

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Dinámica poblacional de tiburones juveniles punta negra
(*Carcharhinus limbatus*) en zona de crianza de las Islas Galápagos**

María Antonia Izurieta Burbano de Lara

Biología

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Bióloga

Quito, 19 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Dinámica poblacional de tiburones juveniles punta negra (*Carcharhinus limbatus*) en zona de crianza de las Islas Galápagos

María Antonia Izurieta Burbano de Lara

Nombre del profesor, Título académico: Alexander Hearn, PhD Biología Marina

Quito, 19 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: María Antonia Izurieta Burbano de Lara

Código: 00207539

Cédula de identidad: 1726565821

Lugar y fecha: Quito, 19 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Para que una especie prospere en el tiempo los individuos juveniles deben sobrevivir a las etapas más vulnerables de su vida temprana. El uso de zonas de crianza se da con frecuencia en peces e invertebrados marinos debido a que son consideradas áreas de bajo riesgo y alta productividad. Los tiburones no presentan cuidado parental, debido a esto el uso de zonas de crianza han sido un componente fundamental en la estrategia reproductiva del grupo filogenético. Puerto Grande es una laguna costera ubicada en la isla de San Cristóbal dentro del archipiélago de Galápagos, fue identificada como zona de crianza para los tiburones punta negra (*Carcharhinus limbatus*). Este estudio pretendía estimar el tamaño poblacional de tiburones juveniles punta negra mediante el método de marcaje y recaptura en la zona de crianza Puerto Grande en el periodo de abril-julio del 2022 con el modelo estadístico de Schnabel utilizado en R con el paquete de fishmethods. También intentaba determinar la tasa de crecimiento de la especie por sexo con el modelo estadístico de Gulland & Holt. Finalmente, con los datos recolectados se busca establecer cuáles son algunos factores mínimos y óptimos del monitoreo para tener información suficiente al momento de hacer estimaciones poblacionales. Con el propósito de generar un indicador poblacional que sea fácil de replicar cada año para medir efectividad y mostrar tendencias. La población de los tiburones juveniles punta negra se encuentra entre 456 y 2762 individuos. En relación con la tasa de crecimiento esta es una primera aproximación basada en una baja cantidad de datos y que refleja únicamente el crecimiento de individuos juveniles en dos meses. Finalmente se recomienda modificar el monitoreo de esta especie a ocho días consecutivos de muestreo en función de las mareas altas, capturando un mínimo de 20 tiburones al día.

Palabras clave: Marcaje y recapturas, zonas de crianza, tasa de crecimiento, tiburones juveniles, Schnabel, Gulland & Holt, Puerto Grande, Islas Galápagos

ABSTRACT

For a species to thrive over time, juvenile individuals must survive the most vulnerable stages of their early life. The use of nursery grounds is common fish and marine invertebrates because they are considered areas of low risk and high productivity. Sharks do not have parental care, which is why the use of nursery grounds is an important characteristic in the reproductive strategy of this phylogenetic group. Puerto Grande is a coastal lagoon located in San Cristobal Island, part of the Galapagos Archipelago. It was identified as nursery ground for blacktip sharks, being the most important for this specie in San Cristobal. (*Carcharhinus limbatus*). This study aimed to estimate the population size of juvenile blacktip sharks with the mark and recapture method in Puerto Grande in the period of April-July 2022, using the Schnabel estimate in R with the fishmethods package. Moreover, we tried to determine the growth rate by sex with the Gulland & Holt estimate. Finally, with the collected data we seek to establish the minimum and optimum factors of the monitoring needed to have enough information to generate population estimates. Our purpose is to generate a population indicator easy to replicate each year that measures effectiveness and shows tendencies. The juvenile blacktip population is between 456 and 2762. The growth rate calculated is first attempt that only reflects the growth of juvenile individuals in two months based on few samples. Finally, we suggest modifying this species monitoring to an 8 consecutive day survey in high tide, with a minimum catch effort of 20 individual per day.

Key words: Mark and recapture, nursery grounds, growth rate, juvenile sharks, Schnabel, Gulland & Holt, Puerto Grande, Galápagos Islands.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
METODOLOGÍA	15
ÁREA DE ESTUDIO.....	15
MONITOREO.....	16
TOMA DE DATOS Y MARCAJE.....	17
ANÁLISIS DE DATOS.....	18
RESULTADOS	19
MARCAJE Y RECAPTURA.....	19
ESTIMACIÓN POBLACIÓN CON SCHNABEL.....	20
TASA DE CRECIMIENTO.....	22
DISCUSIÓN	24
MARCAJE Y RECAPTURA.....	24
ESTIMACIÓN POBLACIONAL CON SCHNABEL	24
TASA DE CRECIMIENTO.....	26
CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 CAPTURAS Y RECAPTURAS ABRIL	19
FIGURA 2 CAPTURAS Y RECAPTURAS JULIO.....	20
FIGURA 3 ESTIMACIÓN POBLACIONAL Y RANGOS DE CONFIANZA ABRIL	20
FIGURA 4 ESTIMACIÓN POBLACIONAL Y RANGOS DE CONFIANZA JULIO	21
FIGURA 5 ESTIMACIÓN POBLACIONAL Y ESFUERZO DE CAPTURA	22
FIGURA 6 TASA DE CRECIMIENTO.	23

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1 MAPA DE LAGUNA COSTERA PUERTO GRANDE, SAN CRISTÓBAL	15
IMAGEN 2 UBICACIÓN DE PUERTO GRANDE CON RELACIÓN A SAN CRISTÓBAL.....	16

INTRODUCCIÓN

Para que una especie prospere en el tiempo los individuos juveniles deben sobrevivir a las etapas más vulnerables de su temprana vida. El uso de zonas de crianza en peces e invertebrados se da con frecuencia debido a que son consideradas áreas de bajo riesgo, sin embargo las amenazas a las que los juveniles se enfrenta varían desde muerte natural hasta inanición (Beck et al., 2001). Las zonas de crianza suelen estar ubicadas en áreas costeras de poca profundidad, como manglares, playas de fondo arenoso, estuarios y más (Dahlgren et al., 2006). Si bien esta es una estrategia que se ha mantenido en la evolución de varias especies marinas, las zonas costeras hoy en día se ven gravemente amenazadas por el Antropoceno (He & Silliman, 2019). Los juveniles pasan los primeros meses de sus vidas en las zonas de crianza, se asume que estos son lugares de alta productividad los cuales les proveen de alimento y al ser aguas poco profundas el riesgo de ser depredados baja (Heithaus, 2007.). Heupel et al. (2007) describieron los tres requisitos que debe cumplir una zona de crianza de tiburones: los tiburones se encuentran más en esa área que en otras, los tiburones tienden a quedarse o regresar por periodos extendidos y que el área sea usada constantemente con el paso de los años.

