



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

“Determinación de la Diversidad y Abundancia de  
Elasmobranchios usando la Técnica de Video Remoto  
Submarino con Carnada en Mahahual, Quintana Roo.”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**Licenciado En Manejo de Recursos Naturales**

PRESENTA

**Jhonatan Alberth Canul Ku**

DIRECTOR DE TESIS

**María del Pilar Blanco Parra**

ASESORES

**Dra. Ivonne Bejarano Rodríguez**

**Dr. Carlos Alberto Niño Torres**

**Dr. Alberto Pereira Corona**

**M.C. Benito Prezas Hernández**



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE TESIS DEL  
PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

### Licenciado En Manejo de Recursos Naturales

#### COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:

Dra. María del Pilar Blanco Parra

ASESOR:

Dra. Ivonne Bejarano Rodríguez

ASESOR:

Dr. Carlos Alberto Niño Torres

ASESOR:

Dr. Alberto Pereira Corona

ASESOR:

M.C. Benito Prezas Hernández



ÁREA DE TITULACIÓN

CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2022

"Determinación de la Diversidad y Abundancia de Elasmobranquios usando la Técnica de Video Remoto Submarino con Carnada en Mahahual, Quintana Roo."

## Dedicatoria y Agradecimientos

*“La vida no se trata de esperar a que la tormenta pase, se trata de aprender a bailar bajo ella.”*

Diego Montoya.

Dedico este momento a mi querida madre Silvia Ku, de la cual siempre tuve el apoyo para seguir continuando, la cual siempre creyó en mí y por la cual me esforcé día con día para lograr esto, a mi padre que siempre estuvo presente y vio cuanto esfuerzo y dedicación costo esto, a mis sobrinos Ian, Brayan, Nataly, Karime, Aislinn y Angeli, los cuales quiero que tengan un ejemplo a seguir y vean que todo se puede, siempre y cuando uno nunca se rinda, a toda mi familia la cual siempre me apoyo.

Para mi tío David, agradezco siempre el apoyo que me diste, las palabras de aliento y la motivación que me dabas, siempre creíste en mí y de lo que era capaz, esto es por ti, gracias.

A mis dos grandes amores, los amores de mi vida, Sarahi y Marilyn, las cuales quiero y aprecio con todo mi corazón, aquellas que conocí por casualidad y hoy en día las considero como parte de mi familia, a ellas que estuvieron conmigo en esos momentos de estrés, cansancio, risas y grandes momentos únicos.

A todos mis amigos que me estuvieron apoyando en este proceso y siempre me daban aliento para seguir adelante, a Sheila una gran amiga que también es parte crucial de esta tesis y la cual aprecio mucho, a todos ustedes les agradezco el hecho de haber estado ahí conmigo, su apoyo fue muy importante para mí y para poder seguir adelante.

A la Dra. Pilar, agradezco el apoyo y la atención que me brindo, siempre estuvo pendiente de como íbamos, que nos faltaba y si teníamos algún problema, siempre estuvo pendiente, gracias por toda la ayuda que nos dio.

A mis asesores, el Dr. Niño, al Dr. Pereira y al M.C. Benito, agradezco sus recomendaciones dadas durante este trabajo, así como su tiempo dedicado, a la Dra. Ivonne, que a pesar de estar muy lejano siempre dedico algo de su tiempo.

A Takata Experience y Nadia, gracias por su ayuda y el tiempo dedicado durante los monitoreos, sin ustedes esto no hubiese sido posible.

## Índice

|                              |    |
|------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....           | 4  |
| ANTECEDENTES .....           | 7  |
| JUSTIFICACIÓN .....          | 17 |
| HIPÓTESIS .....              | 19 |
| OBJETIVOS .....              | 19 |
| OBJETIVO GENERAL .....       | 19 |
| OBJETIVOS PARTICULARES ..... | 19 |
| ÁREA DE ESTUDIO .....        | 20 |
| MATERIALES Y MÉTODOS .....   | 22 |
| ANÁLISIS DE DATOS .....      | 25 |
| RESULTADOS .....             | 26 |
| DISCUSIÓN .....              | 35 |
| CONCLUSIÓN .....             | 41 |
| REFERENCIAS .....            | 42 |

### Listado de figuras y tablas

**Figura 1.** Mapa del Área de estudio “Mahahual, Q. Roo”

**Figura 2.** Diseño de la estructura usada para el monitoreo

**Figura 3.** Mapa del área de lances de los VRSC

**Figura 4.** Raya blanca o americana, especie *Hypanus americanus*

**Figura 5.** Raya levisa, especie *Styracura Schmardae*

**Figura 6.** Especie no identificada, *Mobula sp.*

**Figura 7.** Tiburón martillo gigante o cornuda gigante, especie *Sphyrna mokarran*

**Figura 8.** Mapa de puntos de encuentro con *H. americanus*

**Figura 9.** Mapa del punto de encuentro con la especie *Styracura schmardae*

**Figura 10.** Mapa del punto de encuentro con la especie *S. mokarran*

**Figura 11.** Mapa de punto de encuentro con un ejemplar del género *Mobula*

**Figura 12.** Valores de la abundancia de especies representada por el Max N

**Figura 13.** Tipos de hábitat en los que se encontraron las especies

**Figura 14.** Abundancia de las especies por temporada representada por Max N

**Tabla 1.** Listado de especies encontradas

**Tabla 2.** Tipo de hábitat donde fueron observadas las especies

## INTRODUCCIÓN

Los tiburones y rayas conforman un grupo taxonómico de peces cartilaginosos denominados elasmobranquios, el cual es un grupo diverso en cuanto a su forma y tamaño, lo que les ha permitido habitar una gran variedad de ecosistemas tanto costeros como oceánicos, someros y de profundidad (Blanco-Parra et al., 2016a).

Los elasmobranquios presentan ciertas características que los hacen vulnerables a la mortalidad por pesca, como bajas tasas de crecimiento, madurez sexual tardía y baja fecundidad (Frisk et al., 2001, Myers & Worm, 2005, Ferretti et al., 2010).

La comunidad de elasmobranquios juega un papel importante dentro de los ecosistemas marinos, como los principales depredadores, éstos ayudan regulando el tamaño de las poblaciones y la dinámica de sus presas, es por ello que es necesario entender la importancia de dichos depredadores dentro de la red trófica y de la dinámica alimentaria costera, ya que estos ayudan en la transferencia de energía entre los niveles tróficos (Wetherbee & Cortés, 2004, Navia et al., 2007).

El declive de los depredadores tope como algunos grandes tiburones crea un efecto dominó, esto provoca que los meso depredadores proliferen y depreden sobre otras especies, al no tener un control sobre ellas, esto desencadena una alteración en la red trófica, lo que conlleva a riesgos de una degradación más amplia del ecosistema (Myers et al., 2007), de igual manera modelos bioenergéticos realizados en otros estudios han demostrado que la remoción de los tiburones podría inducir cascadas tróficas y hacer que las comunidades sean más propensas a perturbaciones al reducir el grado de omnivoría (Bascompte et al., 2005, Ferretti et al., 2010).

Un modelo de la isla Floreana (Galápagos) demostró que la pérdida de todos los tiburones llevaría a una mayor abundancia de odontocetos, leones marinos y depredadores de arrecifes que no presentan algún valor comerciales dentro de los mercados, lo cual conduciría a la disminución de una gran cantidad de peces comerciales de arrecife y a un aumento de pequeños invertebrados a través de una cascada trófica de cuatro niveles (Okey et al., 2004, Ferretti et al., 2010).

Un tercio de todos los elasmobranquios se encuentran catalogadas como en “amenaza de extinción” a nivel mundial, de las 1,199 especies de tiburones y rayas evaluadas entre 2019 y 2021 por la IUCN en la lista roja de especies amenazadas, 391 (32.6%) se encuentra amenazadas, 180 (15%) vulnerables, 121 (10.1%) en peligro de extinción y 90 (7.5%) en peligro crítico, otras 124 especies (10.4%) están clasificadas como casi amenazadas (Dulvy et al., 2021).

Otros autores han determinado que los elasmobranquios se encuentran principalmente amenazados por la pesca (96,1%), incluida la pesca comercial dirigida (31,7%), la captura secundaria (57,9%), la pesca recreativa (0,7%) y la pesca artesanal o de subsistencia (5,8%), seguida de la destrucción del hábitat (2,9%) y la contaminación (0,4%) (Ferretti et al., 2010).

Sin embargo, la pesca y estas otras amenazas no son las únicas causantes del declive de dichas especies, la pérdida del hábitat, su degradación y el cambio climático también son una gran amenaza (Bruns & Henderson, 2020), pero la mayor amenaza para el declive y la que ha tenido un mayor impacto en las especies de elasmobranquios es el comercio asiático de aletas de tiburón (Velandia, 2018).

La sobre pesca hoy en día es lo suficientemente intensa y generalizada por lo que traería consigo una pérdida significativa e irreversible de la biodiversidad en los mares costeros tropicales, particularmente frente a México, Brasil y en todo el norte de los océanos Índico y Pacífico central occidental (Dulvy et al., 2021).

La información acerca de la abundancia y distribución de los elasmobranquios es vital para el desarrollo de iniciativas de manejo y conservación, sin embargo, dicha información para la gran mayoría de dichas especies es deficiente (Brooks et al., 2011).

Las áreas marinas protegidas (AMP) son una de las iniciativas que muchas regiones del Caribe están optando para la conservación de los elasmobranquios, sin embargo, se necesitan herramientas adicionales que puedan ayudar a conservar eficazmente las poblaciones y de igual manera obtener datos biológicos de cada especie (Osgood et al., 2019).

Del mismo modo estas AMP están siendo evaluadas, esto para determinar si en realidad están cumpliendo con su objetivo, el cual es proteger las especies que se encuentran dentro del área, pero en algunos casos esto parece no ser exitoso para grandes animales móviles, como es el caso del tiburón gris de arrecife (*Carcharhinus amblyrhynchos*) (White et al., 2017).

De igual manera existen distintas herramientas como la ingeniería de conservación, las regulaciones comerciales e iniciativas para reducir los incentivos para retener las capturas, estas herramientas podrían ser implementadas para disminuir la mortalidad de las distintas especies de elasmobranquios, para así permitir su recuperación (Dulvy et al., 2021).

Los estudios que se llevan a cabo para los elasmobranquios en muchos casos son muy invasivos y causan daño al individuo, el método más común para obtener información ecológica básica de las poblaciones de tiburones es a través de estudios científicos con palangre, dicho tipo de estudio requiere enganchar al individuo, recuperar y sujetar, lo que a su vez provoca ciertos grados de trauma físico y estrés fisiológicos, por lo cual la magnitud del daño realizado dependerá del método de captura y del tiempo de manipulación (Brooks et al., 2011), de igual manera uno de los estudios utilizados para el monitoreo de elasmobranquios son los censos visuales (UVC), este tipo de estudios son usados para determinar la abundancia y distribución de dicha comunidad, pero debido a la limitación de la profundidad y la visibilidad de los buzos, podría impedir el cuantificar la abundancia y distribución de los elasmobranquios de una manera feasible, como resultado, los datos obtenidos por los UVS tienden a ser datos de estimación de densidad de población sesgados (Edgar et al., 2004, Sale & Sharp, 1983), particularmente en grandes especies móviles como lo son los elasmobranquios; (Ward-Paige et al., 2010, White et al., 2013).

Hoy en día gracias a los avances tecnológicos y a la creación de nuevos dispositivos de video filmación, el monitoreo de distintas comunidades marinas se ha hecho más fácil y exitoso, el sistema de videograbación bajo el agua con carnada (BRUVS en inglés), es quizás una alternativa para el monitoreo de la comunidad de

elasmobranquios, la cual es no invasiva y no destructiva, en los casos en donde la recopilación de datos no requieren necesariamente de la captura de muestras es preciso el uso de esta técnica (Cappo et al., 2003).

Mahahual es una población del Estado de Quintana Roo, que se encuentra localizada en la región conocida como “Costa Maya”. El arrecife de Mahahual se encuentra en la Zona sur del área natural protegida (ANP) denominada Reserva de la Biosfera del Caribe (CONANP, 2018), en la cual, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) instrumentó el Programa de Regiones Marinas Prioritarias de México, en el cual integró al puerto de Mahahual a la región VII, Esta clasificación rige el área costera y oceánica, considerada prioritaria por su alta diversidad (SEMAR, 2012).

Los estudios realizados sobre la diversidad y abundancia de elasmobranquios en Mahahual son inexistentes, esto debido a que no se encontraron datos sobre estudios que se hayan realizado sobre ellos en este lugar, derivado de esta escasez y la importancia de estas especies, es necesario la implementación de una investigación que ayude a la generación de conocimiento sobre las poblaciones de tiburones y rayas con el fin de crear una línea base de información que podría ser utilizada en la creación de políticas públicas en pro del cuidado y conservación de las mismas, para ello se necesita contar con un listado de las especies que se encuentran en el lugar y su abundancia, esto ayudará a tener un mejor conocimiento de los mismos.

## **ANTECEDENTES**

Estudios realizados con anterioridad por distintos autores demuestran la eficacia del monitoreo con la técnica de video remoto submarino con carnada (VRSC o BRUVS) en comparación con los censos visuales (UVC). En un estudio realizado por Colton & Swearer, (2010) determinaron que el método de los VRSC es mejor que los censos visuales para la observación de depredadores móviles y especies que son

el objetivo de las pesquerías, de igual manera observaron que los VRSC registraron una mayor diversidad taxonómica comparado con los UVC.

Otro estudio realizado por Ghazilou et al., (2019) en donde comparan estos dos métodos de monitoreo, determinaron que los VRSC, podrían ser una herramienta eficaz para monitorear los cambios estacionales en los peces de arrecifes, y que puede ser más adecuado para evaluar tiburones y rayas (Colton & Swearer, 2010, Ghazilou et al., 2019).

De igual modo un estudio realizado por Brooks et al., (2011) en donde se compararon los palangres y de VRSC, determinó que la abundancia relativa generada y la diversidad de especies es similar entre ambas técnicas, también mencionan que la técnica de palangre requiere de más recursos que la VRSC y por lo tanto es menos rentable, la técnica VRSC presenta costos más bajos en el personal, el cebo y el bote a usar, y el seguimiento a largo plazo con esta técnica es más rentable.

