

OCEANA

BLANCPAIN

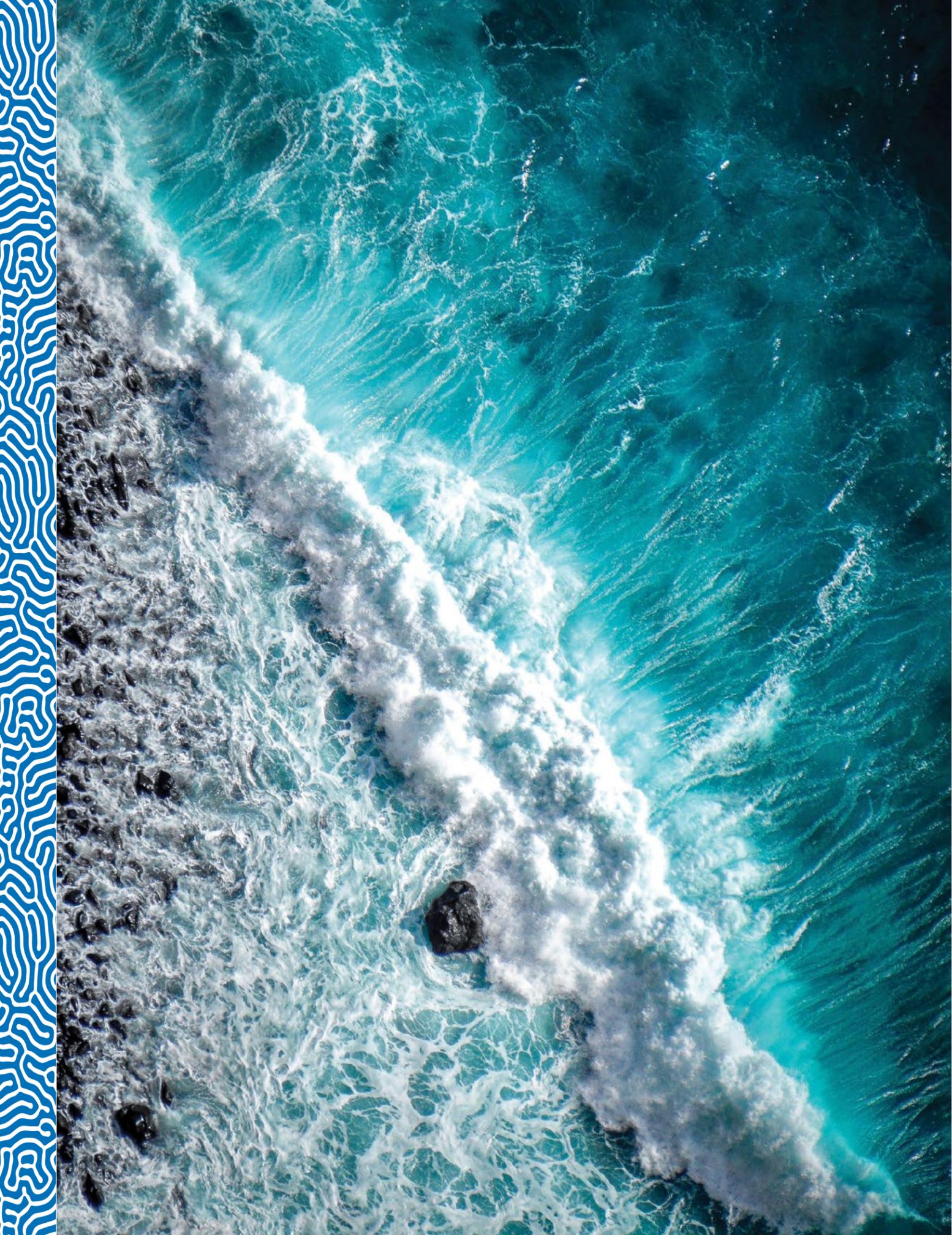


**INFORME EJECUTIVO
DE LA EXPEDICIÓN
CIENTÍFICA DE OCEANA EN
MÉXICO: PROYECTO ALACRANES**

BIODIVERSIDAD DE LOS ECOSISTEMAS EN LOS ARRECIFES
BAJOS DEL NORTE Y ARRECIFE ALACRANES

2022





**INFORME EJECUTIVO
DE LA EXPEDICIÓN CIENTÍFICA
DE OCEANA EN MÉXICO:
PROYECTO ALACRANES**

BIODIVERSIDAD DE LOS ECOSISTEMAS
EN LOS ARRECIFES BAJOS DEL NORTE
Y ARRECIFE ALACRANES



OCEANA Protegiendo los
Océanos del Mundo

Oceana es la mayor organización internacional dedicada exclusivamente a la conservación del océano. Oceana está reconstruyendo océanos abundantes y biodiversos al impulsar políticas basadas en la ciencia en países que controlan un tercio de la captura de peces silvestres del mundo. Con más de 200 victorias que han frenado la sobrepesca, la destrucción del hábitat, la contaminación y la matanza de especies amenazadas como tortugas y tiburones, las campañas de Oceana están dando resultados. Un océano restaurado significa que mil millones de personas alrededor de todo el mundo pueden disfrutar de una comida saludable de pescados y mariscos, todos los días y para siempre. Juntos, podemos salvar los océanos y ayudar a alimentar al mundo.

Visite: www.oceana.org para obtener más información.

Forma de citar esta publicación: Oceana. 2022.

Informe Ejecutivo de la Expedición Científica de Oceana en México: Proyecto Alacranes. Biodiversidad de los Ecosistemas en los Arrecifes Bajos del Norte y Arrecife Alacranes
DOI. 10.5281/zenodo.6519230





El presente documento incluye información e imágenes obtenidas a partir del trabajo de campo y reportes de las y los investigadores que participaron en la Expedición Científica "Proyecto Alacranes". A continuación, en orden alfabético por apellido:

Esmeralda Alcantar
Gabriel Cervantes Campero
Yoalli Quetzalli Hernández Díaz
Alfonso Medellín Ortiz
Antar Mijail Pérez Botello
Adrián Munguía-Vega
Jazmín Deneb Ortigosa Gutiérrez
Nicole Pedersen
Rodrigo Adrián Rodríguez Vázquez

ELABORACIÓN:

Ana Montiel Arteaga

REVISORES:

Miguel Rivas Soto
Mariana Reyna Fabián

DISEÑO:

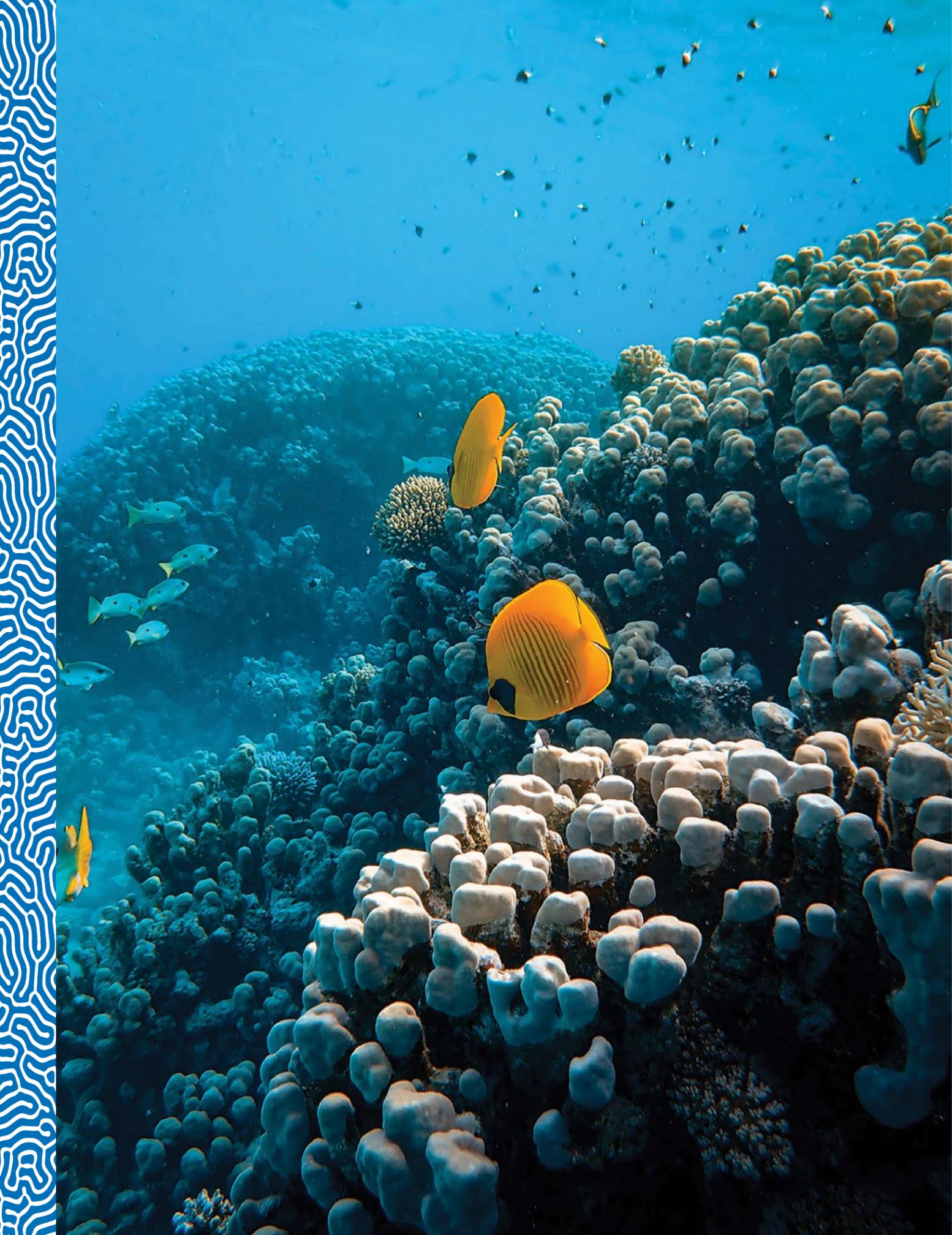
Mara Hernández Zepeda

Abril 2022



ÍNDICE

1. Presentación	13
2. Datos destacados	17
3. Introducción	21
4. Área de estudio	25
5. Metodología y Resultados	29
5.1 Importancia de las corrientes marinas en el Banco de Campeche	29
5.2 Bajos del Norte	33
5.2.1 ADN ambiental	33
5.2.2 Biodiversidad bentónica	39
5.2.2.1 Crustáceos	41
5.2.2.2 Moluscos	42
5.2.2.3 Equinodermos	44
5.2.2.4 Corales	45
5.2.3. Fotogrametría, mapas 3D y salud de los arrecifes	49
5.2.5. Peces en el arrecife	53
5.3 Arrecife Alacranes	57
5.3.1 Biodiversidad de corales duros	57
5.3.2 Fotogrametría, y mapas 3D y salud de los arrecifes	59
5.4 Pesquerías en la zona Banco de Campeche	63
6. Conclusiones y recomendaciones	65
7. Literatura Citada	69
8. Tripulación a bordo de la Expedición Científica OCEANA en México	75
9. Agradecimientos	77
10. Anexos	79
Anexo 1. Abundancia relativa de la comunidad de crustáceos encontrada en Bajos del Norte	79
Anexo 2. Abundancia relativa de las especies de moluscos observadas en Bajos del Norte.	80
Anexo 3. Abundancia relativa del grupo de los equinodermos en Bajos del Norte.	81
Anexo 4. Inventario taxonómico de peces observados en Bajos del Norte.	82
Anexo 5. Corales duros (Orden Scleractinia) enlistados en el Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes 2006.	83



1. PRESENTACIÓN

Los seres humanos somos curiosos por naturaleza: esto nos ha convertido en grandes navegantes, exploradores, científicos y astronautas. Ir más allá de lo conocido ha sido clave para conocer el mundo más allá de lo evidente, desde lo microscópico hasta el espacio exterior.

Nuestra curiosidad es el motor insaciable por conocer lo que nos rodea, y ese conocimiento empírico nos lleva a explorar nuevas ideas y soluciones. Nos ayuda a enamorarnos más de la vida y, así, concientizarnos sobre la importancia de preservarla y protegerla.

Esa misma curiosidad y conexión con nuestro entorno llevó al equipo de Oceana a visitar dos de los arrecifes coralinos más alejados de las costas mexicanas: los arrecifes de Bajos del Norte y el Parque Nacional Alacranes, ambos frente a las costas de Yucatán.

Estos arrecifes se caracterizan por su indudable riqueza y por ser una conexión entre la vida submarina del Golfo de México y el Caribe Mexicano. Esta mezcla única de paisajes submarinos hace de estos arrecifes un tesoro del capital natural de México que conserva genes, especies y ecosistemas irremplazables.

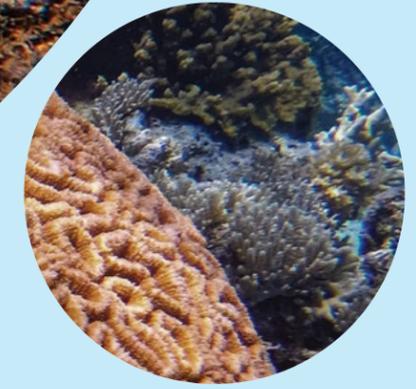
El Proyecto Alacranes reunió al mejor equipo de expertos para visitar estos arrecifes, conocer su riqueza, evaluar su salud y dar a conocer al resto de los y las mexicanas las maravillas que estos hábitats marinos contienen. Ahí estudiamos la presencia de especies no visibles en las inmersiones diarias y nocturnas a través del ADN que queda suspendido en las columnas de agua, evaluamos la salud de los peces comerciales presentes y el estado actual de los arrecifes, utilizando innovadoras técnicas de foto mosaicos en tercera dimensión, que nos permiten hacer mapas 3D del fondo marino.

Conocer la conexión entre Alacranes y Bajos del Norte es de suma importancia para poder tomar decisiones de política pública que ayuden a conservar ambos arrecifes. Desde Oceana empujamos mejoras a la actual Área Natural Protegida (ANP) de Arrecife Alacranes y vemos en la conexión de ambos arrecifes una oportunidad para que la autoridad pueda impulsar el crecimiento de esta ANP.

El equipo está muy contento con el trabajo realizado y seguro de que las siguientes páginas serán una aventura sobre los resultados de la expedición —la primera de Oceana en México— que te permitirán maravillarte con estos “secretos” que la vida submarina de los arrecifes de Bajos del Norte y Alacranes revelaron para México y el mundo. ¡Disfrútalo!

Miguel Rivas es Director de Santuarios Marinos en Oceana y Doctor en Ciencias por el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México.





2. DATOS DESTACADOS

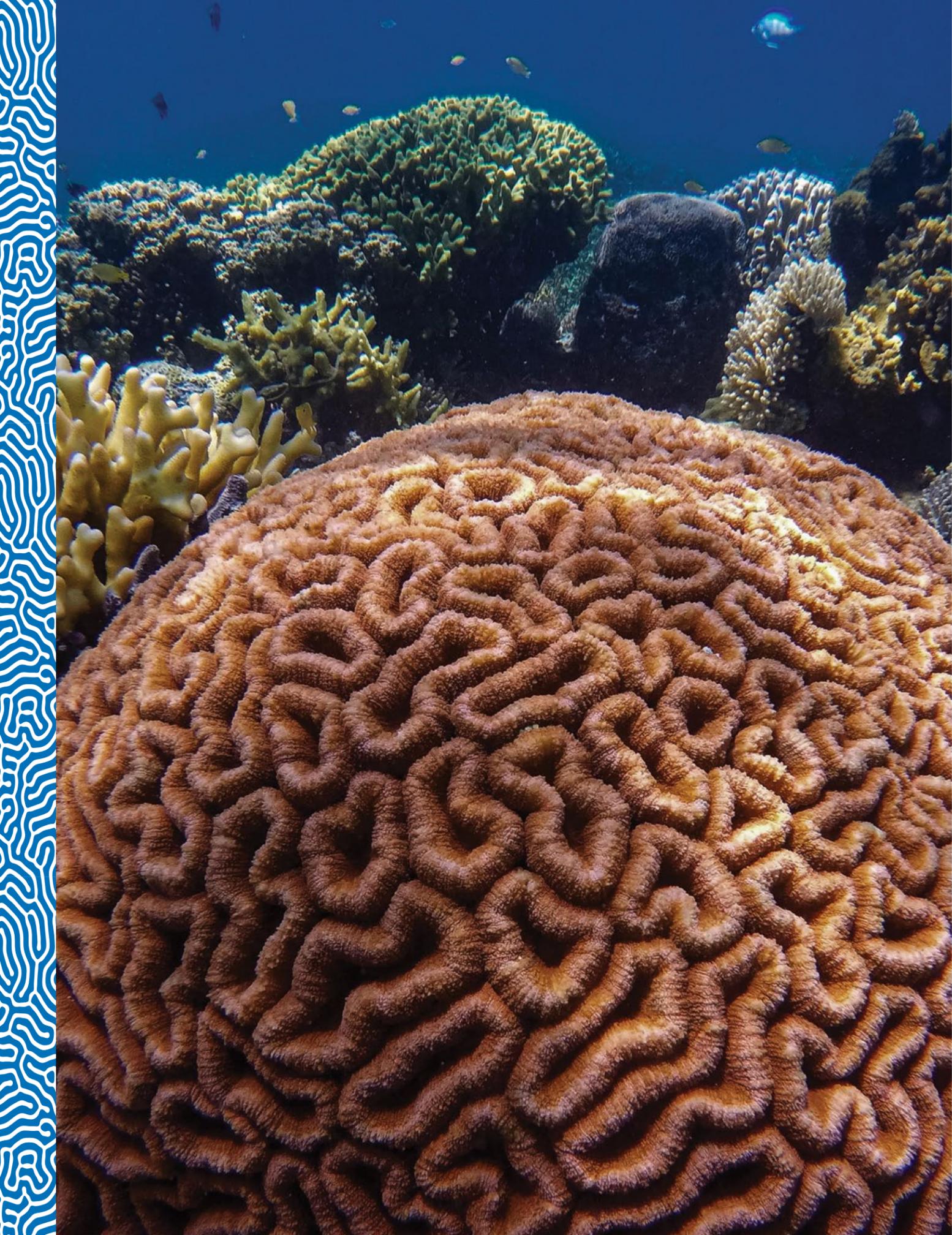
- La salud de los arrecifes en Bajos del Norte y PNAA se encontró en la categoría de “Regular”. Por lo que es necesario prestar atención a los sitios que encontramos con categoría en salud arrecifal “Regular” a “Mal” para idear estrategias de recuperación.
- A través del estudio de corrientes oceánicas encontramos una conexión entre los arrecifes de Bajos del Norte y del Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNAA). Esta conexión varía en intensidad y dirección a lo largo del año dependiendo de las condiciones climáticas y biológicas presentes.
- El modelo de dispersión de larvas del Banco de Campeche mostró las variaciones a lo largo del año en las zonas de agregación para siete especies de interés comercial, lo que es una herramienta en la planeación del aprovechamiento e identificación de refugios pesqueros.
- Los resultados muestran que la comunidad de corales en Bajos del Norte y PNAA es diferente, compartiendo solo 9 especies (24%) de corales registrados, es decir, los arrecifes de corales en Bajos del Norte, aún sin ser un área protegida, sustentan una diversidad de corales constructores de arrecifes que son clave para la salud y conservación de los ecosistemas del Banco de Campeche, por lo que es necesario su cuidado y protección.
- Esta es la primera expedición científica en los arrecifes de Yucatán que utiliza la herramienta del ADN ambiental, permitiendo registrar 2,116 especies de la diversidad de Bajos del Norte, siendo el grupo más diverso el de las algas con 44%, seguido de animales multicelulares con 25%.

