

2022

Diversidad, abundancia y biomasa de peces de arrecife y de interés comercial en Arrecife Alacranes.



Alfonso Medellín - Ortiz

Ecología marina, pesquerías y cambio
climático

12-8-2022

Tabla de contenido

Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
Métodos.....	2
Estimación de abundancia relativa y riqueza de especies mediante buceo y video:	2
Diversidad alfa (α):	3
Diversidad beta (β):.....	3
Comparación de métodos visuales <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	4
Diversidad y riqueza de especies y variabilidad ambiental:.....	4
Estructura de tallas y pesos de las especies observadas:	5
Captura, esfuerzo y biomasa de especies de peces de interés comercial	6
Descripción de las operaciones de captura y especies:	6
Uso del hábitat en Arrecife Alacranes por la flota pesquera:.....	7
Calculo de biomasa de peces de importancia comercial	7
Resultados	9
Descripción general de los sitios de muestreo	9
Inventario taxonómico	12
Comparación entre métodos <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	14
Abundancia de las especies de peces identificadas	16
Diversidad alfa (α)	23
Diversidad beta (β).....	25
Uso de las aguas circundantes al Arrecife Alacranes por la flota de mediana altura en Yucatán	26
Biomasa de especies de peces de escama de interés comercial	29
Uso de sonda para la estimación de abundancia de peces	31
Conclusiones	32
Diversidad de peces en Arrecife Alacranes.....	32
Pesca, diversidad, abundancia	32
Anexos.	34
Anexo I. Diversidad (α) de peces en Arrecife Alacranes. Ordenados de menor a mayor diversidad (Shannon).....	34
Anexo II. Comparación entre métodos visuales <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> . Porcentaje de error promedio (APE), coeficiente de variación (V) y coeficiente de precisión (D) entre observaciones.	34
Anexo III. Densidad de probabilidad de captura de pulpo (<i>Octopus maya</i> y <i>Octopus americanus</i>) de la flota de mediana altura para el periodo entre 2009 y 2020.	35
Anexo IV. Densidad de probabilidad de captura de langosta del Caribe de la flota de mediana altura para el periodo entre 2009 y 2020.....	36

Objetivo general

Proporcionar una estimación de la abundancia relativa, riqueza de especies y biomasa de las especies de peces en 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

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 (4.2.1).

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 transecto) por la desviación estándar; y el índice de precisión (D) que es el resultado de V/\sqrt{R} (Chang, 1982).

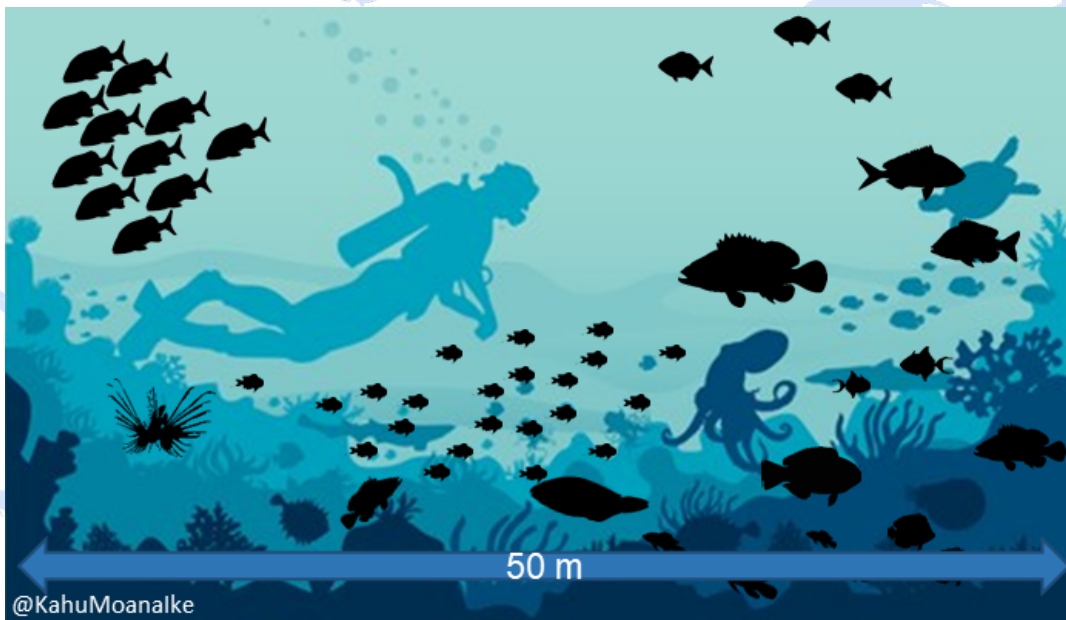
Diversidad y riqueza de especies y variabilidad ambiental:

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 a partir del "Climate Predictability tool" (16.5.5), así como imágenes de satélite¹ 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.

¹ <https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/directdataaccess/Level-3%20Mapped/Aqua-MODIS/2022/>
procesadas con Windows Image Manager

Estructura de tallas y pesos de las especies observadas:

Se utilizaron dos láseres subacuáticos para establecer una escala de medida para cada transecto y sitio de muestreo. Estos láseres fueron ajustados a una escala medible con una precisión de 1 cm. Todos los organismos cuantificados fueron medidos utilizando la escala de referencia. Una vez obtenida la talla (longitud total) en centímetros, se utilizaron los parámetros a y b de la ecuación exponencial que describe la relación entre la talla y peso: $W_g = a * Lt^b$ donde W es el peso en gramos y Lt es la talla en centímetros. Estos parámetros fueron obtenidos de Fishbase² y son específicos para cada especie; en caso de no contar con los parámetros específicos, se utilizaron parámetros calculados para la familia o género de dicha especie.



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

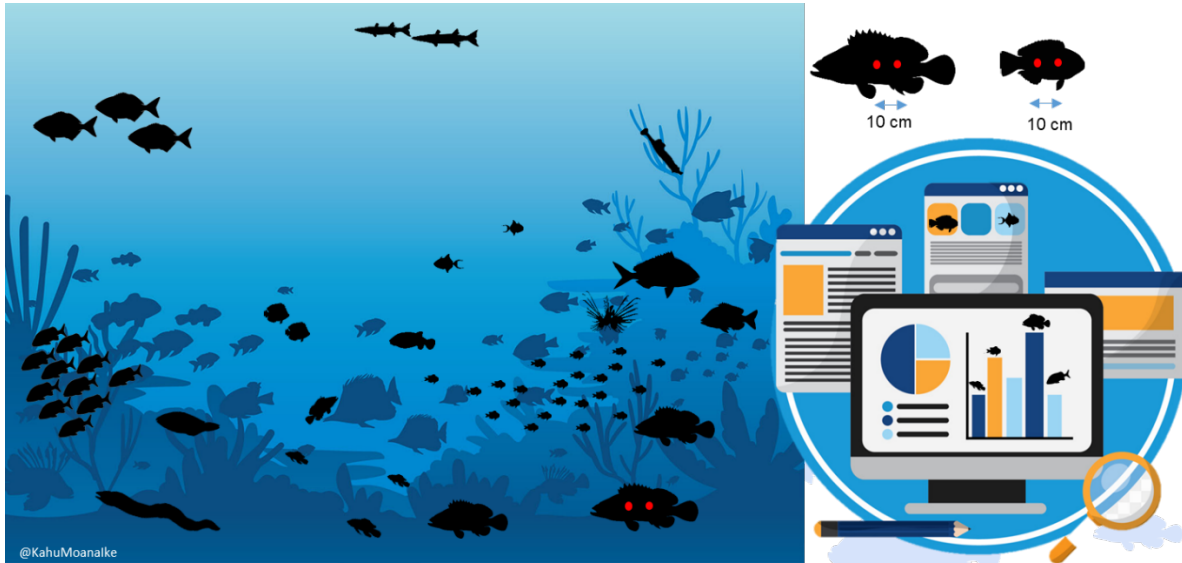


Figura 1. Método de muestreo para la identificación, conteo y filmación de peces en Arrecife Alacranes (panel superior); proceso de análisis ex situ (panel inferior).

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 Yucatan³, 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 de Arrecife Alacranes. 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, FishBase⁴ y guías de identificación de peces de la región. Además, todos los nombres científicos fueron cotejados con el registro mundial de especies marinas (WoRMS⁵).

³ Obtenidas a través de solicitudes de transparencia. <https://www.infomex.org.mx/>

⁴ <https://www.fishbase.se/search.php>

⁵ WoRMS World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org/index.php>

Uso del hábitat en Arrecife Alacranes por la flota pesquera:

El area que comprende Arrecife Alacranes fue delimitada de acuerdo a la zonificación del parque de acuerdo con lo descrito en el Programa de Manejo y disponible en línea⁶.

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 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.

Calculo de biomasa de peces de importancia comercial

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

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

⁶ CONANP: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/>

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 dada la selectividad del arte de pesca:

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

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 2021:

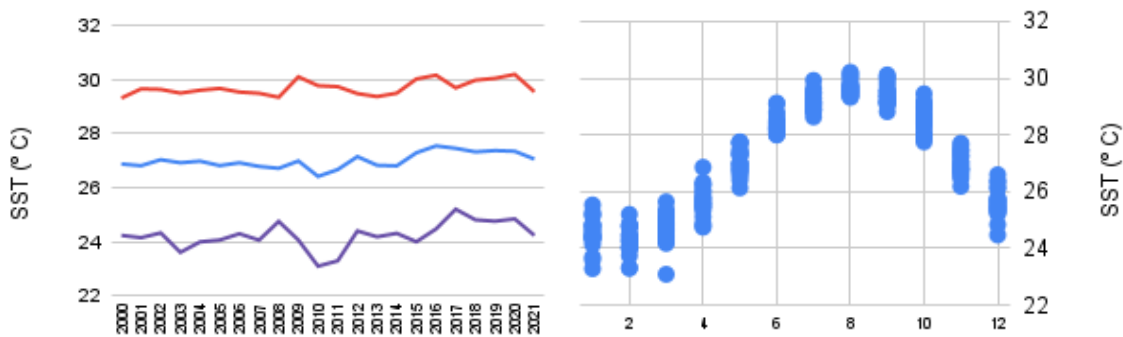


Figura 2. Temperatura superficial anual registrada para El Banco de Campeche (panel izquierdo. Azul = promedio; rojo = máxima; morado = mínima). Valores mensuales de temperatura entre enero de 2000 y diciembre de 2021 (panel derecho).

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 $k \geq 0.05 \leq 0.16$).

Resultados

Descripción general de los sitios de muestreo

Arrecife Alacranes se ubica a 140 km al norte de Puerto Progreso, Yucatan. De acuerdo con el Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional⁷, la meseta del arrecife tiene una extensión de casi 300 km², mientras que la barrera tiene una longitud máxima de 26.79 km con dirección sureste – noroeste, midiendo en su zona más ancha casi 15 km. Se muestrearon un total de 8 sitios alrededor del parque: 2 al suroeste (Los Hongos), 2 a oeste (Pendiente Norte), 2 al noroeste (Marisol y frente a isla Desterrada), uno al norte (Los Arcos) y uno al noreste (El Tweed). Todos estos sitios presentaron cobertura coralina de más del 90% del sustrato, con excepción de los sitios identificados como Pendiente Norte donde se observó arena y pedacera de coral como sustrato principal (>90% de cobertura).

De manera general, se observaron un mayor número de organismos en los sitios donde la estructura del arrecife presentaba mayor número de irregularidades (grietas, oquedades, salientes, etc.). Los sitios con menor número de irregularidades fueron los identificados como Pendiente Norte, donde predominaba el fondo arenoso. En todos los sitios de muestreo se observaron un gran número de alevines y juveniles de diferentes especies, con tallas menores a 1 cm.