Un estudio realizado por Bruns & Henderson, (2020), en el banco oriental de los Caicos (Islas Turcas y Caicos), estudio la abundancia y diversidad de los elasmobranquios, en la cual durante el estudio se encontraron ocho especies, pero esto no fue sorprendente debido a que, otros estudios realizados ya habían encontrado estas mismas especies, pero de igual manera este estudio ayudó a confirmar la presencia de los mismos en el lugar, otra mención que hacen, es que diferentes tipos de carnadas afectan la riqueza de especies obtenidos en la muestra (Wraith et al., 2013), la abundancia relativa (Dorman et al., 2012) y el tamaño de estos (Bailey et al., 2007). Es por ello que algunas especies de rayas presentan baja abundancia durante los despliegues, debido a que la carnada no es atractiva para estos, también determinaron que en los distintos estudios realizados con la técnica VRSC, una o dos especies son las dominantes, como es el caso de *G. cirratum* y *C. perezi*, que son generalmente, los más abundantes durante los despliegues en esa región, por último mencionan que en general, el estudio los ayudó a determinar la salud de los tiburones en el Banco Caicos, el cual era relativamente saludable,

por lo cual la técnica VRSC demostró ser adecuada para evaluar la diversidad y abundancia de elasmobranquios en las aguas de las Islas Turcas y Caicos.

Espinoza et al., (2020) realizaron un estudio en el Pacífico Oriental Tropical (POT), haciendo uso de la técnica VRSC, con la cual determinaron que esta técnica es capaz de proporcionar estimaciones rápidas y sólidas acerca de la distribución, abundancia y diversidad de elasmobranquios en grandes escalas espaciales y temporales, de igual manera hicieron una comparación con los censos visuales realizados en la isla Caño, en la cual los VRSC capturaron más especies de elasmobranquios que dichos estudios, en conclusión los VRSC proporcionan un método de estudio rentable (costo-efectividad), que ayuda a captar mejor a los depredadores gracias a la carnada, de igual manera las capturas realizadas por estos, pueden servir para determinar ciertos comportamientos de las especies y compartirse con otros investigadores, para apoyar los esfuerzos de conservación regionales y globales, y esta técnica está siendo reconocida como eficiente para estudiar y monitorear especies de elasmobranquios en islas remotas y aisladas del POT.

White et al., (2013) usaron la técnica VRSC, para cuantificar la distribución espacial de elasmobranquios a escala de ecosistema, con este estudio se obtuvo información acerca de la distribución, la estacionalidad y el uso del hábitat de *Rhynchobatus spp*, estableciendo que la especie es generalista, que se encuentra en múltiples regiones y, por lo tanto, en distintos tipos de hábitats en todo el Parque Marino de la Gran Barrera de Arrecifes de Coral, con lo cual se demostró que la técnica es una herramienta útil para examinar la distribución y las asociaciones de hábitat de los grandes elasmobranquios móviles a escalas espaciales amplias, así mismo este estudio ratificó lo que otros estudios mencionan, que la técnica proporciona un enfoque no invasivo, no destructivo y mínimamente disruptivo, lo cual es apropiado para las especies con interés para la conservación.

Currey-Randall et al., (2020) hicieron un estudio en 21 países del Triángulo de Coral en el Océano Pacífico, en el que determinaron el tiempo óptimo para monitorear los elasmobranquios asociados a arrecifes, en el cual, un tiempo de inmersión de 60

minutos parecieron efectivos para registrar la mayoría de especies e individuos, pero un tiempo de 77 minutos serían óptimos para estudiar patrones de diversidad de elasmobranquios para todos los grupos de especies, de igual manera mencionan que un bajo Max N (Número máximo de individuos de la misma especie que aparecen en un cuadro de video al mismo tiempo) podría deberse a que los elasmobranquios asociados a arrecifes, no se encuentran típicamente en grandes grupos y/o abundancias locales muy elevadas.

Otro estudio hecho con la técnica de VRSC, realizado por Sherman et al., (2020), se llevó a cabo alrededor de Bau Bau, en el sureste de Sulawesi, en la isla Buton, Indonesia, en dos estaciones distintas del año, en el cual desplegaron un total de 956 VRSC exitosos, con este estudio pudieron encontrar que existen diferencias estacionales en la abundancia de elasmobranquios en los arrecifes de coral de dicho lugar, y que presentaban diferencias estacionales que eran consistentes entre años, de igual modo determinaron que los VRSC son una técnica de muestreo eficaz para capturar las variaciones espaciales y temporales en la abundancia de los elasmobranquios.

Arenales et al., (2016) realizaron un monitoreo sobre la ecología de elasmobranquios en el Caribe de Guatemala, en dicho monitoreo se identificó una especie de tiburón y dos especies de rayas, un resultado claro que mencionan es que las pesquerías llevadas a cabo dentro de la zona podrían impactar y crear una disminución de la riqueza y abundancia de las especies, es por ello que en algunas zonas había menos abundancia y riqueza de especies, de igual manera hacen mención de que estos resultados sugieren que las zonas evaluadas, pueden estar sometidas a una alta presión pesquera, también recomiendan que se debe incrementar el esfuerzo de muestreo para poder obtener mayor representatividad de resultados, esto implicaría desplegar más VRSC.

Un estudio llevado a cabo en las Islas Cayman por Kohler et al., (2017), donde utilizaron la técnica de monitoreo VRSC y la técnica de palangre científico, en donde se desplegaron 1048 VRSC en un periodo de 8 años, los datos muestran una disminución en la abundancia de los tiburones de arrecife del caribe en el 2010, y

un aumento drástico en el 2012, pero luego volvió a disminuir en el 2016 hasta acercarse a sus niveles de abundancia originales, los datos obtenidos de las dos técnicas de monitoreo, sugieren que en comparación con datos de otros lugares del Caribe, las islas Cayman son las que presentan mayor abundancia de tiburones en el Caribe, pero no valores tan altos como los de Belice y las Bahamas, se hizo una evaluación del valor económico de los tiburones para las islas Cayman, en el cual los tiburones aportan un total de \$46.8 a 62.6 millones de dólares por año, este número es similar a los obtenidos en otro lados como, \$78 millones por año en las Bahamas (Cline 2008), y US \$18 millones por año en el Territorio Micronesio de Palau (Vianna et al., 2012), es muy importante tener conocimiento del valor económico de estas especies, esto para poder asegurar su conservación.

Lizardi, (2018) llevó a cabo un estudio en el Archipiélago Revillagigedo, al sur de Baja California, México, donde implementó la técnica de VRSC y estéreo VRSC, estos despliegues se realizaron para la zona bentónica a un metro del fondo y para la zona pelágica a diez metros debajo del agua, se registraron un total de 74 únicas especies de peces, las cuales corresponden a siete distintas familias, las ocurrencia de tiburones en los VRSC fue del 85% lo cual era común ver los, *C. falciformis* (44%) y *T. obesus* (22%) fueron los más observados en los VRSC, en total se observaron ocho especies de tiburones, este estudio demostró que los VRSC son un método de monitoreo eficiente y rentable para el seguimiento de las poblaciones de tiburones, la ventaja de este método comparado con otros es que, este método produce la mayor precisión de resultados los cuales son menos invasivas y no destructivas para las poblaciones de tiburones, maximizan el intervalo de uso y tienen menos sesgo.

Así mismo un estudio llevado a cabo por Tholan et al., (2020) en la Reserva de la Biosfera Islas Marías, México, identificaron un total de 99 especies de peces de 35 familias, las familias que presentaron mayor riqueza específica fue la Carangidae (jureles) y Labridae (Lábridos), la biodiversidad y la riqueza de especies encontrada no fue uniforme alrededor de isla María Cleofas, al contrario mostraron distintos puntos de alta y baja biodiversidad, durante el monitoreo se observaron 2 especies

de tiburones, ambas especies asociadas a los arrecifes *Ginglymostoma cirratum* y *Triaenodon obesus*, la especie *G. cirratum* fue la más común se presentó en el 31% de las inmersiones y muy a menudo interactuó con la carnada, el estudio que llevaron a cabo fue para proporcionar mayores datos biológicos en pro de la creación de estrategias de manejo futuras para las islas Marías, así mismo probaron la capacidad del método VRSC para captar la estructura de la comunidad de arrecifes, por lo cual la relación distribución-abundancia fue graficada por grupo trófico, la técnica VRSC pudo captar tres niveles tróficos amplios de peces, desde herbívoros/omnívoros a depredadores de bajo nivel hasta depredadores/piscívoros de nivel medio y superior, la técnica de monitoreo VRSC resulta útil para captar la variedad de agrupaciones de comunidades y grupos tróficos en distintos tipos de hábitats, la baja abundancia de tiburones, considerada con la evidencia de la pesca continua de tiburones en el área, parece indicar que en la zona se encuentra una sobre pesca local de tiburones, con esto se presenta una mayor evidencia que genera preocupación sobre las acciones de conservación llevadas a cabo en dicha reserva, así como los esfuerzos de monitoreo que se tienen que llevar a cabo para detectar cambios en las poblaciones de depredadores como los tiburones.

Blanco-Parra & Niño-Torres, (2022) hicieron un trabajo de investigación en el Caribe Mexicano donde encontraron un total de 85 especies de elasmobranquios pertenecientes a 10 órdenes y 30 familias, estudios llevados a cabo con anterioridad presentaban números los cuales eran inferiores a los obtenidos con este estudio, dichos números representaban el 41% de las especies de tiburones y rayas conocidas que se distribuyen en México (Ehemann et al., 2018) y 47% de las especies conocidas que se distribuyen a lo largo de las costas del Atlántico occidental tropical (Carrillo-Briceño et al., 2018), la gran diversidad de elasmobranquios que presenta el Caribe mexicano podría estar asociada a la gran diversidad de ecosistemas presentes en la región, sin embargo casi la mitad (45%) de los elasmobranquios que habitan en el Caribe mexicano se encuentran en alguna de las categorías de amenaza de la lista roja de la IUCN, pero únicamente el 18% (7 especies ) de estos elasmobranquios se encuentran dentro de la Norma Oficial Mexicana (*NOM-059-SEMARNAT-2010.*), dentro de los países con mayor

diversidad de especies de rayas y tiburones, México representa el segundo lugar justo después de Australia, esto muestra la necesidad y la prioridad de conservar dichas especies, por lo cual México tiene una gran responsabilidad en cuanto a conservación se trata así como a la mejora y aplicación de las medidas de manejo y conservación que ya existen en el país, así mismo mencionan que las principales amenazas de estas especies de tiburones y rayas son la pesca y la pérdida de su hábitat (Blanco-Parra et al., 2016, Marcos-Camacho et al., 2016, Zamora et al., 2018) sin embargo esas no son las únicas amenazas también se encuentran la falta de aplicación de las regulaciones y el cumplimiento de las mismas, es por ello que se debe de prestar atención a las especies que se encuentran amenazadas que habitan en la región y las cuales no se encuentran protegidas por las leyes mexicanas y son una de las principales especies encontradas en las capturas de las pesquerías costera como por ejemplo, el tiburón martillo, el tiburón toro, el tiburón nodriza y las rayas águilas.

El uso de los VRSC en el caribe mexicano aún son escasos, pero estos ya se empezaron a considerar como una técnica de monitoreo para tiburones dentro de Áreas Naturales Protegidas (ANP), la CONABIO, (2020) publicó un libro sobre el Protocolo de Monitoreo de la Biodiversidad Marina en el ANP del Caribe Mexicano, que incluyen en el capítulo VI sobre tiburones y rayas, a la técnica VRSC como un método de monitoreo para elasmobranquios.

El declive de las distintas poblaciones de elasmobranquios es real, Baum et al., (2003) realizaron un estudio donde analizan los diarios de pesca de las flotas palangreras pelágicas de los EE. UU. Que son dirigidos al pez espada y los túnidos en el atlántico occidental. Ellos estimaron que todas las especies de tiburones registradas con excepción del mako (*Isurus Oxyrinchus Rafinesque, 1810*) tienen un declive de más del 50% en los pasados 8 a 15 años, la disminución en abundancia fue más alta para el tiburón martillo, presentando una disminución del 89% desde 1986, la disminución para el tiburón blanco fue del 79%, los datos que se obtuvieron son evidencia fuerte que soporta el argumento de que las distintas especies de tiburones han tenido una disminución sustancial en la década pasada,

la magnitud estimada de la disminución de elasmobranquios sugiere que esto podría pasar a gran escala a distintas especies de tiburones, los resultados que obtuvieron sugieren que se le debe de prestar atención a la conservación de dichas especies, así como la dada a otros grandes depredadores marinos, de igual modo sugieren que se deben diseñar de manera cuidadosa distintas reservas marinas, para así disminuir la pesca, esto podría ayudar a conservar a los tiburones y otras especies que se encuentren amenazadas.

Heithaus et al., (2007) analizaron la variación espacial y temporal en las comunidades de tiburones en los cayos de Florida, encontraron que la comunidad de tiburones dominantes en la zona es dada por el tiburón nodriza, la dominancia de esta especie dentro de dicha zona se podría deber a la disminución poblacional histórica de otras especies de tiburones, así como a su baja tasa de movimiento comparada con otros tiburones, de igual manera a los bajos niveles de explotación pesquera. Durante su estudio encontraron una diferencia en la captura de tiburón, ahora para poder capturar dos tiburones se invertían 10 horas al día, recabando información encontraron que una compañía dedicada a la pesca de tiburón, para los años de 1923 a 1932 tenían reportes de que la abundancia de tiburones en ese entonces era mucho mayor por lo cual la comunidad de tiburones era distinta en ese entonces, así mismo las capturas del tiburón tigre y el pez sierra de dientes pequeños era reportado como captura común en comparación con hoy en día que son raras, es por ello que la abundancia y la composición de la comunidad de tiburones es radicalmente diferente a las comparadas históricamente en la zona, es probable que los efectos continúen en la zona a futuro, por lo cual esto crearía obstáculos para la restauración del ecosistema a un estado más natural.

Las áreas marinas protegidas están siendo exitosas para la preservación de distintas especies marinas. Un estudio llevado a cabo por Ward Paige et al., (2010), en donde hicieron uso de una gran base de datos de estudios sobre peces, mostro que los tiburones contemporáneos aparte de los tiburones nodriza se encuentran en gran parte ausentes en los arrecifes del Gran Caribe, haciendo una comparación

con datos sobre la densidad poblacional humana, estos datos sugirieron que las presiones antropogénicas generadas podrían estar ligados. De igual manera su estudio demostró que en el Gran Caribe, la mayoría de los encuentros con tiburones en arrecifes fueron en áreas que presentaban baja densidad de población humana o en algunos lugares donde la regulación sobre la pesca era muy fuerte o se encontraban medidas de conservación. El análisis que llevaron a cabo sobre la viabilidad de la población indico que bajos niveles de mortalidad por pesca pueden causar que la población de tiburones disminuya a pequeñas fracciones de su abundancia inicial en tan solo algunas pocas décadas, de igual modo estos datos sugieren que la pesca por si sola pudiera explicar la ausencia de tiburones. El vínculo entre la densidad de la población humana y la ausencia de tiburones en arrecifes se debe probablemente a los factores de estrés antropogénico generado que están afectando directa e indirectamente a sus poblaciones. También se demuestra la importancia de las grandes áreas marinas protegidas, así como la fuerte regulación sobre la pesca, esto debido a que en zonas pobladas como florida, las Bahamas y las islas vírgenes de los EE. UU. existe la presencia de tiburones cercanos a ellas, demostrando que la ausencia de ellos está ligado fuertemente a la presión generada por la pesca.