- Los resultados de ADN ambiental junto con los censos visuales en campo confirman que hay nuevas especies por conocer en Bajos del Norte; la expedición permitió conocer una parte de la gran riqueza que mantienen estos arrecifes.
- En Bajos del Norte se identificaron 87 nuevos registros de especies de invertebrados: 35 crustáceos, 30 moluscos y 22 estrellas quebradizas. Además, se observaron 19 especies de corales duros.
- Se registraron 47 especies de peces óseos por censo visual en Bajos del Norte, siendo importante la presencia del pez perico, una especie clave para el mantenimiento de la salud del arrecife.
- Esta es la primera expedición científica de Oceana en México con el uso de fotogrametría y mapas 3D que se realiza en el fondo arrecifal del Banco de Campeche. Esta es una herramienta de gran apoyo para conocer el estado de estos ecosistemas. Su uso en los ambientes marinos como Bajos del Norte y PNAA permitió obtener mayor detalle de la vida en las profundidades, dando información sobre la riqueza de especies de coral presentes, estructura e interacciones, entre otras. Además, es un referente base para futuros estudios y herramienta en la toma de decisiones encaminadas a la conservación de los arrecifes.



- En el PNAA se registró el coral negro, una especie actualmente protegida debido a la disminución de sus poblaciones por sobreexplotación.
- Tanto en los arrecifes de Bajos del Norte como Alacranes, se observó el pez león (*Pterois volitans*), una especie invasora originaria del Indo-Pacífico que no tiene depredadores naturales en estos ambientes, además de reproducirse y dispersarse a gran velocidad, lo que representa una amenaza para la diversidad y el equilibrio de los arrecifes del mar Caribe y Golfo de México.
- Otra amenaza presente fueron las enfermedades/síndromes y parásitos en los corales. En Bajos del Norte el síndrome de manchas oscuras estuvo en ocho de los nueve sitios estudiados, mientras que la enfermedad por banda negra sólo fue registrada en dos sitios. Los gusanos poliquetos son un parásito común de baja letalidad que estuvo en seis de los sitios monitoreados. Por su parte, en Arrecife Alacranes, de los siete sitios estudiados en tres se registraron colonias con manchas oscuras y dos sitios con banda negra. La afectación por gusanos poliquetos estuvo en tres sitios y sólo en un sitio se encontró la esponja incrustante (*Cliona sp.*)

- Las evidencias de enfermedades/síndromes en los corales en Bajos del Norte y Arrecife Alacranes muestran baja presencia en la mayoría de los sitios, sin embargo, es relevante continuar con los monitoreos de los mismos para detectar a tiempo cualquier cambio que comprometa la permanencia y función de los arrecifes en la zona.
- El blanqueamiento de los corales varió entre ambas zonas. En Bajos del Norte se registró en siete de los nueve sitios y las colonias que presentaron esta afectación tenían un área alrededor del 10% blanqueada, lo que es una afectación baja. En el caso de Arrecife Alacranes se observó en seis de los siete sitios estudiados y la mayoría de las colonias que presentaron blanqueamiento tenían un área afectada menor al 15%, lo que se considera un porcentaje bajo, sin embargo, es importante continuar el monitoreo de los arrecifes para conocer si hay recuperación o avance del blanqueamiento.
- El análisis de pesquerías mostró variación en la captura de especies a lo largo del año, además del número de toneladas que se pesca. Sin embargo, se confirmó al mero rojo como la especie comercial de mayor demanda en el Banco de Campeche.
- El cuidado de los arrecifes de coral del Banco de Campeche, además de beneficiar la preservación de la diversidad de la vida marina, mantiene una importante fuente de empleo e ingresos para más de 11,800 pescadores que son sustento para sus familias, que dependen de la pesca de especies comerciales como son el mero, huachinango, pulpo y langosta, principalmente.



3. INTRODUCCIÓN

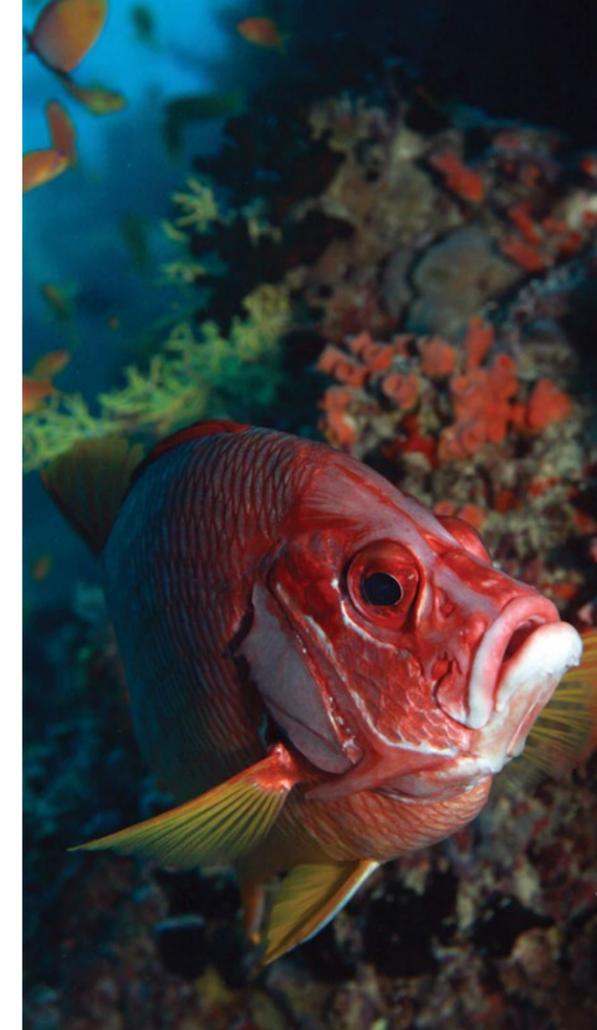
Los ecosistemas marinos cubren un tercio del planeta albergando más del 25% de la biodiversidad mundial y alrededor del 90% de la biomasa [1]. Los arrecifes de coral son ecosistemas presentes en menos del 1% del océano y son el hogar de aproximadamente una cuarta parte de las especies marinas del mundo [2]. Los arrecifes de coral son como “guarderías” al tener las condiciones ideales para la reproducción de gran variedad de peces, invertebrados y otras formas de vida que hacen posible la conservación de gran parte de la biodiversidad en los océanos. Han sido comparados con las selvas en el ambiente terrestre, donde en vez de árboles están las colonias de corales brindando refugio, alimento y las condiciones ideales para el desarrollo de la vida marina.

En la mayoría de las costas de México podemos encontrar arrecifes de coral, tanto en el Océano Pacífico como en el Golfo de California, el mar del Caribe y el Golfo de México. Es en este último donde se encuentra una de las más grandes estructuras coralinas y uno de los arrecifes de importancia mundial: el Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNAA) ubicado en el Banco de Campeche, a 140 kilómetros de Puerto Progreso, Yucatán, que cubre un área de 333,768 hectáreas. Es un Área Natural Protegida (ANP) desde 1994 y en 2006 fue incluido en la Red Mundial de Reservas de la Biosfera del Programa sobre el Hombre y La Biosfera (MAB) de la UNESCO,

asimismo en 2008 fue integrado a la lista de sitios Ramsar. Todos estos reconocimientos han sido otorgados por su importancia para la conservación de especies endémicas y en peligro de extinción tanto en ambientes marinos como terrestres. En el PNAA existen cinco islas: Pájaros, Chica, Pérez, Muertos y Desterrada, sitios importantes de anidación y descanso de 116 aves marinas, además de servir como refugio de embarcaciones cuando hay mal tiempo. En el área podemos encontrar 4 de las 7 especies de tortugas marinas (carey, laúd, caguama y blanca), mamíferos marinos como la ballena piloto, varias especies de delfines, también 24 especies de tiburones, 136 de peces y 34 de corales, entre cientos de otras especies que forman parte de este ecosistema tan especial [3]. El aporte del alimento ne-

cesario para mantener la vida del ecosistema proviene de la zona de surgencia (movimiento de los nutrientes de las profundidades hacia la superficie) cercana a Cabo Catoche.

Por su parte, los arrecifes de Bajos del Norte se ubican aproximadamente a 240 kilómetros de Puerto Progreso y a 100 kilómetros al noreste del PNAA. Esta zona se conforma por una serie de estructuras arrecifales no continuas y es un área de interés científico y pesquero por la diversidad que se ha encontrado. En comparación con el PNAA, Bajos del Norte es una zona menos estudiada y con un gran potencial de conservación de la vida marina [4]. Debido a la lejanía del continente, tiene menor acceso, reduciendo el impacto humano en comparación con los arrecifes más cercanos a las costas, sin embargo, hay algunas amenazas que lo rodean por lo que es importante un plan de acción para su protección.



Los arrecifes del PNAA y Bajos del Norte son importantes en el sustento de ingresos para cientos de familias dedicadas a la pesca de especies comerciales, principalmente mero, huachinango, langosta y pulpo, al ser sitios de reproducción de estas especies.¹

Por lo anterior, el objetivo de la expedición científica de Proyecto Alacranes fue conocer el estado actual de los arrecifes Alacranes y Bajos del Norte con el fin de revisar los sitios mejor conservados, la biodiversidad que resguardan y las amenazas a su conservación. Esta información brindará herramientas para la toma de decisiones en acciones de conservación de su biodiversidad y la mejora económica para las familias que sobreviven de la pesca de especies comerciales aledañas a los arrecifes.

1. En México la pesca y acuicultura contribuye alrededor del 1% al Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Diario Oficial de la Federación. Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024. Publicado el 30 de diciembre del 2020.

4. ÁREA DE ESTUDIO

En Bajos del Norte se visitaron 9 sitios donde se monitorearon 18 puntos, tal como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Puntos de muestreo en los arrecifes de Bajos del Norte. En los sitios BN02 y BN04 solo se tomaron muestras de agua para la investigación de ADN ambiental a profundidades de 91 m y 70 m respectivamente.

ID	SITIOS DE MUESTREO EN BAJOS DEL NORTE	PROFUNDIDAD	TEMPERATURA °C	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	TIPO DE MUESTREO
BN01	Estadio 1	28	30	23.17000	-88.95000	ADN ambiental
BN02	En Tránsito 1	91	19	23.18000	-88.91000	ADN ambiental
BN03	Estadio 2	19	30	23.19702	-88.97788	Biodiversidad bentos Peces
BN04	En Tránsito 2	70	24	23.24000	-88.71000	ADN ambiental
BN05	Andrea	11	30	23.24122	-88.71497	Corales ADN ambiental Mapas 3D
BN06	Agüitas 1	14	30	23.24204	-88.71512	Corales Mapas 3D
BN07	Agüitas 2	13	30	23.24248	-88.71506	Biodiversidad bentos Peces
BN08	La Loma 1	11	30	23.24763	-88.70866	Corales Biodiversidad bentos Peces Mapas 3D
BN09	La Loma 2	15	30	23.25000	-88.71000	ADN ambiental
BN10	La Loma 3	17	30	23.25032	-88.70503	Corales Mapas 3D
BN11	Paso del Zorro 1	13	30	23.25107	-88.70450	Peces
BN12	Paso del Zorro 1	14	30	23.25140	-88.70530	Peces
BN13	Paso del Zorro 1	22	30	23.26000	-88.69000	ADN ambiental
BN14	Paso del Zorro 1	13	30	23.26166	-88.69563	Biodiversidad bentos
BN15	Paso del Zorro 1	15	30	23.26183	-88.69596	ADN ambiental Mapas 3D
BN16	Paso del Zorro 2	15	30	23.25260	-88.70450	Peces
BN17	Paso del Zorro 2	14	30	23.26273	-88.69401	Corales
BN18	Paso del Zorro 2	18	30	23.26242	-88.69464	Corales Mapas 3D

En la Figura 1 se observan los puntos del monitoreo y la ubicación de los arrecifes en Bajos del Norte en relación a la costa de Yucatán y Arrecife Alacranes.

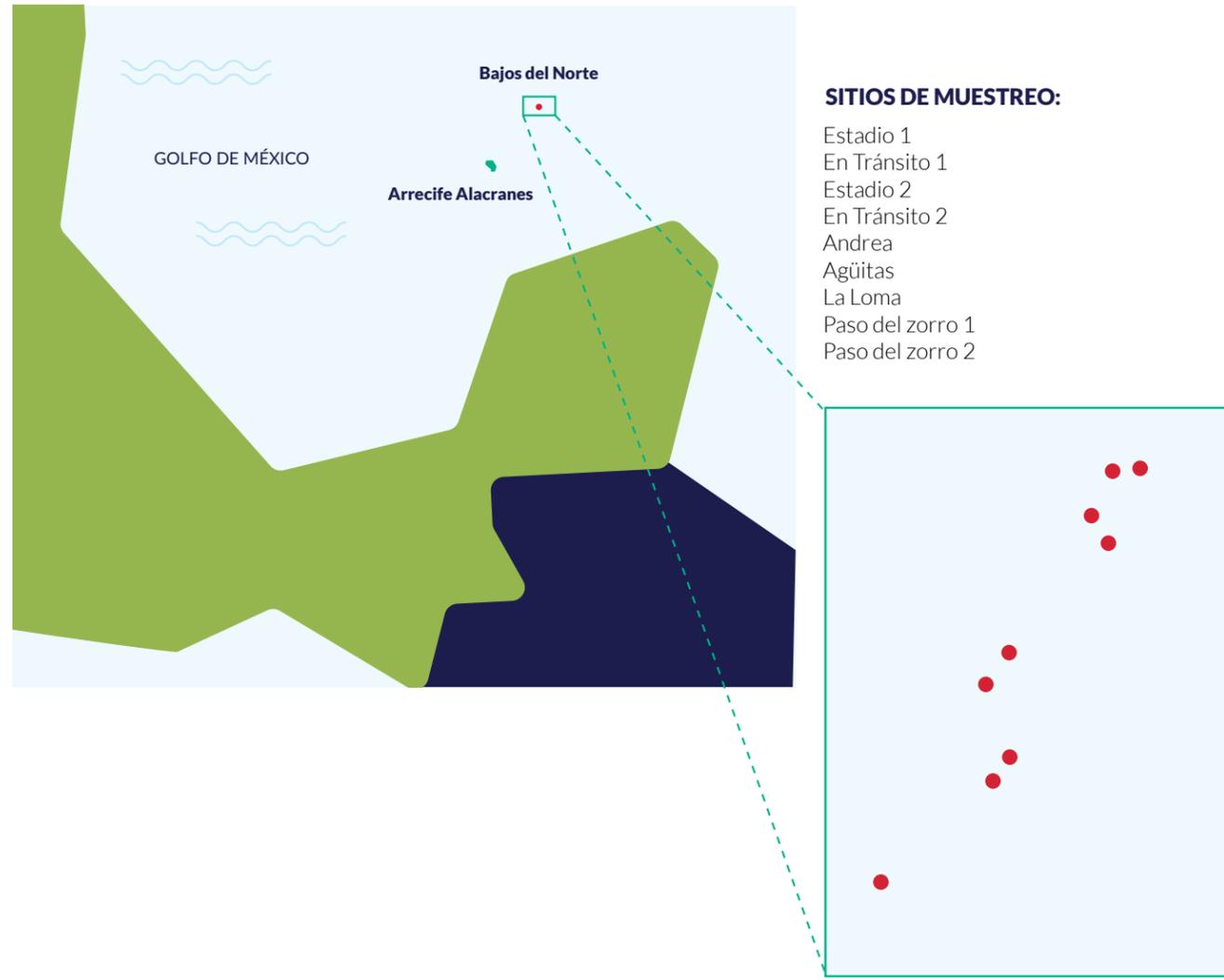


Figura 1. Mapa con los sitios muestreados en Bajos del Norte durante la expedición científica.

En el PNAA se estudiaron 8 sitios del sistema arrecifal: 1) Tabasco (EM_ALA_1), 2) Langosta (EM_ALA_2), 3) Hongos (EM_ALA_3), 4) Canal de Anegados (EM_ALA_4), 5) El Arco (EM_ALA_5), 6) Vapor (EM_ALA_6), 7) Tweed (EM_ALA_7), 8) Marisol (EM_ALA_8); ver Cuadro 2 y Figura 2.

Cuadro 2. Puntos de muestreo en el Parque Nacional Arrecife Alacranes durante septiembre 2021.

ID	SITIOS DE MUESTREO EN PNAA	PROFUNDIDAD (METROS)	TEMPERATURA °C	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	TIPOS DE MUESTREO
EM_ALA_1	Tabasco	7	29	22.36754	-89.67420	Corales y Biodiversidad bentos
EM_ALA_2	Langosta	2	30	22.39773	-89.67194	Corales y Biodiversidad bentos
EM_ALA_3	Hongos	16	29	22.39598	-89.70581	Corales y Biodiversidad bentos
EM_ALA_4	Canal de Anegados	3	30	22.46042	-89.61140	Corales y Biodiversidad bentos
EM_ALA_5	El Arco	8	29	22.58483	-89.75360	Corales y Biodiversidad bentos
EM_ALA_6	Vapor	4	29	22.53829	-89.65500	Corales y Biodiversidad bentos
EM_ALA_7	Tweed	5	30	22.54601	-89.66083	Corales y Biodiversidad bentos
EM_ALA_8	Marisol	5	30	22.50024	-89.78670	Corales y Biodiversidad bentos

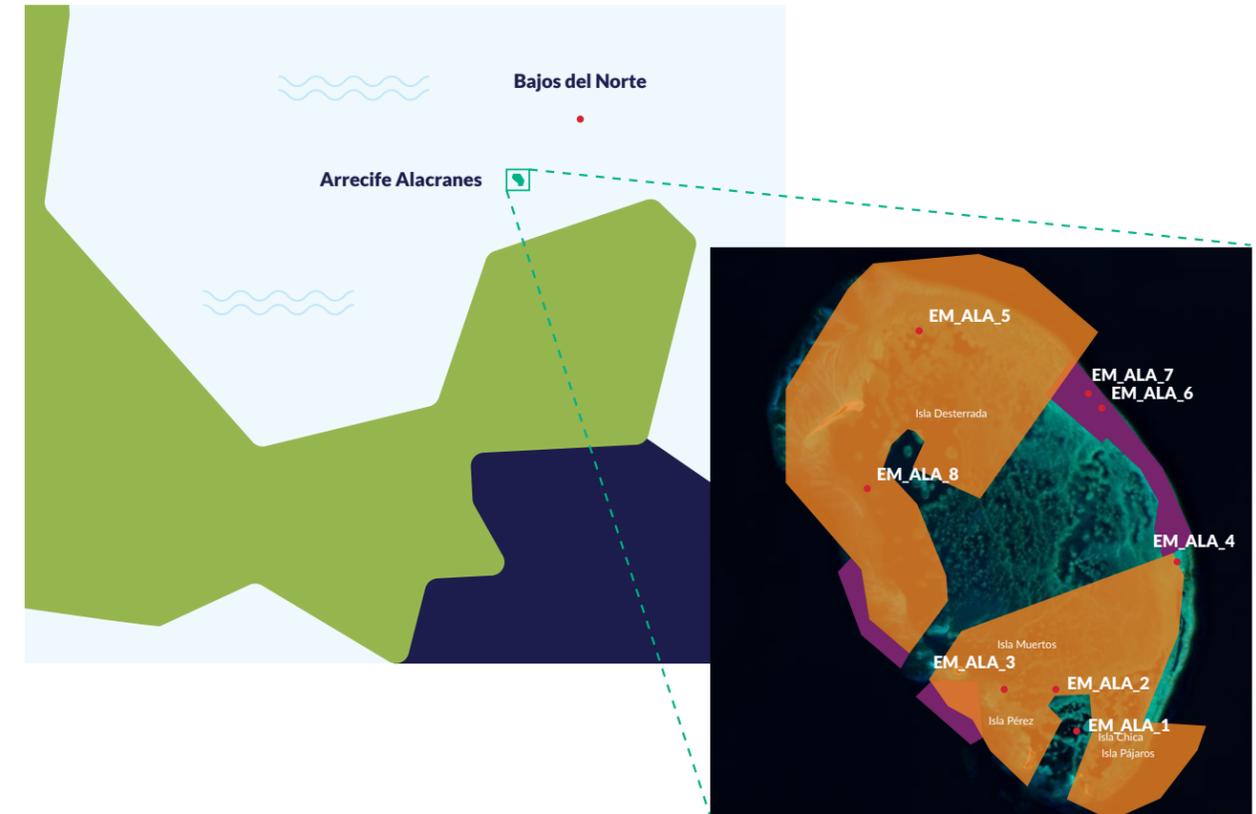


Figura 2. Mapa del Parque Nacional Arrecife Alacranes. Los puntos rojos indican los sitios de colonias de corales muestreados, en verde las zonas núcleo.

5. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Oceana en México —cuya misión es salvar los océanos, alimentar el mundo — organizó una expedición científica con apoyo de Blancpain y en colaboración con el personal del PNAAL logrando reunir un grupo de investigadores especialistas en corrientes marinas, arrecifes de coral, ADN² ambiental, invertebrados, fotogrametría y mapas 3D, peces y pesquerías. La metodología y resultados se muestran a continuación.

5.1 IMPORTANCIA DE LAS CORRIENTES MARINAS EN EL BANCO DE CAMPECHE

Las corrientes marinas son clave en la regulación de la temperatura para la vida en el planeta. Son como las arterias de los océanos al transportar los nutrientes que alimentan a los seres vivos que habitan estos ecosistemas. Otra función importante de las corrientes es la dispersión de larvas y huevos, es decir, sin las corrientes muchos organismos no habrían sido capaces de moverse más allá de su capacidad para desplazarse: la diversidad marina no sería como la conocemos ahora.

Un lugar de gran interés debido a la riqueza natural que sostiene, es la plataforma de la Península de Yucatán conocida como Banco de Campeche con una superficie aproximada de 175,000 km² [4]. Existen dos corrientes de agua que definen el Banco de Campeche, una de norte a sur producida por la Corriente

2. Ácido Desoxirribonucleico (ADN), es la molécula que contiene la información genética necesaria para el desarrollo y funcionamiento de todos los seres vivos.

de Lazo y una de este a oeste por la corriente del litoral. Estas dos corrientes generan zonas donde se mezcla el agua de la superficie con la del fondo, formando así zonas ricas en nutrientes y de gran productividad (Figura 3).

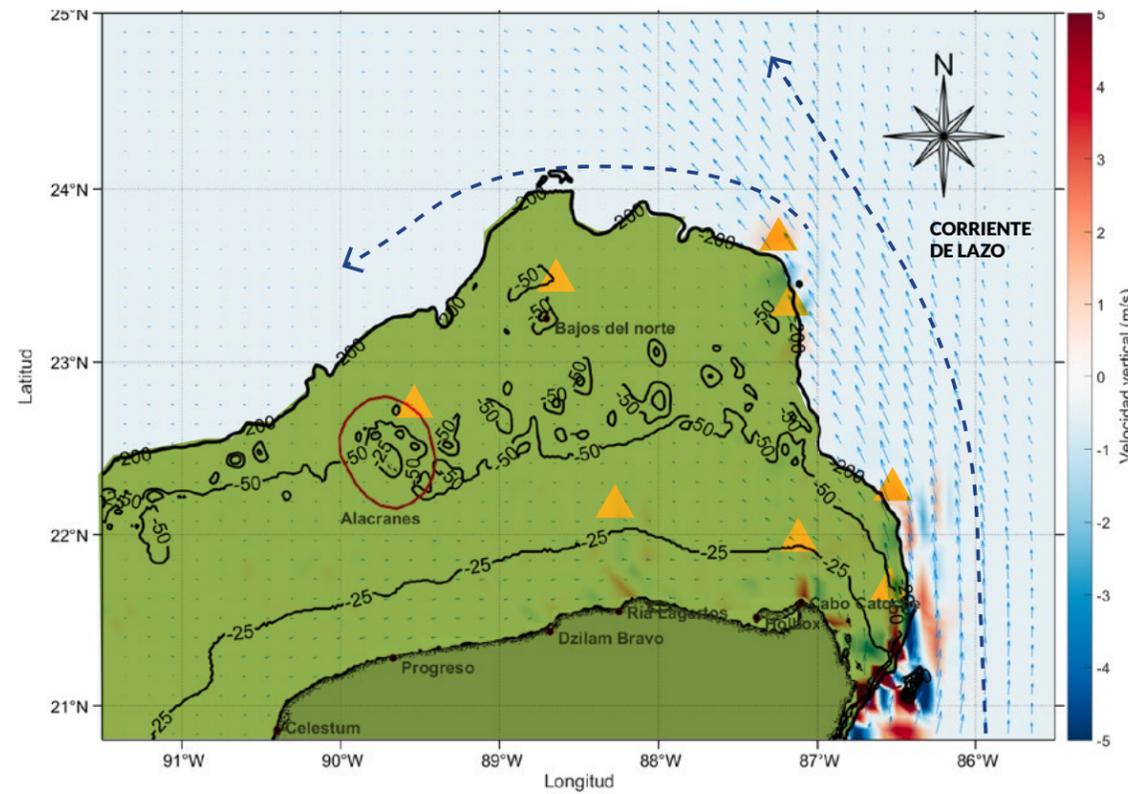


Figura 3. Mapa de las corrientes de Lazo y del litoral en la Península de Yucatán. Las flechas indican la dirección e intensidad de la corriente, tonos azules muestran hundimiento, colores rojos son salidas verticales de agua y triángulos en amarillo zonas de mezcla ricas en nutrientes.

Actualmente, solo el 1.9% del Banco de Campeche está protegido (correspondiente al PNAA). Dadas las funciones que brindan estos ecosistemas, la gran diversidad que resguardan y la importancia económica que representan, es fundamental conocer su dinámica para planear acciones de protección, conservación y restauración.

Por tal motivo, se realizó un estudio de corrientes de la plataforma de la Península de Yucatán con el propósito de conocer los parámetros físicos (corriente, oleaje, temperatura, salinidad y viento), biológicos (clorofila y productividad primaria) y socioecológicos (datos de pesca) que permitieran conocer el estado actual del Banco de Campeche y poder construir un modelo que sea de utili-

dad para evaluar las zonas de conectividad, predecir la dispersión de larvas de especies de interés comercial, e identificar posibles refugios pesqueros.

Se analizaron datos climáticos, biológicos y de pesquerías a diferentes escalas de tiempo y espacio, obteniendo las características climáticas mensuales promedio, los sitios potenciales de dispersión de larvas de especies de interés comercial, refugios pesqueros, entre otros. Con la información procesada se elaboró y probó un modelo de alta resolución que ayudó entender las variaciones estacionales en el Banco de Campeche³, los sitios potenciales de reproducción y la dispersión de larvas de siete especies de interés comercial (pulpo maya, pulpo común, langosta, mero rojo, mero Nassau, negrillo y huachinango del Golfo), y se elaboraron mapas 2D y 3D de los parámetros analizados que permiten localizar sitios importantes y de interés para el manejo de hábitats y de pesquerías en el Banco de Campeche.

El modelo de corrientes mostró una conexión entre Arrecife Alacranes y Bajos del Norte que varía en dirección e intensidad dependiendo de la temporada y las condiciones climáticas presentes. La corriente de Lazo se mantiene todo el año con variaciones entre temporadas, esto es importante al ser Cabo Catoche una zona rica en nutrientes que surgen de forma constante y son distribuidos por la corriente litoral a través del Banco de Campeche. Por otro lado, la temperatura superficial presentó variación estacional a lo largo del año teniendo un promedio mínimo de 22°C y máximo de 30°C. Se encontró que la mayor concentración de clorofila está en la zona costera y Arrecife Alacranes, lo cual está relacionado a su vez con la productividad primaria, que es la base de la cadena alimenticia. A pesar de que el Banco de Campeche es considerado pobre en productividad primaria, se encontraron concentraciones más altas en la zona costera, la región de Cabo Catoche, Arrecife Alacranes, Bajos del Norte y provincia de agua fría. Los picos de productividad primaria coinciden con las zonas y temporadas de altos índices de surgencia (agua rica en nutrientes que se mueve del fondo marino a la superficie), esto nos indica los sitios de importancia

3. Se elaboró un mapa del Banco de Campeche mostrando el cambio de temperatura promedio mensual. Puede consultarse en el siguiente enlace: https://mx.oceana.org/wp-content/uploads/sites/17/SensorSST_anual-1.mp4

de conservación ya que son claves para sostener la biodiversidad marina en el Banco de Campeche y confirma la necesidad de proteger Bajos del Norte como parte de la estrategia de conservación de la vida marina en los océanos de México.

En cuanto a los resultados de los modelos de dispersión de larvas, se realizó un diagrama de sitios de conectividad (Figura 4) con los principales hallazgos que incluyen: 1) Arrecife Alacranes es el sitio con mayor número de conexiones recibidas y es fuente larvaria de importancia para otros sitios del Banco de Campeche, 2) Bajos del Norte es el segundo sitio con mayor número de conexiones recibidas y es fuente larvaria de importancia para sitios del norte, occidente y centro del Golfo de México, recibe larvas del oriente, norte, centro y occidente del Banco de Campeche directamente de cada sitio o por medio de una serie de conexiones entre sitios.

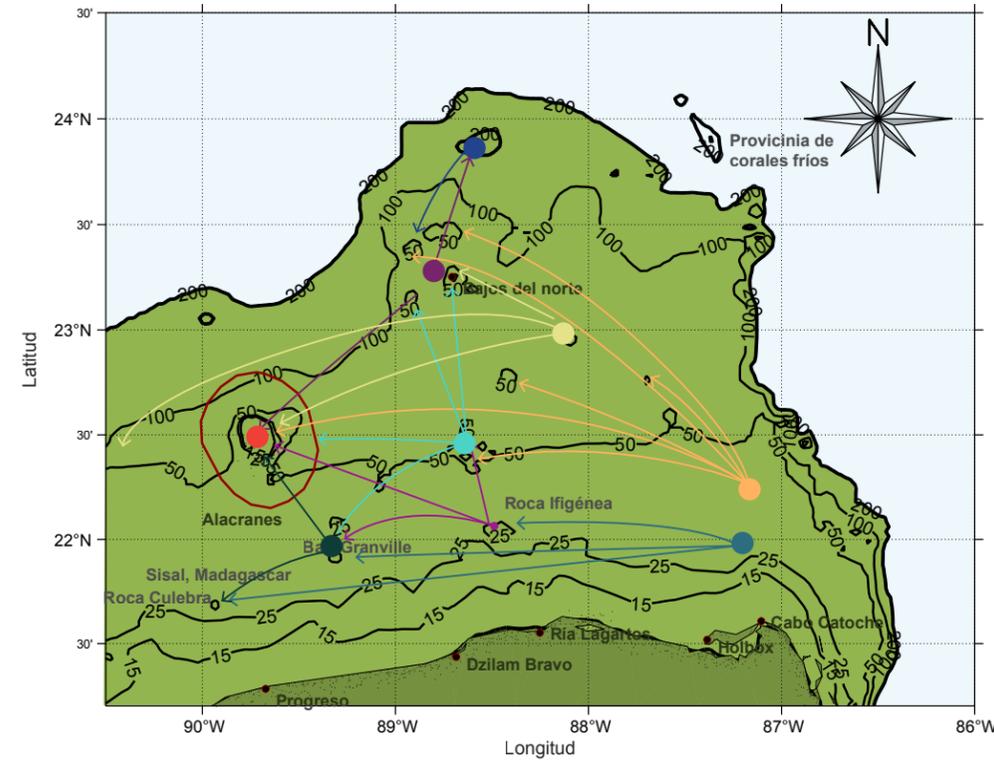


Figura 4. Principales sitios de conectividad larvaria elaborado con base en resultados de modelos numéricos, bibliografía y datos pesqueros. Las flechas muestran la dirección hacia donde se dispersan las larvas y los puntos de los sitios de origen de las larvas, lo cual muestra las complejas interacciones que se dan en Banco de Campeche, así como la importancia de conservar y manejar de manera adecuada los arrecifes de Bajos del Norte y del PNAA.

5.2 BAJOS DEL NORTE

El 9 de agosto de 2021 salió de Puerto Progreso, Yucatán, el grupo de la expedición científica a bordo de la embarcación *Caribbean Kraken* con rumbo a Bajos del Norte, donde se realizaron 116 buceos totales en horario diurno y nocturno durante los días 10, 11 y 12 de agosto para obtener la información necesaria de las condiciones y biodiversidad del lugar.

5.2.1 ADN AMBIENTAL

Los estudios por ADN ambiental en ecosistemas marinos nos permiten conocer la presencia de un gran número de especies en poco tiempo que, de otra manera, sería extremadamente costoso y tardado observarlos a simple vista en esos sitios. La técnica se basa en el tiempo que tarda el ADN en degradarse en el ambiente. Generalmente el ADN se degrada rápidamente y el ADN que podemos identificar nos asegura que las especies que detectamos están presentes en los sitios estudiados y que no se trata de ADN que arrastran las corrientes. Esta técnica consiste en coleccionar agua del mar y filtrarla para luego, en el laboratorio, estudiar el ADN de los organismos y determinar las especies que se encuentran presentes en la columna de agua. Esta fue la primera expedición científica en Bajos del Norte que empleó esta técnica. Los datos registrados en cada sitio incluyen las coordenadas, temperatura, profundidad y hora. Durante la expedición fueron colectadas un total de 27 muestras de 9 sitios con 3 réplicas en cada uno para su análisis en laboratorio, lo anterior con el objetivo de conseguir los fragmentos de los genes (secuencias genéticas) que permitieron identificar a las especies de los sitios muestreados.

De aproximadamente 50 millones de secuencias de ADN encontradas, solo fueron seleccionadas las secuencias de grupos marinos de eucariotas (ej. animales, plantas y hongos), peces óseos (con esqueleto óseo duro) y

elasmobranquios que incluyen a los tiburones y rayas [5 y 6]. En la asignación taxonómica⁴ de las secuencias fue empleada la base de datos de referencia de secuencias de ADN del NCBI-GenBank⁵, la herramienta BLAST⁶ y el software MEGAN V6 [7].

Se encontró un total de 2,116 especies/OTUs (unidad taxonómica operativa conocida con la sigla OTU "Operational Taxonomic Unit"), representando cinco grupos (Figura 5): algas 44% (verdes, rojas, café y microalgas), animales multicelulares (metazooarios 25%), otros eucariotas (26%), organismos unicelulares microscópicos (protistas 3%) y hongos (2%).

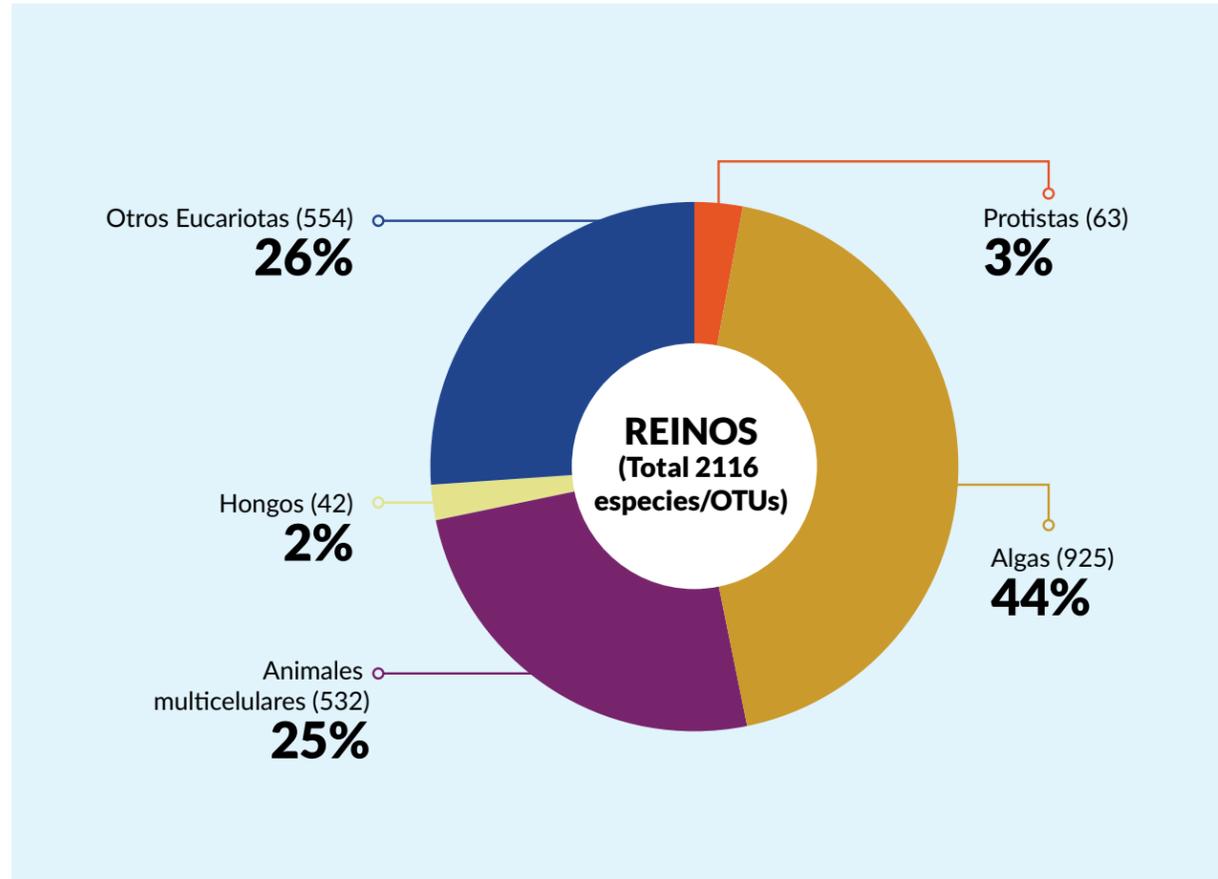


Figura 5. Total de especies/OTUs por grupos de ambientes marinos encontrados con ADN ambiental en Bajos del Norte.

4. La asignación taxonómica agrupa ordenadamente a los organismos conforme sus características y los ordena en: dominio, reino, phylum, clase, orden, familia, género y especie.

5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>

6. <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>

Con el análisis de la librería para eucariotas registramos 782 especies/OTUs de eucariotas marinos (Figura 6).