Los tiburones son estrategas de tipo K, por lo cual son animales de crecimiento lento, madurez sexual tardía y baja tasa de reproducción (Carrier et al., 2012). Todo esto los vuelve especies sensibles ante varias amenazas a las cuales ya se ven enfrentados como la sobrepesca y la destrucción de hábitats de crianza (Ceccarelli et al., 2014). Este grupo de animales tiene un rol fundamental en su ecosistema, como depredadores tope forman parte del control del tamaño de otras poblaciones, las ayudan a mantenerse saludables y pueden ser una de las fuerzas que las impulse a evolucionar (Bornatowski et al., 2014; Hammerschlag et al., 2019). Al ser gran nadadores se les podría contar dentro de los procesos de flujo de nutrientes, se alimentan en un

lugar y luego los desechos generados son eliminados en otra zona (Coleman & Williams, 2002). Los tiburones no presentan cuidado parental, y debido a esto las zonas de crianza han sido un componente fundamental en la estrategia reproductiva de este grupo filogenético. Geográficamente los tiburones juveniles y adultos no suelen encontrarse en los mismos lugares; los adultos suelen estar en zonas pelágicas. La conservación de estas especies y la implementación de monitoreos efectivos para poder evaluar las medidas de protección es urgente para la salud de los océanos.

Las Islas Galápagos son parte del territorio de Ecuador. Fueron declaradas parque nacional en el año 1936 y la UNESCO las declaró Patrimonio Natural de la Humanidad en el año 1978 (UNESCO, 2018). Están ubicadas en el Océano Pacífico Este Tropical a 1000km del territorio ecuatoriano continental. Estas islas son de origen volcánico y son famosas por su alto endemismo, de este lugar nace la teoría de la evolución. El clima se ve altamente influenciado por tres corrientes marinas: la corriente fría de Humboldt que viene desde Perú con muchos nutrientes, la corriente caliente de Panamá que viene desde el hemisferio norte que es baja en nutrientes y finalmente la corriente sub-superficial de Cromwell que viene desde el lado oeste de Océano Pacífico causando surgencia, levantando muchos nutrientes (Lucero, 2000). Debido a todas estas corrientes y al estar ubicado en el epicentro del fenómeno del Niño, Galápagos cuenta con un clima bastante dinámico. La capital de la provincia de Galápagos se encuentra en San Cristóbal, sin embargo es la segunda isla con mayor población. A 30 minutos en lancha relativamente alejado de la civilización se encuentra Puerto Grande, una laguna costera de fondo arenoso con arrecifes de roca y manglar. Puerto Grande fue identificada como zona de crianza para los tiburones punta negra *Carcharhinus limbatus*, siendo la más importante para esta especie dentro de San Cristobal (Hirschfeld, 2013). También se la ha nombrado como

posible zona de crianza para los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Chiriboga-Paredes et al., 2022).

El tiburón punta negra (*C. limbatus*) es una especie que se encuentra en zonas tropicales y subtropicales, no es considerada una especie oceánica ya que permanece cerca de las costas continentales (Garrick, 1982). *C. limbatus* está dentro de las especies de interés en el mercado, se ve gravemente afectada por pesca incidental y pesca ilegal (Tavares, 2008). Su dieta se basa en peces teleósteos, también pueden alimentarse de tiburones juveniles y rayas (Heupel, et al., 2002). Este animal tiene una reproducción vivípara, con una duración aproximada de un año en la gestación. La madurez sexual es alcanzada a entre los cuatro y cinco años en machos y en las hembras se da entre los siete y ocho años aproximadamente (Branstetter, 1987).

Llerena Martillo en el año 2009 realizó una de las primeras investigaciones sobre poblaciones juveniles de *C. limbatus* en Puerto Grande. Desde entonces las investigaciones sobre tiburón punta negra en Puerto Grande han ido aumentando, hasta la fecha se ha analizado patrones de movimiento y uso de hábitat (Hirschfeld, 2013), comportamiento de termo regulación (Páez Cordovez & Córdova Wollmann, 2020), ecología espacial y conservación (Chiriboga Paredes, 2018), también se han desarrollado nuevas metodologías para la identificación de zonas de crianza (Goodman, 2020). Sin embargo, no se tiene información sobre el tamaño aproximado de la población juvenil y tasa de crecimiento.

El marcaje y recaptura es una técnica utilizada para la estimación poblacional de una especie. Esta técnica involucra tomar una o varias muestras de una población, marcarlas, liberarlas de regreso a la población, y volver a tomar una muestra. La relación entre el tamaño de muestra y el número de individuos recapturados nos da información sobre el tamaño poblacional. Los tipos de marca colocadas en individuos varían desde simples etiquetas de plástico hasta equipos satelitales. Al realizar estudios poblacionales se debe tomar en cuenta si la población de interés

es abierta o cerrada. Esto se puede determinar en base al lugar y la cantidad de tiempo por el cual se va a desarrollar la investigación. Elegir poblaciones cerradas es útil debido a que este tipo de poblaciones se mantienen constantes a diferencia de las poblaciones abiertas que cambian su tamaño por una combinación de nacimientos, muertes, emigración y migración. Al reducir estas variables se reduce la cantidad de individuos que deben ser marcados y capturados para poder estimar la población (Henderson, 2009). Para utilizar esta metodología se asumen lo siguiente: los individuos marcados no presentan cambios en su comportamiento y su expectativa de vida no se ve afectada por ser marcados, los individuos marcados al ser liberados se mezclan completamente en la población, la probabilidad de atrapar un individuo marcado es la misma que a cualquier miembro de la población y el muestreo es totalmente aleatorio (Alcoy, 2013).

El modelo más simple utilizado para estudios de marcaje y recaptura de poblaciones cerradas es el estimador Peterson-Lincoln el cual sigue la siguiente fórmula:

$$\hat{N} = \frac{an}{r}$$

donde \hat{N} es el estimado de individuos de la población, a es el número total de individuos marcados en el primer muestreo, n es el número total de individuos capturados en el segundo muestreo y r el total de recapturas. Las limitaciones para este estimador es que funciona únicamente para dos días de muestreo, en algunos estudios se requieren al menos cuatro días para empezar a tener recapturas en este caso el estimador Peterson-Lincoln no es lo ideal. Trabajar únicamente con dos valores reduce bastante la calidad de la estimación poblacional (Henderson, 2009).

El modelo estadístico Schnabel es más complejo y sirve para estimar el tamaño de la población de interés sin un límite de cantidad de días de muestreo, este modelo también asume que se trata de una población cerrada (Gore et al., 2016). Se rige por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^m M_i C_i}{\sum_{i=1}^m R_i}$$

donde N es la estimación poblacional, M_i es la cantidad de individuos previamente marcados en el tiempo i , C_i los individuos capturados en el tiempo i , y R_i son las recapturas en el tiempo i . Schnabel es básicamente una extensión con varias repeticiones del estimador Peterson-Lincoln (Alcoy, 2013).