Bond et al., (2012) realizaron un estudio en la Reserva Marina de la Barrera Arrecifal Mesoamericana, donde determinaron la fidelidad hacia los sitios donde se distribuyen la mayoría de los tiburones, elaboraron una hipótesis en la que mencionan que las reservas marinas les brindarían un beneficio a los tiburones, dándoles un respiro de la pesca local llevada a cabo dentro de las reservas. Esto se hizo al analizar dos premisas clave, la primera predicción fue que los tiburones de arrecife del caribe muestran una mayor preferencia por los sitios dentro de las reservas marinas, la segunda fue que los arrecifes de las reservas marinas presentarían mayor abundancia relativa de tiburones de arrecife en comparación con arrecifes de pesca similares, los datos de telemetría y BRUVS analizados soportaron la hipótesis en la cual la población de tiburones de arrecife tendría un gran beneficio al tener un respiro, debido a la disminución de la presión generada por la pesca, esto debido a la reserva marina, cabe destacar que dichos beneficios

se deberán al tamaño y al cumplimiento de lo establecido en las reservas marinas, así mismo este estudio y otros han demostrado la importancia de las reservas marinas para la conservación de los tiburones, se deben de tomar en cuenta dichas reservas como una herramienta importante para poder preservar los roles ecológicos y económicos de los tiburones de arrecife del caribe que se encuentra amenazados.

Un trabajo de investigación llevado a cabo por Lucifora et al., (2011) , para determinar la riqueza global y los puntos críticos de endemismo, así como para evaluar el éxito para áreas de priorización para la conservación, encontraron que la riqueza de especies de tiburones y el endemismo es más grande en plataformas continentales y en latitudes intermedias, de igual modo se observó que los puntos críticos individuales de riqueza de especies y endemismo se encuentran concentrados relativamente en pequeñas áreas, los resultados que obtuvieron indicaron que un enfoque geográfico para la conservación de los tiburones requeriría áreas que sean mucho más grandes y más extensas, en las cuales no se podría hacer uso del enfoque clásico que está delimitado a únicamente los puntos críticos donde se encuentra la mayor riqueza de especies, aunque el uso de grandes extensiones geográficas que presentan gran riqueza de especies y endemismo, generan dudas sobre el uso de una red global de áreas protegidas como una estrategia integral para la conservación, la conservación en aguas internacionales es más difícil de llevar a cabo esto debido a la problemática generada por su gestión y vigilancia, este problema está dado particularmente por el comercio de aleta el cual incluye un gran número de distintas especies pelágicas.

## JUSTIFICACIÓN

Derivado del declive poblacional que están teniendo las especies de elasmobranquios en el mundo, es importante comenzar a crear estrategias para su protección, esto debido a su importancia ecológica dentro de los ecosistemas costeros, al ser depredadores tope, estos regulan a otras especies, la disminución de estas especies provoca cascadas tróficas, todo esto provocado por distintos factores como por la pesca dirigida, la pesca incidental, factores antropogénicos, entre otros (Myers et al., 2007).

Una estimación llevada a cabo en el año 2010 demostró que entre 63 y 273 millones de tiburones fueron capturados, esto excedía significativamente la tasa de recuperación de dichas poblaciones (Shiffman & Hammerschlag, 2016; Worm et al., 2013), la gran vulnerabilidad de los tiburones a la presión por pesca está ligado a la larga historia de explotación y a los distintos impactos humanos que se han venido acumulando en las aguas costeras (Ward Paige et al., 2010).

Un estudio realizado por MacNeil et al., (2020) determinó que la disminución de los tiburones de arrecifes en las costas tropicales está relacionado con las diferencias socioeconómicas entre naciones, por lo que para muchos lugares, no existe alguna solución clara que pueda promover la recuperación de los tiburones de arrecife sin antes abordar los desafíos socioeconómicos que indirectamente inducen a la sobreexplotación de estas especies, así mismo las desigualdades socioeconómicas a largo plazo son muy probablemente las que han llevado a la extinción funcional de los tiburones de arrecife, de igual manera encontraron que pueden existir altos niveles de consumo local en muchas áreas, por lo cual el hallazgo respaldaría el por qué los mercados de carne de tiburón han seguido en aumento de las capturas para el comercio mundial de aletas, del mismo modo la preocupación por el estado global de los tiburones de arrecife en la regiones del pacifico occidental, el océano indico y el Atlántico occidental, en el que sus distintas naciones se caracterizan por contar con poblaciones costeras muy densas y una gobernanza deficiente, también se identificaron dos vías de gestión las cuales pueden producir resultados de

conservación positivos para los tiburones cuando estos sean implementados y se hagan cumplir, estas dos vías son las políticas socioeconómicas y la gestión directa, las cuales conllevan hasta las prohibiciones nacionales sobre la selección y el comercio de tiburones, hasta restricciones de artes de pesca a nivel de arrecife y áreas cerradas.

La pesquería de elasmobranquios en México es una importante fuente de alimento y empleo, y es la octava más importante del país, en el Caribe mexicano, para el 2014, la pesca de tiburones aportó 4.2% de la producción pesquera, ubicándola en el cuarto lugar, dichas pesquerías de tiburones y rayas en esta zona son en su mayoría de tipo costero y artesanal, y la mayor captura se da de manera incidental (Blanco-Parra et al., 2016).

Mahahual, Q. Roo, se encuentra dentro de la reserva designada como Biosfera del Caribe Mexicano, esto debido a la gran diversidad biológica presente en el estado, la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano es una unidad clave para la conservación marina, el arrecife que se encuentra en esta zona forma parte de la cadena arrecifal conocida como Sistema Arrecifal Mesoamericano que se extiende desde la porción nororiental de la Península de Yucatán hasta las costas de Honduras, este ecosistema es de importancia por la provisión de servicios ambientales (CONANP, 2018).

Mahahual ha presentado un desarrollo urbano creciente, el cual ha tenido impactos negativos sobre los ecosistemas circundantes, lo cual ha ocasionado la pérdida de vegetación terrestre, al igual que en la pérdida de cobertura y organismos formadores del arrecife coralino (CONANP, 2018) y se desconoce el efecto que esto ha tenido en las poblaciones de tiburones y rayas de la región.

## **HIPÓTESIS**

Debido a las condiciones del arrecife de Mahahual y a que es una zona de pesca artesanal, lo que se espera encontrar dentro del arrecife de Mahahual es poca diversidad y abundancia de elasmobranquios esto debido a que estudios realizados en otras regiones del arrecife mesoamericano se han encontrado densidades bajas (tanto de especies como del número de organismos) de elasmobranquios, con esto podremos darnos una idea del estado actual de estas especies, las cuales podrían estar siendo amenazadas dentro de dicha zona, y por lo cual esto podría afectar el ecosistema arrecifal.

## **OBJETIVOS**

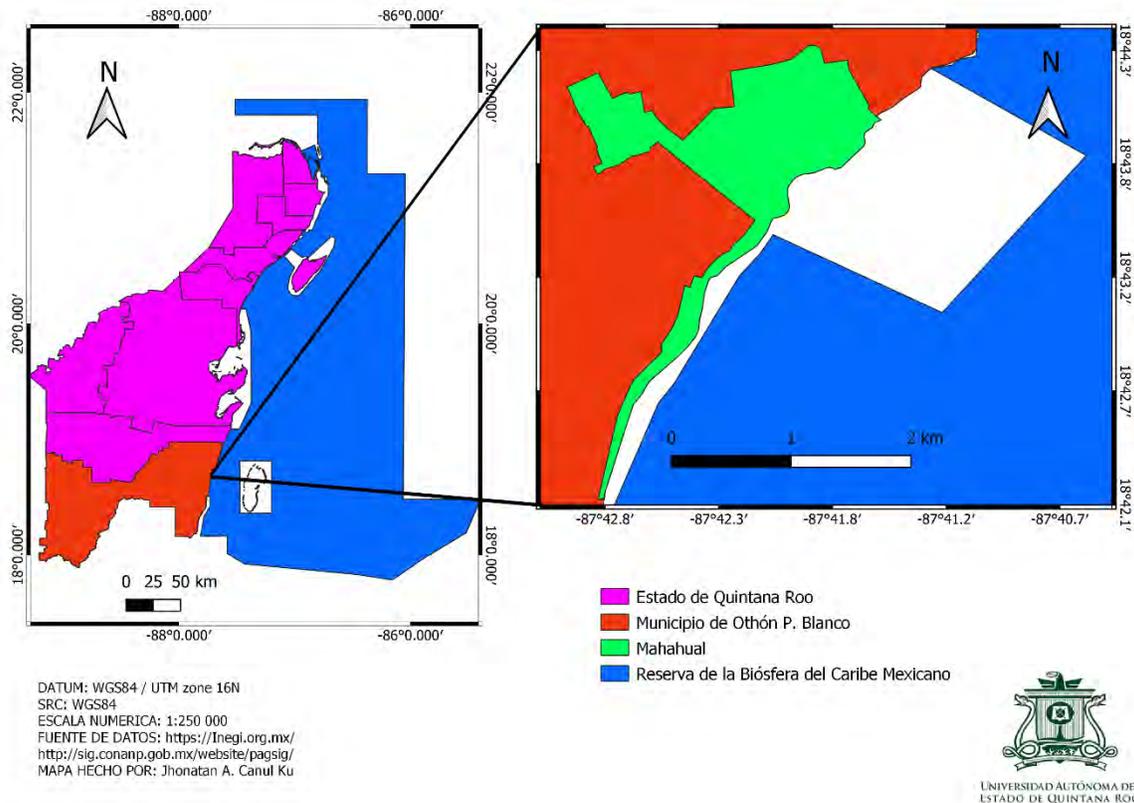
### **OBJETIVO GENERAL**

Conocer la composición específica y abundancia de elasmobranquios en la zona arrecifal de Mahahual, Q. Roo.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Determinar la diversidad de elasmobranquios en la zona arrecifal de Mahahual, Q. Roo.
2. Estimar la abundancia relativa de las especies observadas en el área.
3. Conocer la distribución de las especies en las diferentes zonas arrecifales.
4. Determinar si hay diferencia en la abundancia y distribución de las especies de tiburones en áreas de alta afluencia de visitantes y en áreas de baja afluencia de visitantes.

## ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 1.** Mapa del Área de estudio “Mahahual, Q. Roo”

Mahahual se encuentra en el del estado de Quintana Roo, México, en latitud  $18^{\circ}43'58''N$  y longitud  $87^{\circ}41'31''W$  (Figura 1), esta localidad pertenece al municipio de Othón P. Blanco, esta región es mejor conocida como Costa Maya y se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano, esta zona presenta un clima sub húmedo cálido, con temporada de lluvias en verano y humedad relativa proveniente del mar Caribe, la temperatura promedio anual es de  $28^{\circ}C$ , con máxima de  $35^{\circ}C$  y mínima de  $14^{\circ}C$  y la precipitación promedio anual es de 1249 mm (SEMAR, 2012).

A lo largo de la costa del puerto de Mahahual, y sobre la plataforma continental se ubica una barrera arrecifal discontinua, la cual tiene múltiples quebrados y piedras semi- sumergidas; el “canal” que se forma entre la línea de costa y la barrera arrecifal (SEMAR, 2012).

“Determinación de la Diversidad y Abundancia de Elasmobranchios con la Técnica de Video Remoto Submarino con Carnada en Mahahual, Quintana Roo”

El arrecife que se encuentra en Mahahual es de tipo barrera con una extensión de 3600 metros aproximadamente; esta zona se destaca por tener una laguna arrecifal somera de poca extensión, la cual tiene una profundidad media de siete metros; mientras que la parte frontal del arrecife presenta una profundidad de nueve a once metros. El sustrato que se encuentra en dicho lugar es arenoso y está cubierto por praderas de pastos marinos principalmente *Thalassia testudinum* (Aguilar Ontiveros, 1998, CONANP, 2018).

En esta zona se encuentran especies de siete géneros de corales pétreos siendo *Orbicella sp.* y *Diploria sp.* las especies que presentan mayor dominancia (CONANP, 2018), de igual manera abundan las especies *Acropora palmata*, *Orbicella annularis*, *Agaricia agaricites* (Rodríguez Baquero & Chávez Ortiz, 2011).

Las corrientes marinas en esta zona de Mahahual son las del Caribe, las cuales son originadas en las aguas del Océano Atlántico frente a la costa Norecuatorial de las Antillas menores y son movidas por efecto de los vientos alisios en dirección este-noreste hacia la Península de Yucatán (Pérez Vallmitjana & Romero Martinengo, 2001)

La zona arrecifal de Mahahual se encuentra en el Mar Caribe el cual es parte del sistema denominado circulación del Caribe, este mismo está compuesto por un flujo con dirección hacia el oeste con velocidades de 0,5 a 1,0 m/s (Kinder, 1983; Schmitz y McCartney, 1993; Gallegos y Czitrom, 1997; Mooers y Maul, 1998; Andrade y Barton, 2000; Johns et al., 2002) dicha zona transporta 28 Sv del Océano Atlántico, este flujo se encuentra dividida en aproximadamente tres tercios iguales entre lo que son las Islas de Barlovento al sur de Martinica (10 Sv), las Islas de Sotavento (8 Sv) y los pasajes de las Antillas Mayores entre Puerto Rico y Cuba (10 Sv) (Johns et al., 2002) por lo cual esto crea el flujo del caribe, el cual está compuesto por grandes remolinos, energéticos y numerosos, los cuales están asociados a este flujo a gran escala. (Molinari et al., 1981; Carton & Chao, 1999; Murphy et al., 1999; Andrade y Barton, 2000; Pratt y Maul, 2000; Oey et al., 2004; Centurioni & Niiler, 2003; Richardson, 2005).

Cuando las corrientes del Caribe se desplazan por las Cayman, estas pasan a ser las corrientes de Cayman, las cuales fluyen hacia el oeste (Badan et al., 2005), antes de girar hacia el norte a lo largo de la Península de Yucatán, para así convertirse en la Corriente de Yucatán (Badan et al., 2005).

La circulación que se encuentra presente durante la temporada de invierno en el SAM (Sistema Arrecifal Mesoamericano) está compuesta por tres regiones, una región norte con una corriente de Yucatán, una región del sur con un flujo débil que va hacia el sur y una región de transición donde las corrientes Cayman influyen en la Península de Yucatán, estas corrientes presentan un marcado gradiente de velocidad del norte al sur (Carrillo et al., 2016).