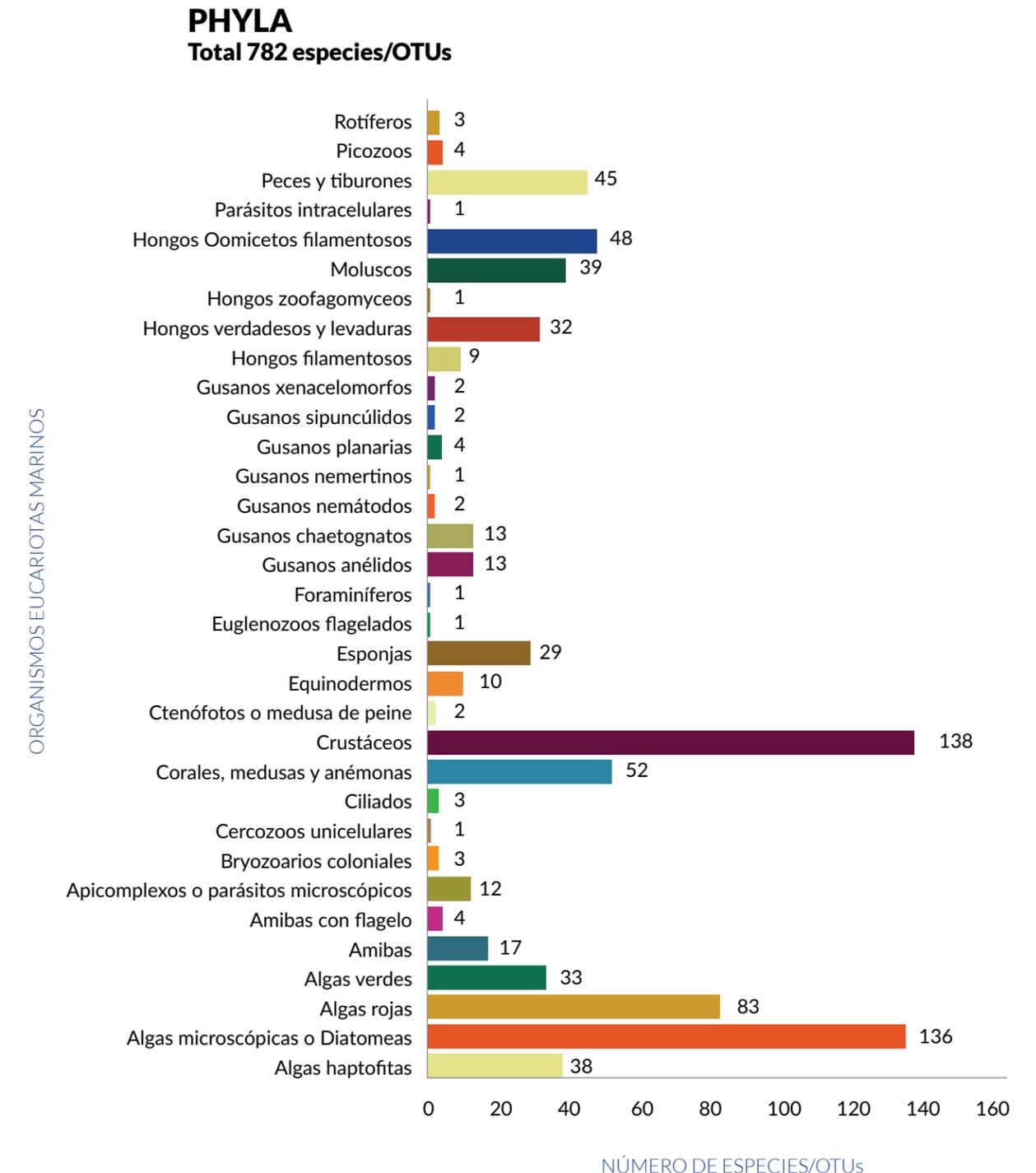


Figura 6. Registro de organismos eucariotas marinos en las muestras de columna de agua de Bajos del Norte por medio de ADN ambiental.



La diversidad en peces encontrada fue de 162 especies/OTUs (159 peces óseos y 3 tiburones), donde los grupos más abundantes de peces óseos fueron: las cabrillas y meros 14%, seguido de los roncadores 10%, doncellas 9%, damiselas y jaquetas 9%, peces loro 9%, pargos y huachinangos 7%, peces vela y picudos 4% (Figura 7). De los tiburones encontrados 2 pudieron identificarse a nivel de especie: tiburón curro (*Carcharhinus brevipinna*) y tiburón martillo común⁷ (*Sphyrna lewini*); y uno se identificó hasta género (*Carcharhinus*; Figura 8). La presencia de grandes depredadores naturales es señal de un sitio saludable al poder mantener al eslabón más alto en la cadena alimenticia.

Es importante mencionar que 26% del total secuenciadas no fueron identificadas con organismos conocidos a la fecha en las bases de datos de genes, lo que indica que aún hay nuevas especies por conocer en los Bajos del Norte y esto incrementaría la diversidad que habita en estos arrecifes, confirmando aún más la necesidad de actuar pronto con una estrategia para su protección y conservación.

7. "En Peligro Crítico" en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

FAMILIAS DE PECES ENCONTRADAS

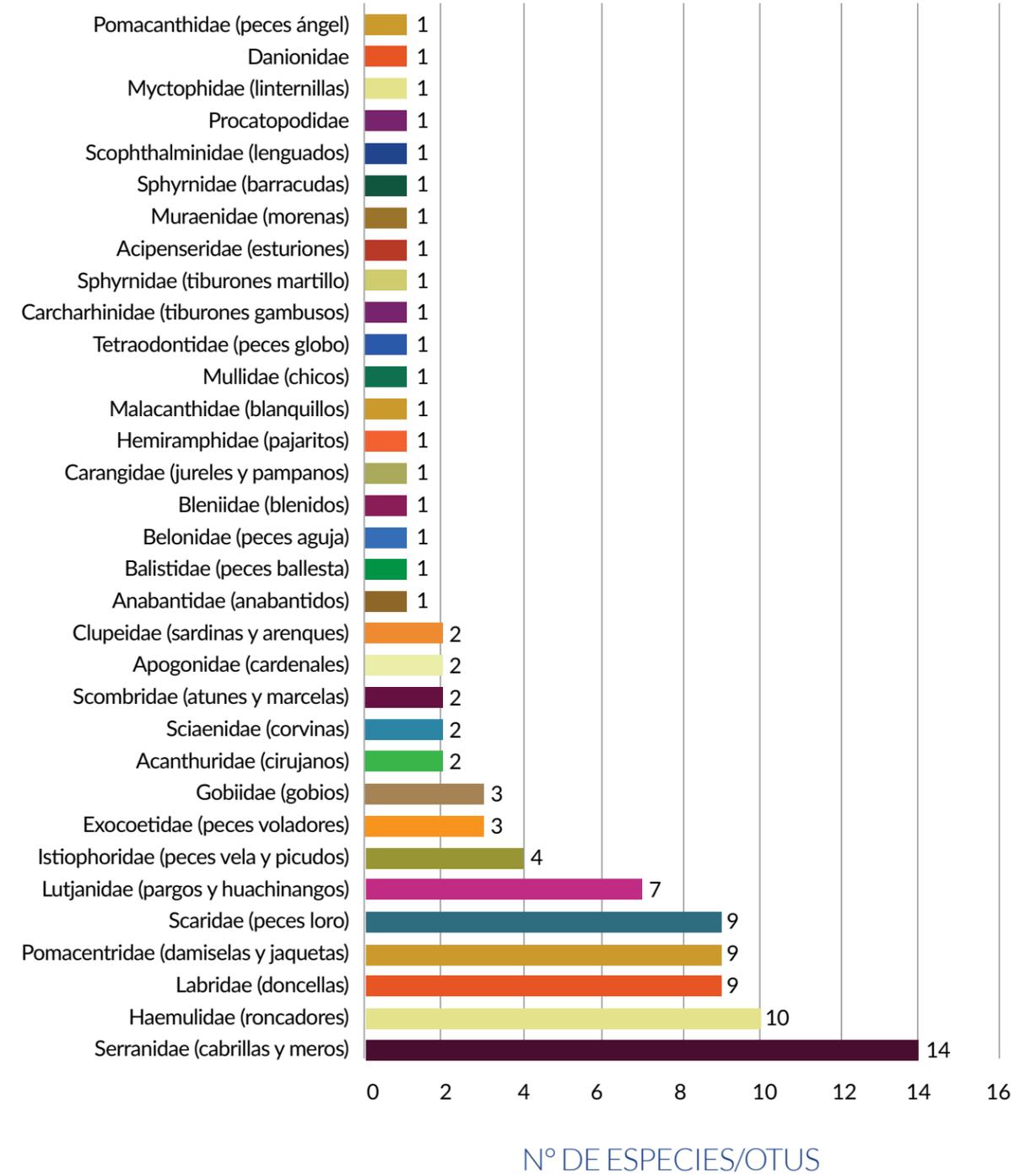


Figura 7. Familias de peces óseos y cartilaginosos registrados con ADN ambiental en la expedición científica en Bajos del Norte.

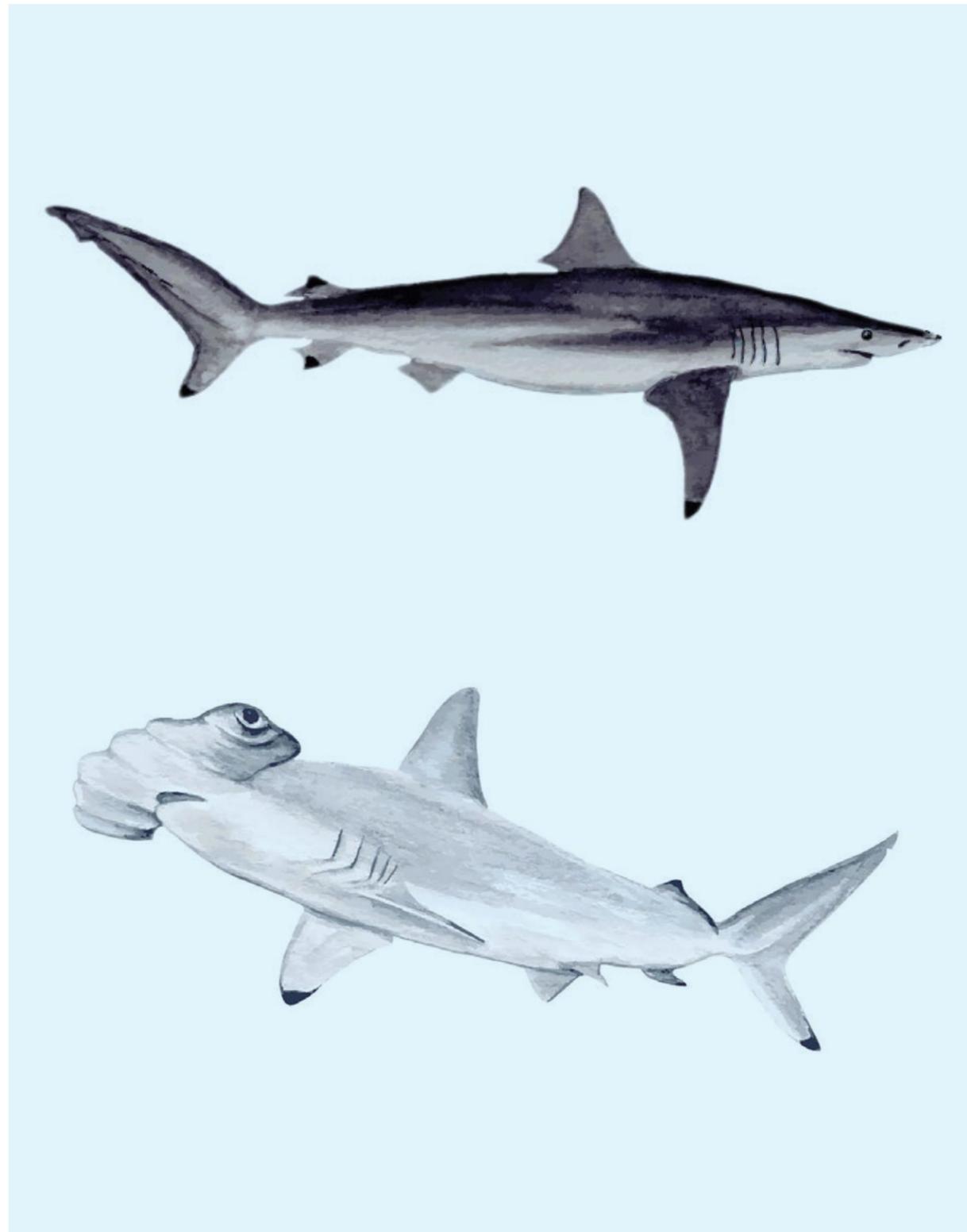


Figura 8. De arriba abajo: tiburón curro o punta de lápiz (*C. brevipinna*); tiburón martillo común (*S. lewini*).

Por otra parte, encontramos diferencia entre los sitios que se monitorearon a diferente profundidad: sitios profundos (28-91 m) y los sitios de poca profundidad (15-22 m); en los primeros observamos una alta diversidad de peces, algas y microalgas, mientras que en los segundos hay mayor diversidad de crustáceos, esponjas, corales, entre otros animales multicelulares.

5.2.2 BIODIVERSIDAD BENTÓNICA

El grupo de organismos que habita en el fondo o sustrato de los ecosistemas acuáticos se conoce como *organismos bentónicos* o *bentos*. En Bajos del Norte, la investigación sobre invertebrados enfocó los esfuerzos en registrar las especies de los siguientes invertebrados: crustáceos, moluscos, equinodermos (estrellas de mar, erizos y “ofuros” o estrellas quebradizas) y corales duros⁸. Para determinar la diversidad de los invertebrados móviles se realizaron buceos diurnos y nocturnos durante muestreos libres, incluyendo su búsqueda en el sustrato y recolecta para identificarlos en el laboratorio [8], (Figura 9). Para evaluar el tipo de sustrato y la salud de los corales se utilizó el protocolo del Programa de Evaluación Rápida de Arrecifes del Atlántico y Golfo (AGRRA por sus siglas en inglés; www.agrra.org).

8. Los corales duros o pétreos son animales marinos conocidos como corales escleractinios por producir “escleritos” que les dan protección y la función de arquitectos de los arrecifes de coral. Al ser fijos al sustrato marino, su principal fuente de alimento la consiguen con ayuda de organismos unicelulares que hacen fotosíntesis en su interior.



Figura 9. Monitoreo de diversidad bentónica en la expedición científica en Bajos del Norte.

Como resultado de la investigación de la biodiversidad bentónica encontramos 87 nuevos registros de invertebrados para especies en Bajos del Norte: 35 crustáceos, 30 moluscos, 22 estrellas quebradizas, además de confirmar la presencia de 19 especies de corales duros. El análisis de los datos muestra que aún hay especies no conocidas, por lo que estos números incrementarán conforme se conozca más del lugar.

Las bases de datos de biodiversidad pueden consultarse en los siguientes enlaces:

➔ Fauna arrecifal asociada a Bajos del Norte y PNAA

<https://www.gbif.org/dataset/62e64650-180c-4015-be50-60373908a17b#-contacts>

<https://zenodo.org/record/5911893#.YkSwLyjMKM8>

➔ Corales, Orden Scleractinia asociados a Bajos del Norte y PNAA

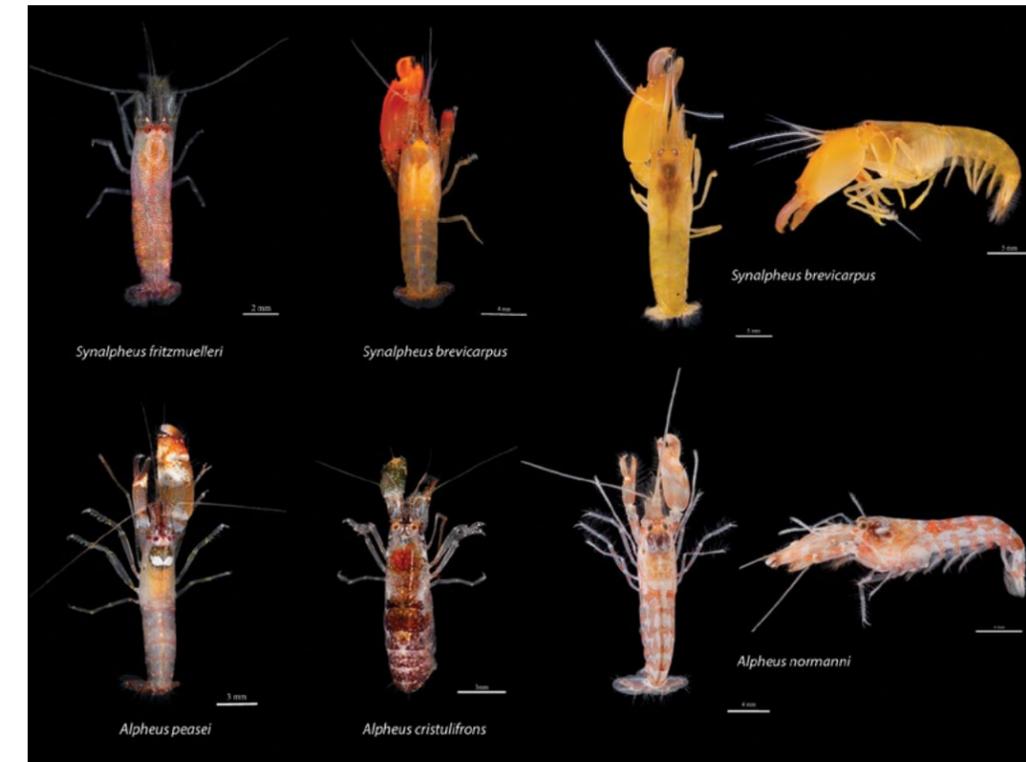
<https://www.gbif.org/dataset/7850d90f-6fba-4240-b7ec-34ef7bebd518>

<https://zenodo.org/record/5911878#.YkSwMijMKM8>

5.2.2.1 CRUSTÁCEOS

Del grupo de los crustáceos se registraron 35 especies representando a 15 familias y 25 géneros. Las especies más numerosas fueron de los “alfeidos”, camarones pistola o chasqueadores⁹ (llamados así por el ruido que producen al cerrar sus pinzas), seguidos por los cangrejos ermitaños (Figura 10). El cangrejo araña (*Teleophrys ruber*) fue el más abundante, encontrándose dentro o cerca de esponjas y anémonas (Anexo 1). Las interacciones que hay entre los grupos de invertebrados marinos es un ejemplo de la complejidad de los arrecifes de corales, por lo cual mantener estos ecosistemas sanos promueve la continuidad de estas interacciones como parte fundamental en la buena función de los arrecifes.

En el enlace <https://marinespeciesinteractions.org/ProyectoAlacranes/> se pueden consultar las interacciones encontradas en los grupos de crustáceos, moluscos y equinodermos que se registraron durante la expedición.



9. Todos los nombres comunes de las especies de crustáceos, moluscos, equinodermos y corales fueron tomados de <https://www.naturalista.mx/>

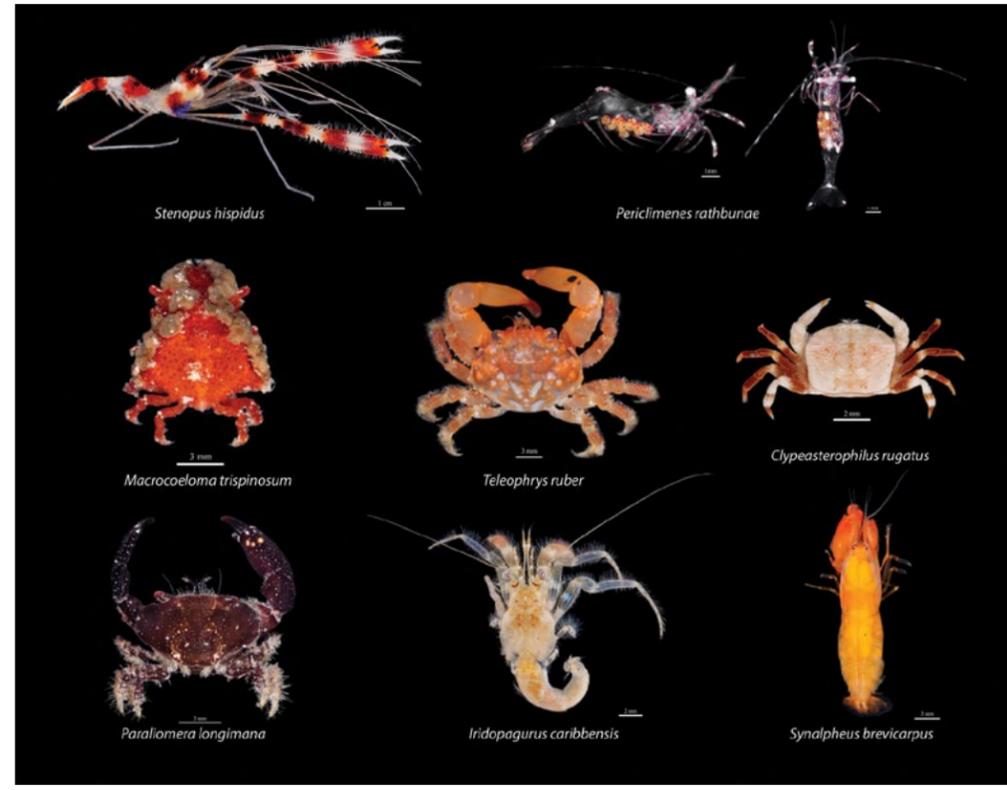


Figura 10. Ejemplares de crustáceos (camarones y cangrejos) en Bajos del Norte.



Figura 11. Grupos de moluscos identificados durante la expedición científica a Bajos del Norte. La línea blanca es la referencia de 1 cm.