Por otro lado, si se mide a los animales en el momento de marcaje y en el momento de recaptura, es posible usar esta información para estimar tasas de crecimiento. El crecimiento en peces generalmente sigue el patrón presentado por von Bertalanffy, el cual dice que los peces aumentan su largo mientras van envejeciendo, pero su tasa de crecimiento va disminuyendo en el tiempo, acercándose a cero. Por lo tanto, cuando el pez alcanza L_∞ (talla máxima) la tasa de crecimiento es cero. Hay que tomar en cuenta que otras especies de animales como los algunos crustáceos no siguen los patrones de crecimiento de von Bertalanffy (Sparre, 1998). Para realizar curvas de crecimiento se puede utilizar el modelo estadístico de Gulland y Holt, el cual permite comparar la diferencia en la tasa de crecimiento entre sexos opuestos de la misma especie (Meyer et al., 2014). Sigue la siguiente formula:

$$\Delta L / \Delta t = K * L_\infty - K * \bar{L}(t)$$

donde L es el largo del individuo, t es el tiempo en años y K es la tasa de crecimiento. K es la inclinación de la gráfica entre el promedio de largo ($x=L$ mean) y la diferencia de largo dividido para el tiempo transcurrido entre muestreos ($y=\Delta L/\Delta t$), L_∞ es la talla máxima conocida para la especie (Gulland & Holt, 1959).

Este estudio busca estimar el tamaño de la población de tiburones juveniles punta negra (*Carcharhinus limbatus*) mediante el método de marcaje y recaptura en la zona de crianza Puerto Grande en el periodo de abril-julio del 2022. Adicionalmente se intenta determinar la tasa de crecimiento de la especie por sexo. Finalmente, con los datos recolectados se busca establecer la cantidad mínima y óptima de algunos factores del muestreo para tener información suficiente al momento de hacer estimaciones poblacionales. Con el propósito de generar un indicador poblacional que sea fácil de replicar cada año para mostrar tendencias y medir efectividad. Las poblaciones de tiburones hoy en día se ven gravemente afectadas por la sobrepesca, es fundamental saber el estado de las poblaciones juveniles mediante metodologías efectivas para darles la protección que necesitan y así ayudarles a ser más resilientes frente las amenazas del Antropoceno. Se necesita evaluar si las medidas de protección implementadas están teniendo el efecto que se espera sobre los tamaños poblacionales de *C. limbatus*, de caso contrario con los datos obtenidos se puede justificar un aumento en la protección de la zona. Si las poblaciones juveniles no logran sobrevivir se va a dar una reducción drástica de estas poblaciones tan importantes para los ecosistemas marinos.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en Puerto Grande (-0.8003, -89.4700), una laguna costera en la isla de San Cristóbal dentro de la provincia de Galápagos (Imagen 1).

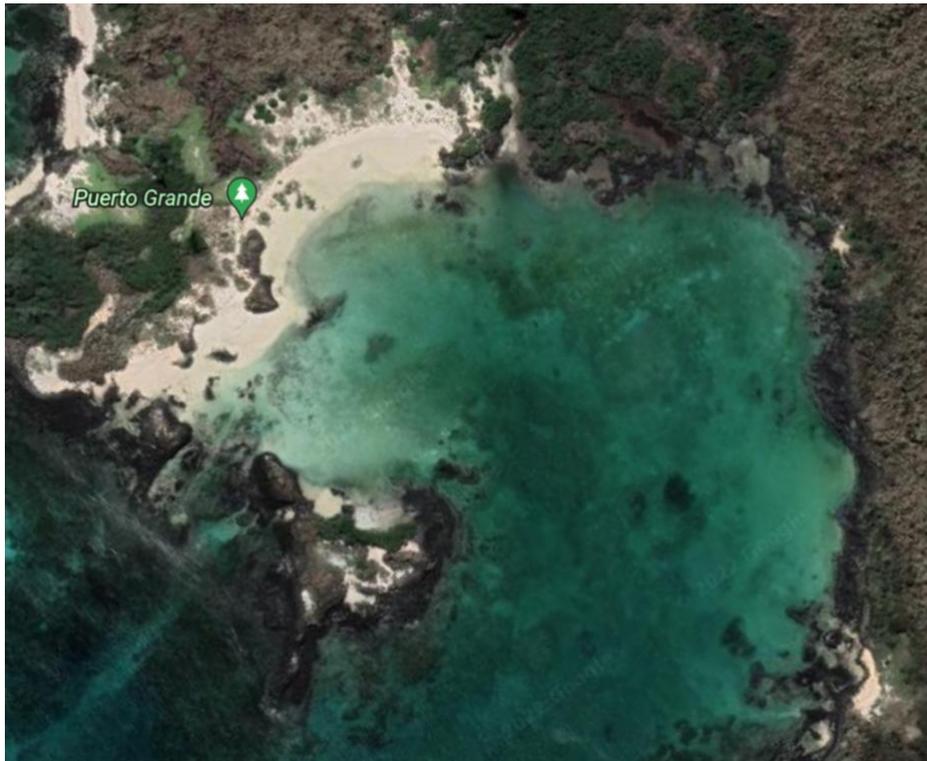


Imagen 1 Mapa de laguna costera Puerto Grande, San Cristóbal (Galápagos) (Google Earth, 2022)

Se encuentra dentro del Parque Nacional Galápagos y es una playa visitada por turistas ocasionalmente en el tour del León Dormido. Puerto Grande cuenta con playa de fondo arenoso, arrecife rocoso y manglar, es una bahía semi cerrada con una profundidad máxima de 8 m (Chiriboga Paredes, 2018). Se encuentra a aproximadamente 30 minutos en lancha de Puerto Baquerizo Moreno, el asentamiento humano se encuentra relativamente alejado (Imagen 2).



Imagen 2 Ubicación de Puerto Grande con relación a San Cristóbal (Galápagos) (Google Earth, 2022)

Monitoreo

Para este estudio se realizaron ocho días consecutivos de muestreo en el mes de abril 2022 y ocho días consecutivos en el mes de julio 2022. Se utilizó un chinchorro para la captura de tiburones, un tipo de red de pesca utilizada en playas con fondo arenoso. La red tiene boyas en la parte superior y pesos en la parte inferior, se bota un extremo en la orilla playa mientras se forma un semicírculo paralelo a la costa finalmente se jalan ambos extremos hacia la orilla. Con esta red los individuos quedan acorralados en una zona reducida a la orilla de la playa. La red fue colocada en la madrugada antes de que salga el sol (500 horas/530 horas), uno por uno se sacan los tiburones juveniles para realizar la toma de medidas y la colocación de marcas. Una vez que se hayan tomado los datos de todos los tiburones que se lograron capturar con la red esta era recogida y vuelta a poner para iniciar el mismo proceso otra vez. La red fue colocada la cantidad de veces posibles antes de la hora máxima de salida. También se utilizó

un trasmallo (un tipo de red agallera) para capturar tiburones, esta red también cuenta con boyas y pesos, pero a diferencia del chinchorro, solo un extremo de esta red es colocado en la orilla de preferencia en una zona rocosa, el resto es extendido hacia el interior del mar. Otra diferencia es que los individuos quedan atrapados en la red en lugar de quedar encerrados en una sección. Los individuos que caen en el trasmallo son retirados de la red lo antes posible.

