usuarios de la sub-zona de uso restringido, sub-zona de preservación y sub-zona de aprovechamiento sustentable de recursos naturales que incluye el desempeño de actividades extractivas “que no modifiquen ni provoquen impactos ambientales significativos o relevantes a los ecosistemas, encaminándolas hacia la aplicación de técnicas de rotación de uso y utilizando artes de pesca de bajo impacto (ej. Anzuelos, trampas, poteras, colecta mediante buceo libre)”. Así mismo, reconocen la presencia de embarcaciones de pesca deportiva recreativa, nacionales y extranjeras.

Cabe recordar que con motivos de este análisis se determinó al area entre los 22 y 23.5° Lat N y -88.5 y -90.5 Long W como aguas circundantes; que representa un total de 34,389 km², que representan aproximadamente 24 % de los cerca de 142 mil km² que representan el area de operación de la flota de mediana altura Yucateca. Observando la zona de operaciones total, se puede apreciar que la probabilidad de operaciones de captura alrededor de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte es menor a 10%, por lo que la selección del area denominada aguas circundantes cumple con la función de contrastar de mejor manera la probabilidad de ocurrencia de operaciones de captura de escama por la flota, sin que signifique que la actividad pesquera incrementa su intensidad alrededor o dentro de las áreas (Fig. 15).

Las zonas de mayor probabilidad de realizar operaciones de captura de escama marina por la flota de mediana altura en aguas circundantes a las áreas de interés se mantiene por debajo de 50%, con 2009 con el año con mayor dispersión de las operaciones. Las zonas con probabilidades mayores a 50% mantienen en regiones fuera de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte (Fig. 16). Al analizar las operaciones dentro de los polígonos que delimitan Bajos del Norte y Arrecife Alacranes, podemos observar que los sitios con probabilidades mayores a 50% se encuentran dentro de la zona de amortiguamiento (en Arrecife Alacranes, donde está permitida la actividad pesquera), así como en áreas

⁵ Disponible en línea en: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/61_libro_pm.pdf

circundantes a los sitios de muestreo en Bajos del Norte (Fig. 16). Las actividades de pesca de escama que pudieran llevarse a cabo dentro del PN Arrecife Alacranes se encuentran dentro de lo establecido en el PCM del area, ya que se realizan con artes de pesca de bajo impacto (palangre, caña de pescar, líneas de mano con anzuelos y carnada). En el caso de Bajos del Norte es importante hacer notar que el sitio no cuenta con un area de refugio del mal tiempo (como Isla Perez en PNAA), sino que es una zona expuesta y profunda que exhibe retos técnicos para llevar a cabo operaciones de captura en la zona. Esto se puede corroborar observando los valores de densidad de probabilidad de operaciones de captura en el sitio que son menores al 10% a lo largo del tiempo (Fig. 16).