5.2.2.2 MOLUSCOS

Durante los buceos se registraron un total de 30 especies de moluscos (ej. almejas, ostras, caracoles, babosas, calamares y pulpos) que pertenecen a 25 familias y 29 géneros [9]. La mayoría de las especies encontradas son del grupo de los caracoles y babosas marinas o nudibranchios (63%) lo que no es de extrañarse ya que los caracoles pertenecen al grupo más extenso dentro de los moluscos (Figura 11; Anexo 2). Un hallazgo destacable de la expedición fue un par de organismos del género *Calliostoma* sp. que podrían pertenecer a una nueva especie, registro que podrá ser confirmado mediante análisis genéticos futuros (Figura 12).

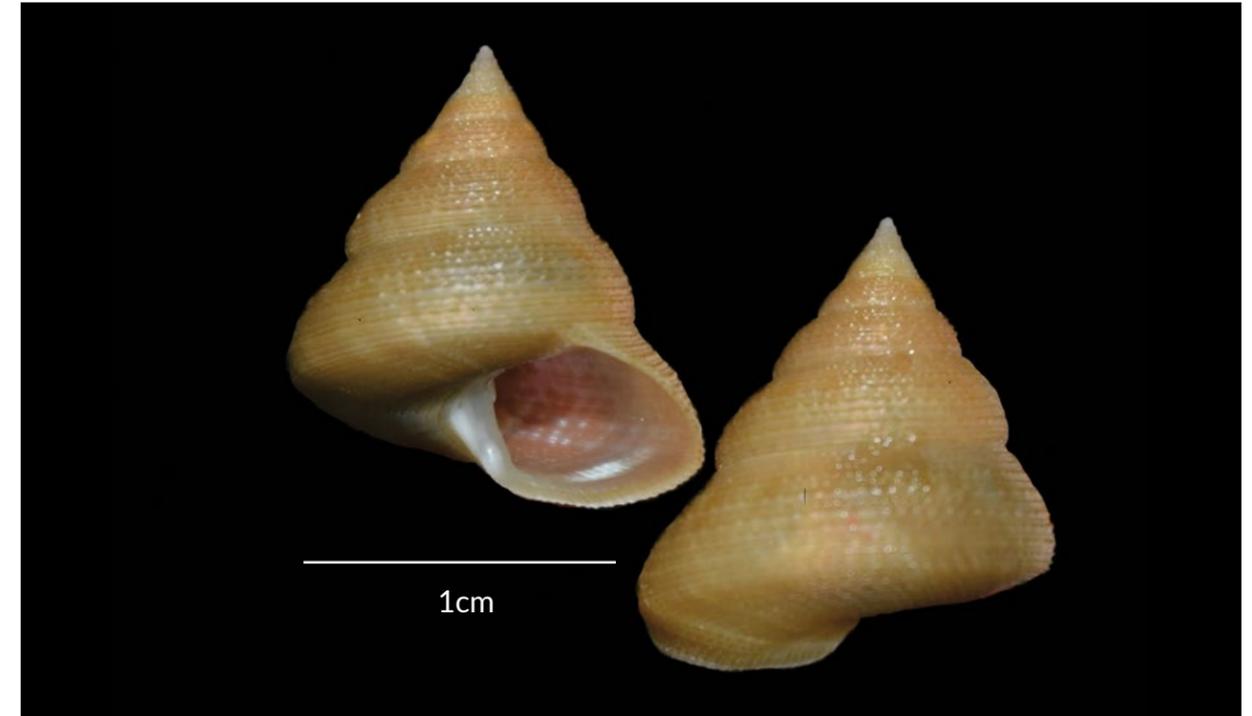


Figura 12. Imagen de *Calliostoma* sp. nuevo registro en Bajos del Norte.

5.2.2.3 EQUINODERMOS

Durante la expedición se encontraron 22 especies de ofiuros o estrellas quebradizas del grupo de los equinodermos, clasificadas en 12 familias y 15 géneros [10, 11, 12], (Anexo 3). Estas se pueden distinguir por tener un disco central con cinco brazos móviles articulados y largos que pueden regenerarse en caso de perderlos (Figura 13).

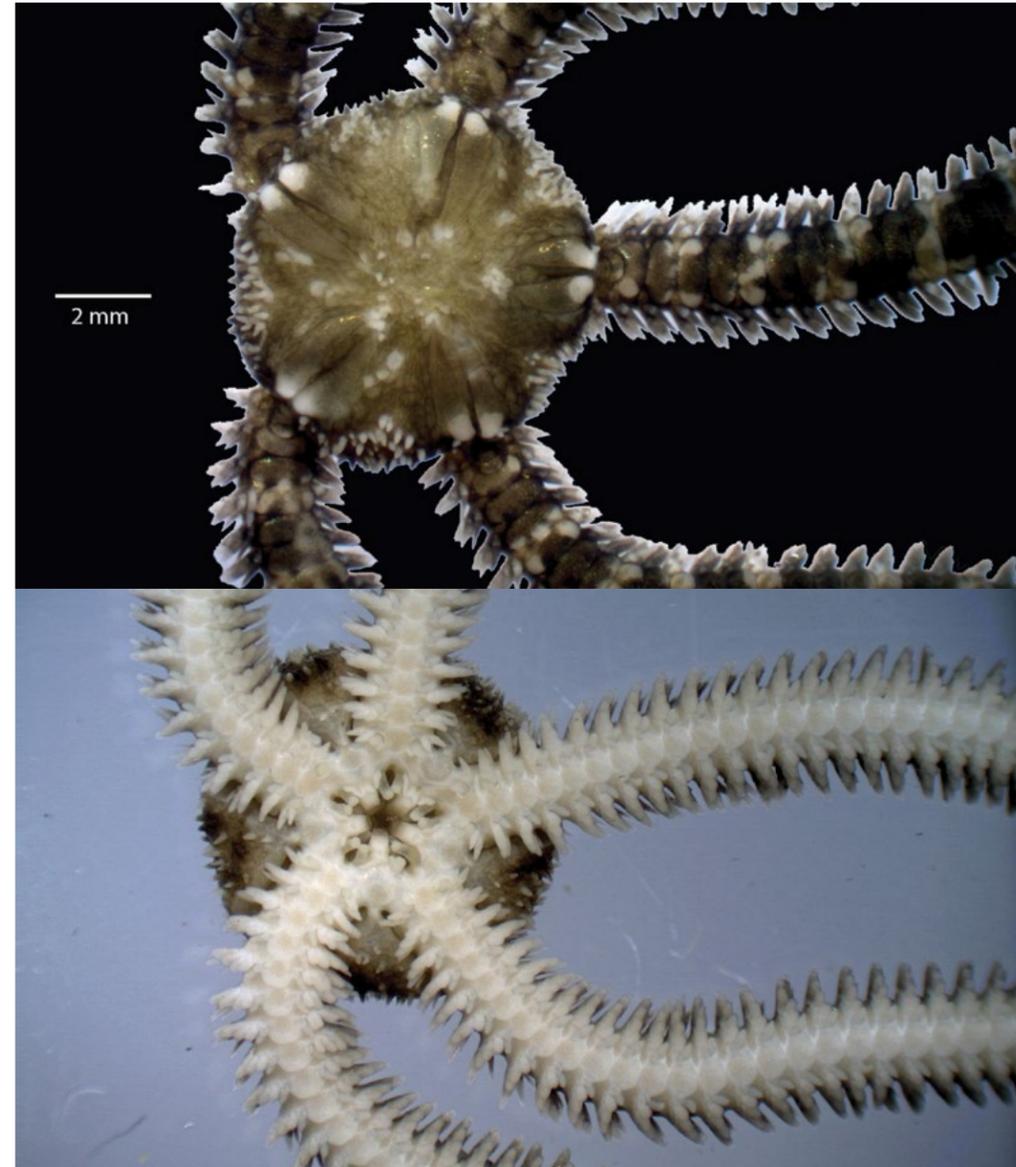


Figura 13. Imagen de una estrella quebradiza (*Ophiactis quinqueradia*) encontrada durante la expedición científica en Bajos del Norte. Vista dorsal (arriba) y ventral (abajo).

5.2.2.4 CORALES

Para conocer la comunidad de corales duros se utilizó el protocolo AGRRA, que consiste en registrar todas las colonias de corales duros a lo largo de una banda de 10 metros de largo, además de registrar el tamaño, heridas y/o enfermedades presentes (Figura 14). Durante el monitoreo se tomaron fotografías de cada especie encontrada.



Foto 14. Monitoreos en los arrecifes de corales durante la expedición científica en Bajos del Norte.

En los muestreos de Bajos del Norte se identificaron un total de 19 especies de corales escleractinios conocidos como corales duros o pétreos con un total de 1,158 colonias registradas [13, 14] (Figura 15). La especie coral *Porites astreoides* fue la más abundante en cuatro de los sitios, seguida de *Agaricia humilis*, *Orbicella faveolata* (especie amenazada, enlistada en la NOM-059-SE-MARNAT-2010), *Favia fragum*, *Porites porites* y *Madracis auretenra*. El coral de fuego (género *Millepora*) fue registrado al considerarse una especie indicadora del estado de salud en los arrecifes.



Figura 15. Diversidad de especies de corales registrados en Bajos del Norte.

Hay varias causas de muerte para las colonias de corales, entre las principales está el incremento en la temperatura del mar por un tiempo prolongado, aumento de frecuencia e intensidad en las tormentas tropicales, aumento en la acidificación del océano, enfermedades/síndromes, entre otras [1]. Para registrar la mortalidad de las colonias de coral durante el protocolo AGRR se distinguen dos tipos: 1) la mortalidad antigua, que se registra cuando se observan esqueletos muertos que ya perdieron el color blanco y que se encuentran cubiertos por algas, por lo que ya no es posible determinar el momento de la muerte; y 2) la mortalidad reciente, en la que puede observarse el esqueleto de coral blanco y limpio de algas, lo que indica que en ese momento algún factor en el ambiente está causando la muerte de la colonia. Todos los sitios visitados en Bajos del Norte mostraron mortalidad antigua por arriba del 25%, mientras que la mortalidad nueva de las colonias registradas estuvo en menos del 0.1%. Lo anterior es importante ya que la mayor mortalidad registrada sucedió en algún momento del pasado, mientras que durante el monitoreo la mortalidad reciente fue baja, lo que significa que las colonias de corales al momento del monitoreo se encontraron estables. Las colonias de corales afectadas son de diferentes especies, por lo que en unos sitios se vieron más afectadas unas especies que otras, esto es importante ya que la mortalidad registrada no se enfocó en una sola especie, es decir, en un escenario de recuperación, y existen grandes posibilidades de que las diferentes especies afectadas puedan incrementar sus números.

El blanqueamiento de corales es un síntoma de su mortandad que se caracteriza por la pérdida de las microalgas que ayudan a la alimentación del coral y les dan sus colores. Este fenómeno se relaciona con el incremento de la temperatura del mar por periodos prolongados, aunque también puede ser debido a la turbidez del agua y/o aumento en la cantidad del sedimento [14 y 15]. En Bajos del Norte se observó blanqueamiento en siete de los nueve sitios. Las colonias de corales que lo presentaron tuvieron alrededor del 10% de afectación, es decir, aunque en la mayoría de los sitios se observó blanqueamiento tuvo bajo impacto sin causar la muerte del coral (Figura 16).

Se registraron signos de enfermedades o síndromes (cuando no se conoce el patógeno responsable de la enfermedad) y parásitos en los sitios estudiados en Bajos del Norte que afectan a las especies de corales de manera distinta (Figura 15).

- El síndrome de manchas oscuras (*Dark Spots Syndrome*, DSS por sus siglas en inglés), puede causar la muerte del coral [16]. Estuvo presente en la mayoría de los sitios afectando un bajo porcentaje de los corales, menos del 5% de las colonias registradas. Se distingue por un cambio de coloración en la superficie del coral en forma de manchas, por lo que se ven parches marrones en los corales afectados.
- Enfermedad de banda negra (*Black Band Disease*, BBD por sus siglas en inglés) fue observada en dos sitios. Se caracteriza por una banda oscura que avanza progresivamente sobre el coral dejando a su paso el coral muerto [16].
- Por otra parte, los gusanos poliquetos son parásitos que causan lesiones leves no letales; estos fueron comunes en más de la mitad de los sitios muestreados.



Figura 16. Corales enfermos registrados durante la expedición científica en Bajos del Norte. Izquierda coral *Orbicella faveolata* con blanqueamiento; derecha coral *Colpophyllia natans* con mortalidad reciente (colonia en blanco) y antigua (colonia cubierta de algas).

5.2.3. FOTOGRAMETRÍA, MAPAS 3D Y SALUD DE LOS ARRECIFES

Es la primera expedición científica donde se realizan mapas 3D del fondo arrecifal en Bajos del Norte. La fotogrametría arrecifal es una técnica en la cual se realizan series de fotografías digitales de alta definición que se procesan en varios programas de imágenes y procesamiento de datos que dan como resultado la reconstrucción digital en 3D del terreno muestreado. Esto permite analizar en la computadora aspectos particulares de los organismos bentónicos fijados al fondo marino donde se pueden identificar detalles y patrones del arrecife que no se lograrían fácilmente en campo con el tiempo limitado de los buceos.

Durante la expedición científica fueron marcados siete sitios para esta técnica de fotogrametría, cubriendo así una superficie total de 700 m² (100 m² por cada sitio). Se tomaron 58,706 fotografías de alta definición (1.26 TB de información) para la elaboración y análisis de los siete sitios en Bajos del Norte.

El procesamiento y análisis de las imágenes permitieron observar la complejidad de la estructura del arrecife en Bajos del Norte de forma tridimensional, destacando la alta rugosidad de fondo del arrecife, importante al brindar servicios como: refugio, protección contra depredadores y diferencias en el hábitat (Figura 17). Una de las grandes ventajas de esta metodología es su uso potencial en el futuro ya que permite visualizar patrones y cambios en los sitios estudiados y responder preguntas relacionadas a cambios en el uso de estos ecosistemas o impactos que permiten la intervención a tiempo para su conservación a largo plazo.



Figura 17. Imagen 3D elaborada con las series de fotografías tomadas durante la expedición científica en Bajos del Norte.

Los Bajos del Norte se caracterizan por no tener una región terrestre en la superficie, lo que se refleja en una comunidad arrecifal más homogénea en comparación con el PNAA. La riqueza de especies coralinas para los Bajos del Norte con mapas 3D fue de 16 especies, siendo dominantes los corales como *Orbicella faveolata*, *Montastrea caversona*, *Porites porites* y *Porites furcata*.

El análisis de los mapas permitió obtener características de los sitios como: cobertura de coral vivo, cobertura de coral muerto, cobertura de algas y rugosidad, y poder comparar su similitud entre Bajos del Norte y PNAA observando diferencias entre las comunidades coralinas y compartiendo solo nueve especies de corales (Figura 18).

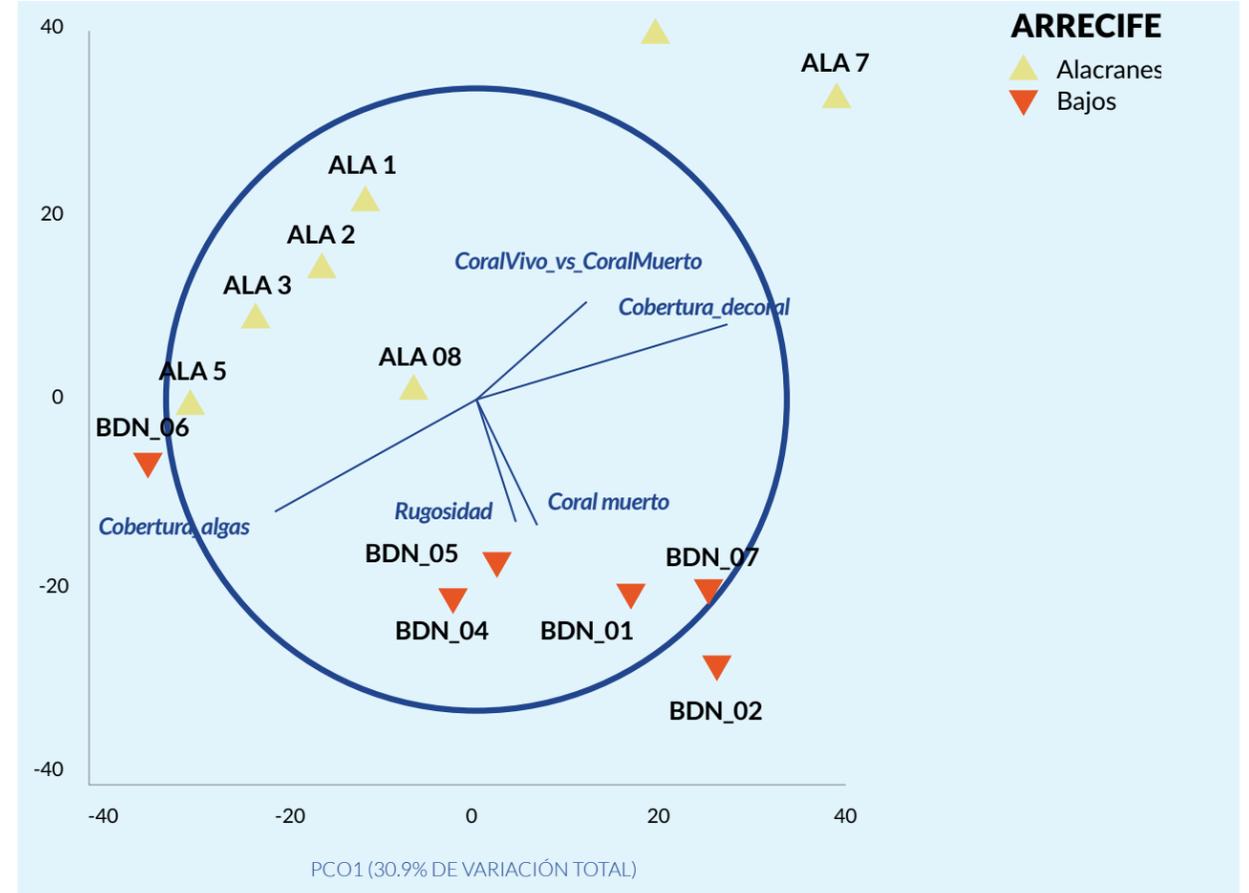


Figura 18. Gráfica de similitud entre los puntos de monitoreo de Bajos del Norte (naranja) y PNAA (amarillo). La distancia entre los puntos representa la similitud entre cada sitio. En el PNAA: ALA 1 (Tabasco), ALA 2 (Langosta), ALA 3 (Hongos), ALA 5 (El Arco), ALA 6 (Vapor), ALA 7 (Tweed) y ALA 8 (Marisol); en Bajos del Norte BDN_01 (Andrea), BDN_02 (Paso del Zorro 1), BDN_04 (Paso del Zorro 2), BDN_05 (Agüitas), BDN_06 (La Loma) y BDN_07 (La Loma).

La gráfica muestra la similitud entre los diferentes puntos monitoreados de PNAA (amarillo) y los Bajos del Norte (naranja). Donde se aprecia que los puntos amarillos están más dispersos es porque tiene una distancia mayor entre cada uno de ellos, esto significa que Alacranes es más variable en hábitats que los Bajos del Norte. Los puntos naranjas tienen una dispersión menor, todos están más juntos, lo cual significa que la variación entre los sitios de muestreo en los Bajos es menor. Por otra parte, el círculo azul y las líneas indican las características ambientales que están relacionadas con las diferencias entre los sitios. Por ejemplo, los sitios de los Bajos del Norte son sitios más rugosos y con mayor mortandad coralina que los sitios muestreados en el PNAA. Los sitios de Alacranes que se encuentran en la región superior son puntos que pre-

sentan una alta cobertura coralina. Por último, los puntos cercanos a la esquina inferior izquierda de la gráfica son regiones con mayor cobertura de algas.