Toma de datos y marcaje

Con el fin de reducir al máximo la cantidad de tiempo que los individuos deben pasar fuera del agua se utilizó un contenedor lleno de agua de mar para la toma de datos. Una vez capturado un tiburón se lo saca del agua rápidamente para ser pesado, posteriormente se lo coloca dentro de contenedor para la toma de medidas de longitud total, longitud furcal y grosor. También se anotaron datos de sexo, presencia de cicatriz umbilical y número de marca. Una vez tomados todos los datos se procedía a colocar la marca espagueti, que consiste en un tubo delgado en el cual se encuentra el número y con un arpón en la punta. Las marcas son colocadas en uno de los lados de la base de la aleta dorsal. Durante las salidas de campo de julio, se usó marcas PIT – pequeños dispositivos del tamaño de un grano de arroz que tienen un código único. La marca se inyectó de forma sub-dermal en la base de la aleta dorsal. A cada tiburón capturado, se le acercó un lector a la misma zona para determinar si era una recaptura. Una vez terminado todo el proceso los tiburones son liberados inmediatamente. A los tiburones recapturados en el mismo periodo de ocho días solo se les toma el número de marca y eran liberados inmediatamente.

Análisis de datos

Con la técnica de marcaje y recaptura se buscaba estimar el tamaño de la población de tiburones juveniles y también medir la tasa de crecimiento. Se utilizó el modelo estadístico poblacional de Schnabel en R con el paquete fishmethods para estimar el tamaño poblacional con los datos de los ocho días consecutivos de muestreo para cada mes (abril y julio) (Gore et al., 2016).

$$N = \frac{\sum_{i=1}^m M_i C_i}{\sum_{i=1}^m R_i}$$

Una vez ingresadas las capturas, recapturas y nuevas marcas el programa da como resultados el estimado de la población junto con un máximo y un mínimo (rango de confianza). Los rangos de confianza fueron utilizados con el fin de comparar la efectividad de las distintas cantidades de días de muestreo. Se ingresó en R valores desde un día de muestreo hasta el día 8. Con los resultados de estimación poblacional se hicieron modelaciones poblacionales en R para comprar diferentes esfuerzos de capturas de individuos por día para determinar valores óptimos y mínimos. Los datos de los individuos que fueron capturados en ambos muestreos (abril y julio) se utilizaron para estimar la tasa de crecimiento entre sexos. Para esto se utilizó el análisis estadístico de Gulland y Holt usando las medidas de longitud total (Meyer et al., 2014).

$$\Delta L / \Delta t = K * L_{\infty} - K * \bar{L}(t)$$

RESULTADOS

Marcaje y recaptura

Durante los muestreos del mes de abril se capturó un total de 132 tiburones juveniles punta negra en un lapso de 8 días consecutivos, en este periodo se obtuvo un total de 9 recapturas (Figura 1).

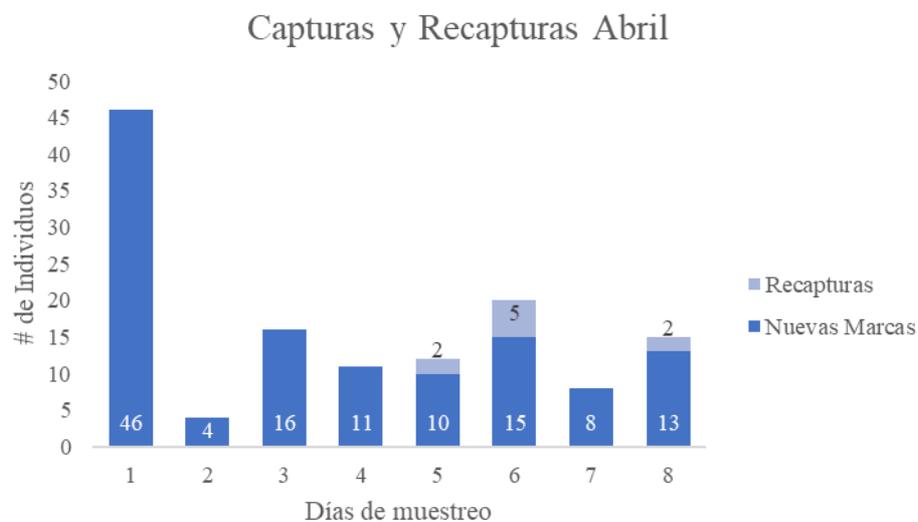


Figura 1 Capturas y recapturas de individuos juveniles *Carcharinus limbatus* durante el mes de abril de 2022 en Puerto Grande, San Cristóbal (Galápagos). En el gráfico se pueden observar la cantidad de nuevas marcas (en azul oscuro) y la cantidad de recapturas (en celeste) de *C. limbatus* por cada día de muestreo

En los muestreos realizados en julio se capturó un total de 113 tiburones juveniles punta negra, de los cuales seis fueron recapturas (Figura 2).

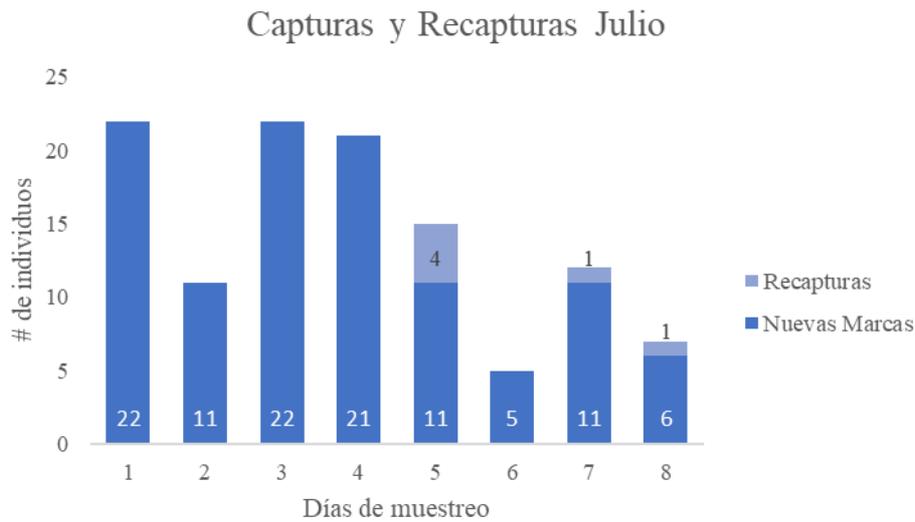


Figura 2 Capturas y recapturas de individuos juveniles *Carcharinus limbatus* durante el mes de julio de 2022 en Puerto Grande, San Cristóbal (Galápagos). En el gráfico se pueden observar la cantidad de nuevas marcas (en azul oscuro) y la cantidad de recapturas (en celeste) de *C. limbatus* por cada día de muestreo

Estimación población con Schnabel

La estimación de la población de tiburones juveniles punta negra para el mes de abril 2022 fue de 760 individuos con un mínimo de 456 y un máximo de 1710 (Figura 3).