En la parte norte de la región donde la corriente de Yucatán es la que domina en la circulación, se han presentado distintas características, características tales como la formación de una estela que se encuentra aguas abajo de Banco Chinchorro y el remolino costero de Ascensión (Cozumel) la cual está ubicada aguas abajo de Bahía de la Ascensión (Carrillo et al., 2016).

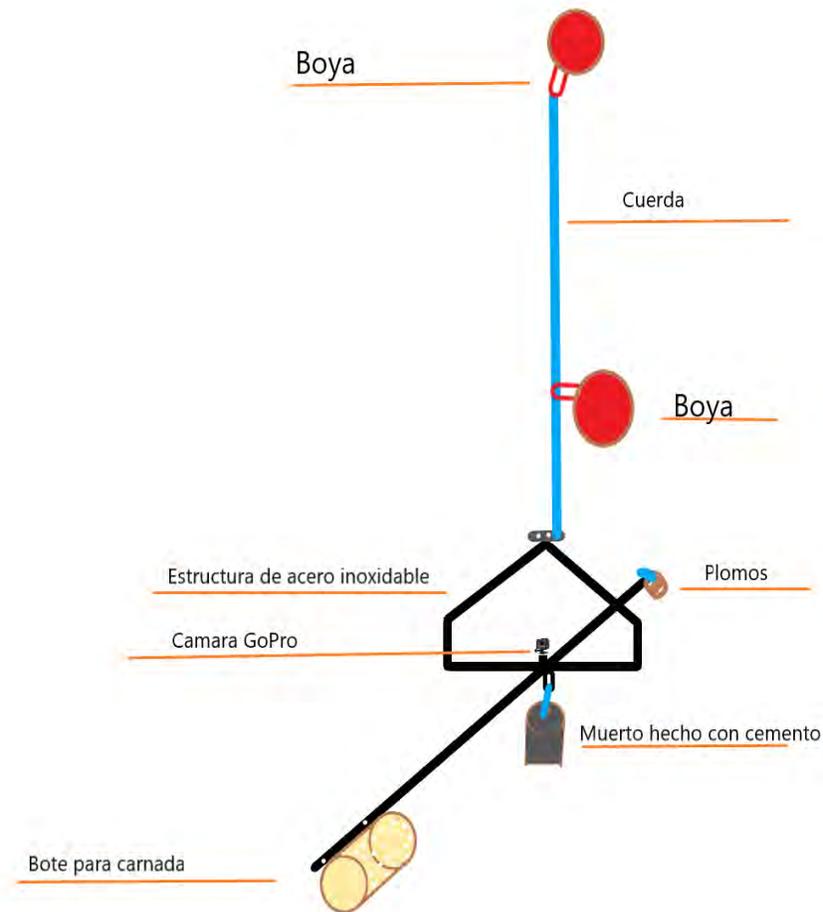
## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La zona de estudio se dividió en tres secciones tomando en cuenta la frecuencia de afluencia de visitantes del área por las actividades de buceo o snorkel. Una de las secciones se ubicó al norte del muelle de cruceros (Latitud 18°43'39.99"N Longitud 87°41'16.82"O) que es un área con pocos sitios de buceo y baja actividad de afluencia de visitantes la cual tuvo una extensión de aproximadamente 5 km. Otra sección fue la zona central frente al pueblo de Mahahual entre el muelle de cruceros y el sitio de buceo Dos Ojos (Latitud 18°42'3.84"N Longitud 87°42'21.88"O) que es un área de mucha afluencia de visitantes donde se lleva a cabo el 90% de las actividades de buceo y snorkel con un tamaño aproximado de 3.70 km y la tercera

sección al sur de este punto de buceo que abarco desde allí hasta 5 km al sur en donde la actividad de buceo y snorkel es baja.

La estructura utilizada para el VRSC utilizada para la realización del monitoreo de se muestra en la figura 2.

La carnada utilizada para el monitoreo fueron sardinas frescas compradas ese mismo día a los pescadores cercanos, se utilizó 1 kg por estructura por lance.



**Figura 2.** Diseño de la estructura usada para el monitoreo

Las cámaras usadas fueron GoPro 4 y 7, la calidad de video usado fue 1080p a 60 fps, se usó el modo gran angular, la duración del video fue de 1 hora con 20 min, esto con el fin de tener 60 min de grabación efectivos.

Las estructuras se armaron en tierra firme para poder disminuir los tiempos y hacer más eficiente el monitoreo, el armado en tierra firme consta de colocar la varilla de 2.3 m, sujetar el bote de carnada a la varilla y colocar el plomo de 4 lb, esto se realizó para las 5 estructuras, estando en la embarcación, lo primero que se realizó fue colocar las cuerdas y las boyas, luego se llenó el bote de carnada con 1 kg de sardina fresca, de ahí se sujetó el muerto de cemento a la estructura y por último se colocó la cámara GoPro.

Los puntos de muestreo fueron seleccionados al azar, una vez se escogía el lugar de inicio de muestreo se colocaba allí la primera estructura y de ahí se contaban 500 m hasta el siguiente punto el cual también se seleccionaba al azar.

Una vez localizado el lugar se midió la profundidad con un profundímetro portátil (Laylin Speedtech SM-5) , esto para asegurarnos que la cuerda alcanzaría a llegar al fondo y mantenerse en la superficie, si la cuerda a usar alcanza a mantenerse en la superficie se determina que ese sitio es apto, antes de bajar la estructura se encendía la cámara y en frente de ella se colocaba una tabla que contenía el número del despliegue, la hora en la que se estaba dejando y el nombre del sitio, luego de eso se comenzaba a bajar la estructura. En la estación se tomaron los parámetros *in situ*: la salinidad por medio de un refractómetro, corriente y temperatura por medio de una sonda multiparamétrica (marca Apera pc60-z), así mismo se tomaron otros datos como nubosidad, estado del mar conforme a la escala de Beaufort, posición geográfica con ayuda de un GPS (UTM), transparencia del agua usando el Disco de Secchi, todos estos datos fueron tomados solamente dos veces en cada monitoreo, al primer despliegue realizado y al último, los únicos datos que se tomaron durante cada despliegue fueron la posición geográfica, profundidad, y la grabación de la tabla con el número del despliegue, la hora y nombre del sitio.

La distancia entre despliegues fue de 500 m aproximadamente, la realización de dichos despliegues era en la mañana entre las 9:00 am y 2:00 pm, esto fue en cuatro

temporadas distintas, el primer monitoreo fue a inicios de marzo, el segundo en mayo, el tercero en julio y el último en septiembre del año 2021, esto se hizo con el propósito de obtener los datos de temporadas climáticas distintas.

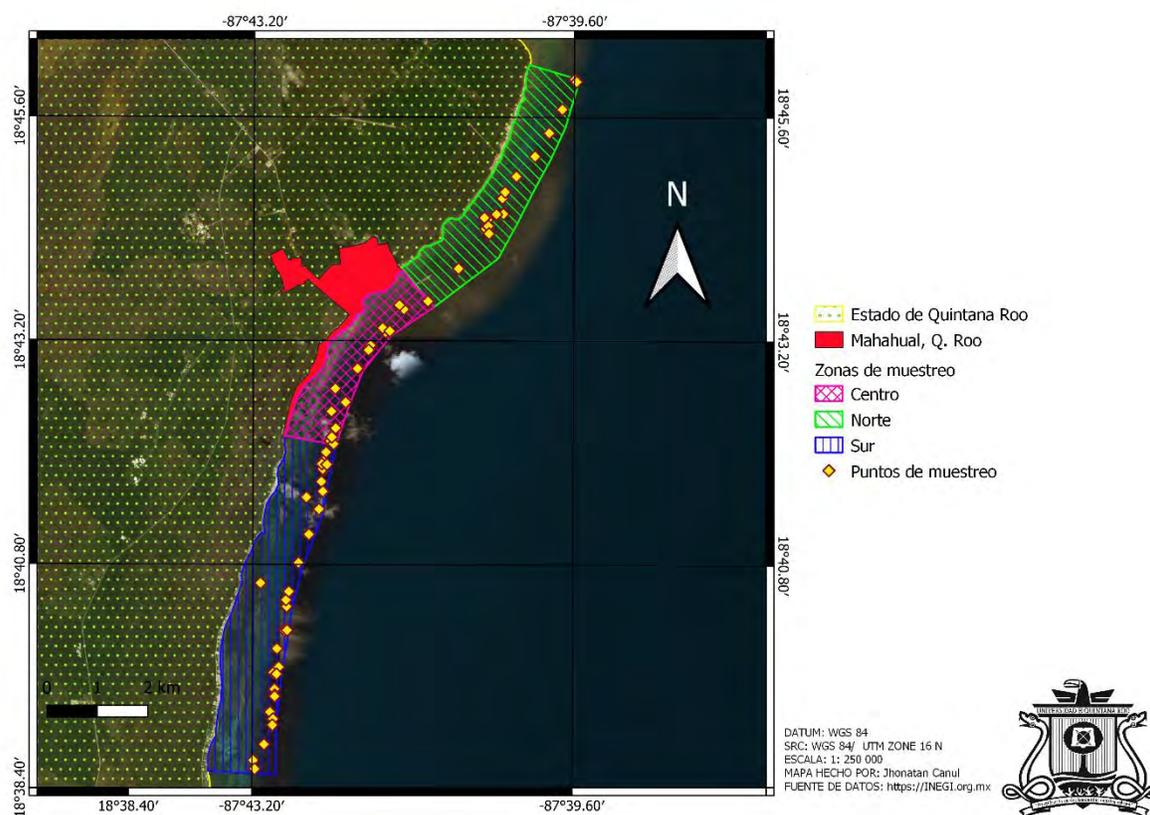
## **ANÁLISIS DE DATOS**

El análisis de cada uno de los videos se realizó mediante el reproductor de películas y tv, este programa lo trae por defecto el sistema operativo de Windows, para el análisis se tomaron, datos como: el tiempo en el que la especie de tiburón o raya apareció en el video por primera vez (TFO), la abundancia indicada por el estimador MaxN que es el número máximo de individuos de la misma especie que aparecen en un cuadro del video en el mismo tiempo, esto ayuda a excluir el doble conteo de la misma especie (Priede et al. 1994; Ellis & De Martini 1995 citado en Bruns & Henderson, 2020), y T MaxN que es el minuto en el que se observaron el máximo número de individuos de la misma especie en todo el video. Los individuos observados fueron identificados hasta el mínimo de taxón posible.

De igual manera se observó el tipo de hábitat donde eran desplegados los VRSC, y se clasificaron en cuatro tipos de hábitats, Arrecife de Coral (R), Fondo Rocoso (HB), Arena (S) y Macroalgas (MA), así mismo se analizó la complejidad de los hábitats, estos se colocaron en una escala del 1 al 4, siendo uno la complejidad más baja y cuatro la más alta, la complejidad de cada fondo estaba determinado por la cantidad de estructuras y organismos presentes durante la muestra, una complejidad de 4 presentaba distintas estructuras de corales, esponjas así como rocas depositadas, una complejidad de 1 apenas y presentaba alguna estructura rocosa o coralina, esto mayormente estaba asociado a fondos arenosos, también se anotó el porcentaje de cobertura de cada hábitat.

## RESULTADOS

Se hicieron un total de 63 lances durante el periodo de muestreo en Mahahual (Figura 3), en las tres secciones: zona norte (poco buceo, 15 lances), zona centro (alto buceo, 19 lances) y zona sur (casi nada o nada de buceo, 29 lances), los intervalos de profundidad a los que se desplegaron cada estructura variaron de 10 a 60 metros, de los 63 lances hechos, en tres de ellos los videos obtenidos no se pudieron utilizar por distintas razones las cuales fueron que los videos estaban dañados y la perdida de una estructura la cual contenía los datos grabados de dos estaciones, por lo cual se analizaron un total de 60 videos, un total de 80 horas de video grabación, de los cuales solo en el 16.66% de los videos obtenidos se registró la presencia de alguna especie de elasmobranquio.



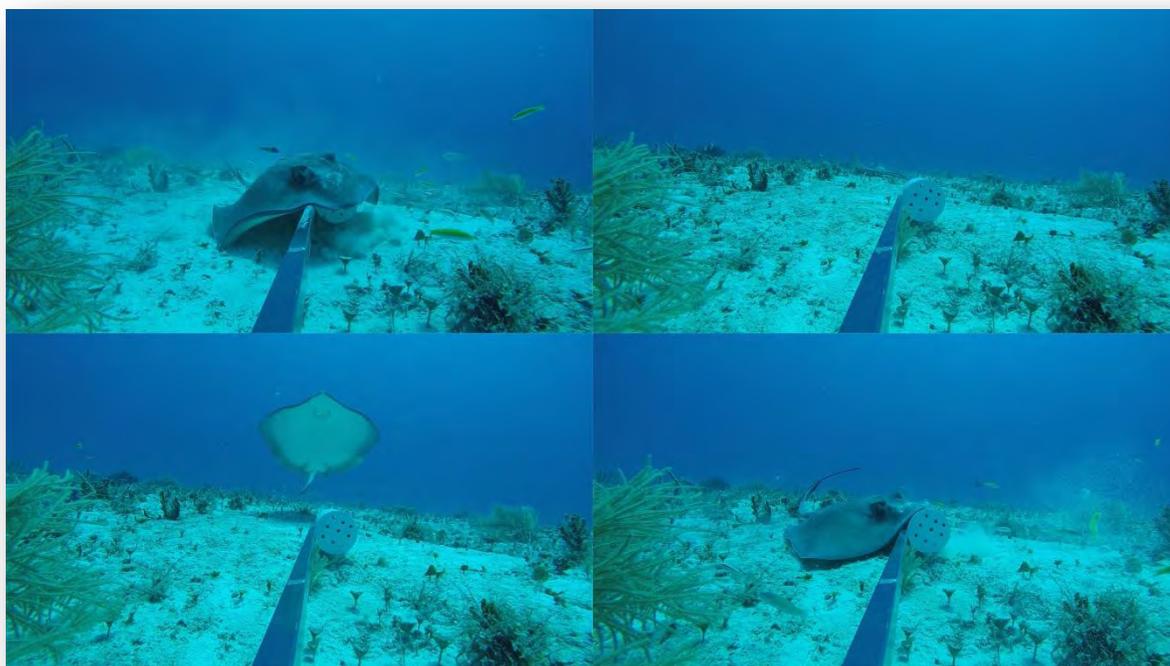
**Figura 3.** Mapa del área de lances de los VRSC