⁷ Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes. 2006. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

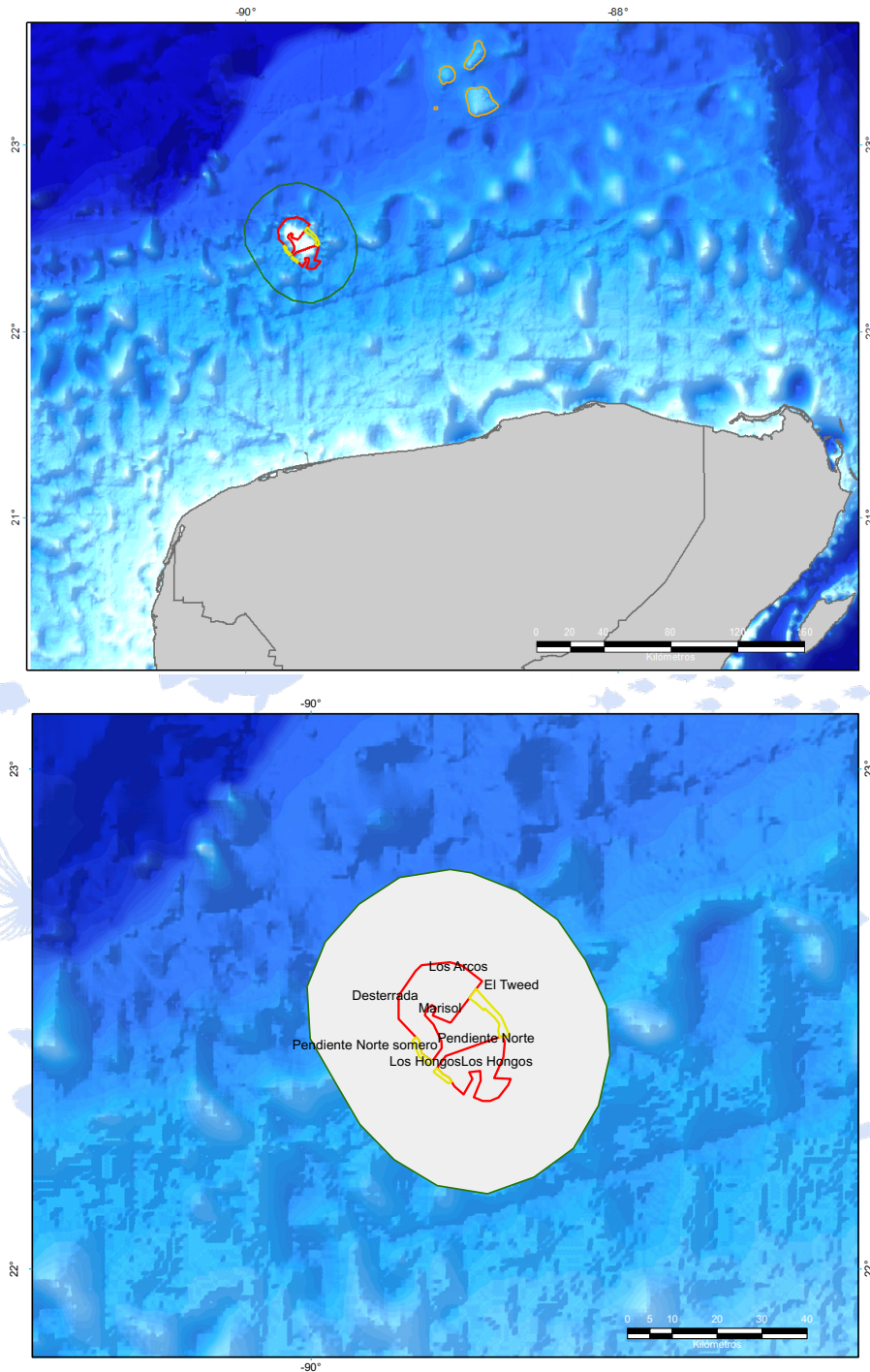


Figura 3. Macro localización del Parque Nacional Arrecife Alacranes (panel superior) y ubicación de los sitios de muestreo durante la expedición (panel inferior). Información batimétrica de GEBCO⁸, zonificación del parque de CONANP⁹.

⁸ https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/

⁹ CONANP: <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/>

El tiempo de buceo por sitio fue de 40 minutos, con excepción de un sitio en Pendiente Norte (identificado como "Lost"), donde por una falla técnica fue necesario acortar el buceo. Sin embargo esto no comprometió el muestreo.

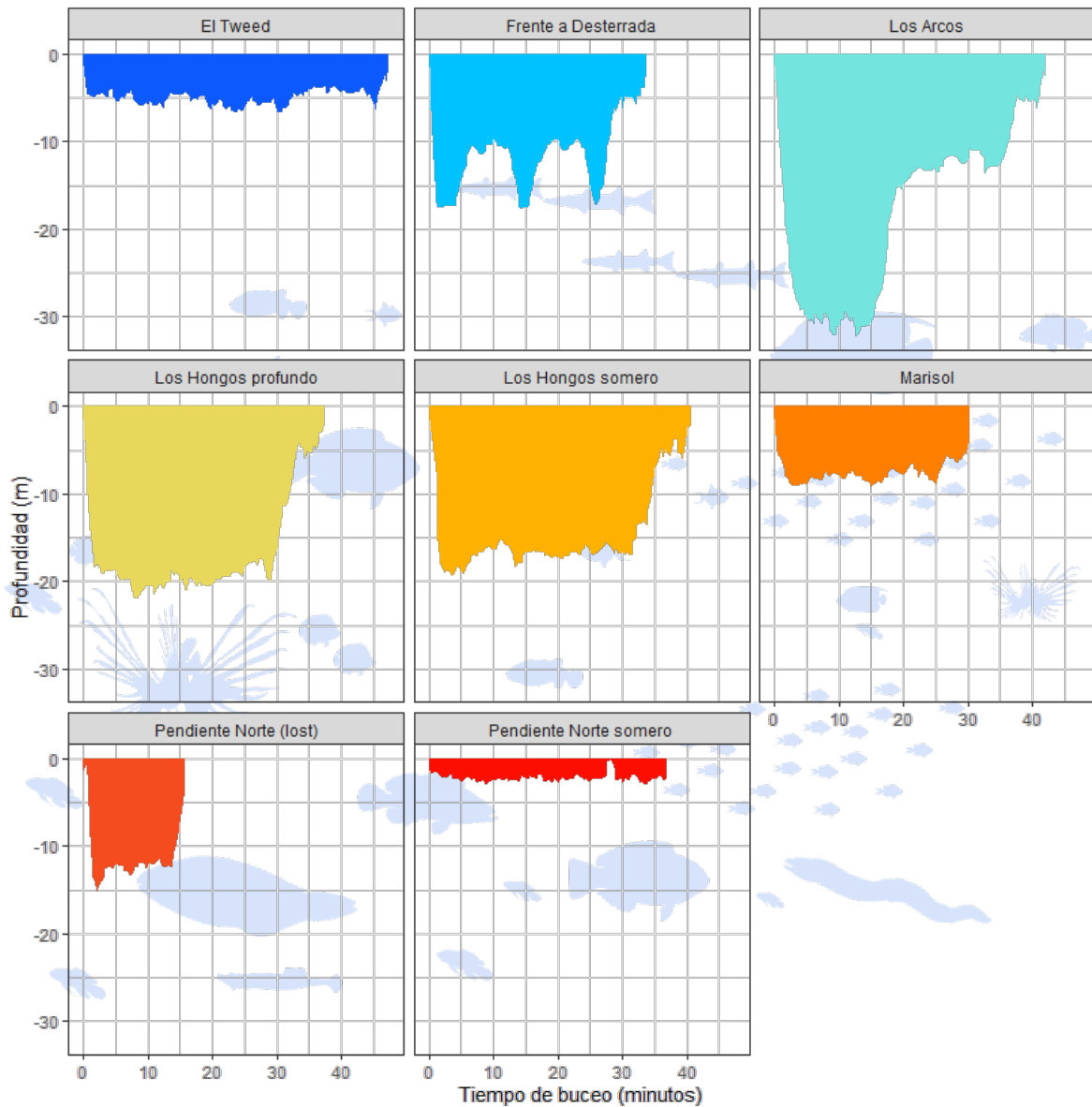


Figura 4. Perfiles del fondo de los sitios muestreados (ordenados alfabéticamente).

Con base en la información obtenida de las imágenes satelitales diarias para el periodo entre el 18 y el 26 de mayo de 2022, se construyó una imagen compuesta de temperatura superficial del mar, donde se observa que el parque nacional estuvo expuesto a temperaturas entre 25 y 28° C mientras que las temperaturas entre 23 y 24 grados dominaban la costa de Yucatán.

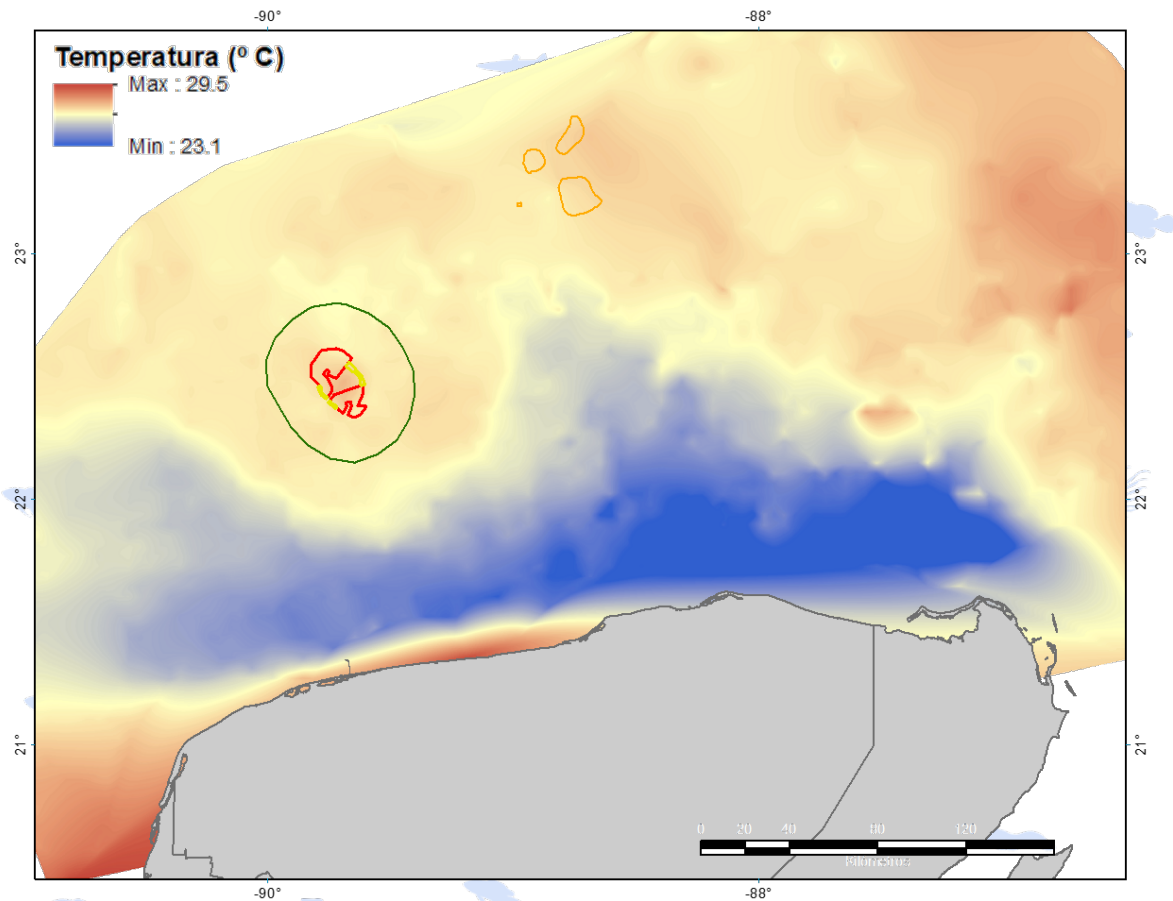







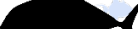




















Figura 5. Imagen compuesta de temperatura superficial del mar para el periodo entre el 18 y 26 de mayo.