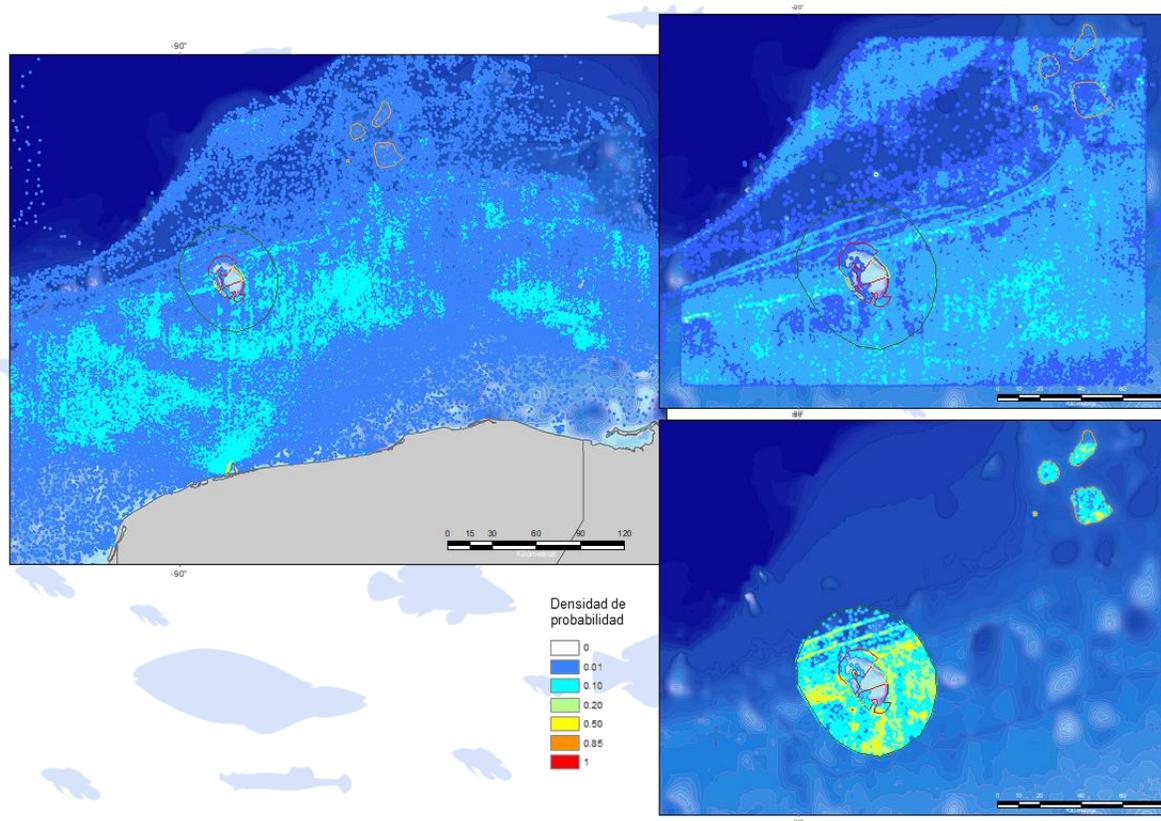
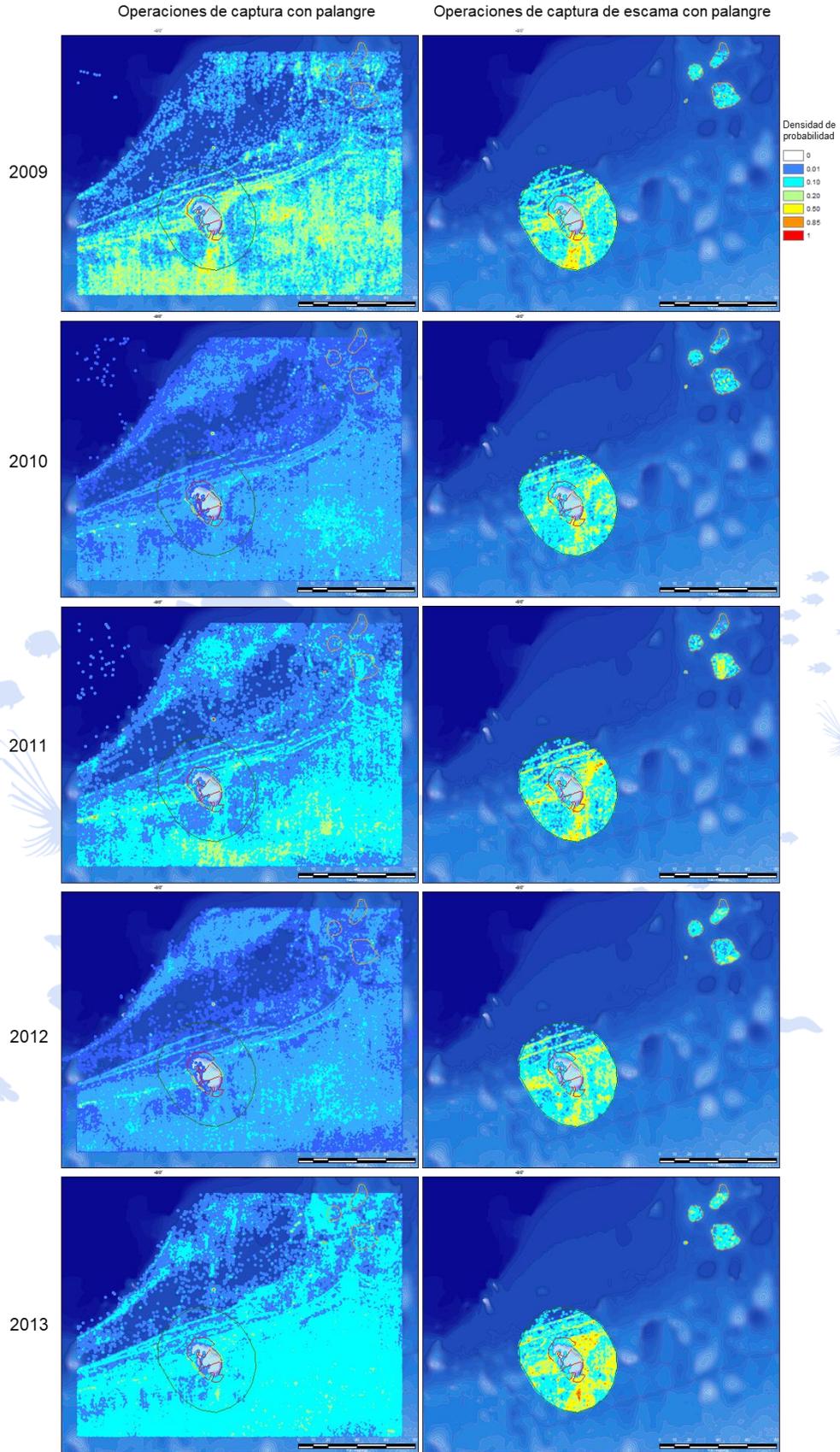
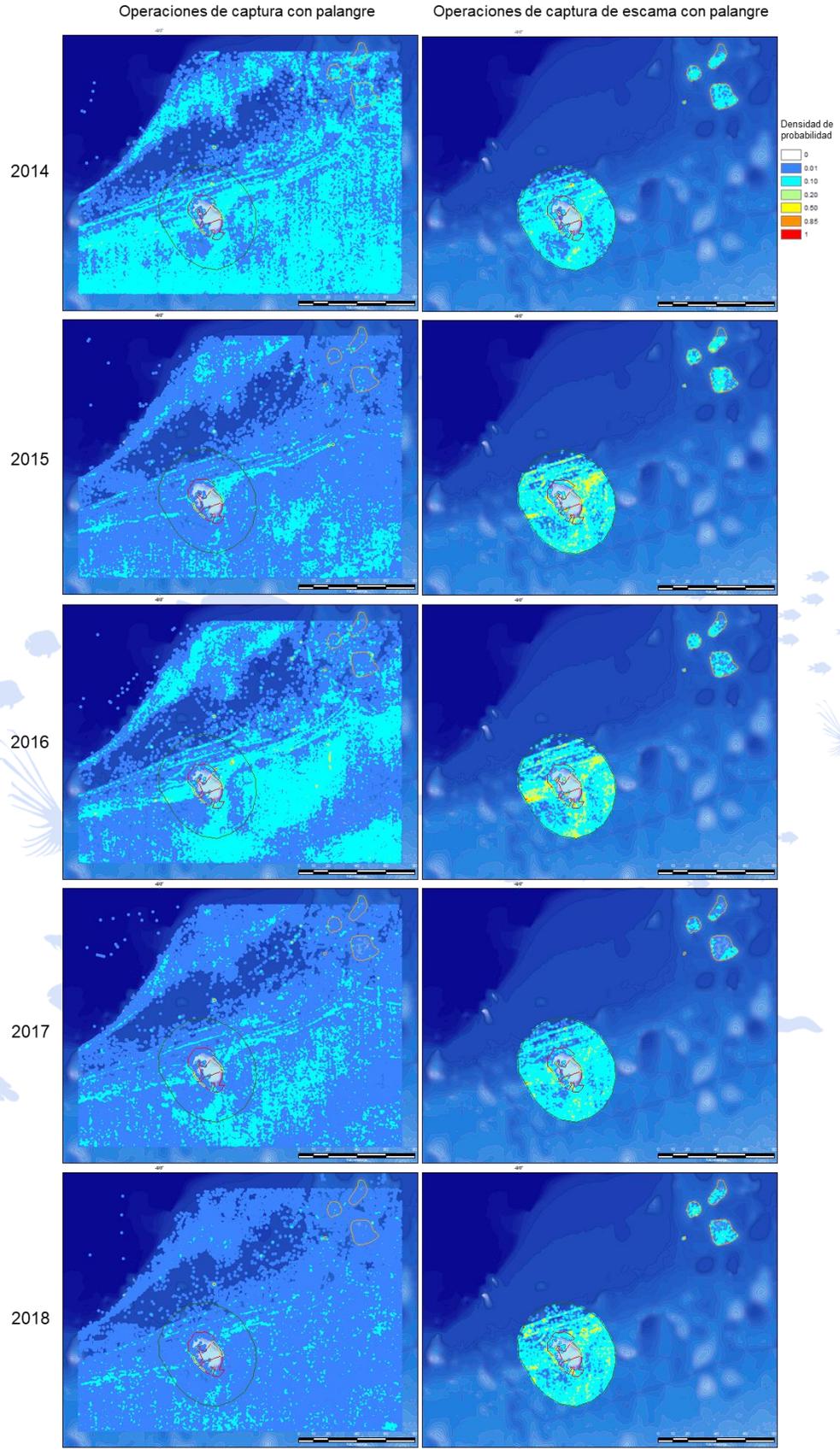


Figura 15. Probabilidad de operaciones de captura de escama por la flota de mediana altura (panel izquierdo), probabilidad de operaciones de captura en las aguas circundantes al Arrecife Alacranes y Bajos del Norte (panel superior derecho) y dentro de las áreas de interés (panel inferior derecho), durante 2012. El patrón es similar en todo el periodo analizado entre 2009 y 2020.