En total se pudieron observar cuatro individuos pertenecientes a tres especies de rayas y una especie de tiburón, así mismo a tres familias y cuatro géneros, solo uno

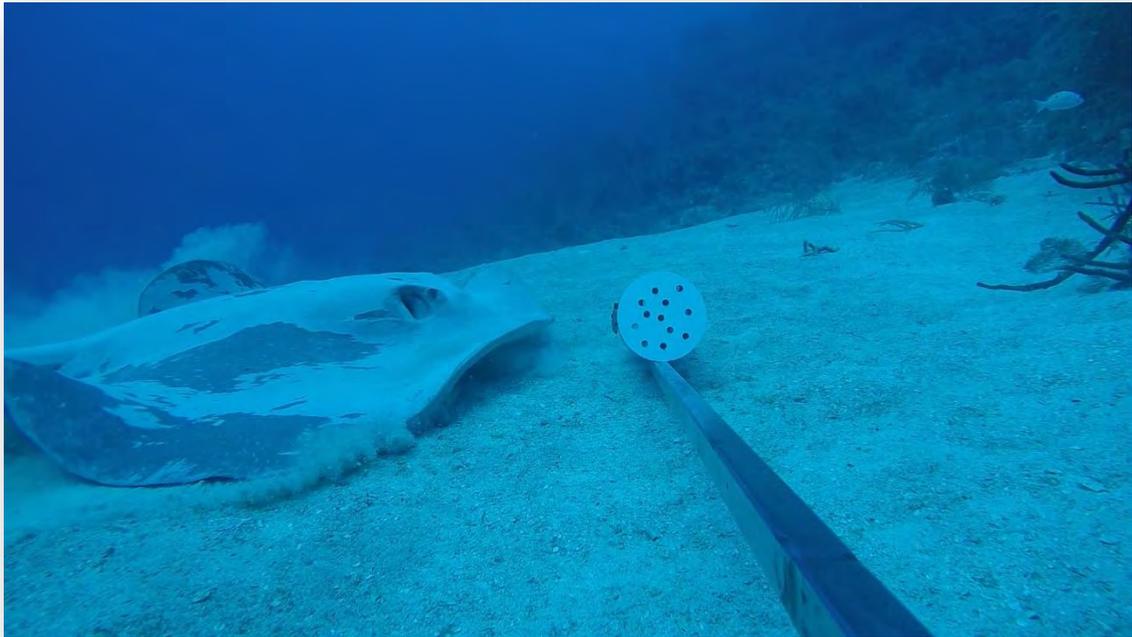
de los individuos de raya no pudo ser identificado hasta el nivel de especie, debido a la distancia a la cual se encontraba. (Tabla 1).

**Tabla 1.** Listado de especies encontradas

| Género    | Especie                    | Familia          |
|-----------|----------------------------|------------------|
| Hypanus   | <i>Hypanus americanus</i>  | Dasyatidae       |
| Styracura | <i>Styracura Schmardae</i> | Potamotrygonidae |
| Sphyrna   | <i>Sphyrna mokarran</i>    | Sphyrnidae       |
| Mobula    | <i>Mobula Sp.</i>          |                  |



**Figura 4.** Raya blanca o americana, especie *Hypanus americanus*



**Figura 5.** Raya levisa, especie *Styracura Schmardae*

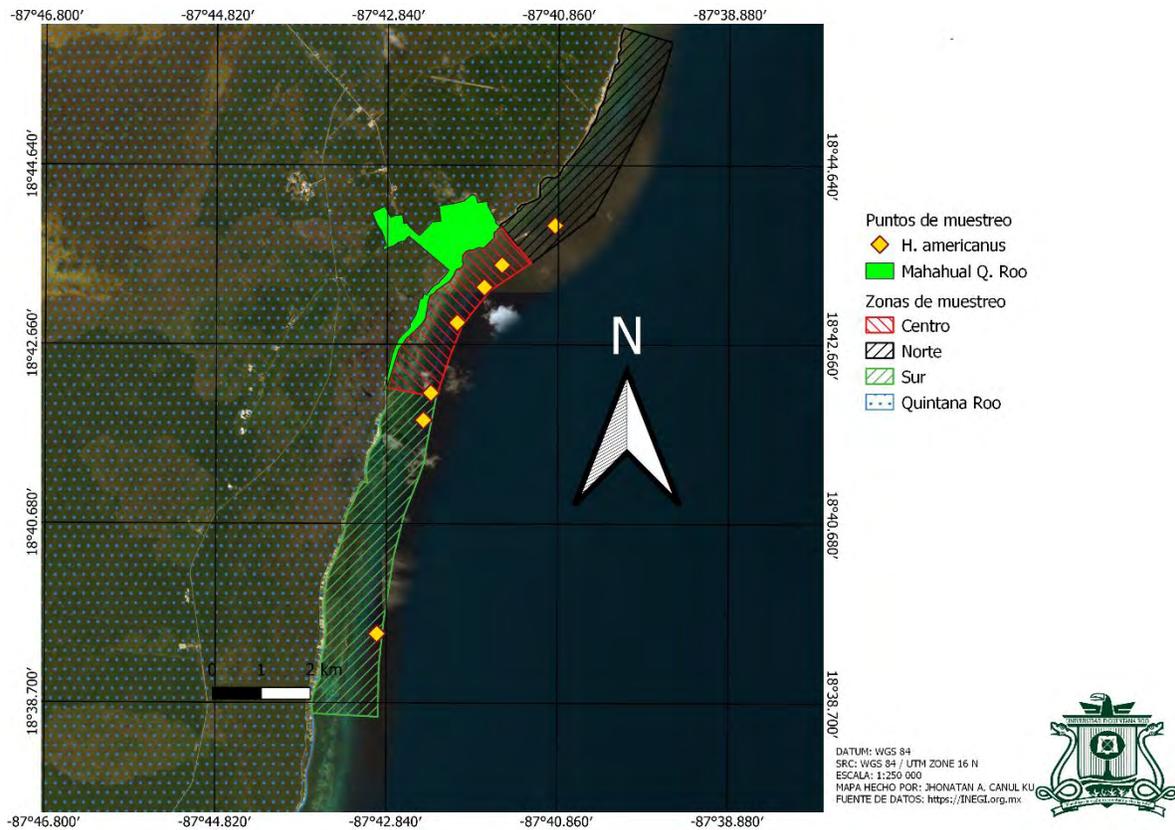


**Figura 6.** Especie no identificada, *Mobula sp.*



**Figura 7.** Tiburón martillo gigante o cornuda gigante, especie *Sphyrna mokarran*

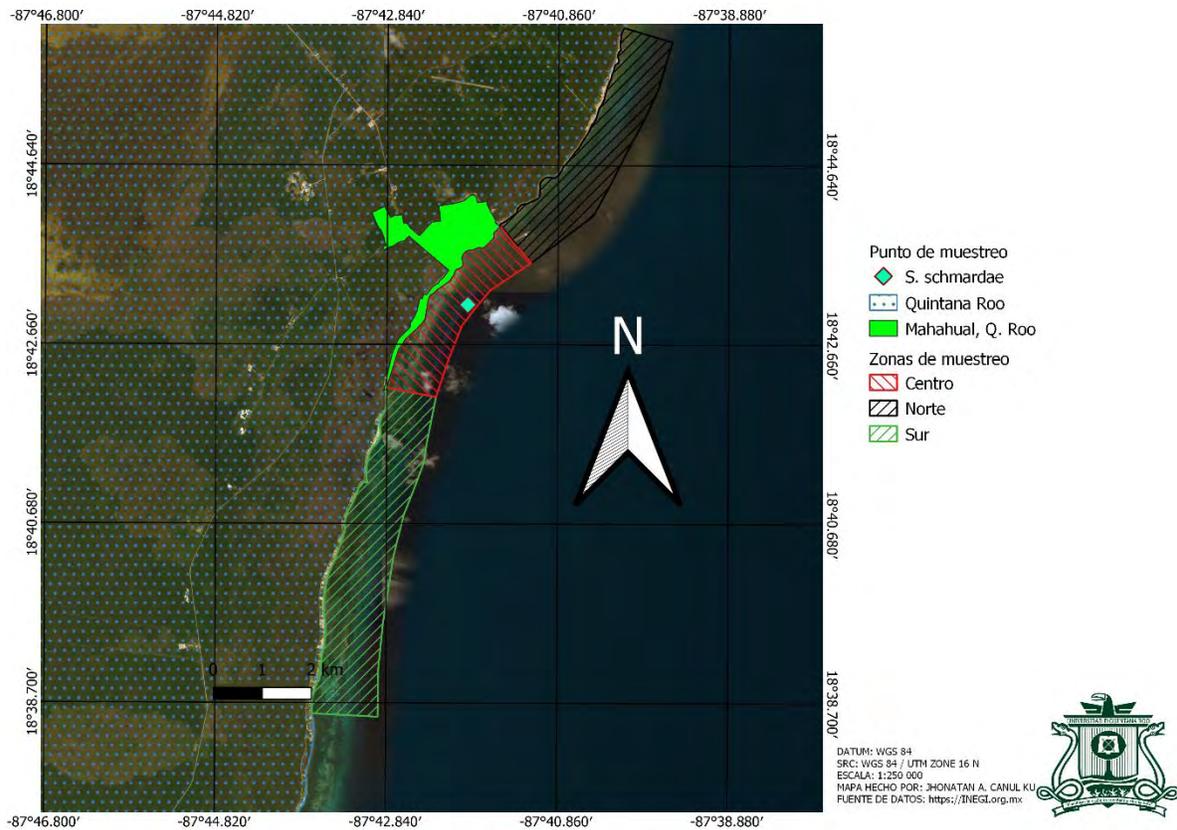
De los 60 videos analizados, en siete de ellos se avisto a la raya *Hypanus americanus* (Figura 4), todas las demás especies solo se avistaron una vez en un solo video, por lo cual dicha especie tuvo mayor presencia.



**Figura 8.** Mapa de puntos de encuentro con *H. americanus*

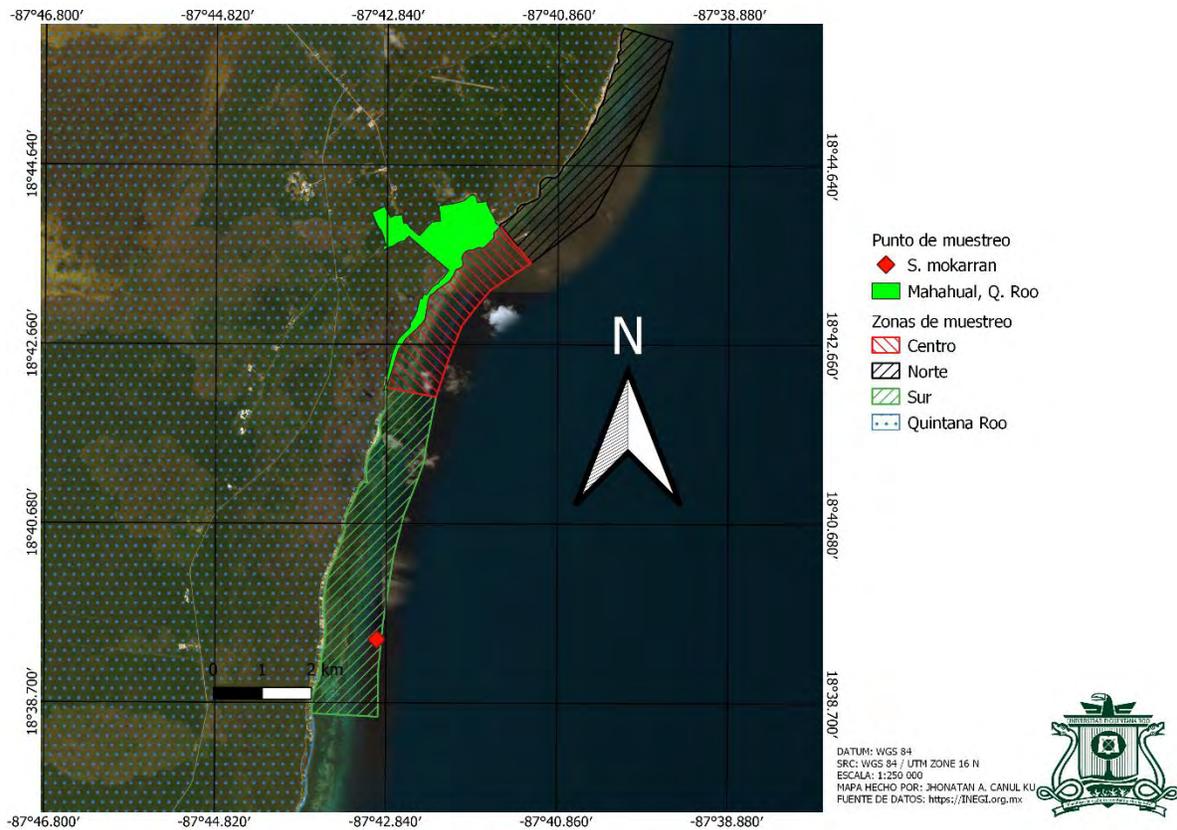
La zona donde se encontró más veces a la raya *H. americanus* fue en la zona centro (Figura 8), la cual es considerada como zona alta de buceo, dicha raya tuvo una aparición en cuatro lances hechos en la zona.

La especie *Styracura Schmardae* fue avistada de igual manera en la zona centro de los tres sitios de muestreo (Figura 5), pero esta especie fue vista una vez (Figura 9).