Inventario taxonómico

Se identificaron 58 especies de peces, distribuidas en 26 familias pertenecientes a 14 órdenes y dos clases (Tabla I). Se observó únicamente un integrante de la clase Elasmobranchii orden Myliobatiformes. Se identificaron únicamente 15 de las 58 especies como especies de interés comercial.

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>chirurgus</i>	
			<i>Acanthurus</i>	<i>coeruleus</i>		
			<i>Acanthurus</i>	<i>tractus</i>		
		Chaetodontidae		<i>Chaetodon</i>	<i>capistratus</i>	
				<i>Chaetodon</i>	<i>ocellatus</i>	
				<i>Chaetodon</i>	<i>sedentarius</i>	
		Pomacanthidae		<i>Holacanthus</i>	<i>bermudensis</i>	
				<i>Holacanthus</i>	<i>ciliaris</i>	
				<i>Pomacanthus</i>	<i>arcuatus</i>	
				<i>Pomacanthus</i>	<i>paru</i>	
		Blenniiformes	Muraenidae		<i>Gymnothorax</i>	<i>funebris</i>
					<i>Entomacrodus</i>	<i>nigricans</i>
	Blenniiformes	Blenniidae		<i>Entomacrodus</i>	<i>nigricans</i>	
		Labrisomidae		<i>Gobioclinus</i>	<i>gobio</i>	
	Carangaria	Sphyraenidae		<i>Sphyraena</i>	<i>barracuda*</i>	
	Carangiformes	Carangidae		<i>Caranx</i>	<i>ruber*</i>	
	Centrarchiformes	Kyphosidae		<i>Kyphosus</i>	<i>sectatrix*</i>	
	Eupercaria	Haemulidae		<i>Anisotremus</i>	<i>virginicus*</i>	
				<i>Haemulon</i>	<i>flavolineatum*</i>	
				<i>Haemulon</i>	<i>plumierii*</i>	
		Labridae		<i>Bodianus</i>	<i>rufus</i>	
				<i>Clepticus</i>	<i>parrae</i>	
				<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>	
				<i>Halichoeres</i>	<i>caudalis</i>	
				<i>Halichoeres</i>	<i>garnoti</i>	
				<i>Lachnolaimus</i>	<i>maximus*</i>	
				<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>	
Lutjanidae			<i>Lutjanus</i>	<i>analis*</i>		
			<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus*</i>		
Scaridae			<i>Scarus</i>	<i>coelestinus</i>		
			<i>Scarus</i>	<i>coeruleus</i>		
			<i>Scarus</i>	<i>taeniopterus</i>		
			<i>Sparisoma</i>	<i>aurofrenatum</i>		
			<i>Sparisoma</i>	<i>rubripinne</i>		
			<i>Sparisoma</i>	<i>viride</i>		
Sparidae			<i>Calamus</i>	<i>nodosus*</i>		

	Gobiiformes	Gobiidae		<i>Elacatinus</i>	<i>oceanops</i>
				<i>Gnatholepis</i>	<i>thompsoni</i>
	Holocentriformes	Holocentridae		<i>Holocentrus</i>	<i>rufus</i>
	Mulliformes	Mullidae		<i>Pseudupeneus</i>	<i>maculatus</i>
Ovalentaria	Grammatidae			<i>Gramma</i>	<i>loreto</i>
				<i>Abudefduf</i>	<i>saxatilis</i>
	Pomacentridae			<i>Chromis</i>	<i>cyanea</i>
				<i>Chromis</i>	<i>multilineata</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>
				<i>Epinephelus</i>	<i>adscensionis*</i>
	Serranidae			<i>Hypoplectrus</i>	<i>puella</i>
				<i>Mycteroperca</i>	<i>bonaci*</i>
				<i>Rypticus</i>	<i>saponaceus*</i>
				<i>Serranus</i>	<i>tigrinus</i>
Syngnathiformes	Aulostomidae			<i>Aulostomus</i>	<i>maculatus</i>
Tetraodontiformes	Balistidae			<i>Balistes</i>	<i>vetula*</i>
				<i>Melichthys</i>	<i>niger</i>
	Monacanthidae			<i>Aluterus</i>	<i>scriptus</i>
	Tetraodontidae			<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>
Elasmobranchii	Myliobatiformes	Myliobatidae		<i>Aetobatus</i>	<i>narinari*</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 Los Hongos, Los Arcos y El Tweed fueron aquellos con mayor porcentaje de error promedio, lo que indica mayor diferencia en la identificación y conteo entre ambos métodos. Los demás sitios mantuvieron valores de error promedio menores a

3% y puede estar asociado al menor número de organismos y especies presentes en los sitios, 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%.

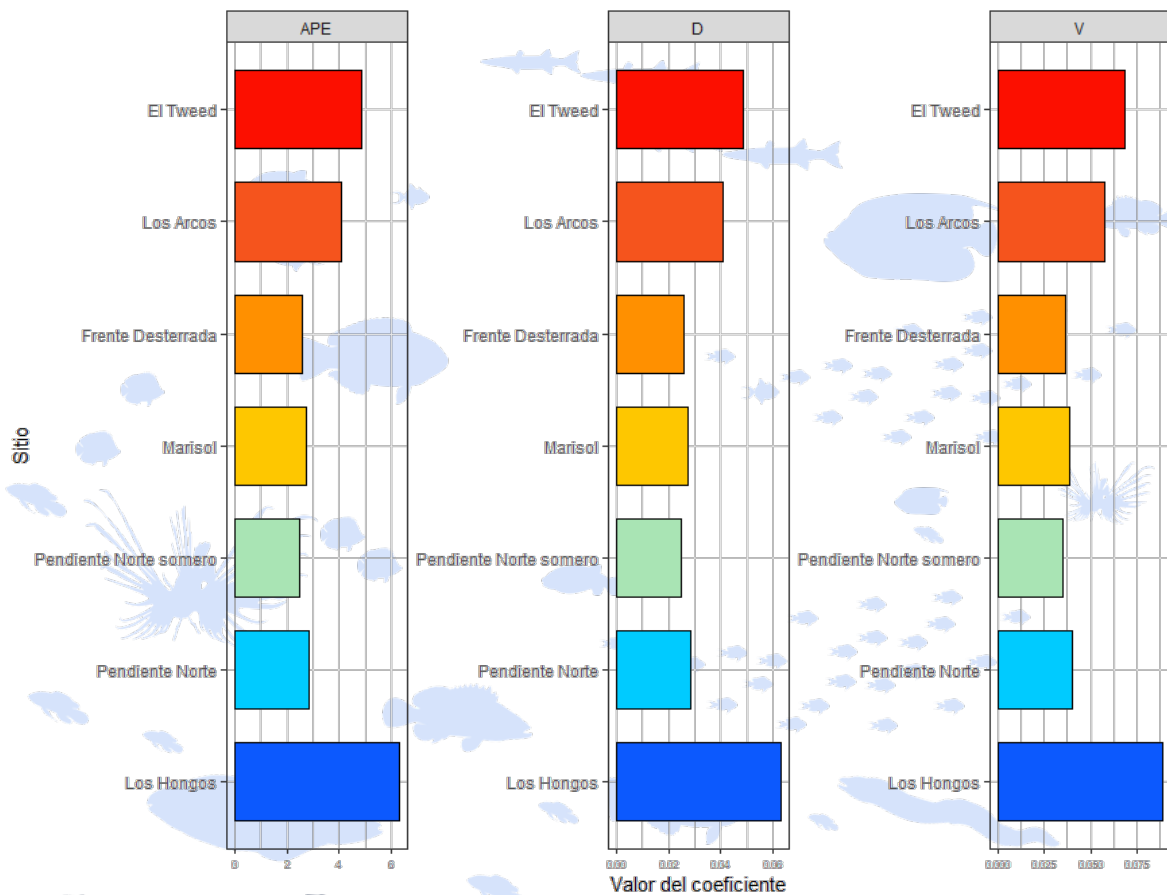


Figura 6. Comparación de métodos visuales in situ y ex situ a través del porcentaje de error promedio (APE), coeficiente de precisión (D) y coeficiente de variación (V).

Con base en el porcentaje de error promedio y los coeficientes de variación y precisión, se determinó utilizar los conteos ex situ para la determinación de abundancia, diversidad, riqueza e igualdad. Esto se debe a que durante el transecto de buceo, el buzo presta atención a las especies que identifica y cuantifica, además de la presión de aire y tiempo de fondo, lo que puede limitar el número de organismos y especies que son observados. Por otro lado, el análisis de videos presenta con la posibilidad de detener, adelantar, acercar o alejar las imágenes, sin otro tipo de distractor lo que incrementa el número de organismos y especies que son posibles identificar y cuantificar.

Abundancia de las especies de peces identificadas

En cuanto al conteo de organismos, El Tweed fue el sitio con el mayor número de organismos cuantificados (1,252), seguido de Los Hongos (842) y Marisol (407); los sitios con menor número de organismos cuantificados fueron Pendiente Norte somero (91) y Frente a Desterrada (107).

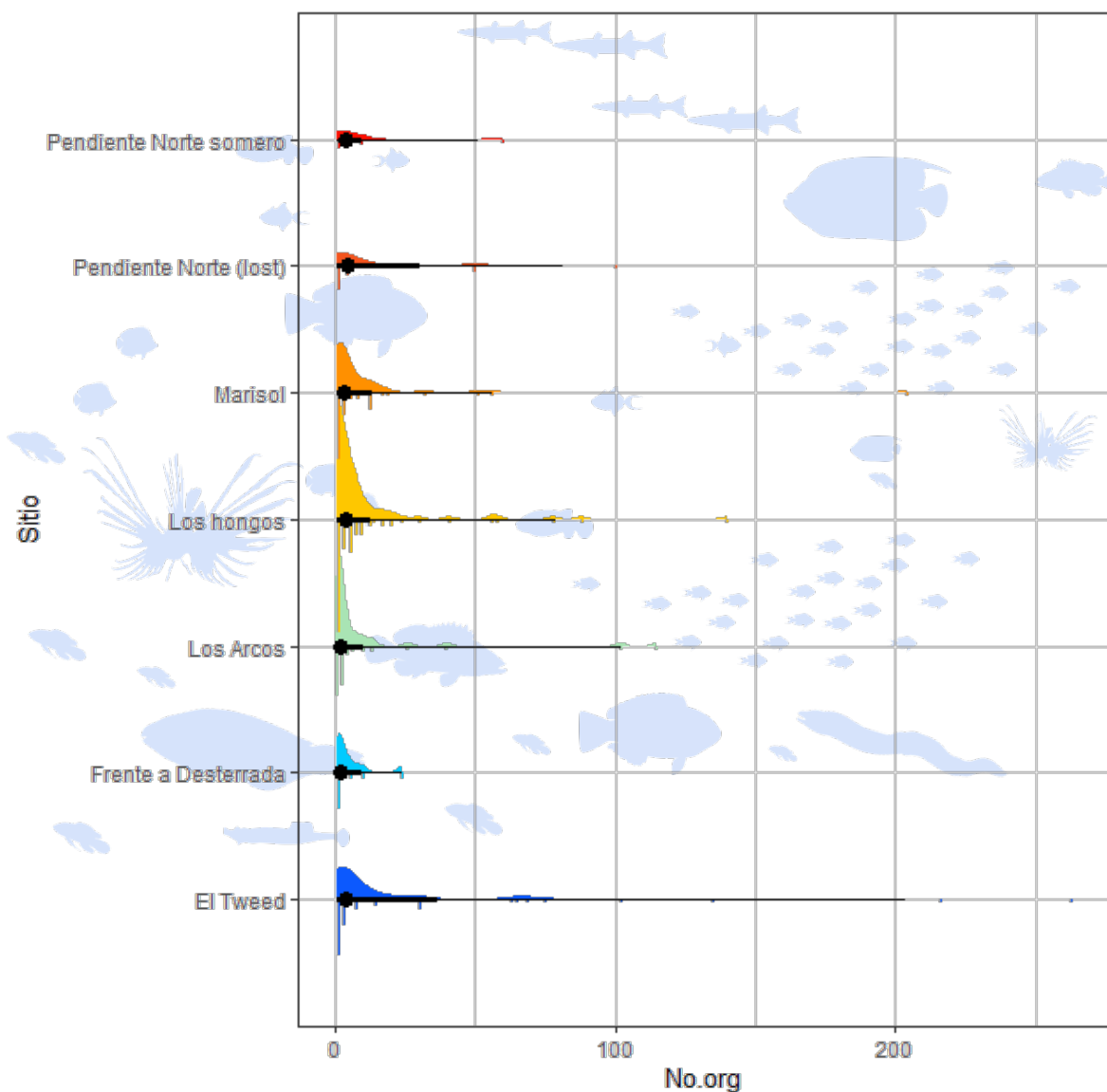


Figura 7. Número total de organismos por sitio de muestreo (función de densidad de probabilidad).