Figura 3 Estimación poblacional y rango de confianza de tiburones juveniles *Carcharinus limbatus* durante el mes de abril de 2022 en Puerto Grande, San Cristóbal (Galápagos). En el gráfico se pueden observar las estimaciones poblacionales de *C. limbatus* para cada día representado con el punto azul y los rangos de confianza muestran valores máximos y mínimos en cada extremo de la línea negra.

Para el mes de julio 2022 la estimación poblacional fue de 921, con un mínimo de 502 y un máximo de 2761 (Figura 4).

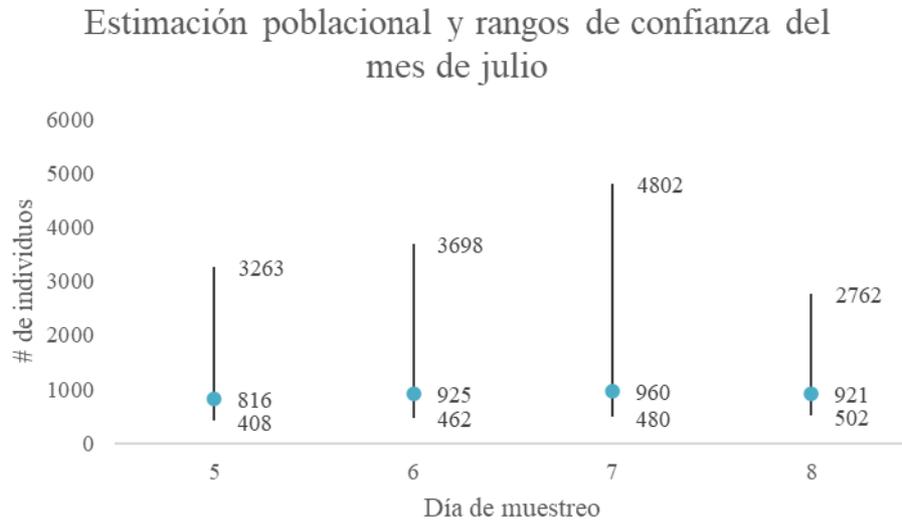


Figura 4 Estimación poblacional y rango de confianza de tiburones juveniles *Carcharinus limbatus* durante el mes de julio de 2022 en Puerto Grande, San Cristóbal (Galápagos). En el gráfico se pueden observar las estimaciones poblacionales de *C. limbatus* para cada día representado con el punto azul y los rangos de confianza muestran valores máximos y mínimos en cada extremo de la línea negra.

Se requiere un mínimo de cinco días de muestreo para que el programa logre hacer estimaciones poblacionales. Para 1, 2, 3 y 4 días de muestreo el programa no logra hacer estimaciones poblacionales, presentando únicamente valores infinitos. Se puede ver las estimaciones poblacionales y rangos de confianza para 5, 6, 7 y 8 días de muestreo en el Figura 3 para el mes de abril y en el Figura 4 para el mes de julio. En ambos casos (abril y julio) los valores mínimos y máximos tienen un rango menor de diferencia cuando se hacían ocho días de muestreo.

Adicionalmente se realizaron modelaciones poblacionales en R con una población de 1000 individuos con 8 días de monitoreo. Se corrieron los modelamientos de 5 a 60 individuos capturados por día, aumentando 5 individuos cada vez. Los resultados obtenidos se pueden

observar en el Figura 5, a partir de 20 individuos capturados al día el intervalo de confianza baja drásticamente.

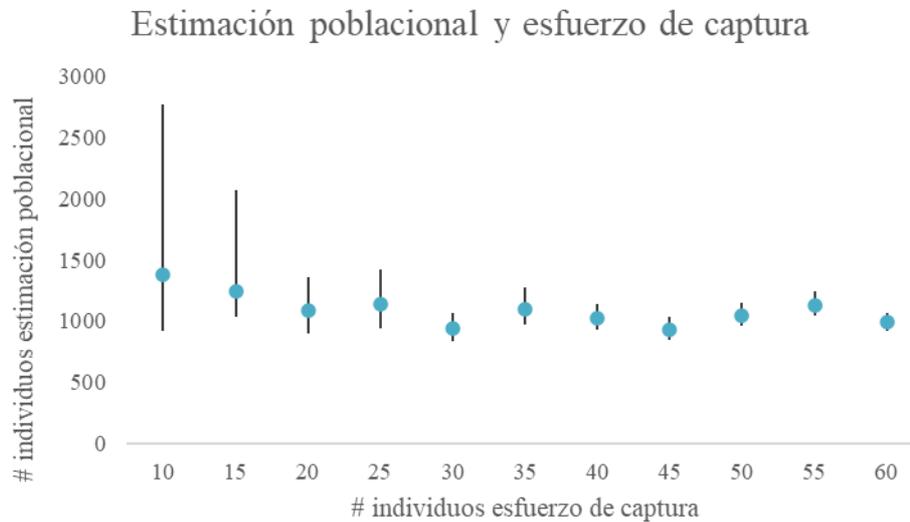


Figura 5 Estimación poblacional y esfuerzo de captura. En este gráfico se puede observar los resultados de estimaciones poblacionales de las modelaciones poblacionales de 1000 individuos en un monitoreo de 8 días con diferentes esfuerzos de captura diarios. La estimación poblacional está representada por el punto azul y los intervalos de confianza por la línea negra

Tasa de crecimiento

Hubo un total de 19 individuos que fueron capturados en ambos muestreos (abril y julio), para realizar el análisis de tasa de crecimiento se utilizó únicamente las tallas totales de 14 individuos de los 19 recapturados, adicionalmente hubo 4 individuos recapturados en noviembre. El patrón de crecimiento es descrito en el Figura 6 y cuenta con un valor K de 0.218, el valor máximo que se utilizó fue 2.4 metros, siendo este el valor máximo al que los individuos de esta especie pueden llegar a medir aproximadamente dentro de Galápagos (Chiriboga Paredes, 2018).