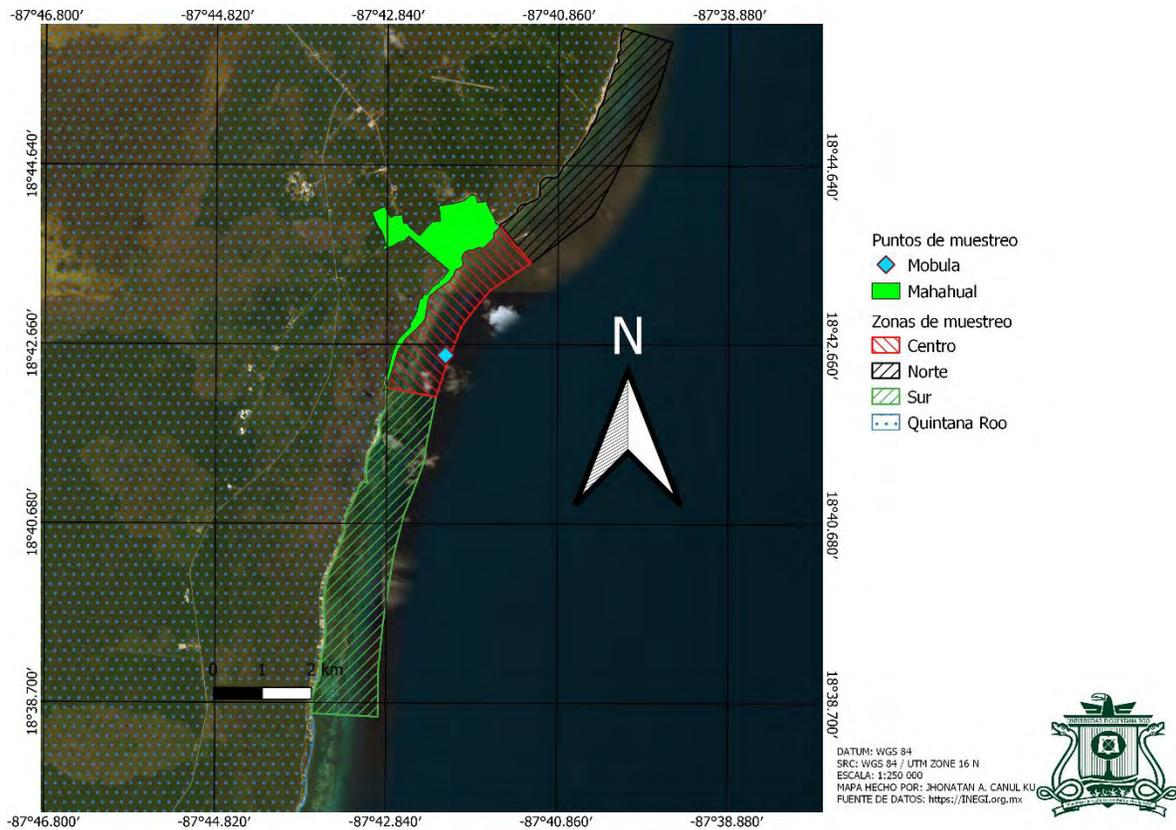
**Figura 9.** Mapa del punto de encuentro con la especie *Styrcura schmardae*

La especie *Sphyrna mokarran* (Figura 7) tuvo únicamente una aparición en un solo video de las estaciones desplegadas y dicha aparición fue en la zona sur donde el buceo no se realiza o casi no se realiza (Figura 10).



**Figura 10.** Mapa del punto de encuentro con la especie *S. mokarran*

Hubo un único espécimen que no se pudo identificar hasta nivel de especie esto debido a la lejanía a la cual se encontraba el ejemplar del VRSC (Figura 6), por lo cual solo se determinó su género, dicho individuo pertenece al género *Mobula* y fue capturado por el VRSC en la zona centro de muestreo (Figura 11).



**Figura 11.** Mapa de punto de encuentro con un ejemplar del género *Mobula*

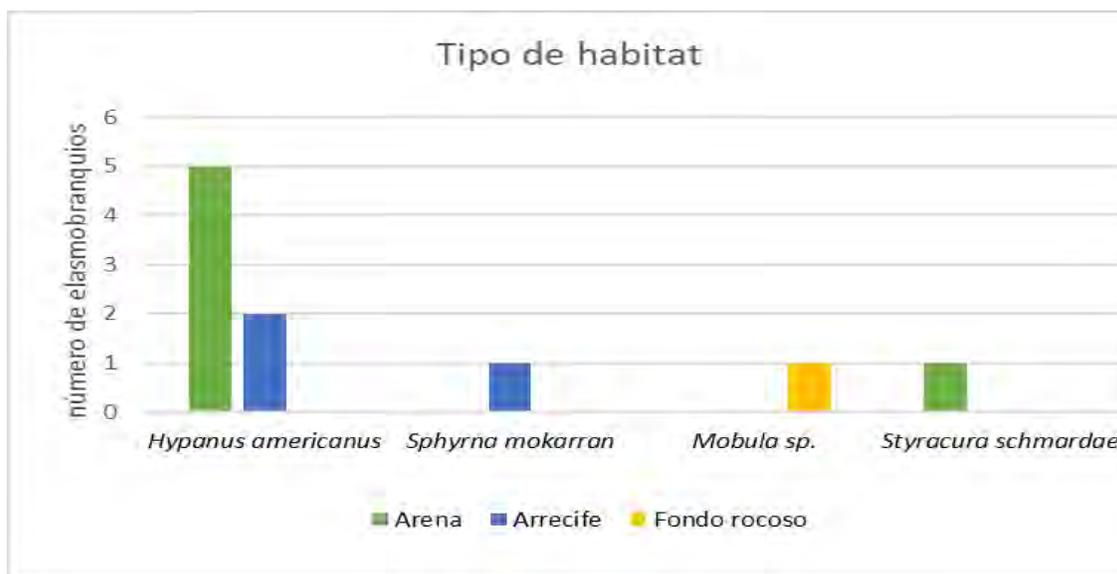
El Max N obtenido para cada especie fue de un individuo por hora, siendo esto que solo se observó un organismo de cada especie en un mismo cuadro de video (Figura 12).

La raya *H. americanus* se encontró más asociada con el fondo arenoso, siendo esta encontrada en gran mayoría en este tipo de hábitat, la raya *S. schmardae* de igual manera se encontró en el fondo arenoso, sin embargo, esta solo fue avistada una única vez, el tiburón *S. mokarran* fue avistado en el arrecife, pero al igual que la anterior raya solo fue capturado por los VRSC una vez, el ejemplar que no se pudo identificar a nivel especie pero si a nivel género, únicamente se encontraba de paso, pero el tipo de hábitat donde se encontró fue en la zona pelágica asociada a un fondo rocoso (Figura 13).

**Tabla 2.** Tipo de hábitat donde fueron observadas las especies

| VIDEO_ID | FECHA      | ESPECIE             | TEMPERATURA (°C) | TIPO DE HABITAT   | LONGITUD   | LATITUD    |
|----------|------------|---------------------|------------------|-------------------|------------|------------|
| E1-V3    | 05/03/2021 | Hypanus americanus  | 28.1             | Arena (S)         | 89°20'6.00 | 8°53'56.40 |
| E3-V2    | 05/03/2021 | Hypanus americanus  | 28.1             | Arena (S)         | 102°18'50. | 75°2'52.80 |
| E5-V3    | 06/03/2021 | Hypanus americanus  | 28.1             | Arena (S)         | 62°16'12.0 | 22°40'12.0 |
| E3-V5    | 01/06/2021 | Hypanus americanus  | 30.02            | Arrecife (R)      | 65°25'40.8 | 53°30'10.8 |
| E10-V2   | 02/06/2021 | Hypanus americanus  | 29               | Arena (S)         | 102°19'37. | 24°33'14.4 |
| E13-V2   | 02/06/2021 | Hypanus americanus  | 29               | Arena (S)         | 101°8'34.8 | 17°46'37.2 |
| E7-V3    | 18/07/2021 | Sphyrna mokarran    | 29               | Arrecife (R)      | 68°57'57.6 | 8°51'32.40 |
| E15-V1   | 19/07/2021 | Mobula              | 29               | Fondo rocoso (HB) | 31°35'52.8 | 37°10'30.0 |
| E10-V1   | 22/09/2021 | Styracura schmardae | 28.8             | Arena (S)         | 127°0'46.8 | 12°39'50.4 |
| E11-V1   | 22/09/2021 | Hypanus americanus  | 28.8             | Arrecife (R)      | 92°33'43.2 | 17°57'14.4 |

Para la raya *Hypanus americanus*, el mayor número de avistamientos fue en la temporada primavera – verano, esto se puede notar ya que después del mes de julio las capturas disminuyeron a solo una y fue a finales del mes de septiembre (Figura 14), para las demás especies no fue posible analizar su variación temporal debido a su baja frecuencia de aparición, sin embargo si se analizan en conjunto podemos observar que la mayor aparición de las distintas especies fue en los meses de junio a septiembre.



**Figura 12.** Tipos de hábitat en los que se encontraron las especies



**Figura 13.** Abundancia de las especies por temporada representada por Max N

## DISCUSIÓN

En los arrecifes de Mahahual se observó una baja diversidad y poca abundancia de tiburones y rayas lo cual está acorde con la hipótesis. Esta baja diversidad y abundancia puede estar relacionada con múltiples factores causados principalmente por la alta cantidad de actividades antropogénicas que se llevan a cabo en esta zona, como el buceo, snorkel, la pesca (tanto comercial como deportiva), la llegada de cruceros y el desarrollo costero de infraestructura. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Clementi et al., (2021) en donde destacan que la mortalidad por pesca, la pérdida o degradación de sus hábitats, la perturbación, la contaminación y la pesca excesiva de sus presas han causado una disminución en la abundancia de elasmobranquios en los arrecifes coralinos y así mismo encontraron que el principal factor antropogénico era la pesca la cual afectaba negativamente a los tiburones generando la mayor mortalidad. De igual modo Ward-Paige et al., (2010) determinaron que la ausencia de tiburones podría estar relacionada con las presiones antropogénicas, el vínculo entre la densidad de la población humana y la ausencia de tiburones en los arrecifes es probable que se

deba a factores antropogénicos que los afectan de manera directa e indirecta, este resultado lo obtuvieron de comparar la densidad de la población humana con los datos obtenidos de su estudio, con base en el análisis de viabilidad de la población que hicieron, obtuvieron que incluso los bajos niveles de mortalidad por pesca podrían hacer que las poblaciones de tiburones disminuyan a una pequeña fracción de su abundancia inicial en pocas décadas, por lo cual la pesca explicaría por sí sola la ausencia de tiburones, es probable que la alta vulnerabilidad por pesca sea debido a la gran y larga historia de explotación y a los impactos humanos realizado durante muchos años en las aguas costeras del gran caribe.

En el presente estudio solo se obtuvieron capturas de elasmobranquios en el 16% de los videos el cual es un valor bajo comparado con otros sitios en la región del Caribe Occidental en donde Bruns & Henderson, (2020) en las Islas Turcas y Caicos obtuvieron que todos los lances realizados, en el 61.5% de estos registraron algún elasmobranquio. Así mismo Clementi et al., (2021) quienes realizaron un estudio en Belice con tiburón de arrecife (*Carcharinus perezii*), encontraron a esta especie en 12% de los videos y en Bahamas un 42.6% de los videos. En este estudio los autores asociaron esta diferencia a que en Bahamas existe un santuario de tiburones que lleva más de una década funcionando por lo que esto ayudo a que las poblaciones se recuperen, mientras que en Belice solo hay protección en ciertas áreas y las especies siguen siendo pescadas lo que ha contribuido a la disminución de las mismas. En cuanto al número de especies encontradas en Mahahual solo se observaron cuatro especies de elasmobranquios lo cual es similar a lo encontrado en Belice donde encontraron 5 especies, mientras que en Bahamas el número de especies si fue mucho mayor (nueve especies) casi el doble de lo encontrado en este estudio (Clementi et al., 2021). Así mismo, en el trabajo realizado en las Islas Turcas y Caicos se encontraron ocho especies de tiburones y rayas de las cuales dos fueron encontradas durante nuestro trabajo, tiburón martillo, *S. mokarran* y la raya americana, *H. americanus*. (Bruns & Henderson, 2020). Estas diferencias en la riqueza de especies pueden estar relacionadas con factores como la presencia de áreas marinas protegidas y la salud de los arrecifes, ya que en Bahamas donde existe un santuario de tiburones desde hace más de 10 años la riqueza de especies

fue mayor mientras en el área de Mahahual a pesar de existir un área natural protegida es de muy reciente creación y el esfuerzo en vigilancia y protección aún no se ve reflejado en la diversidad o estado de los ecosistemas.

Las rayas encontradas durante este trabajo como la raya *H. americanus*, en la mayoría de los casos se observaron dentro de la zona de muestreo que se sitúa enfrente del pueblo de Mahahual, esta zona denominada como zona de buceo fue la que presentó la mayoría de los avistamientos con los VRSC, así mismo dichas rayas fueron encontradas comúnmente cerca del arrecife o en fondos arenosos, esto puede ser comparado con lo obtenido en el estudio realizado por Tilley & Strindberg, (2013) donde encontraron que esta especie presenta una preferencia por las zonas someras demostrando pequeños rangos de distribución y gran residencia en áreas específicas. Tilley et al., (2013) obtuvieron resultados similares al anterior trabajo, señalando que la raya *H. americanus*, las zonas de movimiento que presentaba eran pequeñas, demostrando fuerte fidelidad a dichas zonas, datos obtenidos de las rayas durante el día mostraron que esta especie utiliza zonas de arena limpia cerca de los parches de arrecife para buscar alimento, esta observación implica que las rayas hacen uso de los parches de arrecife como redes de refugio, las cuales están conectadas a zonas con un gran potencial de alimentación, este estudio demostró la importancia del hábitat para las rayas así como su estructura y distribución (Tilley et al., 2013), de igual modo en el trabajo realizado por Bruns & Henderson, (2020) mencionan que el encuentro con la raya *H. americanus* es común en la zona durante las actividades de buceo y snorkel en los arrecifes, arenas y pastos marinos.

La presencia de un mayor número de rayas que de tiburones durante nuestro estudio, puede ser debido a que la ausencia de estos depredadores, provocan que se incremente la abundancia de las rayas (Sherman, et al., 2020). En el estudio realizado por Sherman, et al., (2020) mencionan que una gran evidencia de la liberación de mesopredadores fue observada en el Golfo pérsico y en el Mar de Omán, donde se realizaron prospecciones de arrastre con 28 años de diferencia una de otra, las cuales mostraron una disminución significativa en la abundancia de

tiburones y un gran aumento en la abundancia de rayas (Valinassab et al., 2006), así mismo en su trabajo mencionan que donde el riesgo por depredación es bajo, las rayas podrían presentar una mayor actividad de alimentación, donde les permitiría invertir más energía en el crecimiento y la reproducción (Werner & Anholt, 1993).

La baja diversidad y abundancia de tiburones en, los arrecifes de Mahahual también pueden estar relacionada con el estado de salud del arrecife, ya que los arrecifes de Mahahual están catalogados como en estado crítico a regular según el último reporte publicado por la iniciativa Healthy Reef for Healthy people (McField et al., 2020). Se sabe que los tiburones y los corales presentan una relación, en la cual los corales le provee a los tiburones una fuente de presas, hábitats de crianza, refugios contra la depredación y la eliminación de parásitos (Roff et al., 2016), así mismo los tiburones le proveen distintos servicios a los corales como: el ciclo de los nutrientes (Schmitz et al., 2010), la recolección de residuos (Wilson & Wolkovich, 2011), la alteración del hábitat (Begg et al., 2003) y la eliminación de especies invasoras (Wallach et al., 2015), distintos estudios han demostrado que existe una correlación entre la disminución de la abundancia de tiburones y el estado de degradación de los arrecifes, los cuales presenta mayor cantidad de macroalgas y baja densidad de herbívoros (Sandin et al., 2008). Un ejemplo igual de la correlación que existe entre los arrecifes y los tiburones es el trabajo realizado por Espinoza et al., (2014) en donde determinaron que la abundancia de coral tuvo un gran efecto en la abundancia de tiburones asociados a los arrecifes, lo cual sugiere que la cubierta de coral es un factor importante, por otro lado mencionan que la eliminación de los tiburones de arrecife puede traer grandes impactos que se esparcirían por toda la cadena trófica, esto traería consigo la liberación de mesopredadores, la alteración de productores primarios y por consiguiente la pérdida de la cobertura coralina, con ello podemos entender que tanto la disminución de tiburones y arrecifes tendrían un efecto negativo en la salud y la resiliencia de sus comunidades.