En general, la doncella cabeza azul (*Thalassoma bifasciatum*), junto con el pez perico princesa (*Scarus taeniopterus*) estuvieron presentes en todos los sitios muestreados, seguidos por las damiselas de los géneros Chromis y Stegastes y los cirujanos del genero Acanthurus. La especie con mayor número de organismos cuantificados fue el ronco condenado (*Haemulon flavolineatum*) en El Tweed con 263 organismos. Únicamente se registró pez león (*Pterois volitans*) en los Arcos.

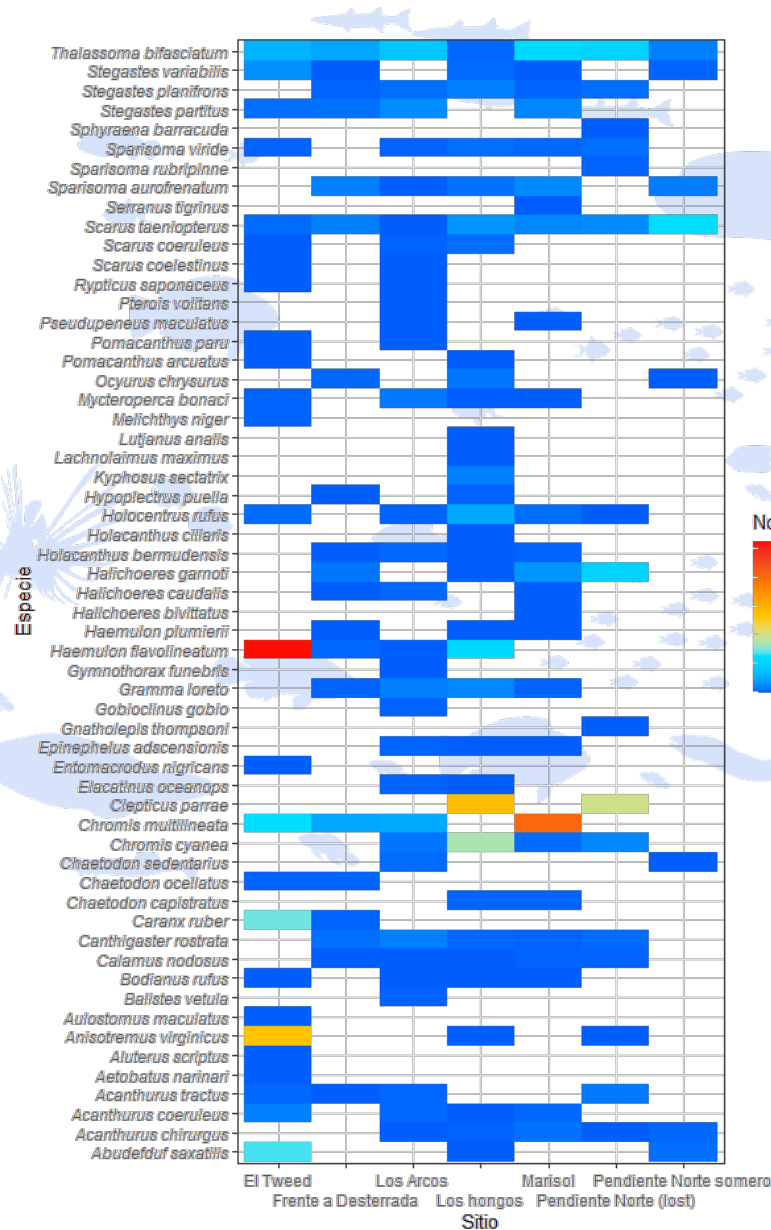


Figura 8. Numero de organismos por especie en los sitios muestreados.

De manera concurrente, el sitio con mayor densidad de organismos por metro cuadrado fue el Tweed, registrándose hasta 5 organismos m^{-2} ; el sitio con menor densidad de organismos fue Frente a desterrada con menos de 0.5 organismos m^{-2} .

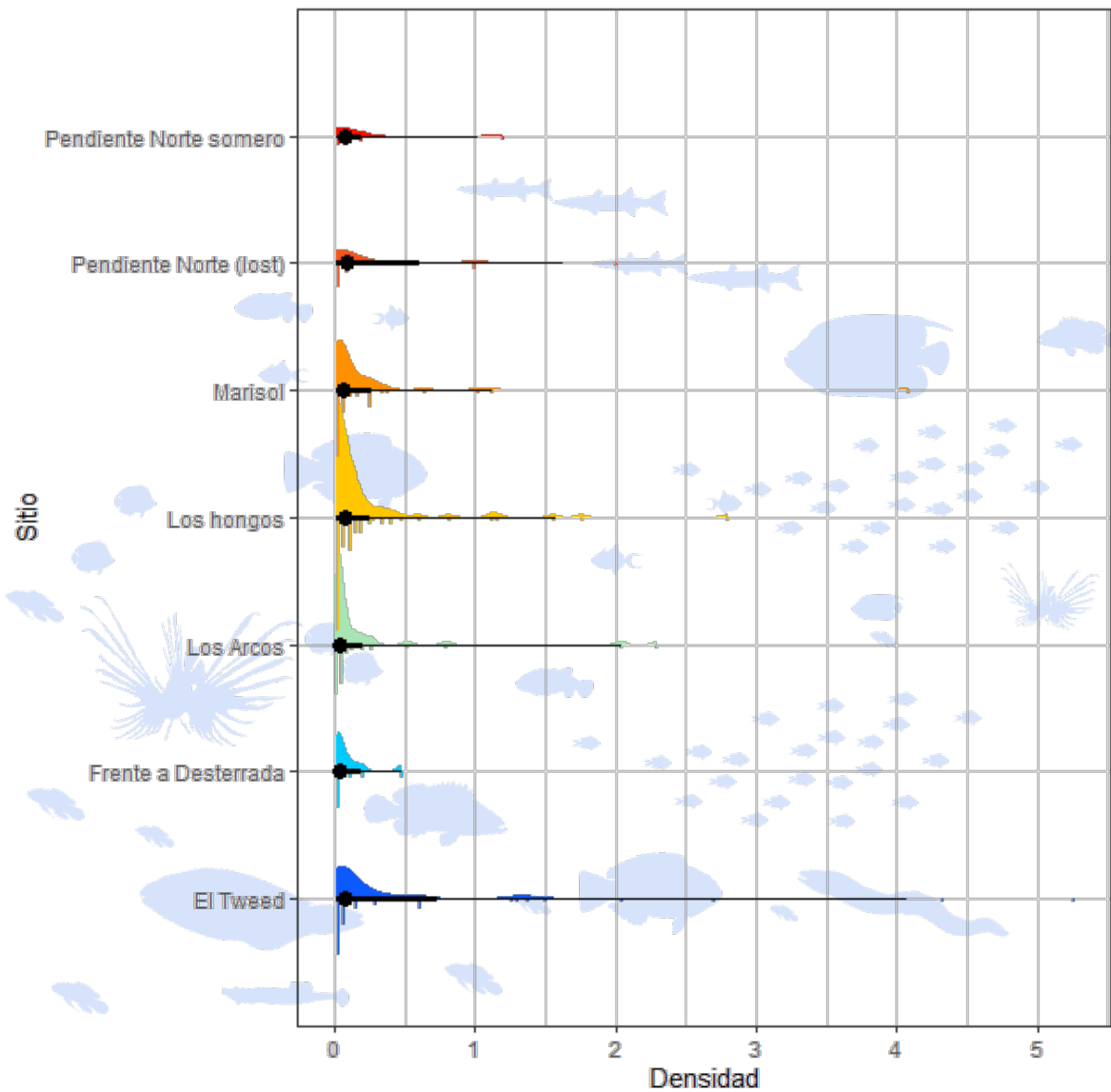


Figura 9. Densidad de organismos por metro cuadrado para cada sitio de muestreo (función de densidad de probabilidad).

La especie con mayor densidad de organismos fue el ronco condenado (5 org m⁻²), seguida del burro payaso (*Anisotremus virginicus*) y las damiselas de los géneros Chromis, Stegastes.

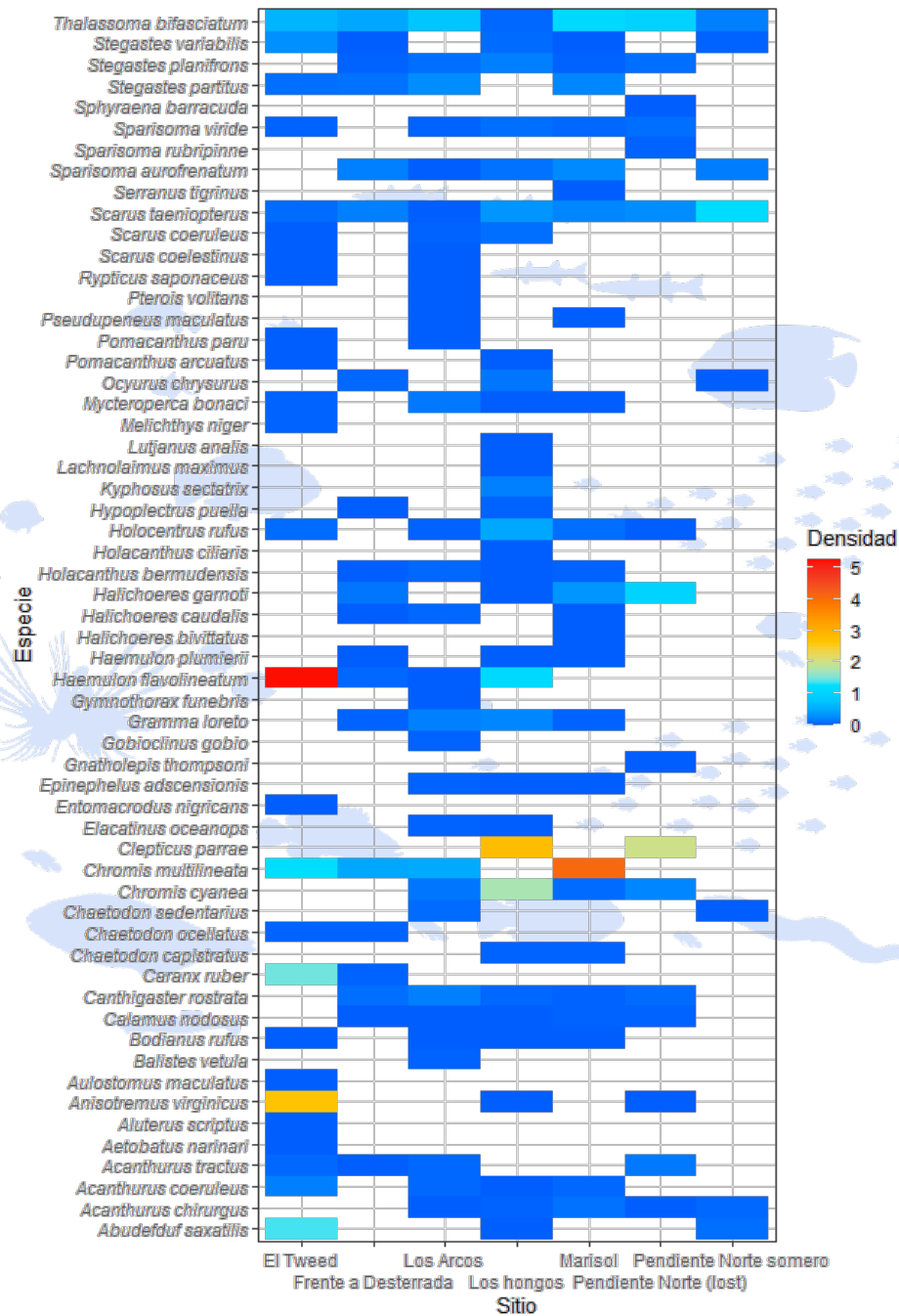


Figura 10. Densidad de organismos por metro cuadrado por especie en los sitios muestreados.