EVALUACIÓN DE ESPECIES DE PECES EN ARRECIFES DE YUCATÁN





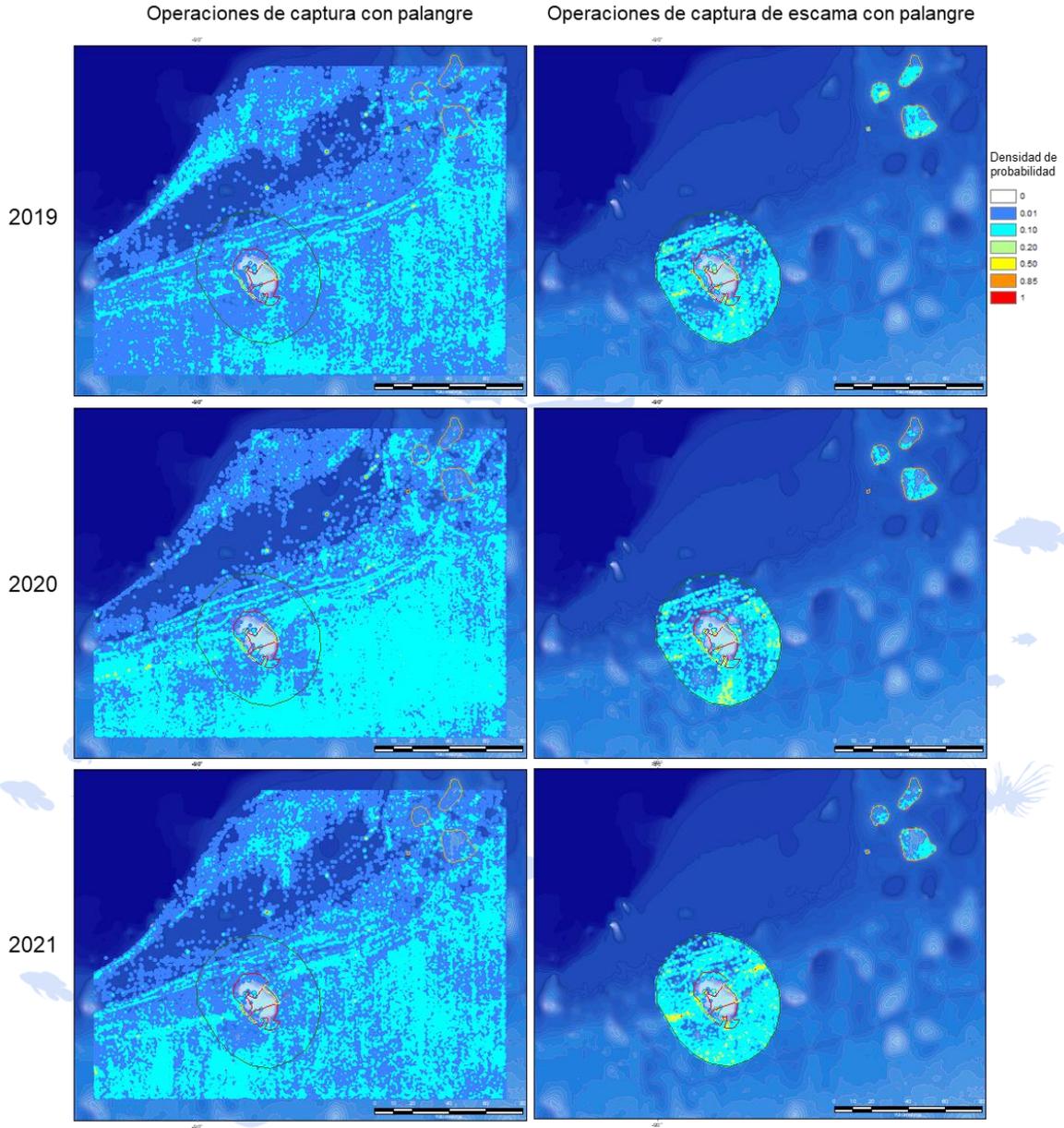


Figura 16. Zonas de operación de la flota de mediana altura en la región circundante (derecha) y dentro del Parque Nacional Arrecife Alacranes y la zona delimitada por la isobata de los 50 m en Bajos del Norte (izquierda) para la captura de escama marina.

Perfiles de captura de escama marina dentro de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán

Con base en la referenciación cruzada de bases de datos y filtrado, se observa que la captura de peces de escama que se registra dentro de las áreas de interés para el periodo entre 2009 y 2020 es menor 2 toneladas mensuales con mayor frecuencia, siendo los meses de noviembre a marzo los que presentan valores por arriba de 4 toneladas de manera esporádica (Fig. 17). Al analizar la captura por especie para el mismo periodo, observamos que se registraron capturas mayores a 4 toneladas del pez *Sarda sarda* (bonito del Atlántico) y *Haemulon plumieri* (Chac-chi), mientras que el resto de las especies no presenta volúmenes de captura mayores 4 toneladas durante todo el periodo analizado (Fig. 17).