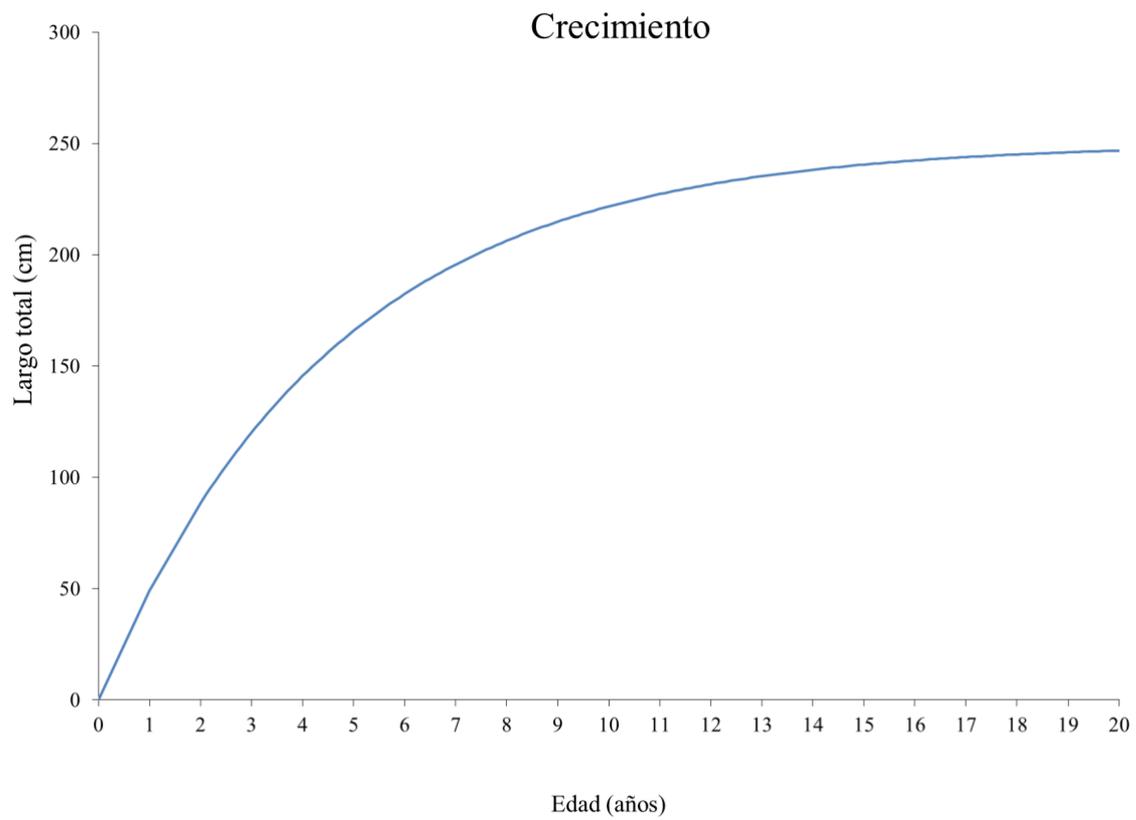


Figura 6 Tasa de crecimiento de *Carcharinus limbatus* con datos de crecimiento obtenidos en zona de crianza Puerto Grande, San Cristobal (Galápagos). En el gráfico se pueden observar el patrón de tasa de crecimiento para *C. limbatus* según el modelo de Gulland & Holt. Donde K tiene un valor de 0.218 y L infinito 240 (2.4m).

DISCUSIÓN

Marcaje y recaptura

Durante los monitoreos de abril se puede observar que la cantidad de individuos marcados varía drásticamente del día 1 al día 2 con una diferencia de 42 individuos. A partir del día 3 la cantidad total de individuos capturados por días tiene una diferencia menos marcada (Figura 1). Para estos muestreos no se tuvo en cuenta las mareas y la mayoría de los días coincidieron con marea baja. Según el estudio de Steiner y Michel (2007) los individuos de tiburones juveniles punta negra muestran patrones similares al nadar hacia mar abierto en mareas bajas. Lo cual puede explicar el cambio drástico en la cantidad de capturas totales entre el primero y segundo día. Al caer en cuenta de estos patrones para los muestreos de julio se organizaron las salidas para que coincidan con marea alta. Se puede ver claramente que la diferencia de cantidad de capturas totales es más homogénea en los muestreos de julio (Figura 2). Sin embargo, a partir del día 5 en los muestreos de julio se ve que empieza a decaer las capturas totales por lo cual tal vez sería mejor ir moviendo las horas a las que se hacen los muestreo en función de como van cambiando las mareas altas.

Estimación poblacional con Schnabel

La estimación poblacional para la población de tiburones juveniles punta negra en la zona de crianza de Puerto Granda para el mes de abril es de 760 (Figura 3) para julio la población estimada es de 920 (Figura 4), esto nos sugiere que la población aproximada se encuentra entre los mil individuos. Sin embargo, los intervalos de confianza siguen estando relativamente altos para lo cual haremos sugerencias para la modificación del monitoreo más adelante. La

población estimada para julio (921) es mayor a la de abril (760), pero no cuenta con una diferencia significativa para saber si la población tuvo un aumento. Los rangos de confianza se superponen a excepción del valor máximo siendo 1710 para abril y 2762 en julio, esto puede darse porque hubo una reducción en la cantidad de recapturas para el mes de julio.

Para poder observar con mejor exactitud como al aumentar la cantidad de días de muestreo baja el intervalo de confianza se hicieron estimaciones poblacionales con los datos desde 1 a 8 días de muestreo que se ven reflejadas en el Figura 3 y Figura 4 respectivamente para cada mes. Según los resultados obtenidos se requiere un mínimo de 5 días de muestreo para poder tener estimaciones poblacionales, de uno a cuatro días solo se obtienen valores infinitos. Esto se debe a que en ambos casos (abril y julio) se empezó a tener recapturas a partir del día 5. No obstante, la cantidad mínima de días de muestreo no necesariamente es 5, en realidad la cantidad mínima sería la que permitan obtener recapturas, de caso contrario no se puede aplicar la fórmula de Schnabel ya que se dividiría todo a 0. Se puede ver que al contar con 8 días de muestreo si se logra afianzar los resultados obtenidos sin embargo se podrían hacer mejoras para tener resultados más exactos.

Al saber que la población se encontraba aproximadamente en mil individuos se hicieron modelaciones poblacionales con 8 días consecutivos de muestreo en R para determinar el valor mínimo y óptimo de esfuerzo de captura por día. Como se puede ver en el Figura 5 a partir de 20 individuos capturados al día el intervalo de confianza baja drásticamente, este vendría a ser el valor mínimo sugerido para futuras investigaciones. En los monitoreos del mes de julio se capturó en tres ocasiones diferentes a 22 individuos (Figura 2), por lo cual sabemos que este valor es alcanzable cuando los monitoreos son realizados en mareas altas. Si bien es claro que mientras más individuos se logren capturar al día mejor va a ser el resultado estadístico, el valor óptimo que se sugiere es capturar entre 30 y 35 individuos al día, siendo este un valor

realista en función de los recursos que se tienen y sabiendo el esfuerzo que toma alcanzar esta cantidad.