Observando la distribución espacial de los sitios muestreados se observa una mayor densidad de organismos en el noroeste (El Tweed) y Oeste (Marisol). Las damiselas del genero *Chromis* destacan en Los Arcos y Marisol, mientras que la damisela mulata (*Clepticus parrae*) domina sitios como Los Hongos y Pendiente Norte.

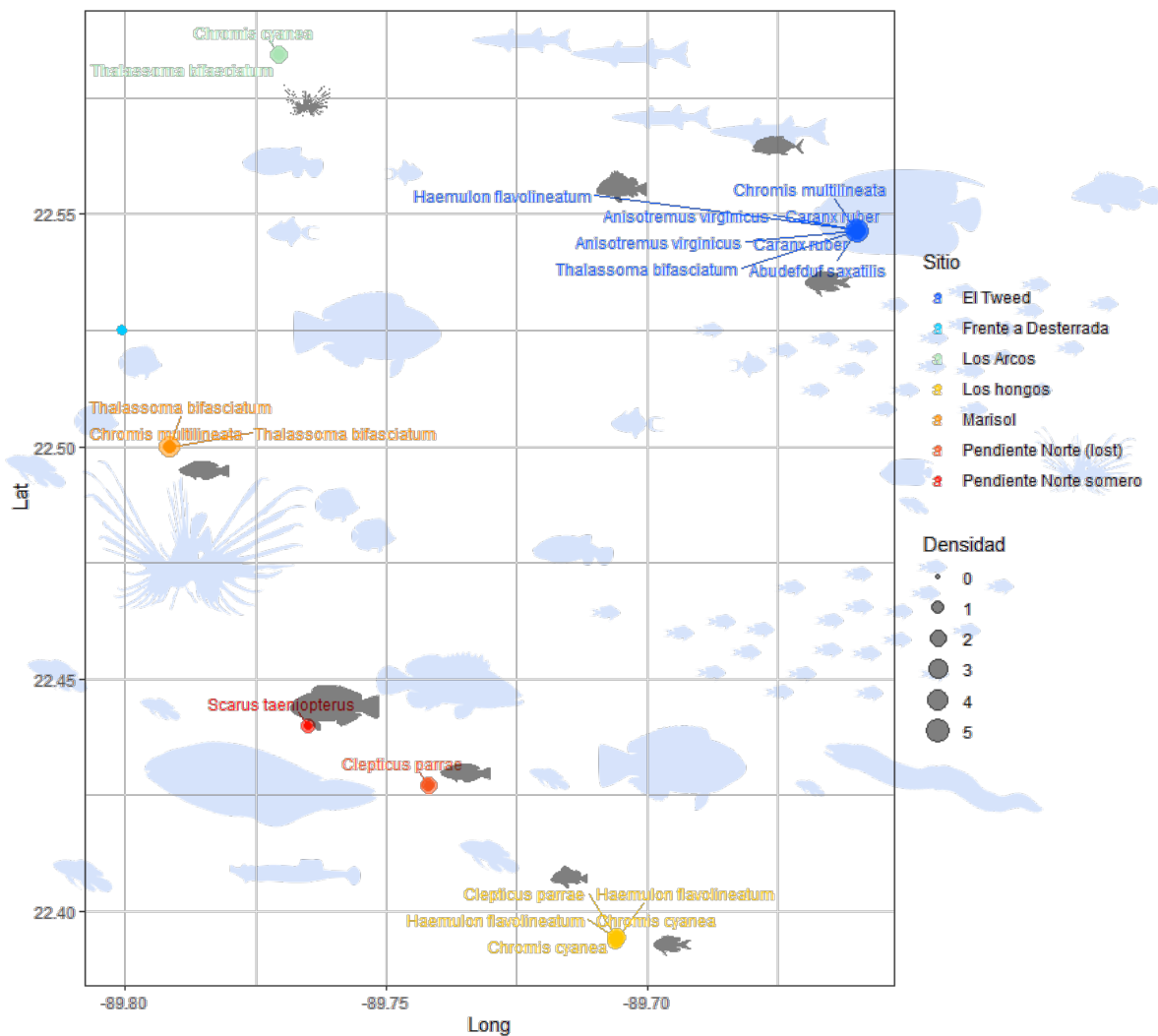


Figura 11. Distribución geográfica de la densidad por especie en los sitios de muestreo. Se muestran los nombres de las especies con densidades mayores a 1 org m⁻².

En general, todos los organismos observados presentaron tallas menores a 50 cm; los ángeles del genero Pomacanthus, así como los peces loro Scarus coeruleus y S. coelestinus fueron los organismos de mayores tallas registradas (>50 cm).

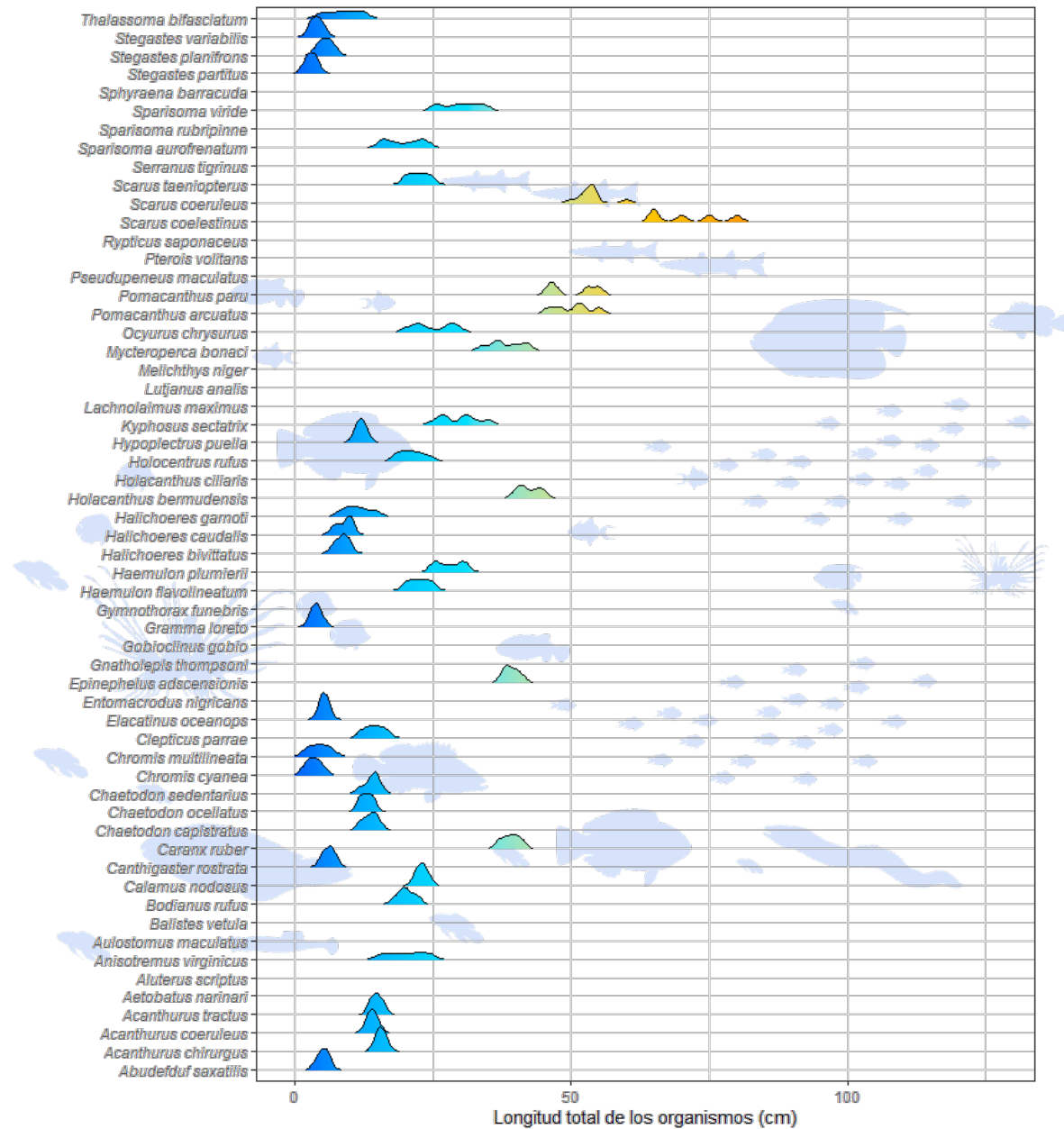


Figura 12. Estructura de talla por especie para todos los sitios de muestreo en conjunto.

En cuanto a la estructura de pesos de los organismos observados registramos que sólo 5 especies registraron pesos mayores a 1 kg. Las especies comerciales de cherna payaso (*Epinephelus adscensionis*) y negrillo (*Mycteroperca bonaci*) presentaron pesos calculados entre 0.5 y 1.5 kg.

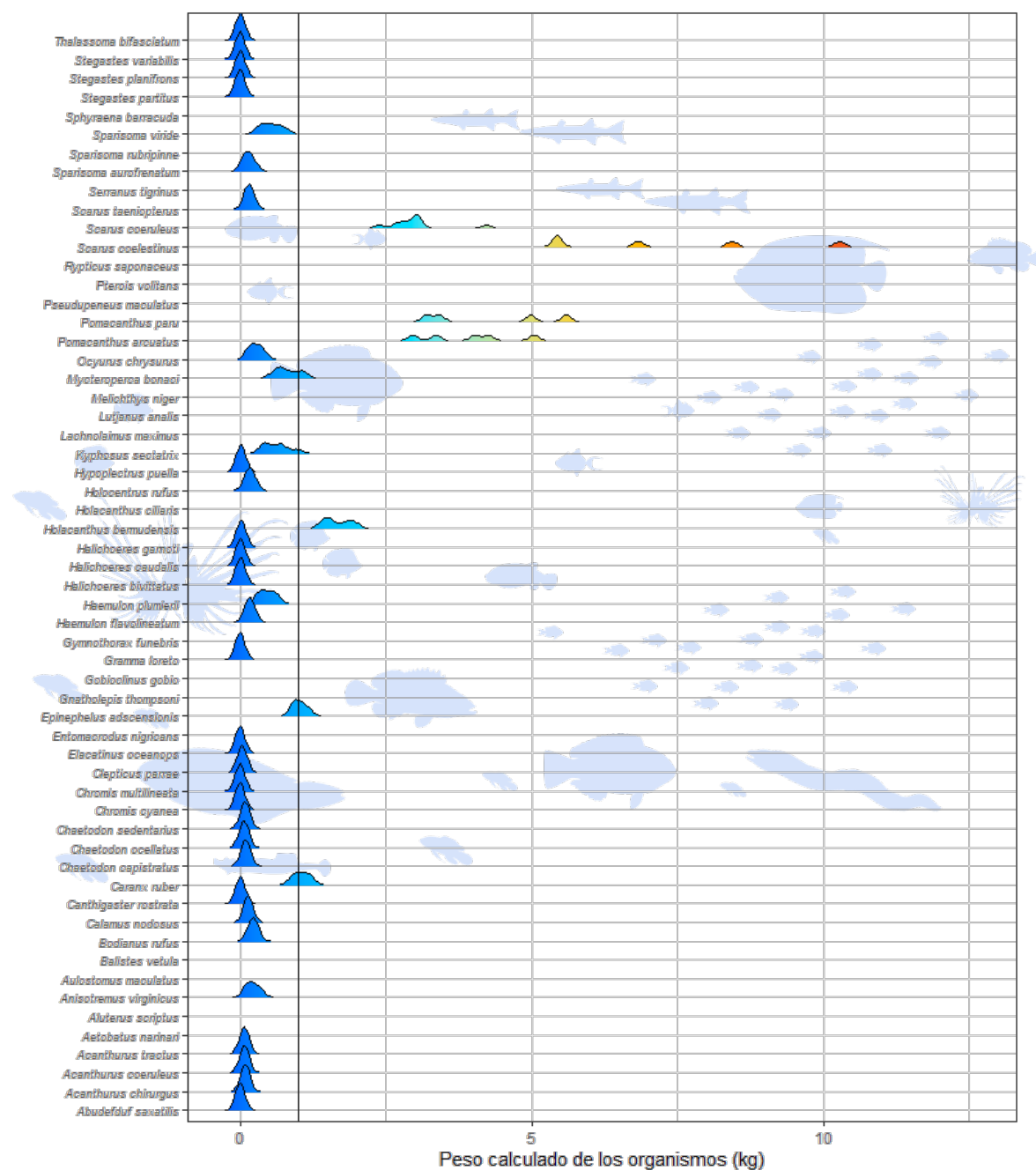


Figura 13. Estructura de peso por especie para todos los sitios de muestreo en conjunto. La línea vertical continua representa el límite de 1 kg de peso calculado.