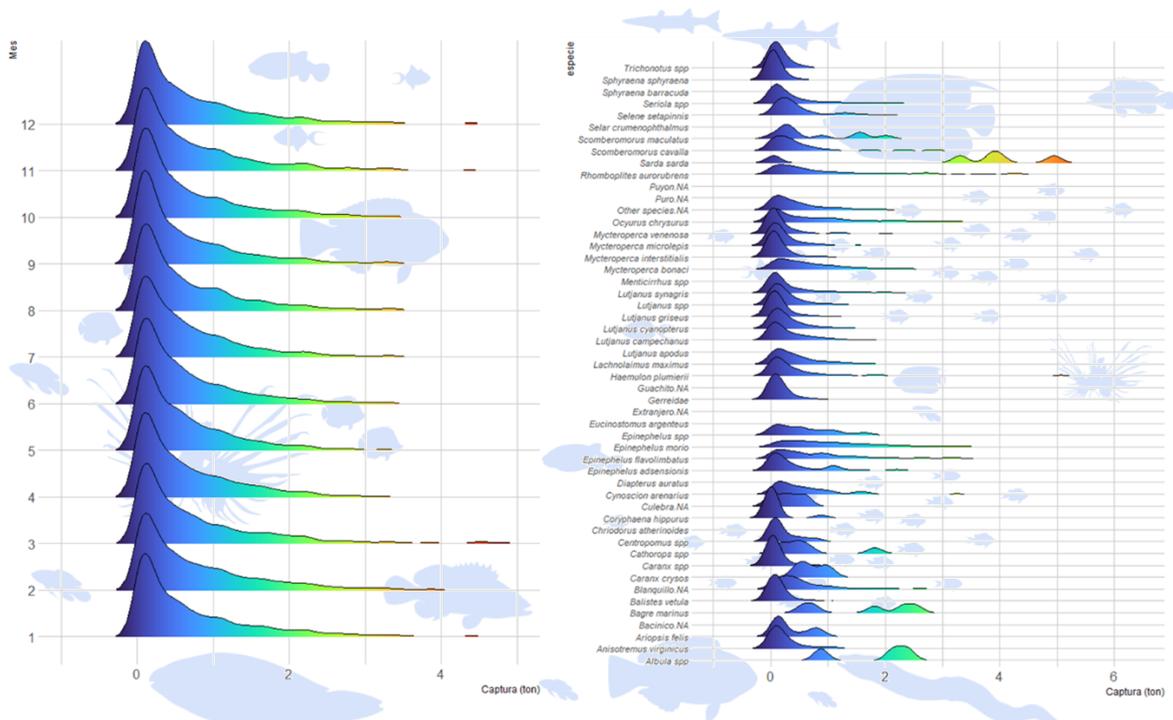


Figura 17. Distribución de la captura de peces de escama marina dentro de las áreas de interés (panel izquierdo) y captura por especie de peces de escama marina dentro de las áreas de interés (panel derecho).

Captura anual y mensual de escama marina dentro de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán

De acuerdo con los resultados del filtrado de información, se observó que existieron especies que fueron registradas en todos los años y que pudieron ser capturadas dentro de las zonas de interés: los meros de los géneros *Epinephelus* y *Mycteroperca*, los huachinangos y pargos de los géneros *Lutjanus* y *Ocyurus*, el ronco *Haemulon plumierii* (Chac-chi), las mojarrras de la familia Gerreidae, entre otros (Fig. 18). Así mismo, se observó que *Epinephelus morio* (mero rojo) fue el pez que registró capturas totales mayores a 10 toneladas durante el mes de febrero, mientras que todas las demás especies de peces se mantuvieron con capturas por debajo de 5 toneladas (Fig. 18).



Figura 18. Captura total anual (panel izquierdo) y mensual (panel derecho) por especie de peces de escama marina dentro de las áreas de interés (PNAA y Bajos del Norte).

Diversidad y riqueza de especies de la captura de escama marina dentro de Arrecife Alacranes y Bajos del Norte por la flota de mediana altura en Yucatán. Se comparó la diversidad de las capturas en las zonas con el año y el volumen de captura total, observando que la diversidad fue menor a 1.3 entre 2009 y 2013, cuando los volúmenes de captura total anual fue mayor a 3 mil toneladas, mientras que para el periodo entre 2014 y 2020, la diversidad fue mayor a 1.5 cuando los volúmenes de captura fueron menores a 2,800 toneladas. Este mismo patrón se observa en para el índice de Pielou, con el periodo entre 2009 – 2013 siendo menos uniforme (<0.4) que el periodo entre 2014 y 2020 (>0.45). En el caso de la riqueza de especies, el periodo con menor riqueza se extiende de 2009 a 2017 (<31 especies), mientras que de 2018 a 2020 se registra la mayor riqueza de especies registradas en la captura dentro de las zonas de interés (>34 especies). Al realizar la comparación con el volumen de captura, se observa claramente que la diversidad, riqueza y uniformidad disminuyen al incrementar el volumen de captura (Fig. 19).

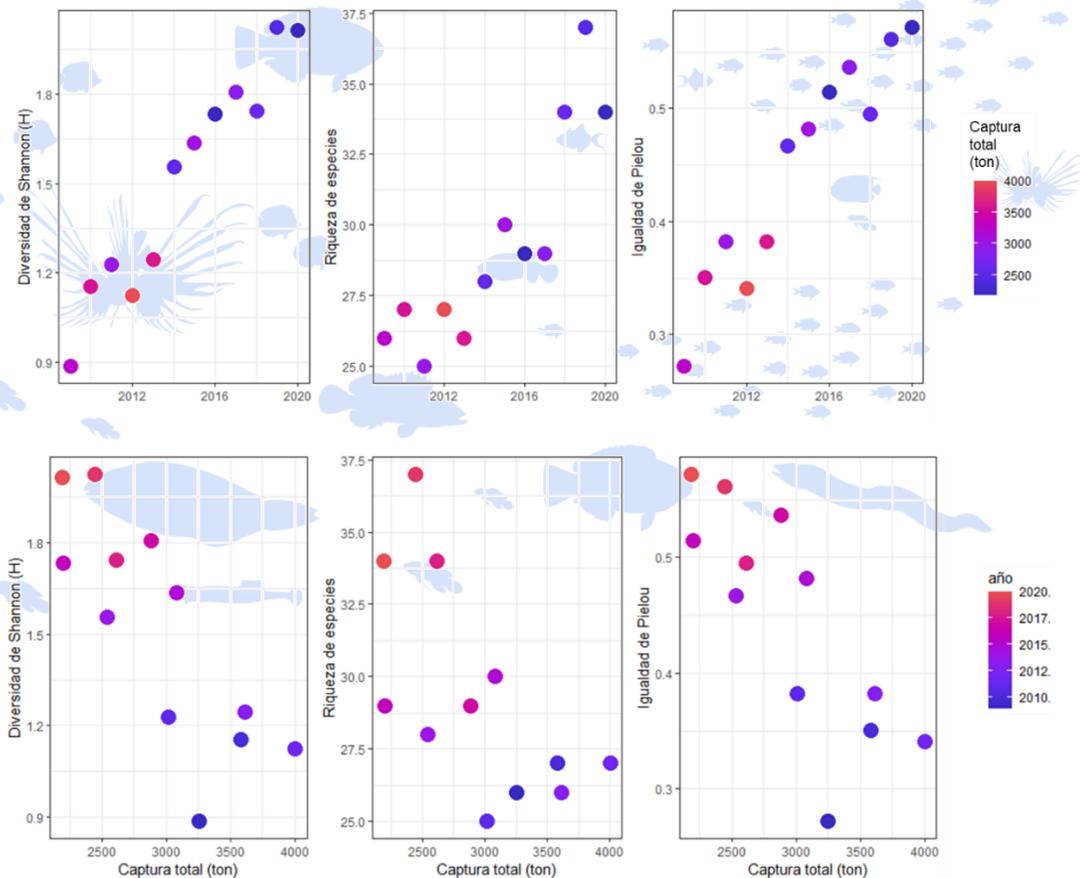


Figura 19. Comparación entre diversidad, riqueza e igualdad de especies por año y volumen de captura total de escama dentro de las áreas seleccionadas.