En cuanto a la salud de los arrecifes, se observó que las macroalgas fueron el tipo de organismos bentónicos más abundantes registradas en 56% de los sitios estudiados, mientras que la cobertura de los corales varió entre el 13% al 38% (Figura 19) dependiendo de cada sitio. Estas características son uno de los componentes para evaluar el estado de salud de los arrecifes.

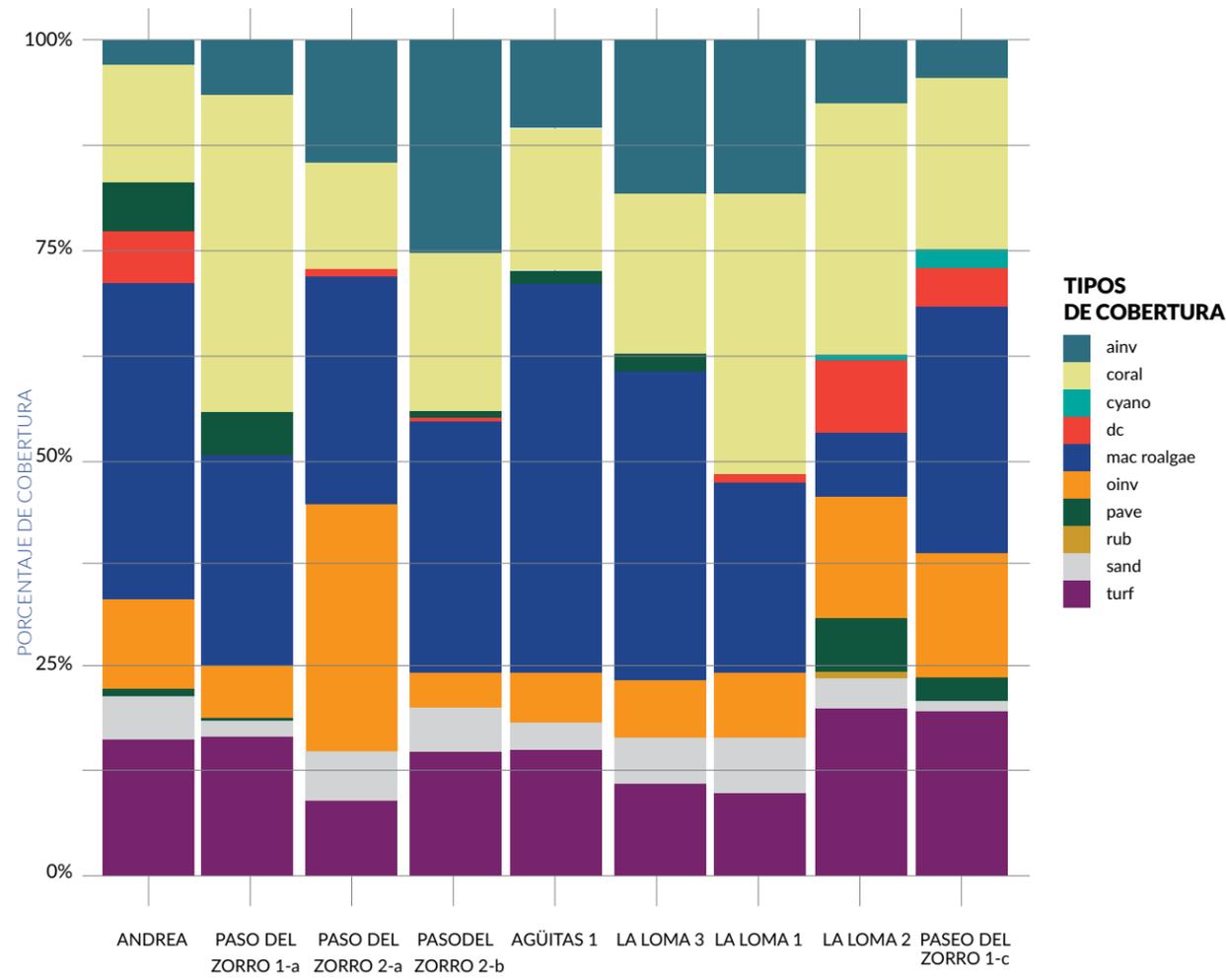


Figura 19. Cobertura bentónica para los sitios monitoreados en Bajos del Norte. AINV: invertidos; coral: corales duros; CYANO: cualquier cianobacteria; DC: coral muerto; MACROALGAE: cualquier macroalga, OINV: otros invertidos fijos; PAVE: pavimento de carbonato; RUB: pedacería de coral; SAND: arena; TURF: césped algal.

Otra manera de estimar la salud del ecosistema es a través del Índice Integral de Salud Arrecifal que tiene valores de 1 a 5. Este índice considera darles valores a las coberturas de coral vivo y coral muerto, de macroalgas, de invertebrados en el fondo marino, y de esponjas. La calificación final se agrupa en las siguientes categorías:

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
MUY BIEN	4.3-5.0
BIEN	3.5-4.2
REGULAR	2.7-3.4
MAL	1.9-2.6
CRÍTICO	1.0-1.8

En Bajos del Norte se evaluaron 6 sitios: Andrea (BN05), Agüitas (BN06), Paso del Zorro 1 (BN15), Paso del Zorro 2 (BN11), y La Loma 1 (BN_08) obtuvieron calificación “Regular”; mientras La Loma 3 (BN10) su calificación fue “Mal”. El promedio de los sitios dio una calificación de 2.9 para Bajos del Norte, es decir, “Regular”, lo que pone en evidencia la necesidad de realizar acciones para conservar la biodiversidad que resguarda.

5.2.5. PECES EN EL ARRECIFE

En el monitoreo de peces en los arrecifes de Bajos del Norte fueron usados transectos de 50 metros para el registro de especies por observación directa, además de hacer videos que fueron analizados para confirmar lo observado en campo [17]. También se registraron los datos de localización, temperatura, profundidad y condiciones ambientales.

En un total de 6 buceos identificamos 47 especies de peces que pertenecen a 24 familias y 15 órdenes [18], (Figura 20; Anexo 4).



Figura 20. Especies de peces identificados *in situ* durante la expedición en Bajos del Norte.

Las especies con mayor número de individuos encontrados fueron damisela café (*Chromis multilineata*, y damisela azul (*Chromis cyaena*) con densidad de 3 individuos/m² en todos los sitios de muestreo, seguidas por el pez cara de cotorra (*Thalassoma bifasciatum*) con 1.2 individuos/m² y pez loreto (*Gramma loreto*) con 1 individuo/m². Estos resultados son indicadores de un ecosistema en equilibrio y sano.

Se observaron grupos de peces loro (*Scarus spp*) lo que es importante para el mantenimiento de un arrecife sano. Otras especies registradas fueron el tiburón puntas blancas de arrecife (*Triaenodon obesus*) y barracuda (*Sphyaena barracuda*), además de la presencia de juveniles y crías de peces en todos los sitios monitoreados en Bajos del Norte, lo que es una señal de buena salud y brindando las funciones del arrecife como resguardo y semillero de poblaciones de diferentes especies.

Un dato sobresaliente de la expedición fue la observación de la presencia de pez león (*P. volitans*; Figura 21), lo cual es importante ya que:

- Es una especie nativa del Indo-Pacífico, donde habita las aguas tropicales, principalmente arrecifes, con temperaturas entre los 14°C a 28°C, y profundidades de los 10m a los 175m.
- Es una especie invasora, altamente agresiva para el equilibrio de los arrecifes donde es introducido, siendo un depredador muy competitivo por la comida de otras especies nativas [19].
- En diciembre de 2009 se colectaron dos ejemplares del pez león en el Caribe mexicano, siendo el primer registro de su presencia en la zona [20]. Desde entonces se han continuado reportando en diferentes sitios del Banco Campeche.
- Se alimenta de gran diversidad de animales marinos, sus huevos y crías. Al ser de “reciente” introducción aún pasa desapercibido como depredador para las especies nativas.
- Carece de un depredador común en los sitios donde ha sido introducido.
- Presenta espinas venenosas como defensa, haciéndolo poco apetecible para muchos peces.
- Es generalista tanto en su dieta como en su hábitat, por lo que es muy adaptable. Se le ha encontrado en manglares, pastos marinos e incluso lagunas costeras.
- Se reproduce todo el año y puede vivir hasta 10 años. Cada hembra puede producir hasta 40,000 huevos y desovar cada tres días [21].
- En México, está en la categoría de riesgo “Muy alto” en el sistema de información sobre especies invasoras [22].



Figura 21. Presencia del pez león registrada durante la expedición científica en Bajos del Norte.

5.3 ARRECIFE ALACRANES

En la expedición científica en el Parque Nacional Arrecife Alacranes del 2 al 5 de septiembre de 2021, se realizó un esfuerzo total de 16 buceos. Los monitoreos que se llevaron a cabo para corales y bentos fueron por fotogrametría y con el protocolo AGRRRA.

5.3.1 BIODIVERSIDAD DE CORALES DUROS

La diversidad coralina en el PNAA fue de 19 especies de corales duros registrados en siete sitios de monitoreo realizado con el protocolo AGRRRA corales [3, 14], (Figura 22). También se observó al coral negro (*Plumapathes pennacea*), una especie protegida por las leyes mexicanas debido a la disminución de sus colonias por la sobreexplotación comercial.

Aquí encontramos que la composición de la comunidad de corales es diferente entre los sitios visitados en Arrecife Alacranes. Los corales cerebro (*Pseudodiploria strigosa*) fueron la especie más abundante en los sitios El Arco, Tweed y Vapor. El coral *Siderastrea siderea* fue la más abundante en el sitio Tabasco, mientras que en el sitio Hongos dominó el coral *Orbicella faveolata* y en el sitio Langosta el coral *Orbicella annularis*. Una de las especies que tiene mayor impacto en la construcción de los ecosistemas coralinos es el coral cuerno de alce (*Acropora palmata*), que fue registrado en los sitios Vapor, Tweed y Canal de Anegados.

La mortalidad reciente de corales fue observada en 4 de los 8 sitios visitados, teniendo una gran variación entre sitios Vapor con 7% y Marisol con 37% de afectación en las 8 colonias que la presentaron. También se registró mortalidad antigua en 142 colonias, es decir, fue más frecuente que la mortalidad reciente encontrándose corales muertos cubiertos con algas y animales bentónicos. La mortalidad antigua afectó más al sitio de Tabasco con 45% de las colonias re-

gistradas, el resto de los sitios presentó alrededor del 20% con excepción del sitio Marisol que fue el de menor afectación con 14% de las colonias.

Tres de las especies registradas se encuentran protegidas en la NOM-059-SE-MARNAT-2010: *Acropora palmata* (sujeta a protección especial), *Orbicella annularis* (amenazada) y *Antipathes pennacea* (amenazada), esto es relevante al estar dentro de un ANP que les brinda protección.

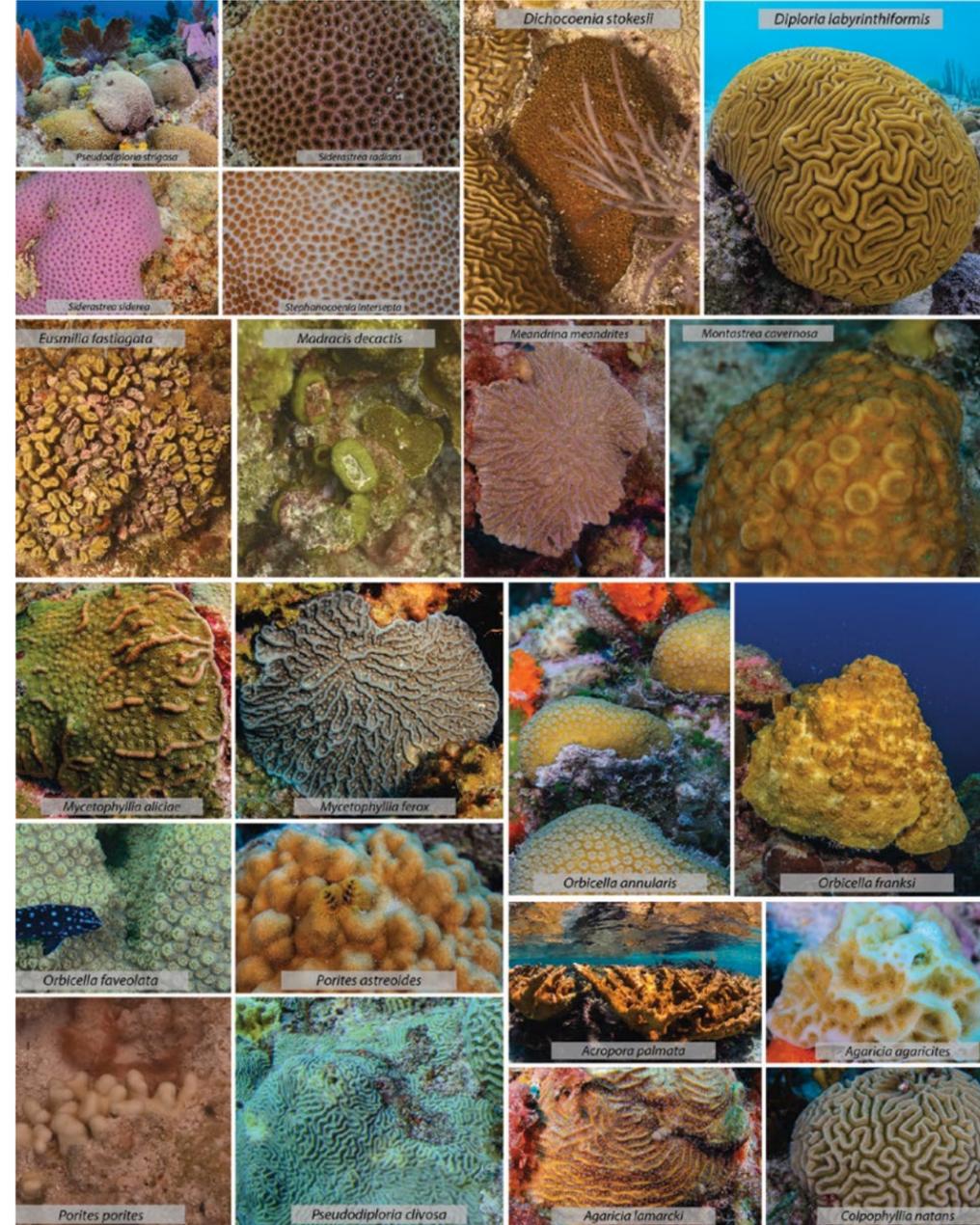


Figura 22. Diversidad de especies de corales duros registrada en el PNAA durante la expedición.

5.3.2 FOTOGRAMETRÍA, MAPAS 3D Y SALUD DE LOS ARRECIFES

Durante la expedición científica fueron visitados y marcados ocho sitios en el PNAA para el monitoreo por fotogrametría, abarcando una superficie total de 800 m² (100 m² por cada sitio), tomando 49,909 fotografías de alta definición (1.06 TB de información) para la elaboración y análisis de ocho mapas 3D de Arrecife Alacranes (Figura 23).

Con el análisis de los mapas 3D se identificaron 19 especies de corales duros en PNAA, siendo la más dominantes *Orbicella faveolata*, *O. franksi*, *Pseudodiploria strigosa* y *P. clivosa* (Figura 24). Alacranes es el arrecife más grande del sur del Golfo de México donde se han registrado 27 especies de corales duros, del total de 34 especies de corales [3] y la mayor variación en la diversidad de hábitats presentes de los arrecifes de la zona, incluyendo lugares como lagunas arrecifales, crestas arrecifales y arrecifes frontales.

Cabe destacar que el PNAA, al ser el sistema arrecifal coralino más grande del sur del Golfo de México, funciona como fuente de especies tanto de corales como de vertebrados e invertebrados para el resto de los sistemas arrecifales del Golfo, es decir, es una de las grandes reservas de organismos, aumentando así la resiliencia de la región y promoviendo la regeneración de estos ecosistemas después de una perturbación.

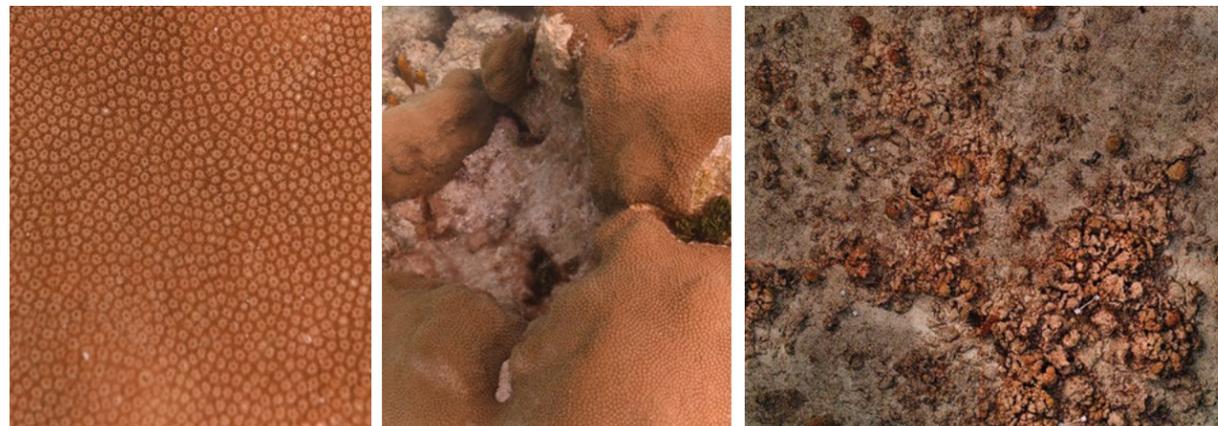
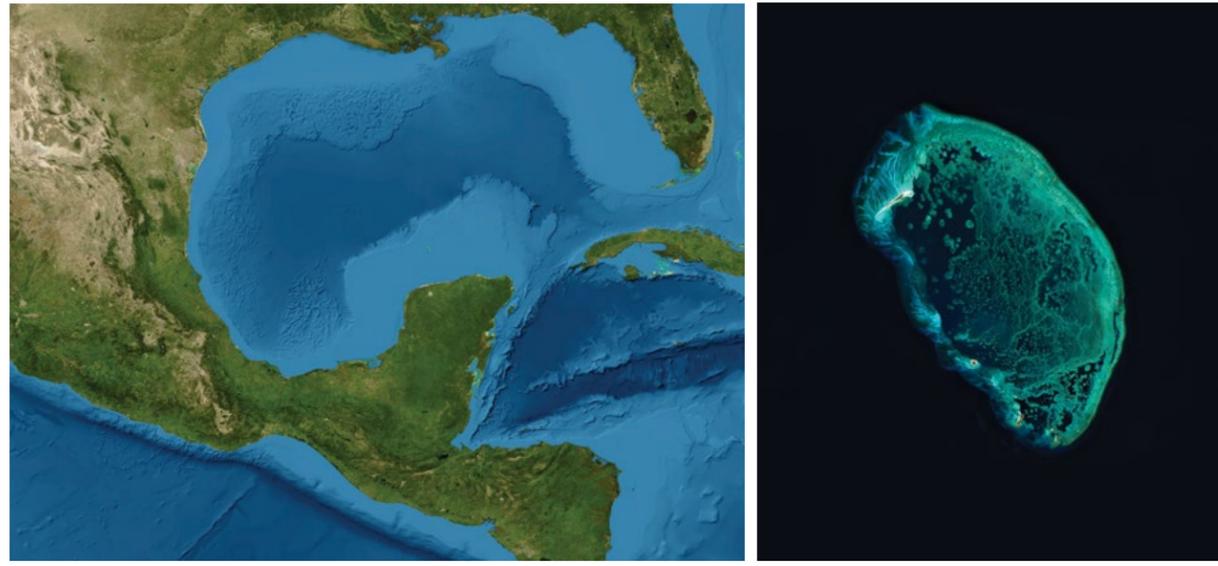
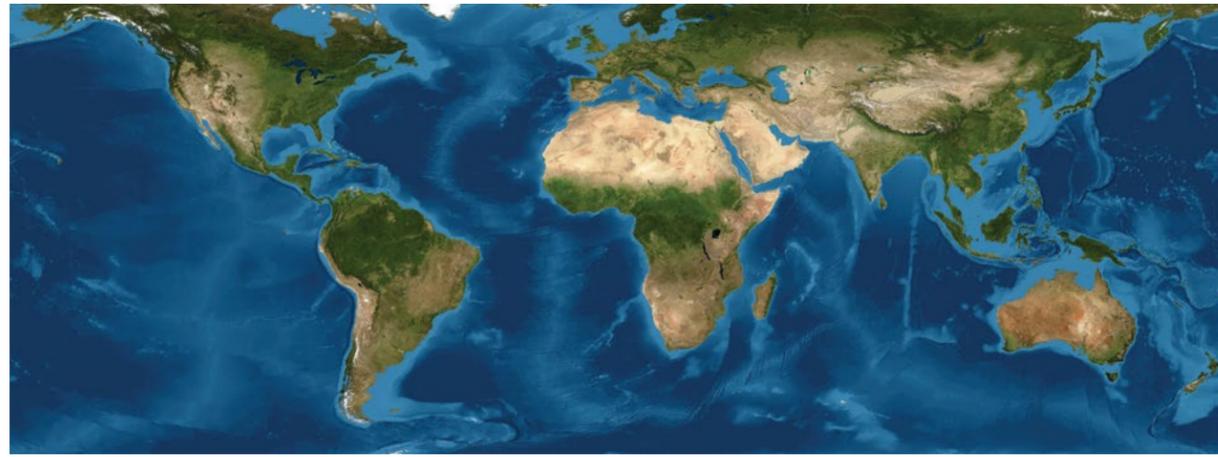