Diversidad alfa (α)

El sitio con mayor diversidad de peces observada fue en los Hongos ($H=2.43$), seguido de Frente a Desterrada, los Arcos y el Tweed. En cuanto a la riqueza de especies, los sitios con mayor número de especies identificadas fueron Los Hongos, Los Arcos, Marisol, El Tweed y Frente a Desterrada (+20 especies en cada sitio). El índice de igualdad de Pielou aparenta agrupar a El Tweed, Los Arcos, Marisol y Pendiente Norte somero con valores menores a 0.65, mientras que Frente a Desterrada, Los Hongos y Pendiente Norte tuvieron valores mayores a 0.65. La menor diversidad, riqueza de especies e igualdad de Pielou se observó en Pendiente Norte somero.

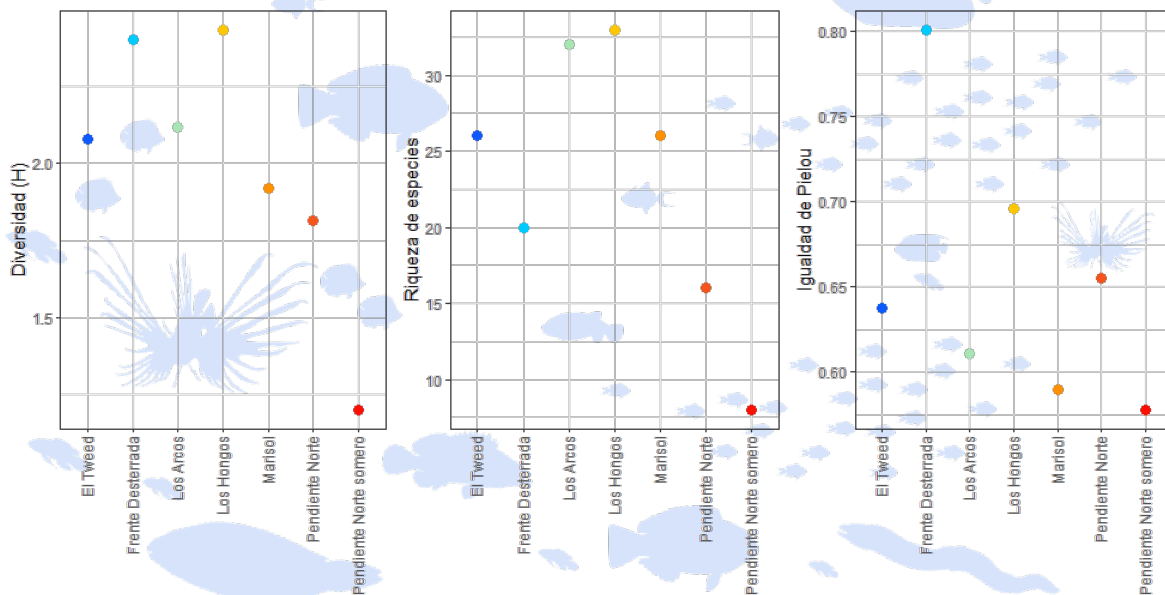


Figura 14. Diversidad, riqueza e igualdad de especies de peces para los 8 sitios muestreados en Arrecife Alacranes.

Comparando la diversidad, riqueza e igualdad de especies por profundidad promedio y profundidad máxima, observamos una aparente relación entre la profundidad promedio y profundidad máxima, donde los sitios con menos profundidad presentan menores valores de diversidad, riqueza e igualdad, que los sitios con mayor profundidad.

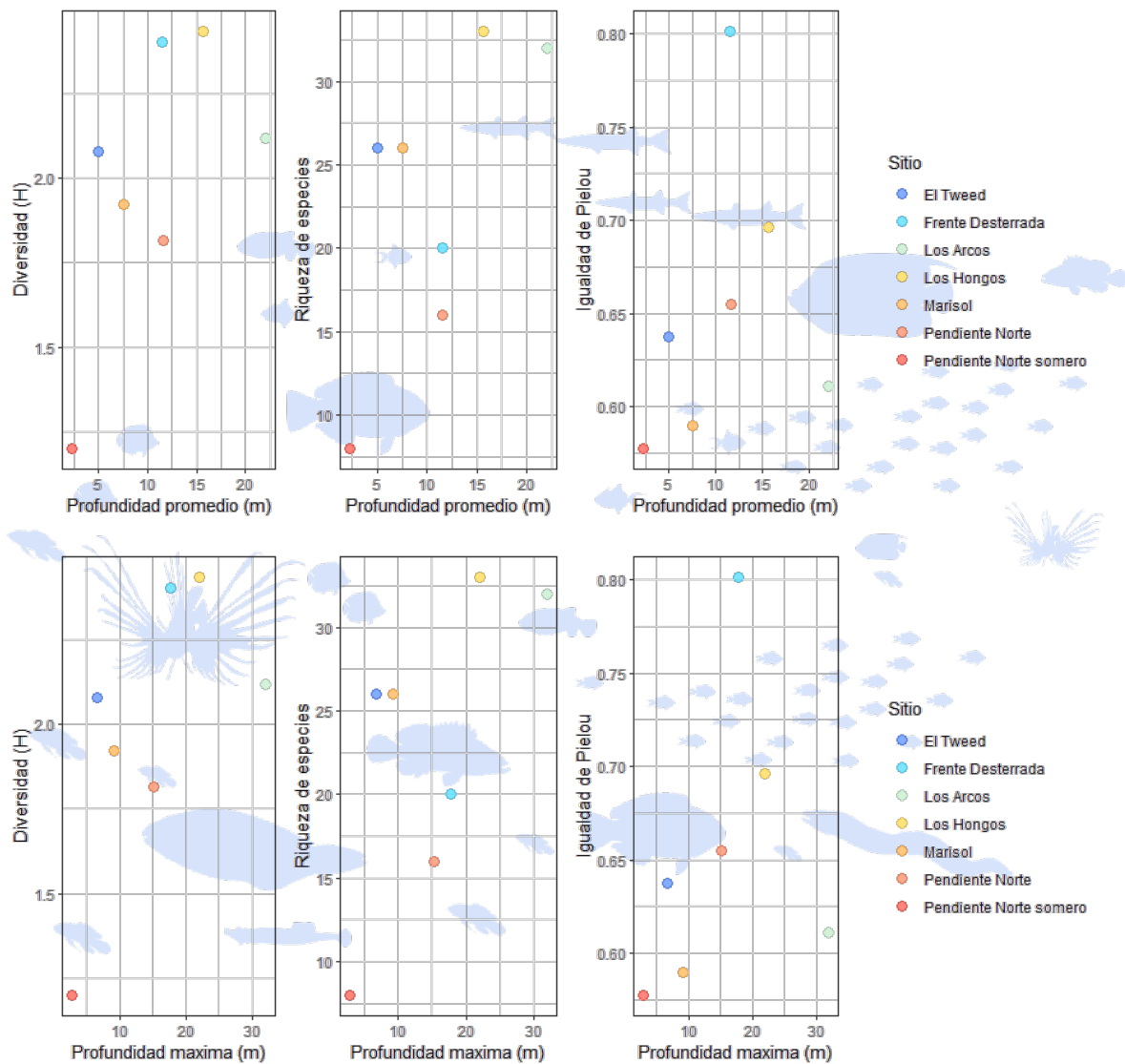


Figura 15. Diversidad, riqueza e igualdad de especies por profundidad promedio (paneles superiores) y profundidad máxima (paneles inferiores) para los 8 sitios muestreados en Arrecife Alacranes.

Diversidad beta (β)

El análisis de disimilitud de Bray-Curtis refleja que El Tweed es el sitio más disímil con respecto a los sitios muestrados (casi en 60%), mientras que sitios como Frente a Desterrada y Los Arcos son disimiles del resto de los sitios. Los Hongos, Marisol y Pendiente Norte son menos disimiles entre si comparado con el Tweed, Frente a Desterrada o los Arcos.

Tabla II. Matriz de disimilitud (Diversidad β) observada en los 8 sitios de muestreo.

Sitio de muestreo	Los Hongos	Pendiente Norte	Pendiente Norte somero	Marisol	Frente Desterrada	Los Arcos
Pendiente Norte	0.602					
Pendiente Norte somero	0.377	0.615				
Marisol	0.670	0.368	0.440			
Frente Desterrada	0.776	0.541	0.562	0.678		
Los Arcos	0.509	0.675	0.714	0.675	0.316	
El Tweed	0.664	0.915	0.883	0.465	0.872	0.760

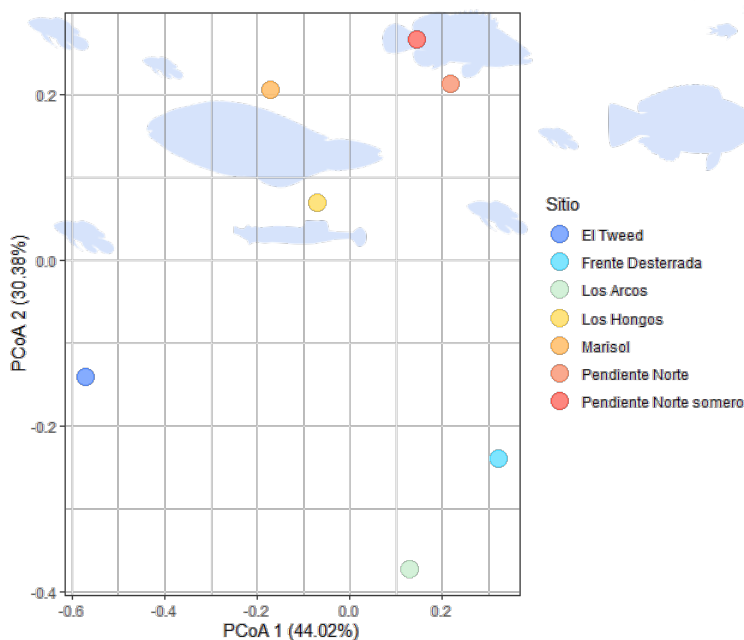


Figura 16. Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) para los sitios muestrados.