Biomasa y estado de los stocks de especies de peces de escama de interés comercial

Para realizar el cálculo de biomasa fue necesario utilizar la información de capturas y esfuerzo de la flota ribereña y de mediana altura en conjunto, ya que ambas flotas remueven organismos del mismo stock de las diferentes especies. Así mismo, se utilizaron series de tiempo de capturas desde enero de 2000 a diciembre de 2020 para nueve especies de interés comercial: *Epinephelus morio*, *Epinephelus adscensionis*, *Epinephelus striatus*, *Mycteroperca bonaci*, *Mycteroperca microlepis*, *Lutjanus campechanus*, *Lutjanus synagris*, *Ocyurus chrysurus*, *Haemulon plumieri*; además se realizó un cálculo de biomasa para especies registradas de los géneros *Lutjanus* y *Seriola* para los cuales no fue posible identificar la especie. De esta forma se observa que para casi todas las especies analizadas durante el periodo entre 2000 y 2020, la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) medida en toneladas de la especie por embarcación por día de pesca se mantiene por debajo de 0.025. Para *Epinephelus morio*, *Epinephelus striatus* y *Mycteroperca microlepis*, se observan diferentes modas en la frecuencia de los valores de la CPUE; estas especies son las que reflejan valores de CPUE mayores a 0.025 toneladas por embarcación por día de pesca (Fig. 20).

Al observar las series de tiempo de la CPUE anualizada se observa que *Epinephelus morio* y *Mycteroperca microlepis* presentan mayores valores de CPUE previos a 2010, mientras que la CPUE de *Epinephelus striatus* incrementa a partir de 2011, presentando valores por arriba de 0.2 toneladas por embarcación por día de pesca en 2017. En el caso del resto de las especies, todas presentaron valores de CPUE menores a 0.05 toneladas por embarcación por día de pesca. Para *Ocyurus chrysurus* no se registró captura durante 2019 por lo que se aparece un recuadro gris en ese año (Fig. 20).

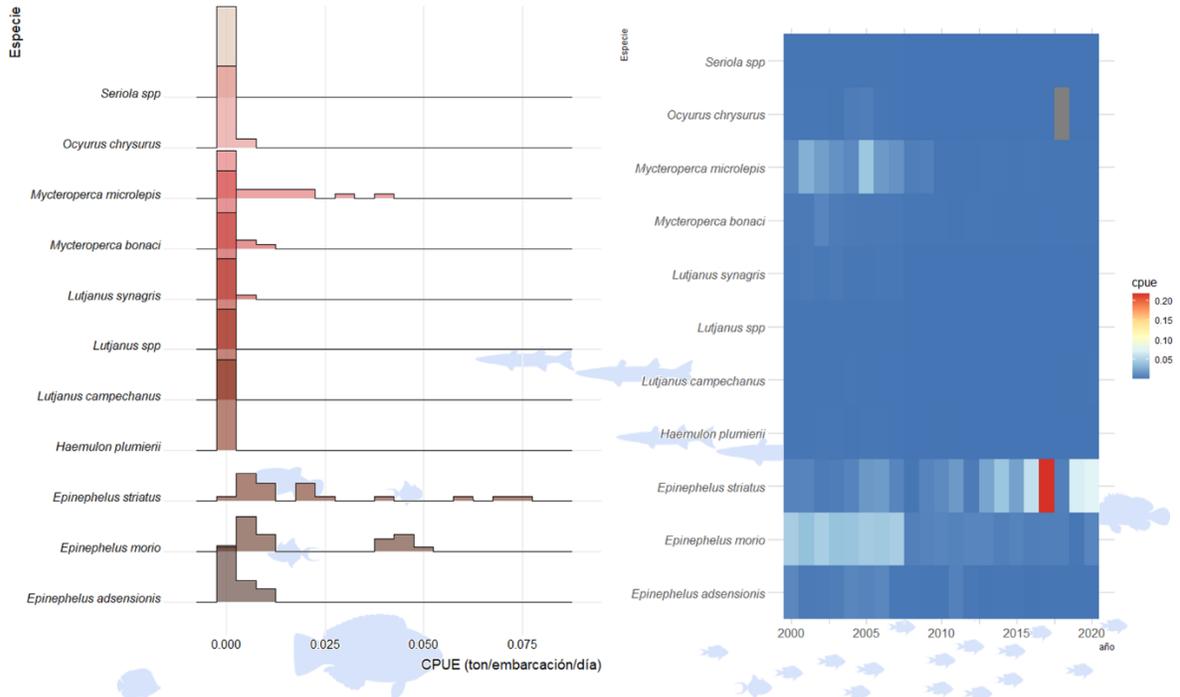


Figura 20. Distribución y mapa de calor anualizado de la captura por unidad de esfuerzo para 11 especies de peces de interés comercial.

Con los resultados de los cálculos de biomasa se observa que *Epinephelus morio* presentó los valores de biomasa más altos (alrededor de 50 mil toneladas), mientras que todas las otras especies presentaron valores por debajo de 25 mil toneladas. Las especies *Seriola spp*, *Ocyurus chrysurus*, *Mycteroperca microlepis*, *Lutjanus spp*, *Haemulon plumieri*, *Epinephelus striatus* y *Epinephelus adscensionis* presentaron biomazas menores a 10 mil toneladas con mayor frecuencia durante el periodo entre 2000 y 2020 (Fig. 21). Con excepción de *Epinephelus striatus*, todas las especies analizadas registraron una disminución gradual en la biomasa (Fig. 21).