Figura 23. Ejemplo de la resolución espacial del que se obtiene del suelo arrecifal con mapas 3D, la resolución mínima del bentos o fondo marino es de 0.1 cm

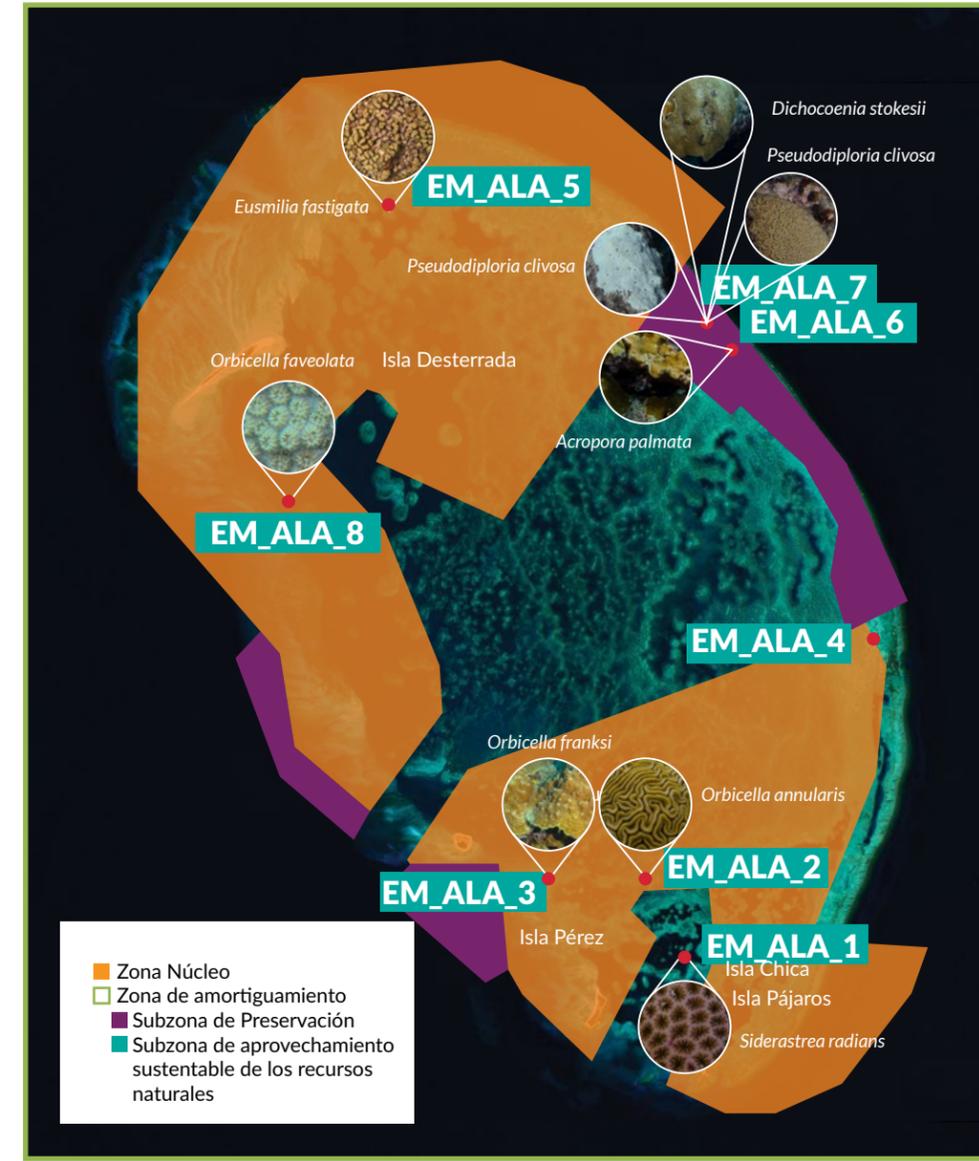


Figura 24. Mapa de los sitios estudiados en el PNAA con las especies características para cada sitio.

En los sitios del PNAA el tipo de sustrato (fondo marino) dominante fue el césped de algas en 5 de 8 sitios (Vapor, Tweed, Tabasco, Hongos y Marisol). En Langosta y Canal de Anegados dominó la arena, mientras que la cobertura de coral varió de entre el 1% en el sitio Tabasco al 28% en el Tweed. En El Arco dominaron las macroalgas con 47.3% (Figura 25). Esto es relevante ya que del sustrato depende lo que pueda crecer en él, además de dar información sobre coberturas de organismos que se utiliza para evaluar la salud del arrecife.

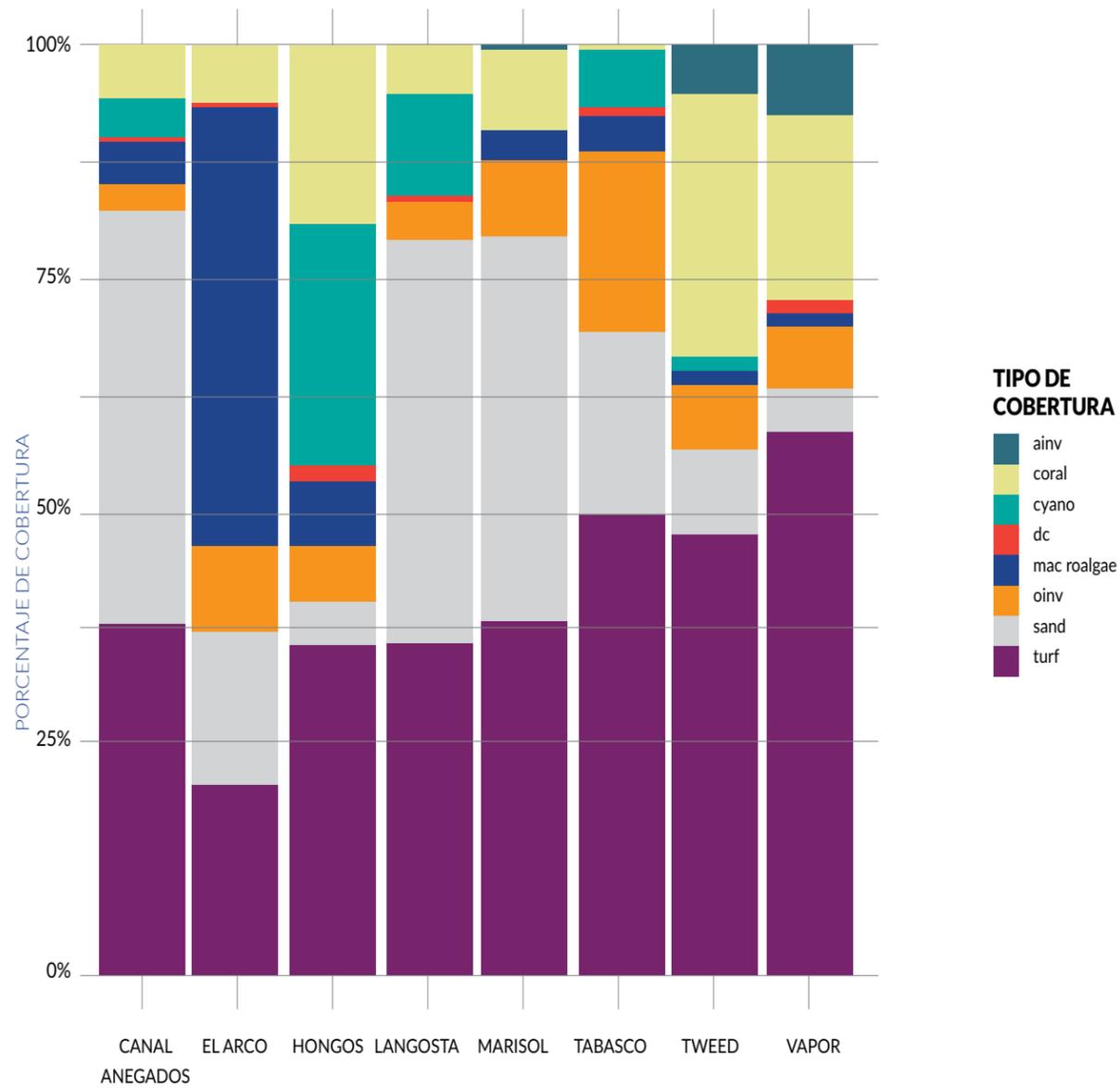


Figura 25. Cobertura bentónica para los sitios monitoreados en Arrecife Alacranes. AINV: invertebrados; coral: corales duros; CYANO: cualquier cianobacteria; DC: coral muerto; MACROALGAE: cualquier macroalga, OINV: otros invertebrados fijos; SAND: arena; TURF: césped algal.

En PNAA se evaluaron 7 sitios con el mismo Índice Integral de Salud Arrecifal utilizado previamente para los sitios de Bajos del Norte. En Alacranes los resultados fueron: Vapor (EM_ALA_6) y Tweed (EM_ALA_7) obtuvieron calificación “Muy Bien”, mientras que Tabasco (EM_ALA_1), Langosta (EM_ALA_2), Hongos (EM_ALA_3) y Marisol (EM_ALA_8) estuvieron en “Regular”, y el Arco (EM_ALA_5) en “Mal”. La calificación promedio en PNAA fue de 3.3, es decir “Regular”, teniendo sitios con muy buen estado de salud, y algunos en los que

es importante evaluar acciones para su recuperación, considerando que 4 de los sitios evaluados en salud “Regular” y uno en “Mal” están en zona núcleo.

En los sitios con mejor salud dominaron los corales como *Pseudodiplora strigosa*, *P. clivosa*, *Porites asteroides* y *Acropora palmata*, esta última es una especie constructora de arrecifes y es una especie prioritaria para la conservación. Es necesario prestar atención a los sitios de la región sur donde estuvieron evaluados como “Regular” por tener baja cobertura coralina, mucho sedimento y crecimiento de algas, lo que impide la recuperación de las colonias.

5.4 PESQUERÍAS EN LA ZONA BANCO DE CAMPECHE

Para conocer la situación de la pesca en Arrecife Alacranes y Bajos del Norte, se revisaron los registros de los barcos que tuvieron permisos de pesca en Yucatán durante el periodo entre enero 2009 a diciembre 2020. Cabe señalar que a partir de 2009 se implementaron dispositivos de seguimiento satelital en las embarcaciones permitiendo así dar seguimiento puntual de las rutas y sitios de pesca para poder relacionarlas con la cantidad y especies capturadas. Los resultados de las capturas de todas las especies indican estar por debajo de 15 toneladas, lo cual está dentro del rango permitido sin considerar una sobrepesca. Se observó que los atunes y similares, el pez espada, tiburón tigre y tiburón toro han sido capturados ocasionalmente, mientras que los tiburones (del género *Carcharhinus* y *Sphyrna*) se capturan frecuentemente.

Se encontró que las capturas de los peces óseos más frecuentes son de meros, huachinangos, pargos, mojarra (no tilapia), medregales y barracudas. Durante el periodo analizado, las capturas de cada especie de peces óseos no sobrepasaron 15 toneladas, es decir, están dentro del rango permitido. Sin embargo, la cantidad de pesca por especie varía a lo largo del año, siendo el mero rojo (*Epinephelus morio*) el más capturado, lo que no sorprende al ser el pescado comercial más buscado en Yucatán.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La conexión entre Arrecife Alacranes y Bajos del Norte es bidireccional y varía a lo largo del año dependiendo de las condiciones climáticas y biológicas presentes, esto tienen gran relevancia ya que otros estudios han mostrado que la salud de los arrecifes coralinos es mejor en las áreas protegidas que las que no lo están. Por lo anterior es fundamental la protección de Bajos del Norte para ampliar el ANP de los arrecifes en el Banco de Campeche y lograr su conservación a largo plazo.

Esta es la primera expedición científica en realizarse con el uso de herramientas de ADN ambiental, fotogrametría y mapas 3D en los Bajos del Norte, lo que es un gran avance para la ciencia marina en México. Además de los monitoreos AGRRA para bentos y corales, los monitoreos de biodiversidad de invertebrados, peces y estudio de corrientes conjuntaron información muy valiosa para establecer las bases en la toma de decisiones sobre temas de conservación de los arrecifes del Banco de Campeche y futuros estudios para monitorear la salud de los ecosistemas arrecifales y especies comerciales importantes de esta área.

La presencia de un mayor número de especies sin registrar fue evidente tanto con los estudios moleculares del ADN ambiental como en los análisis de datos de los monitoreos de fauna marina, lo que señala la importancia proteger dentro de un ANP los ecosistemas en los Bajos del Norte

Se encontró que la comunidad de corales en los Bajos del Norte y de Alacranes es diferente y solo comparten 9 especies de las 19 encontradas para cada sitio, lo que hace de Bajos del Norte un lugar que resguarda especies diferentes y contribuye al aumento de la biodiversidad del Banco de Campeche. Arrecife Alacranes, al ser el sistema arrecifal más grande del sur del Golfo de México,

es fuente de especies, tanto de corales como otros invertebrados y vertebrados marinos para el resto de los sistemas arrecifales del Golfo. Mantiene refugio y zonas de reproducción de especies marinas, lo que ayuda a la regeneración de sitios cercanos cuando estos han sido perturbados por causas naturales o humanas.

Se registraron tres especies de corales en PNAA que están en alguna categoría de protección de NOM-059-SEMARNAT-2010, y una especie en Bajos del Norte.

La salud de los corales en los Bajos del Norte es buena pese a encontrar señales de enfermedades en varias colonias. El porcentaje de afectación es bajo, sin embargo, es necesario trazar acciones para la conservación de estos arrecifes que aún no están dentro de ninguna área protegida.

La salud de los arrecifes tanto en Bajos del Norte y PNAA se encontró en la categoría de “Regular”, estando PNAA en el límite para la categoría de “Bien”. Siendo un foco de atención a los sitios que se encontraron con categoría en salud arrecifal “Regular” y “Mal” para plantear estrategias de recuperación.

Los resultados del monitoreo de peces en Bajos del Norte muestran que los sitios presentan una diversidad y riqueza de peces conforme lo registrado para los arrecifes lejanos a la costa. La presencia de peces loro y cirujanos en todos los sitios es un buen indicador y de beneficio para la comunidad coralina ya que su pastoreo libera espacios rocosos que podrán ser colonizados por corales. Además, la presencia de peces jóvenes y crías es indicador de las funciones que mantiene un arrecife saludable.

El registro de la presencia del pez león en Bajos del Norte es una llamada para desarrollar e implementar un plan de control/erradicación antes de que aumenten sus números y haga un daño irreversible al ecosistema arrecifal.

El modelo de corrientes tiene una amplia gama para su aplicación y predicción de posibles escenarios, lo que permite anticipar y planear acciones para mitigar

sus efectos negativos en los arrecifes del PNAA y Bajos del Norte. Además, reconoce al PNAA y a Bajos del Norte como sitios importantes de conservación para especies de interés comercial que podrían ser refugios para el futuro de las pesquerías en esta zona.

La investigación multidisciplinaria (tal como lo fue la expedición científica), enriquece el conocimiento científico y genera información de gran valor para la toma de decisiones en materia de conservación protección y recuperación de nuestros ecosistemas marinos.

La evidencia muestra la necesidad de ampliar la zona de conservación de arrecifes en el Banco de Campeche, siendo los Bajos del Norte un área ideal al tener alta diversidad, conservar las funciones de los ecosistemas y estar a tiempo de conservar un sitio donde habitan cientos de especies marinas (algunas aún sin conocer) y otras tantas de importancia comercial.



7. LITERATURA CITADA

[1] Birkeland, R. (Ed.). 1997. Life and death of coral reefs. Chapman and Hall, Nueva York. 536 p

[2] Reaka-Kudla, M. L. 1997. "The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests," in Biodiversity II: Understanding and Protecting Our Biological Resources, eds M. L. Reaka-Kudla, D. E. Wilson, and E. O. Wilson (Washington, DC: Joseph Henry Press), 83-108.

[3] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2006. Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes. 1a Edición. Dirección General de Manejo para la Conservación. 165 p.

[4] Tuz-Sulub, A.; Cervera-Cervera, K.; Espinoza-Mendez, J.C.; Brulé, T. 2004. Preliminary characterization of the space distribution of several species of groupers (Epinephelinae: Epinephelini) in a spawning site in the Campeche Bank, Yucatan, Mexico Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 577-591.

[5] Valdivia-Carrillo, T., A. Rocha-Olivares, H. Reyes-Bonilla, J. Francisco Dominguez-Contreras, A. Munguia-Vega. 2021. Integrating edna metabarcoding and simultaneous underwater visual surveys to describe complex fish communities in a marine biodiversity hotspot. Molecular Ecology Resources, 21: 1558-1574.10.1111/1755-0998.13375

[6] Bakker, J., O. S. Wangensteen, C. Baillie, D. Buddo, D. D. Chapman, A. J. Gallagher, T. L. Guttridge, H. Hertler, S. Mariani. 2019. Biodiversity assessment of tropical shelf eukaryotic communities via pelagic edna metabarcoding. Ecology and Evolution, 9:14341-14355.10.1002/ece3.5871



[7] Huson, D. H., S. Beier, I. Flade, A. Gorska, M. El-Hadidi, S. Mitra, H. J. Ruscheweyh, R. Tappu. 2016. Megan community edition - Interactive exploration and analysis of large-scale microbiome sequencing data. *PLoS Computational Biology*, 12:e1004957. [10.1371/journal.pcbi.1004957](https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004957)

[8] Simoes N., D. Ugalde, I. Chacón, T. G. Mendoza, P. Homá-Canché y R. E. Castillo-Cupul. 2020. Actualización del conocimiento de la diversidad de especies de invertebrados marinos bentónicos de aguas someras (<50m) del Sur del Golfo de México. Facultad de Ciencias. Unidad Sisal-Yucatán. Universidad Nacional Autónoma de México. Bases de datos SNIB-CONABIO, proyecto NE018. Ciudad de México.

[9] Suárez-Mozo N., R.E Castillo-Cupul, D. Ortigosa-Gutiérrez, XG. Vital, P. Tapia-Díaz, F. Moretzsohn, D. Ugalde, D. Pech, S. Balan-Zetina, A. León-Hernández, T. Mendoza, P. HomáCanché, y N. Simões. 2020. Mollusk from the Gulf of Mexico and Mexican Caribbean at the "Colección Regional de Moluscos de la Península de Yucatán" UMDI-Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM, México. Version 1.0 Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3893283>.