Uso de las aguas circundantes al Arrecife Alacranes por la flota de mediana altura en Yucatán

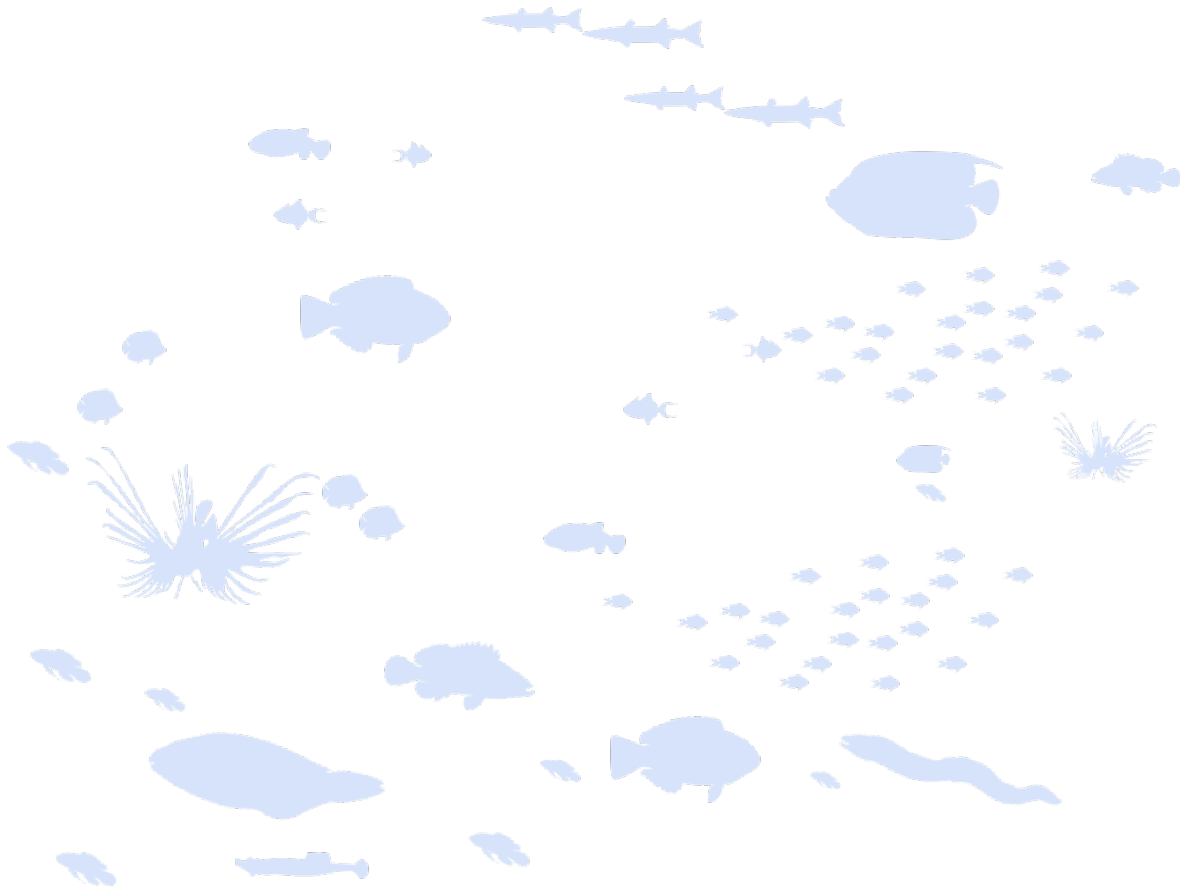
De acuerdo con el Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Arrecife Alacranes¹⁰, dentro del parque se encuentran cuatro sociedades cooperativas con áreas concesionadas para el aprovechamiento de langosta, además de existir pesca de escama y utilizar isla Perez como base mientras trabajan 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.

En lo que respecta a la pesca de escama específicamente, a través del análisis de densidad de probabilidad de captura podemos observar que la probabilidad de que se capture mero, negrillo o cherna dentro del polígono permitido de Arrecife Alacranes es mayor a 50%, mientras que la probabilidad de que se realicen operaciones de captura dentro de polígonos donde la pesca no está permitida fue menor a 50%. Así mismo, la probabilidad de que la captura de estas especies se realice fuera del parque es mayor a 70%. En el caso de huachinango, la probabilidad de que la flota de mediana altura ingrese al polígono del parque Arrecife Alacranes para la pesca de esta especie es menor a 10%, ya que las operaciones de captura de esta especie se concentran en el oriente del Estado frente a las costas de El Cuyo.

Durante las actividades de la expedición se registraron eventos de pesca ilegal por parte de embarcaciones de mediana altura que realizaban actividades de pesca dentro del polígono del parque con artes de pesca no autorizados, específicamente realizando pesca de escama marina y otras especies vía buceo semiautónomo (hooka). Esta actividad, además de peligrosa para la salud de los buzos, por llevarla a cabo con un compresor

¹⁰ Disponible en línea en: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/61_libro_pm.pdf

hechizo a base de un barril de cerveza modificado, representa un riesgo para especies altamente vulnerables como caracol y pepino.



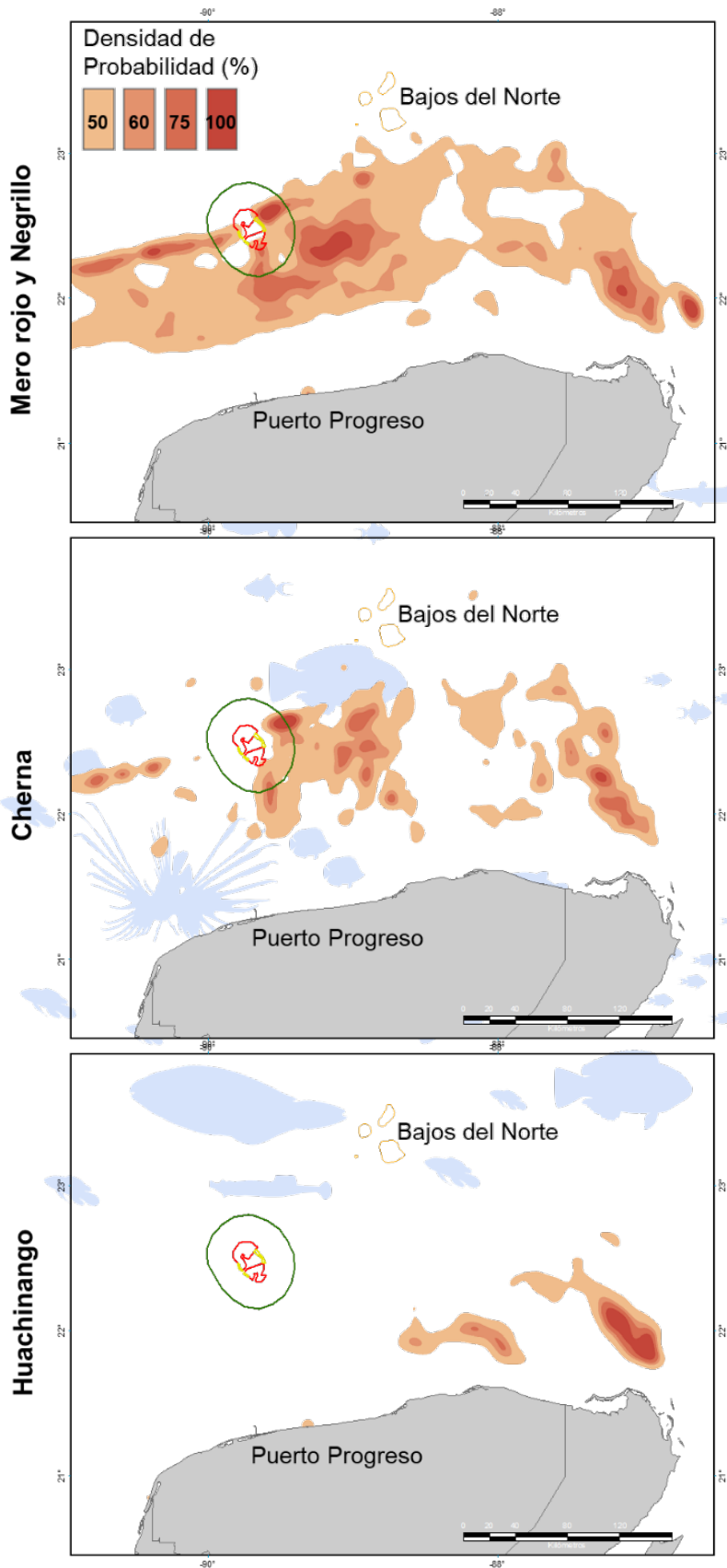


Figura 17. Densidad de probabilidad de captura de mero rojo, negrillo, cherna y huachinango dentro y fuera del polígono del Parque Nacional Arrecife Alacranes.

Biomasa de especies de peces de escama de interés comercial

En cuanto a la biomasa de las principales especies de escama en la región, observamos que presentan diferentes variaciones. En el caso de abadejo, cabrilla, canané, esmedregal, huachinango, negrillo, pargo y rubia, se observa una tendencia a disminuir con el paso del tiempo. En el caso de Chac-chi no se observa una tendencia en el tiempo, su biomasa poblacional permanece alrededor de 7,500 toneladas. En el caso de mero rojo, se observa una gran variabilidad interanual, con valores máximos en 2008 – 2009 y 2011.

Cabe destacar que los cálculos de biomasa para todas las especies, con excepción de mero rojo, son preliminares ya que se está en proceso de incorporar información sobre selectividad, estructura de tallas, así como efectos de la variabilidad ambiental en la abundancia de estas especies.



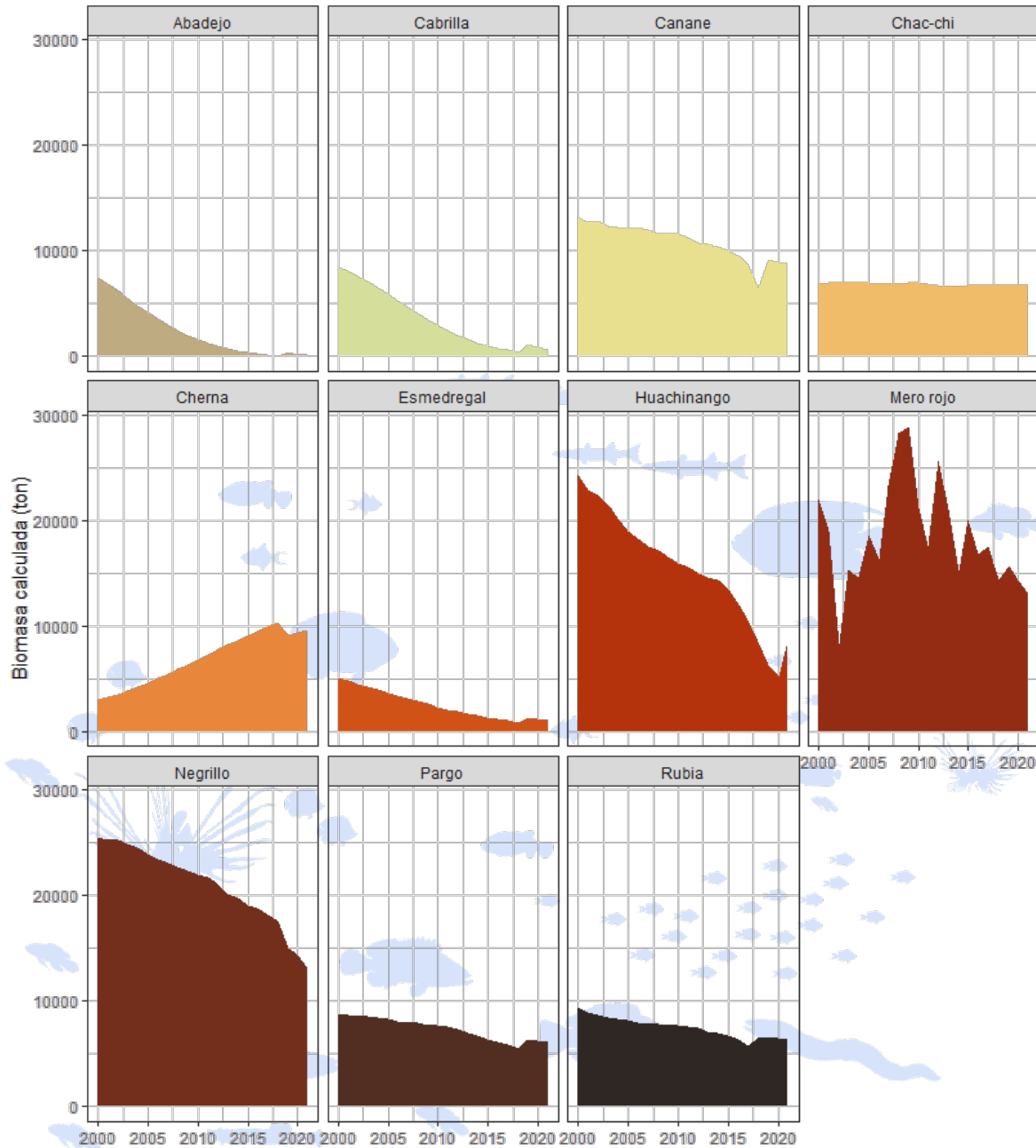


Figura 18. Biomasa calculada para las principales especies de escama marina capturadas por las flotas ribereña y de mediana altura de Yucatán.