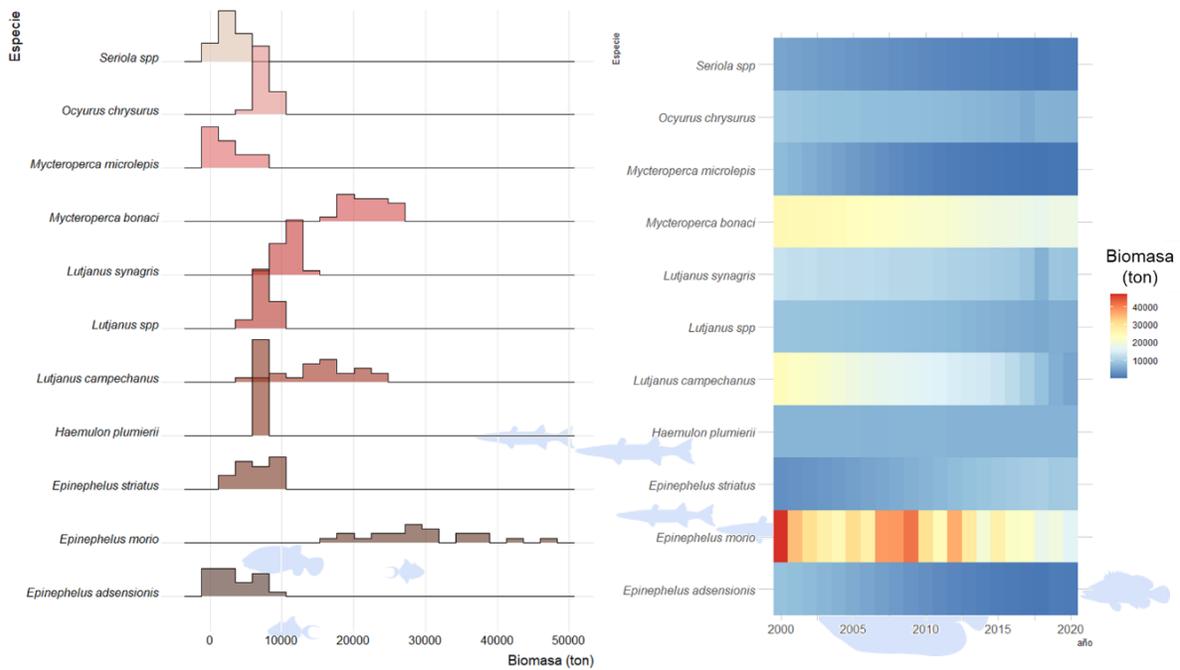


Figura 21. Distribución y mapa de calor anualizado de la biomasa estimada para 11 especies de peces de interés comercial.

Es importante mencionar que se encontraron inconsistencias en las bases de datos que no permitieron utilizar todas las especies ni todos los años registrados en los avisos de arribo, por lo que los resultados de cálculos de biomasa y estado del stock de las especies deben ser considerados como preliminares. Con base en los niveles de biomasa (B) y mortalidad por pesca (F) anuales, así como la biomasa y mortalidad por pesca asociadas al máximo rendimiento sostenible (B_{MSY} y F_{MSY} , respectivamente), se puede observar que *Mycteroperca microlepis* y *Epinephelus striatus* se encuentran dentro de la zona considerada "segura" con biomasa anual mayor a la biomasa que genera el máximo rendimiento sostenible y niveles bajos de mortalidad por pesca. *Epinephelus morio* y *E. adscensionis* se ubicaron en la zona de "recuperación" al obtenerse valores de biomasa por debajo de la biomasa que genera el máximo rendimiento sostenible pero con niveles bajos de mortalidad por pesca. Las únicas especies que, de acuerdo con el presente análisis, se encuentran sobrepescadas fueron *Ocyurus chrysurus*, *Lutjanus synagris*, *Haemulon plumierii* y *Lutjanus campechanus*, al observarse niveles de biomasa por debajo de la biomasa que genera el máximo rendimiento sostenible y mortalidades por pesca superiores a la mortalidad por pesca asociada al máximo rendimiento sostenible. *Mycteroperca bonaci* se encontró ubicada en el límite entre la zona segura y ocurriendo sobrepesca (Fig. 22).

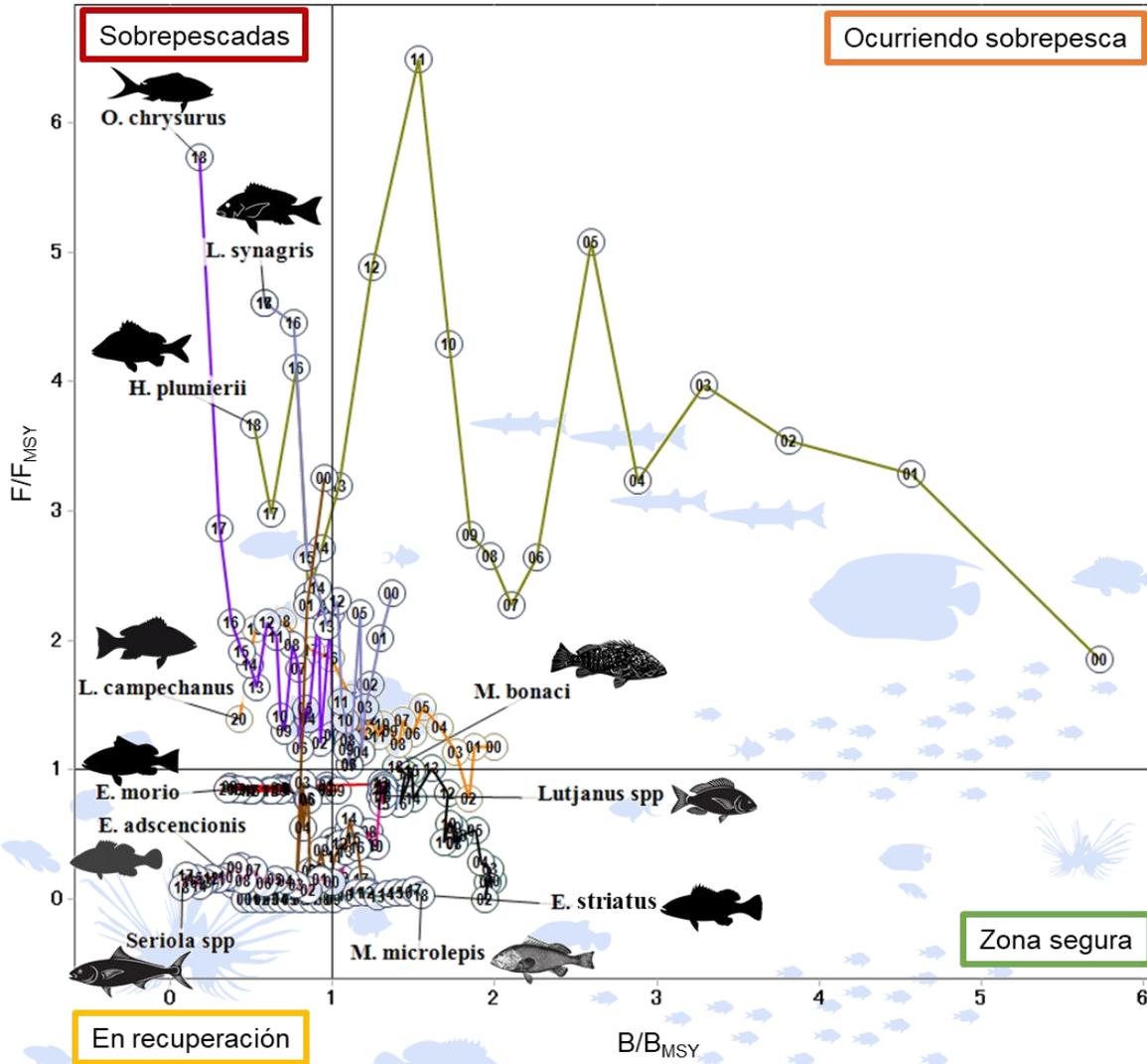


Figura 22. Estado de los stocks de acuerdo con los niveles de biomasa anuales con respecto a la biomasa que genera el máximo rendimiento sostenible (B/B_{MSY}) y la mortalidad por pesca anual con respecto a la mortalidad por pesca asociada al máximo rendimiento sostenible (F/F_{MSY}) para 11 especies de interés comercial.