[10] Hernández-Díaz Y.Q., F. Márquez-Borrás, E. Sulub, D. Pech, S. Balan-Zetina, A. León-Hernández, R. Sotelo, T. Mendoza, R.E. Castillo-Cupul, P. Homá-Canché, D. Ugalde, y N. Simões. 2020. Echinoderms from the Gulf of Mexico and Mexican Caribbean at the "Colección Regional de Equinodermos de la Penín-

sula de Yucatán" at UMDI-Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM, México. Version 1.0. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3893272>

[11] OBIS. <http://ipt.iobis.org/caribbeanobis/resource?r=coleccionequinodermosdeyucatan>.

[12] GBIF.org. 2021. GBIF Occurrence Download <http://doi.org/10.15468/dl.8pgqec>

[13] Beltrán-Torres, A. U., y J.P. Carricart-Ganivet. 1999. Lista revisada y clave para los corales pétreos zooxantelados (Hydrozoa: Milleporina; Anthozoa: Scleractinia) del Atlántico mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 4(47):813–829.

[14] Horta-Puga, G., J.M. Vargas-Hernández, y J.P. Carricart-Ganivet. 2007. Reef Corals, 95-101 pp. In: Tunnell Jr., J.W., K. Withers, y E. Chávez (eds.). *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press.

[15] Douglas, A. E. 2003. Coral bleaching--how and why?. *Marine pollution bulletin*, 46(4):385-392.

[16] Weil, E., G. Smith y D. L. Gil-Agudelo. 2006. Status and progress in coral reef disease research. *Diseases of Aquatic Organisms.*, 69(1):1-7.

Schenk, T. 2005. *Introduction to Photogrammetry*. Department of Civil and Environmental

Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, 79–95.

Habib, A. F., E. M. Kim, y C. J. Kim. 2007. New methodologies for true orthophoto generation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73(1):25–36.

[17] Caldwell Z.R., B.J. Zgliczynski, G.J. Williams, y S.A. Sandin. 2016. Reef Fish Survey Techniques: Assessing the Potential for Standardizing Methodologies. *PLoS One*, 11(4):e0153066. doi: 10.1371/journal.pone.0153066.

[18] Hoese, H. D., y R.H. Moore. 1998. *Fishes of the Gulf of Mexico*. Second Ed. Texas A&M University Press. 422 p.

[19] Albins, M.A., y M.A Hixon. 2013. Worst case scenario: potential long-term effects of invasive predatory lionfish (*Pterois volitans*) on Atlantic and Caribbean coral-reef communities. *Environ Biol Fish* 96, 1151–1157. <https://doi.org/10.1007/s10641-011-9795-1>

[20] Aguilar-Perera A. y A. Tuz-Sulub. 2010. Non-native, invasive red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]: Scorpaenidae), is first recorded in the southern Gulf of Mexico, off the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *Aquatic Invasions* 5:S9–S12, doi:10.3391/ai.2010.5.S1.003

[21] Villaseñor Derbez J.C. 2020. El Pez león: invasor en el caribe mexicano. CONABIO. *Biodiversitas*, 149:1-6.

[22] CONABIO. 2017. Evaluación rápida de invasividad de *Pterois volitans*. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 17 p.



8. TRIPULACIÓN A BORDO DE LA EXPEDICIÓN CIENTÍFICA OCEANA EN MÉXICO

STAFF OCEANA

- Mariana Reyna Fabián, Líder de la Expedición
- Miguel Rivas Soto
- Andrea Hierro
- Diana Amador Valdez

SUPERVISIÓN BUCEO CIENTÍFICO

- Laura Ivonne Martín Pérez

FOTÓGRAFOS Y CAMARÓGRAFOS

- Carlos Aguilera Calderón
- Jesús Erick Higuera Rivas
- Benjamín Magaña Rodríguez

INVESTIGADORAS E INVESTIGADORES

- Yoalli Quetzalli Hernández Díaz
- Jazmín Deneb Ortigosa Gutiérrez
- Gabriel Cervantes Campero
- Adrián Munguía Vega
- Alfonso Medellín Ortiz
- Esmeralda Alcantar
- Nicole Pedersen
- Antar Mijail Pérez Botello
- Rodrigo Adrián Rodríguez Vázquez



9. AGRADECIMIENTOS

A Blancpain por su contribución para la realización de la primera expedición científica de Oceana en México, “Proyecto Alacranes”.

Oceana también reconoce las contribuciones de Sobrato Philanthropies y la Fundación Wyss, cuyo apoyo es fundamental para la expedición y las campañas en curso de Oceana en México.

Nuestro agradecimiento y reconocimiento por todas las facilidades que nos brindó la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas así como el equipo del Parque Nacional Arrecife Alacranes.

Agradecemos al personal de la UNAM, campus Sisal, en especial al Dr. Nuno Simoes por el uso en las instalaciones del laboratorio y el resguardo en las colecciones científicas de los organismos colectados.

Agradecemos al equipo del *Scripps Institution of Oceanography*, en especial al Dr. Stuart Sandin, Nathaniel Hanna, Brian Zgliczynski, Clinton Edwards, Orion Mccarth y su equipo por la capacitación en campo y en el uso de softwares.

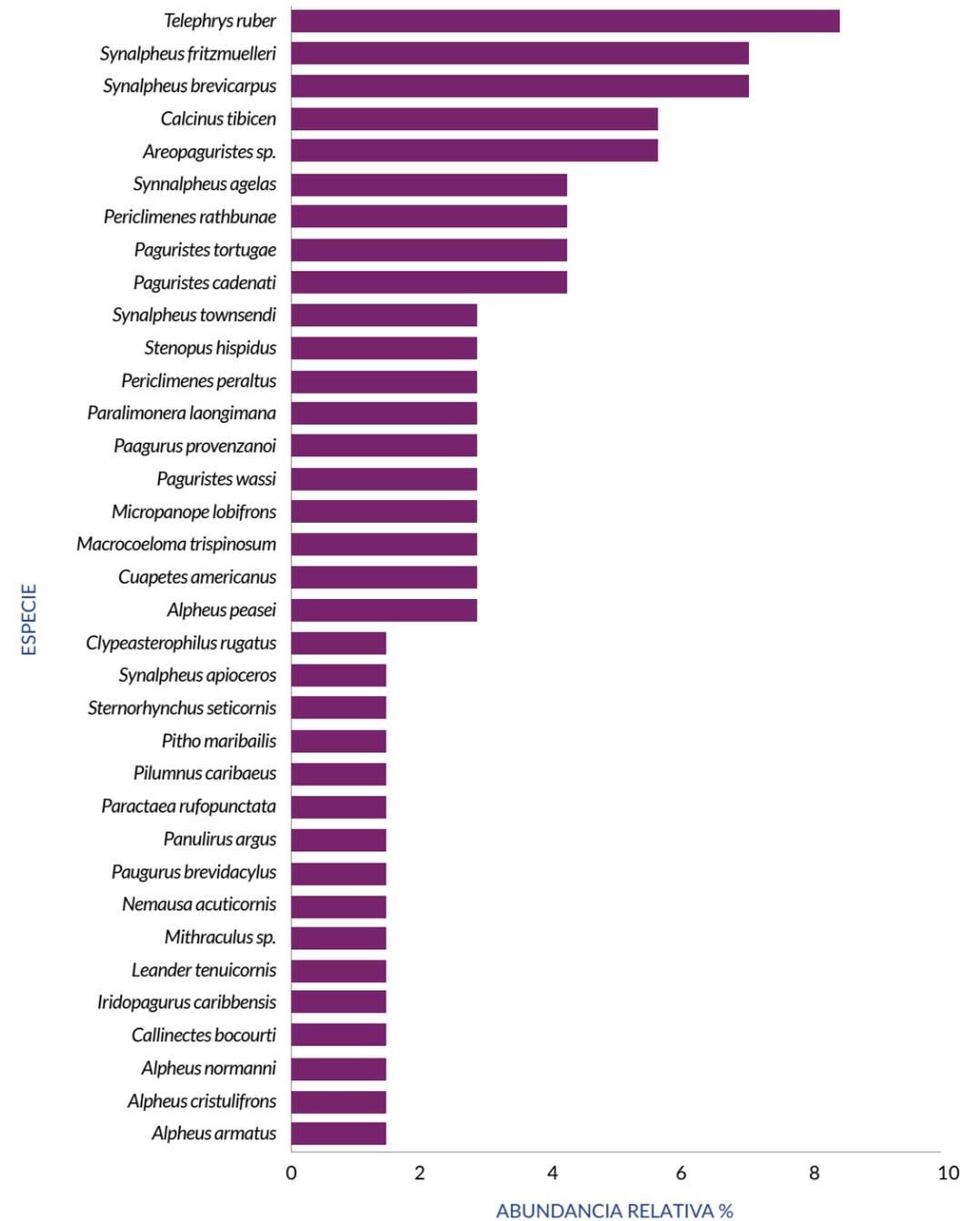
Agradecemos a Mauricio López Padierna, candidato a Doctor por la Qtar University, su colaboración en el análisis de datos AGRRA de los arrecifes en Bajos del Norte y PNAA.

Muchas gracias a todas y todos los investigadores que dedicaron su tiempo en campo y laboratorio para darnos a conocer más sobre la gran biodiversidad de los océanos en México.

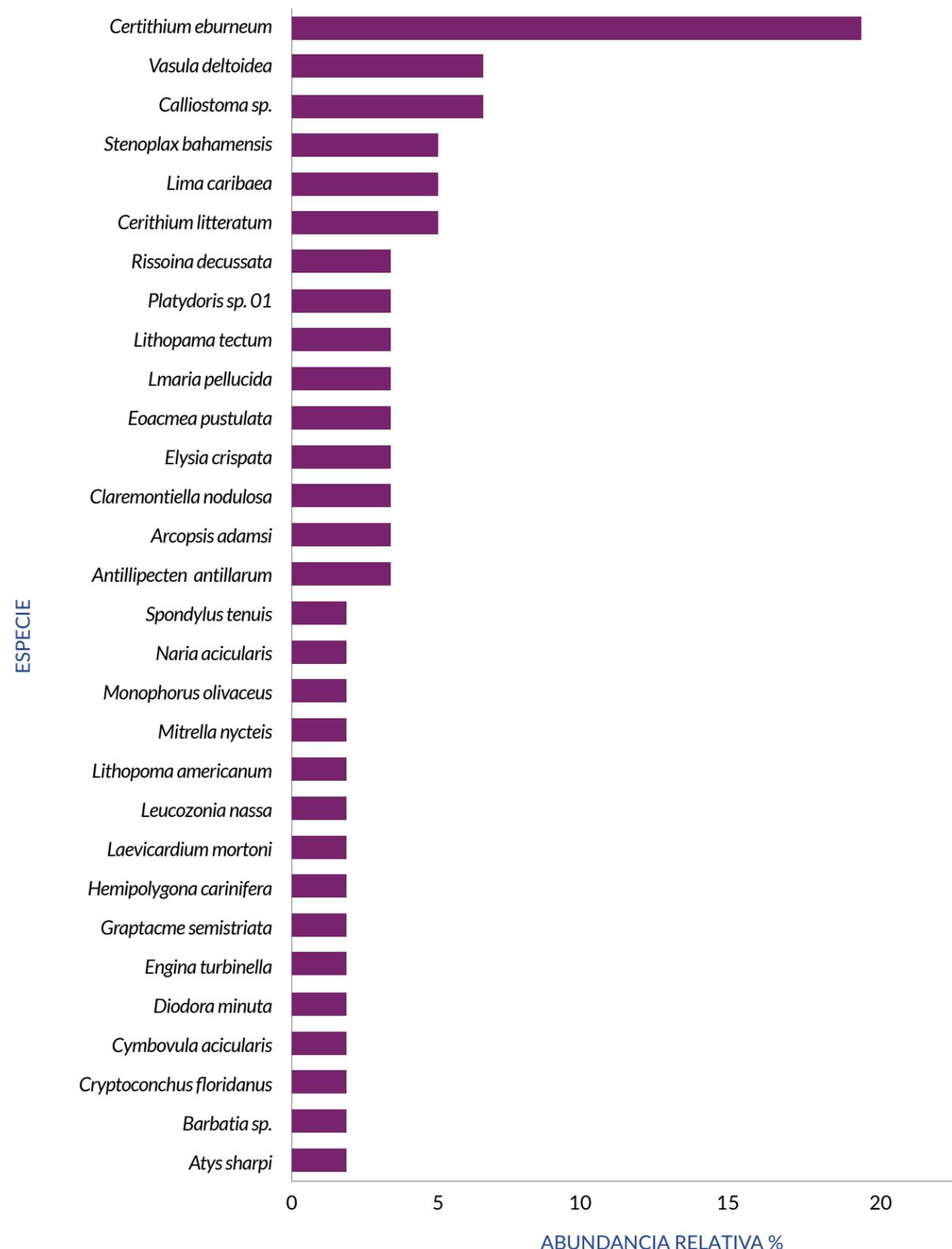
Agradecemos a los camarógrafos y periodistas que han seguido el trabajo del Proyecto Alacranes para difundir la importancia de la conservación de los arrecifes de Bajos del Norte y Alacranes.

10. ANEXOS

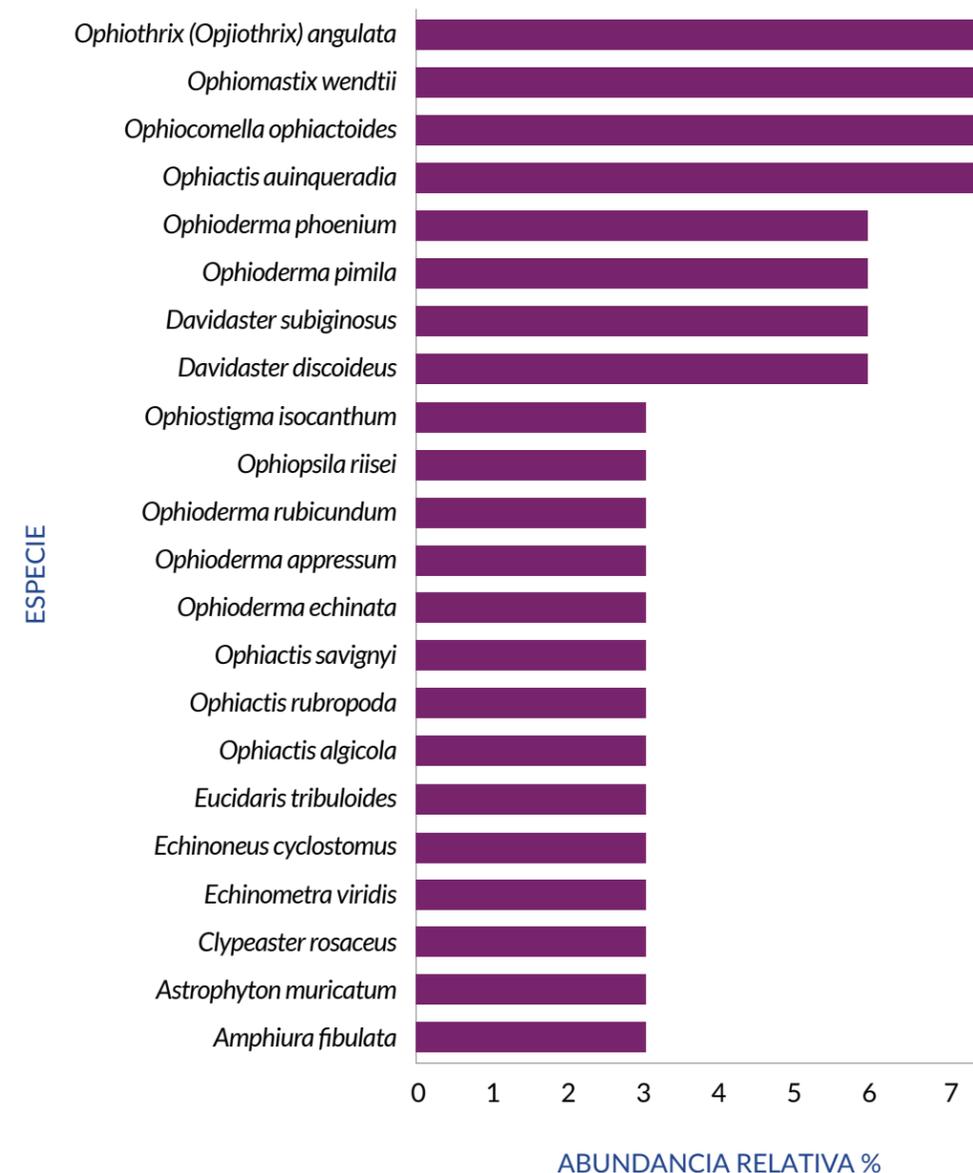
Anexo 1. Abundancia relativa de la comunidad de crustáceos encontrada en Bajos del Norte



Anexo 2. Abundancia relativa de las especies de moluscos observadas en Bajos del Norte.



Anexo 3. Abundancia relativa del grupo de los equinodermos en Bajos del Norte.



Anexo 4. Inventario taxonómico de peces observados en Bajos del Norte. 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>		
		Chaetontidae	<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	Sphyraenidae	<i>Sphyraena</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>		
		Lutjanidae	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus*</i>		
			<i>Scarus</i>	<i>taeniopterus</i>		
			<i>Scarus</i>	<i>vetula</i>		
			<i>Sparisoma</i>	<i>aurofrenatum</i>		
	Scaridae	<i>Sparisoma</i>	<i>viride</i>			
		<i>Elacantinus</i>	<i>oceanops</i>			
	Gobiiformes	Gobiidae	<i>Holocentrus</i>	<i>rufus</i>		
	Holocentriformes	Holocentridae	<i>Neoniphon</i>	<i>marianus</i>		
			<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>		
	Mulliformes	Mullidae	<i>Grama</i>	<i>loreto</i>		
			<i>Abudefduf</i>	<i>saxatilis</i>		
		Ovalentaria incertae sedis	Pomacentridae	<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>
					<i>Epinephelus</i>	<i>adscensionis*</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>	<i>pelagicus</i>			

Anexo 5. Corales duros (Orden Scleractinia) enlistados en el Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes 2006.

	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	CATEGORÍA DE RIESGO NOM-059-semarnat-2001
1	<i>Acropora cervicornis</i>	coral cuernos de venado	Especie sujeta a Protección Especial
2	<i>Acropora palmata</i>	coral cuernos de alce	Especie sujeta a Protección Especial
3	<i>Acropora prolifera</i>		
4	<i>Acropora agarites</i>	coral hojas de lechuga	
5	<i>Cladocora arbuscula</i>		
6	<i>Colpophyllia natans</i>	coral cerebro	
7	<i>Diploria labyrinthiformis</i>		
8	<i>Diploria strigosa</i>	coral cerebro común	
9	<i>Dichocoenia stokesi</i>		
10	<i>Eusmilla fastigiata</i>	flor del coral	
11	<i>Favia fragum</i>	coral estrella	
12	<i>Helioseris cucullota</i>	coral hoja de lechuga	
13	<i>Isophyllia sinuosa</i>	coral cactus	
14	<i>Madracis decactis</i>	branching coral	
15	<i>Mantcina aerolata</i>	coral rosa	
16	<i>Meandrina meandrites</i>	coral hoja de lechuga	
17	<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	coral cactus grande	
18	<i>Montastraea annularis</i>	coral de canto rodado	
19	<i>Montastraea cavernosa</i>	coral grande ahuecado	
20	<i>Mussa angulosa</i>	flor de coral grande	
21	<i>Porites astreoides</i>	coral amarillo	
22	<i>Porites porites</i>	coral dedos gruesos	
23	<i>Phyllangia solitaria</i>		
24	<i>Oculinadiffusa</i>	coral marfil	
25	<i>Scolymia lacera</i>	coral fungoso	
26	<i>Siderastrea radians</i>		
27	<i>Stephanocoenia Intersepta</i>		

 **OCEANA**



OceanaMexico



OceanaMexico



oceanamexico



<https://mx.oceana.org/>



mexico@oceana.org