Una vez perfeccionado el monitoreo de la especie en Puerto Grande con todas las recomendaciones descritas previamente se puede empezar a hacer correlaciones entre el método de marcaje y recaptura utilizado en este estudio con el método de uso de drones utilizado por Goodman (2020). Inicialmente se realizarían las dos metodologías simultáneamente para empezar a comparar lo que se ve con los drones y lo que se logra capturar. Si se puede llegar a encontrar un patrón entre ambos posteriormente se podrían hacer monitoreos únicamente con drones lo cual sería una buena opción ya que reduce la cantidad de recursos que deben ser invertidos y al ser un monitoreo sin la manipulación de individuos causa menos impacto. Esto podría ser implementado para hacer estimaciones en todas las zonas de crianza de San Cristóbal ya que al reducir la cantidad de recursos necesarios para una sola localidad estos podrían ser redirigidos para los otros lugares. Con todos estos monitoreos se podrían hacer estimaciones poblacionales para toda la isla y si se llega a determinar que es algo efectivo se podría considerar aplicarlo a más islas para hacer un censo para toda la provincia.

Tasa de crecimiento

Con el análisis estadístico de Gulland & Holt se quería intentar estimar la tasa de crecimiento para cada sexo de los tiburones punta negra. Hubo un total de 24 recapturas en los distintos bloques de muestreos, se utilizaron únicamente 19 de estos, de los cuales 8 eran hembras y 11 fueron machos. Los 5 datos que no se utilizaron se debió a que estos individuos presentaron un crecimiento negativo el cual pudo haber sido por falta de alimento o error al momento de ser medidos y al ser incorporados en el modelo estadístico daba como resultado una tasa de crecimiento negativa. Utilizar el largo total puede causar un pequeño margen de error, el cual

si llega a ser relevante al utilizar medidas de crecimiento en un periodo tan corto como el nuestro que fue de dos meses. A futuro se recomienda usar el largo furcal que se mide de manera más exacta ya que se encuentra en un lugar menos flexible del cuerpo de los individuos. No hubo suficientes datos de cada sexo para realizar la tasa de crecimiento separada por lo cual se utilizaron todos los datos para generar una tasa de crecimiento general de la especie. Revisando la literatura encontramos que para *C. limbatus* si es válido hacer la tasa de crecimiento conjunta para ambos sexos (Freitas et al., 2006) . La tasa de crecimiento que se obtuvo fue de 0.218 descrita por el patrón de crecimiento que se puede observar en el Figura 6. El resultado obtenido es poco válido por la falta de exactitud que refleja el crecimiento de individuos juveniles en dos meses en relación con el crecimiento que tienen en toda su vida. Un estudio previo de tasa de crecimiento de *C. limbatus* tiene valores de K desde 0.08 a 0.14 (Smart et al., 2015), al comparar con el resultados de nuestro estudio el valor es el doble. Smart et al. (2015) realizó su estudio con individuos adultos los cuales a esa edad tiene una tasa de crecimiento menor a los juveniles. Sin embargo, las diferencias de la tasa de crecimiento también puede ser explicada por la región en la que se encuentran los individuos, el estudio de Carlson et al. (2006) tuvo una diferencia de 0.08 entre la tasa de crecimiento de hembras *C. limbatus* de distintas regiones. Los valores de este estudio tuvieron tasa de crecimiento para hembras desde 0.16 a 0.24 y desde 0.21 a 0.27 para machos. No obstante, nuestro valor no se encuentra extremadamente alejado de los valores obtenidos en otros estudios. Para tener un dato más certero se calculó una tasa de crecimiento de milímetros por mes con los mismos datos y se obtuvo un valor de 0.0179, siendo este el crecimiento de los individuos para esta etapa de su vida. Se recomienda utilizar datos de crecimientos de individuos de varias edades y con un rango de tiempo mayor, adicionalmente es fundamental tener varios datos de ambos sexos si se quiere hacer comparaciones de la tasa de crecimiento.

CONCLUSIONES

En conclusión, se puede decir que la población de tiburones juveniles punta negra (*C. limbatus*) en la zona de crianza de Puerto Grande en el periodo de abril-julio del 2022 se encuentra entre 456 y 2762 individuos. En relación con la tasa de crecimiento esta es una primera aproximación basada en una baja cantidad de datos y que refleja únicamente el crecimiento de individuos juveniles en dos meses, siendo resultado obtenido es poco válido para toda la especie por la falta de exactitud que refleja el crecimiento de algunos individuos juveniles en dos meses en relación con el crecimiento que tienen en toda su vida. Finalmente se recomienda modificar el monitoreo de esta especie a 8 días consecutivos de toma de datos, los cuales deben ser planificados para coincidir con las mareas altas, con un esfuerzo de captura de individuos mínimo de 20 y óptimo entre 30 y 35 para reducir el intervalo de confianza. Estas recomendaciones han sido calculadas en función al tamaño poblacional pero también se recomienda utilizarlo como base para monitoreos de la misma especie fuera de Puerto Grande. La conservación de especies como esta y la implementación de monitoreos efectivos para poder evaluar las medidas de protección es urgente para la salud de los océanos. De por si los tiburones ya se enfrentan a muchos limitantes causados por los humanos y es nuestro deber ayudarles a combatir estas amenazas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcoy, J. C. O. (2013). The Schnabel Method: An ecological approach to productive vocabulary size estimation. *International Proceedings of Economics Development and Research*, 68, 19.
- Beck, M. W., Heck, K. L., Able, K. W., Childers, D. L., Eggleston, D. B., Gillanders, B. M., Halpern, B., Hays, C. G., Hoshino, K., Minello, T. J., Orth, R. J., Sheridan, P. F., & Weinstein, M. P. (2001). The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates: A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *BioScience*, 51(8), 633–641. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0633:TICAMO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0633:TICAMO]2.0.CO;2)
- Bornatowski, H., Navia, A. F., Braga, R. R., Abilhoa, V., & Corrêa, M. F. M. (2014). Ecological importance of sharks and rays in a structural foodweb analysis in southern Brazil. *ICES Journal of Marine Science*, 71(7), 1586–1592. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu025>
- Branstetter, S. (1987). Age and Growth Estimates for Blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and Spinner, *C. brevipinna*, Sharks from the Northwestern Gulf of Mexico. *Copeia*, 1987(4), 964–974. <https://doi.org/10.2307/1445560>
- Carlson, J. K., Sulikowski, J. R., & Baremore, I. E. (2006). Do differences in life history exist for blacktip sharks, *Carcharhinus limbatus*, from the United States South Atlantic Bight and Eastern Gulf of Mexico? In J. K. Carlson & K. J. Goldman (Eds.), *Special Issue: Age and Growth of Chondrichthyan Fishes: New Methods, Techniques and Analysis* (pp. 279–292). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5570-6_8
- Carrier, J. C., Musick, J. A., & Heithaus, M. R. (2012). *Biology of Sharks and Their Relatives*. CRC Press.
- Ceccarelli, D. M., Frisch, A. J., Graham, N. A. J., Ayling, A. M., & Beger, M. (2014). Habitat partitioning and vulnerability of sharks in the Great Barrier Reef Marine Park. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(1), 169–197. <https://doi.org/10.1007/s11160-013-9324-8>
- Chiriboga Paredes, Y. T. (2018). *Ecología espacial y conservación de tiburones neonatos y juveniles punta negra (Carcharhinus limbatus) en la Isla San Cristóbal–Reserva Marina de Galápagos*.
- Chiriboga-Paredes, Y., Palomino, Á., Goodman, L., Córdova, F., Páez, V., Yépez, M., Jorgensen, S., Armijos, D., Pazmiño, D., & Hearn, A. (2022). Discovery of a putative scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) nursery site at the Galapagos Islands, Eastern Tropical Pacific. *Environmental Biology of Fishes*, 105(2), 181–192. <https://doi.org/10.1007/s10641-021-01207-3>
- Coleman, F. C., & Williams, S. L. (2002). Overexploiting marine ecosystem engineers: Potential consequences for biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(1), 40–44. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02330-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02330-8)