Es importante hacer énfasis en que la captura de escama marina en Yucatan se realiza principalmente con anzuelo y carnada (en cañas de pescar o "rapaleo", líneas de mano o palangres). Este método de captura no solo depende de la presencia y abundancia de las especies de interés, también depende del tamaño y forma de los anzuelos, así como del tipo de carnada empleado y el estado de las especies: si tienen hambre, si hay organismos más

grandes que ellos presentes, si se están reproduciendo, si es de día o de noche, etc. Comprender el funcionamiento de los anzuelos y carnadas para la captura de peces se vuelve primordial para reconocer cambios en los patrones de abundancia de las especies que se basen únicamente en datos de captura con este tipo de artes de pesca (Fig. 23).

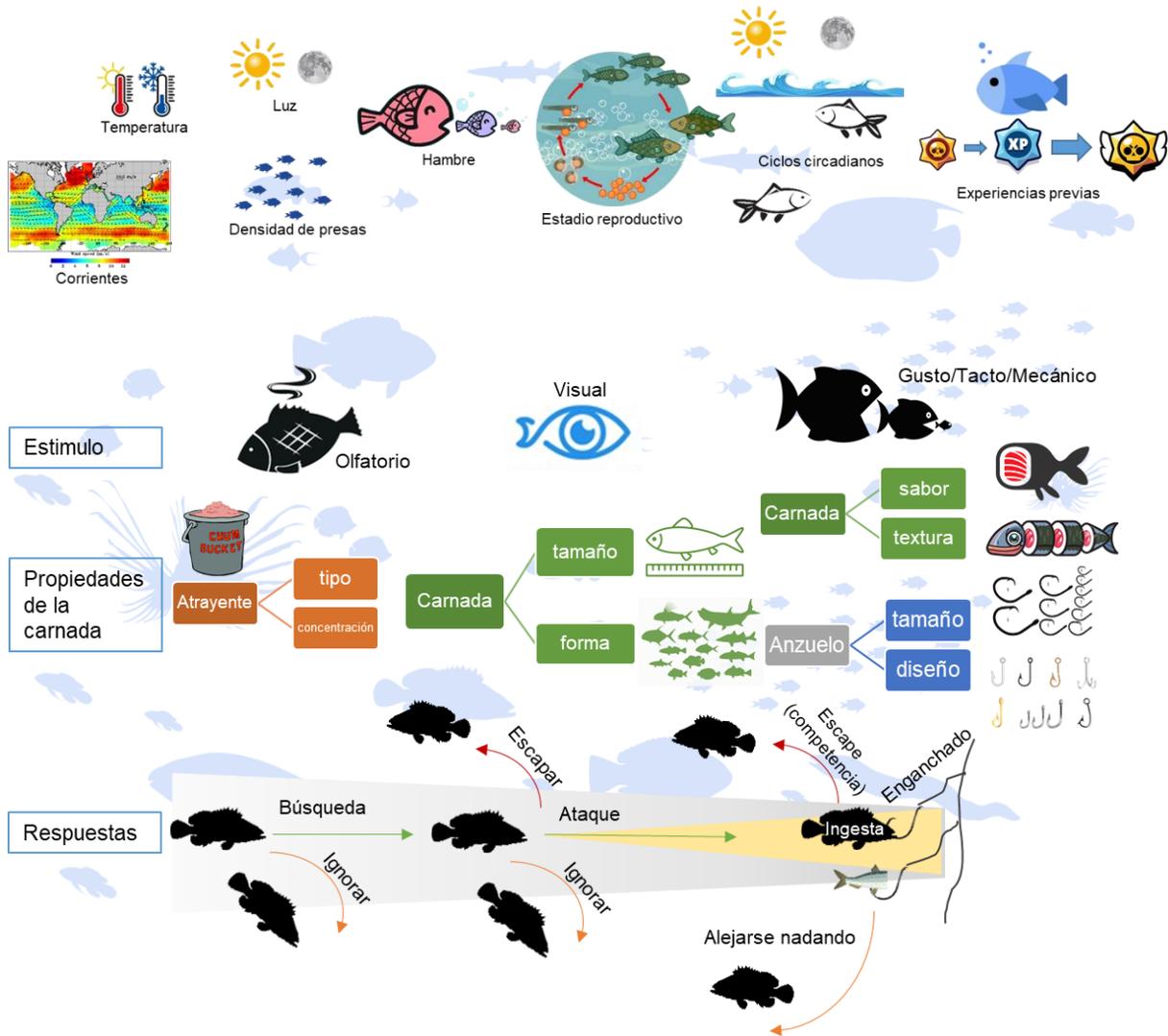


Figura 23. Factores que afectan el comportamiento de alimentación (panel superior) y aquellos involucrados en el proceso de captura con anzuelos y carnada (panel inferior; elaboración propia con información de Løkkeborg et al., 2014⁶).

⁶ Løkkeborg, S., S.I. Siikavuopio, O.B. Humborstad, A.C. Utne-Palm, K. Ferter. 2014. Towards more efficient longline fisheries: Fish feeding behaviour, bait characteristics and development of alternative baits. *Rev. Fish. Bio. Fisheries*. 24: 985-1003. DOI: 10.1007/x11160-014-9360-z.

Conclusiones

Diversidad de peces en Bajos del Norte

De acuerdo con los resultados del presente trabajo, se observa que los cuatro sitios presentan una diversidad y riqueza de peces de acuerdo a lo descrito para los arrecifes lejanos a la costa. La presencia de peces loro y cirujanos en todos sitios es alentadora y benéfica para la comunidad coralina ya que su pastoreo libera espacios rocosos que podrán ser colonizados por corales.

La presencia de pez león adulto de tallas mayores a 30 cm resulta preocupante ya que por la distancia de la costa hacia Bajos del Norte, es probable que hayan llegado al sitio por arrastre de las corrientes en estadios juveniles. Es posible que la ausencia de depredadores en el sitio, aunado a las altas densidades de alevines y juveniles de otros peces hacen de Bajos del Norte un lugar ideal para la invasión de esta especie.

Variabilidad ambiental

Con base en la información sobre las variables analizadas, Bajos del Norte aparenta permanecer bajo condiciones similares de temperatura, producción primaria y velocidad del viento por los últimos 50 años. La variabilidad ambiental en el sitio, medida con las variables seleccionadas, ha permitido que el ecosistema de arrecife lejano se mantenga.

Esto no deja de lado que un disturbio de suficiente magnitud, intensidad y duración genere una perturbación que pudiera cambiar la trayectoria del ecosistema.