Uso de sonda para la estimación de abundancia de peces

Se utilizó una sonda inalámbrica Garmin Striker Cast y su aplicación móvil (ver. 1.4.1868) para obtener los perfiles batimétricos así como la abundancia relativa de peces en los sitios de muestreo. Esta sonda opera a frecuencias entre 381 y 457 kHz, frecuencias que son inaudibles para peces¹¹ y que tampoco tienen efectos sobre tortugas o mamíferos marinos¹². Sin embargo, debido a las condiciones de viento que predominaron durante toda la expedición, no fue posible obtener mediciones confiables debido a que esta sonda opera a nivel superficie y el oleaje intenso provocado por el viento interfiere con la emisión de la señal.

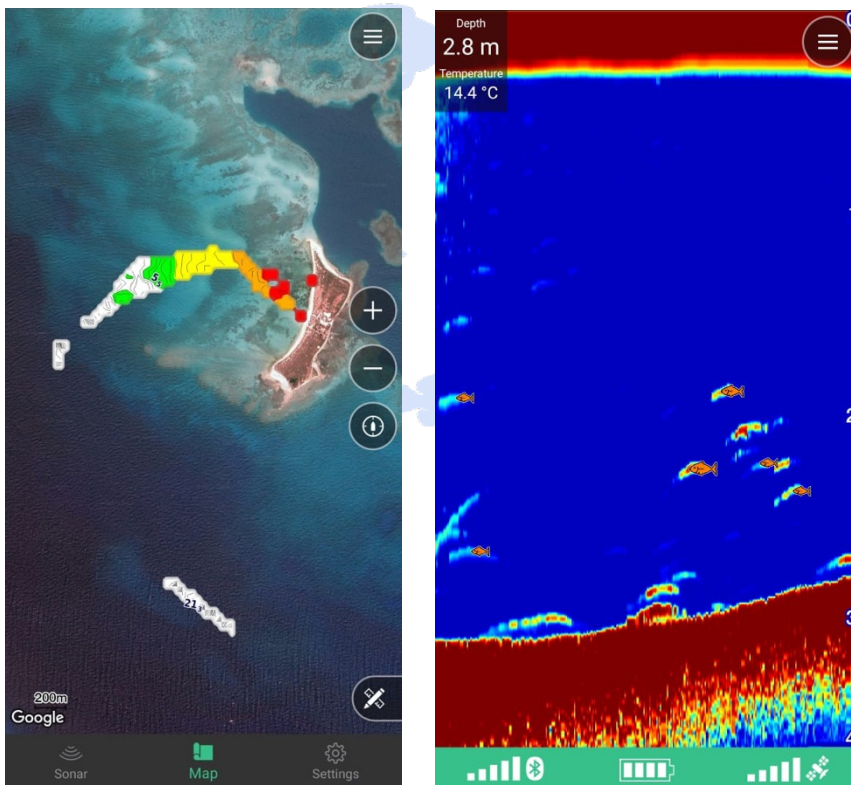


Figura 19. Batimetría en un transecto en Isla Perez (panel izquierdo) y ejemplo de eco grama (panel derecho) que se obtiene con la sonda inalámbrica.

¹¹ Hastings, M.C., A.N. Popper. 2005. Effects of Sound on Fish <https://www.nrc.gov/docs/ML1434/ML14345A573.pdf>

¹² Deng ZD, Southall BL, Carlson TJ, Xu J, Martinez JJ, et al. 2014. 200 kHz Commercial Sonar Systems Generate Lower Frequency Side Lobes Audible to Some Marine Mammals. PLOS ONE 9(4): e95315. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095315>

Conclusiones

Diversidad de peces en Arrecife Alacranes

De acuerdo con los resultados del presente trabajo, se observa que 7 de los 8 sitios muestreados presentan gran diversidad y riqueza de peces. La presencia de peces loro y cirujanos en todos sitios es benéfica para la comunidad coralina ya que su pastoreo libera espacios rocosos que podrán ser colonizados por corales.

A pesar de que no se registró más que un solo pez león a lo largo de todos los transectos, la presencia reportada por otros colegas de la misma expedición resulta preocupante ya que podría representar una población establecida dentro del parque. Es posible que la presencia de depredadores como morenas o meros de gran tamaño pueda mantener a esta población a mayor profundidad, lejos de las altas densidades de alevines y juveniles de otros peces. Cualquier disminución natural o resultado de actividades humanas de estos depredadores podría tener un impacto en el incremento de la abundancia de pez león, por lo que establecer medidas de control y erradicación de esta especie debe ser prioritario.

Pesca, diversidad, abundancia

Arrecife Alacranes aparenta ser un sitio importante para la pesca de escama marina, esto puede ser cierto para la captura de mero rojo o negrillo, sin embargo la probabilidad de que se desarrollen actividades pesqueras con palangre dentro del áreas en búsqueda de huachinango es menor a 10%. Dentro del area del parque, específicamente en la zona de amortiguamiento, 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.

Resulta de extrema importancia reevaluar la capacidad de carga para todas las actividades en todos los polígonos del parque, para estar en posibilidad de evitar oportunamente cambios en la diversidad o abundancia de las especies y así poder implementar las mejores medidas de manejo y conservación en el area. Además, es necesario evaluar el estado de las poblaciones de peces y otras especies de interés comercial e implementar las mediadas 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 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.

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.



Anexos.

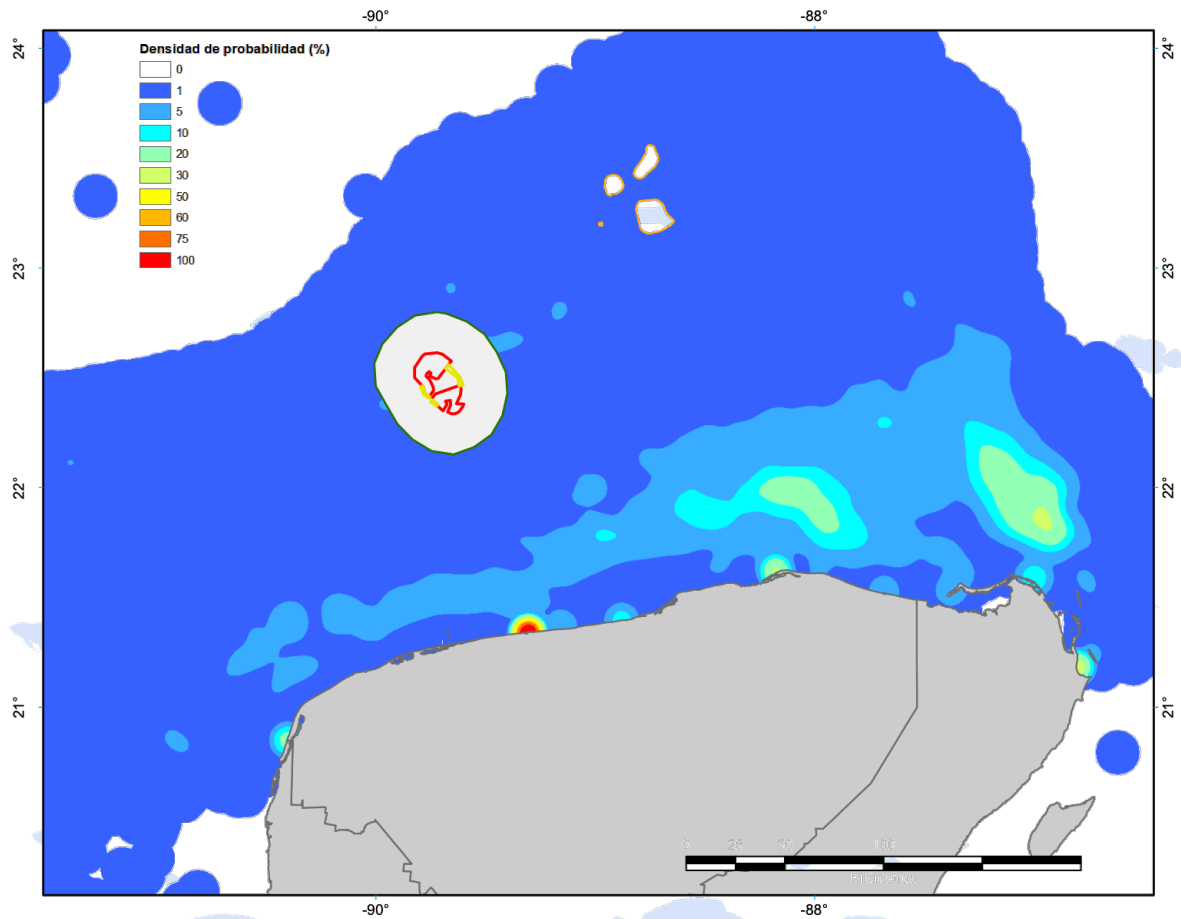
Anexo I. Diversidad (α) de peces en Arrecife Alacranes. Ordenados de menor a mayor diversidad (Shannon).

Sitio	Shannon (H')	Riqueza	Menhinick (D)	Pielou (J')	Profundidad promedio (m)	Profundidad máxima (m)	n
<i>Pendiente Norte somero</i>	1.20107	8	0.83862787	0.5775925	2.3	2.9	91
<i>Pendiente Norte</i>	1.815486	16	0.99805258	0.6547981	11.6	15.2	257
<i>Marisol</i>	1.920305	26	1.13908068	0.5893947	7.6	9.2	521
<i>El Tweed</i>	2.077929	26	0.73480344	0.6377739	5	6.7	1252
<i>Los Arcos</i>	2.116773	32	1.58618111	0.6107716	22.05	32	407
<i>Frente Desterrada</i>	2.400359	20	1.93347298	0.8012596	11.5	17.7	107
<i>Los Hongos</i>	2.433633	33	1.1372551	0.6960181	15.6	22	842

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

Sitio	APE (%)	V	D
<i>Los Hongos</i>	6.30763807	0.08920347	0.06307638
<i>Pendiente Norte</i>	2.81601683	0.03982449	0.02816017
<i>Pendiente Norte somero</i>	2.47717159	0.0350325	0.02477172
<i>Marisol</i>	2.74156947	0.03877165	0.02741569
<i>Frente Desterrada</i>	2.58769885	0.03659559	0.02587699
<i>Los Arcos</i>	4.0747168	0.0576252	0.04074717
<i>El Tweed</i>	4.82995438	0.06830587	0.04829954

Anexo III. Densidad de probabilidad de captura de pulpo (*Octopus maya* y *Octopus americanus*) de la flota de mediana altura para el periodo entre 2009 y 2020. No se filtró la información cercana a los puertos de desembarque por lo que concentran mayor densidad de probabilidad.



Anexo IV. Densidad de probabilidad de captura de langosta del Caribe de la flota de mediana altura para el periodo entre 2009 y 2020.