- Dahlgren, C. P., Kellison, G. T., Adams, A. J., Gillanders, B. M., Kendall, M. S., Layman, C. A., Ley, J. A., Nagelkerken, I., & Serafy, J. E. (2006). Marine nurseries and effective juvenile habitats: Concepts and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 312, 291–295. <https://doi.org/10.3354/meps312291>
- Freitas, R. H. A., Rosa, R. S., Gruber, S. H., & Wetherbee, B. M. (2006). Early growth and juvenile population structure of lemon sharks *Negaprion brevirostris* in the Atol das Rocas Biological Reserve, off north-east Brazil. *Journal of Fish Biology*, 68(5), 1319–1332. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.00999.x>
- Garrick, J. A. F. (1982). *Sharks of the genus Carcharhinus NOAA Tech.*
- Goodman, L. S. (2020). *Feasibility of New Methods for Nursery Ground Identification for the Juvenile Blacktip Shark (Carcharhinus limbatus) Using Drone Technology—San Cristobal Island, Galapagos.*
- Google Earth. (2022). Retrieved December 19, 2022, from <https://earth.google.com/web/@-0.79951723,-89.47115257,1.44522185a,1043.01069869d,35y,36.56937767h,0t,0r>
- Gore, M. A., Frey, P. H., Ormond, R. F., Allan, H., & Gilkes, G. (2016). Use of Photo-Identification and Mark-Recapture Methodology to Assess Basking Shark (*Cetorhinus maximus*) Populations. *PLOS ONE*, 11(3), e0150160. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150160>
- Gulland, J. A., & Holt, S. J. (1959). Estimation of Growth Parameters for Data at Unequal Time Intervals. *ICES Journal of Marine Science*, 25(1), 47–49. <https://doi.org/10.1093/icesjms/25.1.47>
- Hammerschlag, N., Schmitz, O. J., Flecker, A. S., Lafferty, K. D., Sih, A., Atwood, T. B., Gallagher, A. J., Irschick, D. J., Skubel, R., & Cooke, S. J. (2019). Ecosystem Function and Services of Aquatic Predators in the Anthropocene. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(4), 369–383. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.01.005>
- He, Q., & Silliman, B. R. (2019). Climate Change, Human Impacts, and Coastal Ecosystems in the Anthropocene. *Current Biology*, 29(19), R1021–R1035. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.042>
- Heithaus, M. R. (n.d.). *Nursery Areas as Essential Shark Habitats: A Theoretical Perspective*. 13.
- Henderson, P. A. (2009). *Practical Methods in Ecology*. John Wiley & Sons.
- Heupel, M., Carlson, J., & Simpfendorfer, C. (2007). Shark nursery areas: Concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress Series*, 337, 287–297. <https://doi.org/10.3354/meps337287>
- Heupel, M. R., & Hueter, R. E. (2002). Importance of prey density in relation to the movement patterns of juvenile blacktip sharks (*Carcharhinus limbatus*) within a coastal nursery area. *Marine and Freshwater Research*, 53(2), 543–550. <https://doi.org/10.1071/mf01132>
- Hirschfeld, M. (2013). *Habitat use and movement patterns of juvenile and neonate blacktip sharks, Carcharhinus limbatus in nursery areas on San Cristobal Island, Galápagos*. [BachelorThesis, Quito, 2013.]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1645>

- Llerena Martillo, Y. Y. (2009). *Identificación de tiburones juveniles y caracterización de sus hábitats en las zonas costeras de pesca de la isla San Cristóbal-Reserva Marina de Galápagos*.
- Lucero, M. (2000). *Distribución de las corrientes alrededor de las Islas Galápagos*. <https://aquadocs.org/handle/1834/2243>
- Meyer, C. G., O'Malley, J. M., Papastamatiou, Y. P., Dale, J. J., Hutchinson, M. R., Anderson, J. M., Royer, M. A., & Holland, K. N. (2014). Growth and Maximum Size of Tiger Sharks (*Galeocerdo cuvier*) in Hawaii. *PLOS ONE*, 9(1), e84799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084799>
- Páez Cordovez, V., & Córdova Wollmann, F. (2020). *Do juvenile sharks display behavioral thermoregulation?:/ ba case study of Sphyrna lewini and Carcharhinus limbatus at a nursery site in the Galapagos Marine Reserve*.
- Smart, J., Chin, A., Tobin, A., Simpfendorfer, C., & White, W. (2015). Age and growth of the common blacktip shark *Carcharhinus limbatus* from Indonesia, incorporating an improved approach to comparing regional population growth rates. *African Journal of Marine Science*, 37(2), 177–188. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2015.1025428>
- Sparre, P. (1998). Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. *FAO Fish. Tech. Paper.*, 306, 1–407.
- Steiner, P. A., & Michel, M. (2007). *Effects of Tidal Current on the Movement Patterns of Juvenile Bull Sharks and Blacktip Sharks*. 14.
- Tavares, R. (2008). Occurrence, Diet and Growth of Juvenile Blacktip Sharks, *Carcharhinus limbatus*, from Los Roques Archipelago National Park, Venezuela. *Caribbean Journal of Science*, 44(3), 291–302. <https://doi.org/10.18475/cjos.v44i3.a4>
- UNESCO. (2018, September 20). *Reserva de la Biosfera Archipiélago de Colón—Galápagos (Ecuador)*. UNESCO. <https://es.unesco.org/biosphere/lac/galapagos>