Pesca, diversidad, abundancia y estado de los stocks

Bajos del Norte y Arrecife Alacranes aparentan ser sitios importantes para la pesca de escama marina, sin embargo la probabilidad de que se desarrollen actividades pesqueras con palangre dentro de las áreas es menor al 20%. Dentro del area seleccionada como aguas circundantes existen otras regiones de mayor interés para la flota escamera, donde se observan valores de probabilidad mayores a 50%. Es importante recalcar que las actividades pesqueras que se puedan llevar a cabo dentro del polígono del Parque Nacional Arrecife Alacranes se encuentran reconocidas y autorizadas en el Programa de manejo del Parque, ya que se llevan a cabo con artes de pesca de bajo impacto. Para Bajos del Norte, la lejanía del sitio, así como las características de profundidad y la falta de sitios para guarecerse del mal clima, pueden ser una explicación para observar una baja probabilidad de operaciones de captura en la zona.

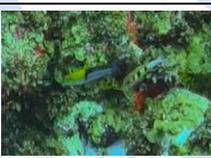
Resulta de extrema importancia establecer una línea base de seguimiento de la salud de las poblaciones de peces en Bajos del Norte, para estar en posibilidad de identificar oportunamente cambios en la diversidad o abundancia de las especies y así poder implementar las mejores medidas de manejo y conservación en el área. Para Arrecife Alacranes, es necesario evaluar el estado de las poblaciones de peces e implementar las medidas de manejo necesarias para asegurar la recuperación de aquellas que se encuentren en estados diferentes al objetivo planteado en el PMCAA.

La presencia de pez león en Bajos del Norte es motivo de preocupación y se requerirá del desarrollo e implementación de un plan de erradicación de la especie invasora antes de que su presencia cause cambios en las comunidades y el ecosistema del sitio.

El estado de los stocks de las especies evaluadas en el presente trabajo debe ser considerado como preliminar, ya que al detectarse inconsistencias en las bases de datos empleadas para las evaluaciones, existe un nivel de incertidumbre medio-alto asociado a las estimaciones de los parámetros poblacionales. Es necesario trabajar en la mejora del registro de la información pesquera para que se estandarice la nomenclatura de las especies registradas, así como incluir información completa y detallada de la ubicación de la captura con la finalidad de dar mejor seguimiento a la diversidad de especies y localidades donde se pescan, detectar cambios y establecer medidas de manejo adecuadas para asegurar el aprovechamiento sostenible de las especies de peces en la región.

Anexo I. Inventario fotográfico de especies de peces observadas durante los muestreos subacuáticos en Bajos del Norte durante agosto 2021.

Especies de interés comercial (*), especies invasoras (**).

Imagen	Especie (nombre común en español e inglés)
	<i>Amblycirrhitus pinos</i> Halcón rayadito Redspotted hawkfish
	<i>Chromis cyanea</i> Damisela azul Blue chromis
	<i>Melichthys niger</i> Cochito negro Black triggerfish
	<i>Halichoeres garnoti</i> Doncella cabeciamarilla Yellowhead wrasse
	<i>Gramma loreto</i> Loreto Royal gramma
	<i>Scarus taeniopterus</i> Loro princesa macho Princess parrotfish male
	<i>Scarus taeniopterus</i> Loro princesa hembra Princess parrotfish female
	<i>Scarus vetula</i> Loro reina hembra Queen parrotfish female

	<p><i>Scarus vetula</i> Loro reina macho Queen parrotfish male</p>
	<p><i>Chromis enchrysurus</i> Damisela coliamarilla Yellowtail Reeffish</p>
	<p><i>Ocyurus chrysurus</i> Rubia Yellowtail Snapper</p>
	<p><i>Pseudopeneus maculatus</i> Chivo manchado Spotted Goatfish</p>
	<p><i>Stegastes variabilis</i> Damisela cocoa juvenil Cocoa damselfish juvenile</p>
	<p><i>Stegastes partitus</i> Damisela bicolor Bicolor Damselfish</p>
	<p><i>Chromis multilineata</i> Damisela café Brown chromix</p>

	<p><i>Sparisoma viride</i> Loro brillante hembra Spotlight parrotfish female</p>
	<p><i>Thalassoma bifasciatum</i> Cara de cotorra juvenil Bluehead juvenile</p>
	<p><i>Thalassoma bifasciatum</i> Cara de cotorra Bluehead</p>
	<p><i>Stegastes planifrons</i> Damisela tres puntos juvenil Threespot damselfish juvenile</p>
	<p><i>Chaetodon ocellatus</i> Mariposa perla amarilla Spotfin Butterflyfish</p>
	<p><i>Acanthurus coeruleus</i> Cirujano azul Blue tang Surgeonfish</p>
	<p><i>Syngnathus pelagicus</i> Pez pipa oceánico Sargassum Pipefish</p>

	<p><i>Neoniphon marianus</i> Carajuelo mariana Longjaw Squirrelfish</p>
	<p><i>Chaetodon striatus</i> Mariposa rayada Banded Butterflyfish</p>
	<p><i>Abudefduf saxatilis</i> Sargento Sergeant-major</p>
	<p><i>Gymnothorax moringa</i> Morena manchada Spotted moray</p>
	<p><i>Epinephelus adscensionis</i> * Cabrilla payaso Rock hind</p>
	<p><i>Epinephelus morio</i> * Mero rojo Red Grouper</p>
	<p><i>Balistes vetula</i> * Cochito reina Queen Triggerfish</p>
	<p><i>Sphyaena barracuda</i> * Barracuda Barracuda</p>

	<p><i>Holocentrus rufus</i> Cardenal rojo Longspine Squirrelfish</p>
	<p><i>Serranus tigrinus</i> Serrano arlequín Harlequin bass</p>
	<p><i>Diodon holocanthus</i> Pez erizo mapache Longspined Porcupinefish</p>
	<p><i>Canthigaster rostrata</i> Tamborín narizón Caribbean sharpnose-puffer</p>
	<p><i>Chaetodon sedentarius</i> Mariposa parche Reef butterflyfish</p>
	<p><i>Holacanthus ciliaris</i> Angel reina Queen Angelfish</p>
	<p><i>Holacanthus bermudensis</i> Chabelita azul Blue angelfish</p>

	<p><i>Ophioblennius macclurei</i> Blenio labio rojo Redlip Blenny</p>
	<p><i>Acanthurus bahianus</i> Pez cirujano oceánico Barber Surgeonfish</p>
	<p><i>Hypoplectrus puella</i> Mero barril Barred Hamlet</p>
	<p><i>Sparisoma aurofrenatum</i> Loro manchado macho Redband parrotfish male</p>
	<p><i>Clepticus parrae</i> Damisela mulata Creole Wrasse</p>
	<p><i>Triaenodon obesus</i> * Tiburón puntas blancas de arrecife Whitetip reef Shark</p>

	<p><i>Pterois volitans</i> ** Pez león Red lionfish</p>
---	---