Tres de las cuatro especies de elasmobranquios observadas en la zona de Mahahual se encuentran en una de las categorías de amenazas en la Lista Roja de

especies amenazadas de la IUCN, *S. schmardae* se encuentra en la categoría de “En Peligro” (Dulvy et al., 2021), *S. mokarran*, está en la categoría de “En Peligro Crítico” (Rigby et al., 2019), y aun que no se pudo identificar la especie del género *Mobula* observada en los videos, las dos posibles especies de este género que se encuentran en esta región se encuentran en la categoría de “En peligro”. Cabe destacar que a pesar de que *S. schmardae* y *S. mokarran* están catalogadas dentro de la Lista Roja de la IUCN en una de las categorías de amenazadas, no se encuentran dentro de los lineamientos de protección de las Normas Oficiales Mexicanas, como bien lo indica la NOM-029-PESC-2006, únicamente están excluidas de ser pescadas las especies: tiburón ballena (*Rhincodon typus*), tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*), tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), pez sierra (*Pristis perotteti*, *P. pectinata* y *P. microdon*) y las especies del género *Mobula* (*Manta birostris*, *Mobula japonica*, *M. thurstoni*, *M. munkiana*, *M. hypostomata* y *Mobula tarapacana*), estas especies no podrán ser conservadas ni vivas ni muertas o alguna parte de ella, por lo cual su comercialización o consumo no se deberá realizar.

Para las medidas de conservación y aprovechamiento sustentable se menciona en la NOM-029-PESC-2006, que se crearan zonas y periodos de veda en los tiempos de reproducción, nacimiento y crecimiento de estas especies, la pesca no podrá realizarse en una franja marina de cinco kilómetros de ancho alrededor de las zonas arrecifales coralinas, existe un programa de acción para la conservación de las especies tiburones y rayas el cual busca establecer estrategias de manejo del hábitat esto con un enfoque de ecología del paisaje, considerando aspectos de conectividad regional y procesos ecológicos a gran escala, todo esto para asegurar la conservación de los elasmobranquios y su funcionamiento dentro del ecosistema (SEMARNAT, 2018).

La protección, el cuidado y la conservación de las distintas especies de elasmobranquios dentro de la comunidad de Mahahual es algo que no se lleva a cabo, esto puede ser debido a la desinformación que existe dentro de la zona, en la cual los tiburones están siendo vistos como una amenaza para los pobladores y los

turistas que llegan, catalogando a estos animales como un estorbo dentro de la comunidad y capturándolos solo porque si , a pesar de que la zona donde se realizó el muestreo se encuentra dentro de la zona de protección de la Biosfera del Caribe Mexicano y la regla 94 prohíbe la pesca de cualquier especie de tiburón, excepto para investigación y monitoreo científico (CONANP, 2018). A pesar que las especies encontradas en el presente trabajo, se encuentren en alguna categoría de amenaza, no existe vigilancia por parte de algún ente gubernamental en cuanto a la pesca, de igual manera aun que es un área natural protegida la zona, no existe la protección y el cuidado, así como un seguimiento del estado en el que se encuentra los recursos naturales, de dar se ha demostrado que las áreas marinas protegidas, tienden a tener un efecto positivo en las distintas especies de tiburones y rayas, pero este efecto positivo disminuye cuando dichas especies entran en zonas de pesca donde no existe regulación o la regulación pesquera es poca, y son capturados de manera incidental. El encontrar cuatro distintas especies de elasmobranquios en el área de estudio demuestra la importancia que hay que darle a la zona marina de Mahahual, para ello se necesitan establecer distintas regulaciones para poder conservar a dichas especies.

Se deben de llevar a cabo estudios que ayuden a determinar la población real de elasmobranquios, la implementación de programas para la recuperación de los tiburones y rayas, una mayor vigilancia del sitio, la creación de un catálogo con las distintas especies de la zona, así como un registro de distribución y abundancia para determinar las zonas que suelen preferir estos animales y poder tener un mayor conocimiento de ellos, de igual modo se necesita incluir a la comunidad aledaña para impartirles cursos y capacitaciones para la conservación y protección de estos organismos, así como para darles a conocer su importancia para la

comunidad, y para el mundo, esto con el fin de promover la concientización y que las futuras generaciones sean ellos mismos los protectores de sus recursos.

## **CONCLUSIÓN**

En el arrecife de Mahahual hay una baja abundancia de especies de tiburón y rayas las cuales pueden estar asociadas al deterioro del ecosistema arrecifal local y de los ecosistemas adyacentes de la región, en la zona se pudieron observar un total de cuatro especies de elasmobranquios, las rayas fueron el grupo más abundante presentes. El arrecife de Mahahual puede ser un hábitat de gran importancia para las especies en peligro crítico por lo cual se deben proponer estrategias de manejo para evitar la desaparición de esta población, se debe tener una mayor vigilancia sobre las especies que se pescan en la zona, así como brindar la información correspondiente de la importancia de los elasmobranquios y que podría pasar si se pesca sin medida, así como las sanciones que se darán en dado caso de que incumplan las reglas establecidas. Podemos determinar que el uso de la técnica VRSC dentro de nuestro estudio fue de gran utilidad para detectar las distintas especies de tiburones y rayas dentro de la zona de Mahahual, y que los costos para la aplicación de la técnica son bajos, el uso de personal para llevarla a cabo fue bajo también, dicha técnica nos ayudó a no generar ningún daño hacia las especies debido a que no fue invasiva ni destructiva, no requerimos la manipulación de

ninguna especie para la obtención de sus datos, podemos decir que la técnica fue eficaz y eficiente dentro del estudio y para la zona de Mahahual.

## REFERENCIAS

- Aguilar Ontiveros, D. (1998). Estructura de la comunidad bentónica del arrecife de Mahahual, Quintana Roo, México. In *Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida, Departamento de Recursos del Mar*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida.
- Andrade, C.A., Barton, E.D., 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.* 105 (C11), 26191–26201
- Badan, A., Candela, J., Sheinbaum, J., & Ochoa, J. (2005). Upper-Layer Circulation in the Approaches to Yucatan Channel. *Geophysical Monograph Series*, 161, 57–69. <https://doi.org/10.1029/161GM05>
- Bailey, D. M., King, N. J., & Priede, I. G. (2007). Cameras and carcasses: historical and current methods for using artificial food falls to study deep-water animals. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 350. <https://www.jstor.org/stable/24872089>
- Bascompte, J., Melián, C. J., & Sala, E. (2005). Interaction strength combinations and the overfishing of a marine food web. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(15), 5443–5447. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0501562102>
- Baum, J. K., Myers, R. A., Kehler, D. G., Worm, B., Harley, S. J., & Doherty, P. A. (2003).

Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science*, 299(5605), 389–392. <https://doi.org/10.1126/science.1079777>

Begg, C. M., Begg, K. S., Du Toit, J. T., & L Mills, M. G. (2003). *Sexual and seasonal variation in the diet and foraging behaviour of a sexually dimorphic carnivore, the honey badger (Mellivora capensis)*. 260, 301–316. <https://doi.org/10.1017/S0952836903003789>

Blanco-Parra, M. del P., & Niño-Torres, C. A. (2022). Elasmobranchs of the Mexican Caribbean: biodiversity and conservation status. *Environmental Biology of Fishes*, 105(1), 151–165. <https://doi.org/10.1007/s10641-021-01203-7>

Blanco-Parra, M. del P., Niño-Torres, C. A., Ramírez-González, A., & Sosa-Cordero, E. (2016a). Tendencia histórica de la pesquería de elasmobranquios en el estado de Quintana Roo, México. *Ciencia Pesquera*, 24, 125–137.

Blanco-Parra, M. del P., Niño-Torres, C. A., Ramírez-González, A., & Sosa-Cordero, E. (2016b). Tendencia histórica de la pesquería de elasmobranquios en el estado de Quintana Roo, México. *Ciencia Pesquera*, 24(December), 125–137.

Bond, M. E., Babcock, E. A., Pikitch, E. K., Abercrombie, D. L., Lamb, N. F., & Chapman, D. D. (2012). Reef sharks exhibit site-fidelity and higher relative abundance in marine reserves on the Mesoamerican Barrier reef. *PLoS ONE*, 7(3), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032983>

Brooks, E. J., Sloman, K. A., Sims, D. W., & Danylchuk, A. J. (2011). Validating the use of baited remote underwater video surveys for assessing the diversity, distribution and abundance of sharks in the Bahamas. *Endangered Species Research*, 13(3), 231–243. <https://doi.org/10.3354/esr00331>

Bruns, S., & Henderson, A. C. (2020). A baited remote underwater video system (BRUVS) assessment of elasmobranch diversity and abundance on the eastern Caicos Bank (Turks and Caicos Islands); an environment in transition. *Environmental Biology of Fishes*, 103(9), 1001–1012. <https://doi.org/10.1007/s10641-020-01004-4>

Cappo, M., Harvey B, E., Malcolm, H., & Speare, P. (2003). POTENTIAL OF VIDEO TECHNIQUES TO MONITOR DIVERSITY, ABUNDANCE AND SIZE OF FISH IN STUDIES OF MARINE PROTECTED AREAS. *Australian Institute of Marine Science*. [www.geomsoft.com.au](http://www.geomsoft.com.au)

“Determinación de la Diversidad y Abundancia de Elasmobranquios con la Técnica de Video Remoto Submarino con Carnada en Mahahual, Quintana Roo”

- Carrillo-Briceño, J. D., Carrillo, J. D., Aguilera, O. A., & Sanchez-Villagra, M. R. (2018). Shark and ray diversity in the Tropical America (Neotropics)-an examination of environmental and historical factors affecting diversity. *PeerJ*, 2018(7).  
<https://doi.org/10.7717/PEERJ.5313/SUPP-11>
- Carton, J. A., & Chao, Y. (1999). Caribbean Sea eddies inferred from TOPEX/POSEIDON altimetry and a 1/6° Atlantic Ocean model simulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C4), 7743–7752. <https://doi.org/10.1029/1998JC900081>
- Centurioni, L. R., & Niiler, P. P. (2003). On the surface currents of the Caribbean Sea. *Geophysical Research Letters*, 30(6), 1279. <https://doi.org/10.1029/2002GL016231>
- Clementi, G., Babcock, E., Valentin-Albanese, J., Bond, M., Flowers, K., Heithaus, M., Whitman, E., Van Zinnicq Bergmann, M., Guttridge, T., O’Shea, O., Shipley, O., Brooks, E., Kessel, S., & Chapman, D. (2021). Anthropogenic pressures on reef-associated sharks in jurisdictions with and without directed shark fishing. *Marine Ecology Progress Series*, 661, 175–186. <https://doi.org/10.3354/meps13607>
- Cline, W. 2008. Shark Diving Overview for the Islands of the Bahamas. Report of the Bahamas Ministry of Tourism. Cline Marketing Group, Nassau, Bahamas. 11 pp
- Colton, M. A., & Swearer, S. E. (2010). A comparison of two survey methods: Differences between underwater visual census and baited remote underwater video. *Marine Ecology Progress Series*, 400, 19–36. <https://doi.org/10.3354/meps08377>
- CONABIO. (2020). *PROTOCOLOS DE MONITOREO de la BIODIVERSIDAD MARINA EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL CARIBE MEXICANO*.
- CONANP. (2018). *Programa de Manejo. Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano*. 375. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/191\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/191_libro_pm.pdf)
- Currey-Randall, L. M., Cappo, M., Simpfendorfer, C. A., Farabaugh, N. F., & Heupel, M. R. (2020). Optimal soak times for Baited Remote Underwater Video Station surveys of reef-associated elasmobranchs. *PLoS ONE*, 15(5).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231688>
- Dorman, S. R., Harvey, E. S., & Newman, S. J. (2012). Bait Effects in Sampling Coral Reef Fish Assemblages with Stereo-BRUVs. *PLOS ONE*, 7(7), e41538.  
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0041538>

- Dulvy, N. K., Pacoureau, N., Rigby, C. L., Pollom, R. A., Jabado, R. W., Ebert, D. A., Finucci, B., Pollock, C. M., Cheok, J., Derrick, D. H., Herman, K. B., Sherman, C. S., VanderWright, W. J., Lawson, J. M., Walls, R. H. L., Carlson, J. K., Charvet, P., Bineesh, K. K., Fernando, D., ... Simpfendorfer, C. A. (2021). Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology*, 31(21), 4773-4787.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.062>
- Edgar, G. J., Barrett, N. S., & Morton, A. J. (2004). Biases associated with the use of underwater visual census techniques to quantify the density and size-structure of fish populations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 308(2), 269–290. <https://doi.org/10.1016/J.JEMBE.2004.03.004>
- Ehemann, N. R., González-González, L. del V., Chollet-Villalpando, J. G., & De La Cruz-Agüero, J. (2018). Updated checklist of the extant Chondrichthyes within the Exclusive Economic Zone of Mexico. *ZooKeys* 774: 17-39, 774(774), 17–39. <https://doi.org/10.3897/ZOOKEYS.774.25028>
- Espinoza, M., Araya-Arce, T., Chaves-Zamora, I., Chinchilla, I., & Cambra, M. (2020). Monitoring elasmobranch assemblages in a data-poor country from the Eastern Tropical Pacific using baited remote underwater video stations. *Scientific Reports*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74282-8>
- Espinoza, M., Cappo, M., Heupel, M. R., Tobin, A. J., & Simpfendorfer, C. A. (2014). *Quantifying Shark Distribution Patterns and Species-Habitat Associations: Implications of Marine Park Zoning*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106885>
- Ferretti, F., Worm, B., Britten, G. L., Heithaus, M. R., & Lotze, H. K. (2010). Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecology Letters*, 13(8), 1055–1071. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01489.x>
- Franco Arenales, I., Ortíz, J. R., Polanco Vásquez, F. E., Pacay Barahona, A. J., Estupiñan Montaña, C., Rosales Melgar, M. de los Á., & Avalos Castrillo, C. G. (2016). *MONITOREO DE LA ECOLOGÍA DE LAS ESPECIES DE RAYAS Y TIBURONES EN EL CARIBE DE GUATEMALA*. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/prunian/INF-2016-19.pdf>
- Frisk, M. G., Miller, T. J., & Fogarty, M. J. (2001). Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: A comparative life history study. *Canadian*

*Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(5), 969–981.

<https://doi.org/10.1139/F01-051>

- Gallegos, A., Czitrom, S., 1997. Aspectos de la oceanografía física regional del Mar Caribe. In: Lavín, M.F. (Ed.), *Oceanografía Física en México*, Monografía 3.. Unión Geofísica Mexicana, México, D.F., pp. 1401–1414.
- Ghazilou, A., Shokri, M. R., & Gladstone, W. (2019). Comparison of baited remote underwater video (BRUV) and underwater visual census (UVC) for assessment of reef fish in a marginal reef in the Northern Persian gulf. *Iranian Journal of Ichthyology*, 6(3), 197–207. <https://doi.org/10.22034/iji.v6i3.353>
- Heithaus, M. R., Burkholder, D., Hueter, R. E., Heithaus, L. I., Pratt, H. L., & Carrier, J. C. (2007). Spatial and temporal variation in shark communities of the lower Florida Keys and evidence for historical population declines. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64(10), 1302–1313. <https://doi.org/10.1139/F07-098>
- Johns, W. E., Townsend, T. L., Fratantoni, D. M., & Wilson, W. D. (2002). Erratum: On the Atlantic inflow to the Caribbean Sea (Deep-Sea Research (2002) 49 (211-243) PII: S0967063701000413). *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(7), 1307. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(02\)00026-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(02)00026-2)
- Lara Lizardi, F. (2018). *Distribution patterns of sharks in the Revillagigedo Archipelago and their connectivity in the Eastern Tropical Pacific*. 172.
- Lucifora, L. O., García, V. B., & Worm, B. (2011). Global Diversity Hotspots and Conservation Priorities for Sharks. *PLoS ONE*, 6(5), e19356. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019356>
- MacNeil, M. A., Chapman, D. D., Heupel, M., Simpfendorfer, C. A., Heithaus, M., Meekan, M., Harvey, E., Goetze, J., Kiszka, J., Bond, M. E., Currey-Randall, L. M., Speed, C. W., Sherman, C. S., Rees, M. J., Udyawer, V., Flowers, K. I., Clementi, G., Valentin-Albanese, J., Gorham, T., ... Cinner, J. E. (2020). Global status and conservation potential of reef sharks. *Nature*, 583(7818), 801–806. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2519-y>
- Marcos-Camacho, S. A., Nalesso, E., Caamal-Madriral, J. A., & Fulton, S. (2016). Caracterización de la pesquería de tiburón en el norte de Quintana Roo, México. *Ciencia Pesquera*, 24(February), 153–156.

“Determinación de la Diversidad y Abundancia de Elasmobranquios con la Técnica de Video Remoto Submarino con Carnada en Mahahual, Quintana Roo”

- McField, M., Kramer, P., Peterson, A. G., Soto, M., & Drysdale, I. (2020). 2020 MESOAMERICAN REEF REPORT CARD. <https://bit.ly/2QkQvgh>
- Mooers, C., Maul, G.A., 1998. Intra-Americas Sea coastal ocean circulation. In: Robinson, K.H., Brink, K.H. (Eds.), *The Sea* vol. 11. John Wiley & Sons, New York, pp. 183–208
- Molinari, R. L., Spillane, M., Brooks, I., Atwood, D., & Duckett, C. (1981). Surface currents in the Caribbean Sea as deduced from Lagrangian observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 86(C7), 6537–6542. <https://doi.org/10.1029/JC086IC07P06537>
- Murphy, S. J., Hurlburt, H. E., & O'Brien, J. J. (1999). The connectivity of eddy variability in the Caribbean Sea, the Gulf of Mexico, and the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104(C1), 1431–1453. <https://doi.org/10.1029/1998JC900010>
- Myers, R. A., Baum, J. K., Shepherd, T. D., Powers, S. P., & Peterson, C. H. (2007). Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. *Science*, 315(5820), 1846–1850. <https://doi.org/10.1126/science.1138657>
- Myers, R. A., & Worm, B. (2005). Extinction, survival or recovery of large predatory fishes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1453), 13. <https://doi.org/10.1098/RSTB.2004.1573>
- Navia, A. F., Mejía-Falla, P. A., & Giraldo, A. (2007). Feeding ecology of elasmobranch fishes in coastal waters of the Colombian Eastern Tropical Pacific. *BMC Ecology*, 7, 8. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-7-8>
- Oey, L. Y., Ezer, T., & Sturges, W. (2004). Modeled and observed empirical orthogonal functions of currents in the Yucatan Channel, Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C8), 8011. <https://doi.org/10.1029/2004JC002345>
- Okey, T. A., Banks, S., Born, A. F., Bustamante, R. H., Calvopiña, M., Edgar, G. J., Espinoza, E., Fariña, J. M., Garske, L. E., Reck, G. K., Salazar, S., Shepherd, S., Toral-Granda, V., & Wallem, P. (2004). A trophic model of a Galápagos subtidal rocky reef for evaluating fisheries and conservation strategies. *Ecological Modelling*, 172(2–4), 383–401. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2003.09.019>

- Ormond, R., Gore, M., Bladon, A., Dubock, O., Kohler, J., & Millar, C. (2017). Protecting Cayman Island Sharks: Monitoring, Movement and Motive. *Gulf and Caribbean Fisheries Institute Proceedings*, 14–27.  
<https://www.researchgate.net/publication/321947459>
- Osgood, G. J., McCord, M. E., & Baum, J. K. (2019). Using baited remote underwater videos (BRUVs) to characterize chondrichthyan communities in a global biodiversity hotspot. *PLoS ONE*, 14(12), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225859>
- Pérez Vallmitjana, M., & Romero Martinengo, J. (2001). *Prácticas de ecología oceánica* (1st ed.).  
[https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=wy8lO\\_9\\_dqYC&oi=fnd&pg=PA1&dq=8483382741&ots=sFllrm3r0D&sig=6n2HILJA-9UCuLazLfsi7KMKh90&redir\\_esc=y#v=onepage&q=8483382741&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=wy8lO_9_dqYC&oi=fnd&pg=PA1&dq=8483382741&ots=sFllrm3r0D&sig=6n2HILJA-9UCuLazLfsi7KMKh90&redir_esc=y#v=onepage&q=8483382741&f=false)
- Pratt, R.W., Maul, G.A., 2000. Sea surface height variability of the Intra-Americas Sea from Topex/Poseidon satellite altimetry: 1992–1995. *Bull. Mar. Sci.* 67 (2), 687–708
- NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo., Diario Oficial de la Federación (2010). <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010>
- Richardson, P. L. (2005). Caribbean Current and eddies as observed by surface drifters. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52(3–4), 429–463.  
<https://doi.org/10.1016/J.DSR2.2004.11.001>
- Roff, G., Doropoulos, C., Rogers, A., Bozec, Y. M., Krueck, N. C., Aurellado, E., Priest, M., Birrell, C., & Mumby, P. J. (2016). The Ecological Role of Sharks on Coral Reefs. *Trends in Ecology and Evolution*, 31(5), 395–407.  
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.014>
- Sale, P. F., & Sharp, B. J. (1983). Correction for bias in visual transect censuses of coral reef fishes. *Coral Reefs*, 2(1), 37–42. <https://doi.org/10.1007/BF00304730>
- Sandin, S. A., Smith, J. E., DeMartini, E. E., Dinsdale, E. A., Donner, S. D., Friedlander, A. M., Konotchick, T., Malay, M., Maragos, J. E., Obura, D., Pantos, O., Paulay, G., Richie, M., Rohwer, F., Schroeder, R. E., Walsh, S., Jackson, J. B. C., Knowlton, N.,

- & Sala, E. (2008). Baselines and Degradation of Coral Reefs in the Northern Line Islands. *PLOS ONE*, 3(2), e1548. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0001548>
- Schmitz, O. J., Hawlena, D., & Trussell, G. C. (2010). Predator control of ecosystem nutrient dynamics. *Ecology Letters*, 13(10), 1199–1209. <https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2010.01511.X>
- SEMAR. (2012). Mahahual quintana roo. *Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología, Mahahual*, 9. <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioMahahual.pdf>
- SEMARNAT. (2018). *Programa de acción para la conservación de las especies tiburones y rayas*. 48 pp. [www.gob.mx/CONANP](http://www.gob.mx/CONANP)
- Sherman, C. S., Heupel, M. R., Johnson, M., Kaimuddin, M., Qamar, L. M. S., Chin, A., & Simpfendorfer, C. A. (2020). Repeatability of baited remote underwater video station (BRUVS) results within and between seasons. *PLOS ONE*, 15(12), e0244154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244154>
- Sherman, C. S., Heupel, M. R., Moore, S. K., Chin, A., & Simpfendorfer, C. A. (2020). When sharks are away, rays will play: Effects of top predator removal in coral reef ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 641(2016), 145–157. <https://doi.org/10.3354/meps13307>
- Shiffman, D. S., & Hammerschlag, N. (2016). Shark conservation and management policy: a review and primer for non-specialists. *Animal Conservation*, 19(5), 401–412. <https://doi.org/10.1111/acv.12265>
- Tholan, B., Carlson, P., Adolfo Tortolero-Langarica, J., Ketchum, J. T., Trejo-Ramírez, A., Aceves-Bueno, E., & Caselle, J. E. (2020). *The biodiversity of fishes at the Islas Mariás Biosphere Reserve, Mexico, as determined by baited remote underwater video Biodiversidad de peces en la Reserva de la Biosfera Islas Mariás, México, determinada por video subacuático remoto cebado con carnada*. 46(4), 227–252. <https://doi.org/10.7773/cm.v46i4.3104>
- Tilley, A., López-Angarita, J., & Turner, J. R. (2013). Effects of scale and habitat distribution on the movement of the southern stingray *Dasyatis americana* on a Caribbean atoll. *Marine Ecology Progress Series*, 482, 169–179. <https://doi.org/10.3354/meps10285>

- Tilley, A., & Strindberg, S. (2013). Population density estimation of southern stingrays *Dasyatis americana* on a Caribbean atoll using distance sampling. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(2), 202–209.  
<https://doi.org/10.1002/aqc.2317>
- Valinassab, T., Daryanabard, R., Dehghani, R., & Pierce, G. J. (2006). Abundance of demersal fish resources in the Persian Gulf and Oman Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86(6), 1455–1462.  
<https://doi.org/10.1017/S0025315406014512>
- Velandia, M. (2018). *Baited Remote Underwater Video (BRUV) survey of elasmobranchs on Bonaire's reef. January, 0–17.*  
<http://www.dcbd.nl/sites/www.dcbd.nl/files/documents/Bonaire16report.pdf>
- Vianna, G. M. S., Meekan, M. G., Pannell, D. J., Marsh, S. P., & Meeuwig, J. J. (2012). Socio-economic value and community benefits from shark-diving tourism in Palau: A sustainable use of reef shark populations. *Biological Conservation*, 145(1), 267–277.  
<https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2011.11.022>
- Wallach, A. D., Ripple, W. J., & Carroll, S. P. (2015). Novel trophic cascades: apex predators enable coexistence. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(3), 146–153.  
<https://doi.org/10.1016/J.TREE.2015.01.003>
- Ward-Paige, C. A., Mora, C., Lotze, H. K., Pattengill-Semmens, C., McClenachan, L., Arias-Castro, E., & Myers, R. A. (2010). Large-scale absence of sharks on reefs in the greater-caribbean: A footprint of human pressures. *PLoS ONE*, 5(8).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011968>
- Ward-Paige, C., Flemming, J. M., & Lotze, H. K. (2010). Overestimating fish counts by non-instantaneous visual censuses: Consequences for population and community descriptions. *PLoS ONE*, 5(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011722>
- Werner, E. E., & Anholt, B. R. (1993). Ecological Consequences of the Trade-Off between Growth and Mortality Rates Mediated by Foraging Activity.  
<https://doi.org/10.1086/285537>, 142(2), 242–272. <https://doi.org/10.1086/285537>
- Wetherbee, B. M., & Cortés, E. (2004). Food consumption and feeding habits. *Biology of Sharks and Their Relatives*, 225–246. <https://doi.org/10.1201/b11867-16>

- White, J., Simpfendorfer, C. A., Tobin, A. J., & Heupel, M. R. (2013). Application of baited remote underwater video surveys to quantify spatial distribution of elasmobranchs at an ecosystem scale. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448(January 2013), 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.08.004>
- White, T. D., Carlisle, A. B., Kroodsma, D. A., Block, B. A., Casagrandi, R., De Leo, G. A., Gatto, M., Micheli, F., & McCauley, D. J. (2017). Assessing the effectiveness of a large marine protected area for reef shark conservation. *Biological Conservation*, 207, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.009>
- Wilson, E. E., & Wolkovich, E. M. (2011). Scavenging: how carnivores and carrion structure communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(3), 129–135. <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2010.12.011>
- Worm, B., Davis, B., Ketteimer, L., Ward-Paige, C. A., Chapman, D., Heithaus, M. R., Kessel, S. T., & Gruber, S. H. (2013). Global catches, exploitation rates, and rebuilding options for sharks. *Marine Policy*, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.034>
- WoRMS - World Register of Marine Species - *Isurus oxyrinchus Rafinesque, 1810*. (n.d.). Retrieved September 27, 2022, from <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=105839#vernaculars>
- Wraith, J., Lynch, T., Minchinton, T. E., Broad, A., & Davis, A. R. (2013). Bait type affects fish assemblages and feeding guilds observed at baited remote underwater video stations. *Marine Ecology Progress Series*, 477, 189–199. <https://doi.org/10.3354/meps10137>
- Zamora, V. I., Blanco-Parra, M., Castelblanco-Martínez, N., & Niño-Torres, C. (2018). Efectos antropogénicos sobre las poblaciones de megafauna acuática del Caribe Mexicano. In A. Ramírez-Bautista & R. Pineda-López (Eds.), *Ecología y Conservación de Fauna en Ambientes Antropizados*. REFAMA-CONACyT-UAQ. Querétaro. México. (pp. 5–21). [https://www.researchgate.net/publication/322694762\\_Efectos\\_antropogenicos\\_sobre\\_las\\_poblaciones\\_de\\_megafauna\\_acuatica\\_del\\_Caribe\\_Mexicano](https://www.researchgate.net/publication/322694762_Efectos_antropogenicos_sobre_las_poblaciones_de_megafauna_acuatica_del_Caribe_Mexicano)