

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales  
COCIBA**

**Diferencias en la Composición Pelágica de Punta Pitt y León Dormido  
entre Estaciones en San Cristóbal - Galápagos**

**Grace Carolina Yanez Cruz**

**Biología**

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

Quito, 22 de diciembre de 2023

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales  
COCIBA**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Diferencias en la Composición Pelágica de Punta Pitt y León Dormido  
entre Estaciones en San Cristóbal - Galápagos**

**Grace Carolina Yanez Cruz**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Alexander Hearn, PhD.**

Quito, 22 de diciembre de 2023

## © 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: Grace Carolina Yanez Cruz

Código: 00323873

Cédula de identidad: 1756585152

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2023

## 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## UNPUBLISHED DOCUMENT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

Este estudio empleó Sistemas de Video Subacuático Remoto con Cebo (BRUVS) para evaluar las comunidades pelágicas en las aguas de San Cristóbal (Galápagos), un hotspot para la fauna pelágica en la región. Se registró una diversidad significativa de vertebrados, incluyendo reptiles, mamíferos, elasmobranquios y peces teleósteos, revelando la heterogeneidad de estas comunidades. El análisis comparativo entre los sitios de muestreo, Punta Pitt y León Dormido, reveló diferencias en la composición y abundancia de la vida marina pelágica, siendo Punta Pitt más rica en especies en ambas temporadas. La aplicación del análisis de similitudes (ANOSIM) respaldó cuantitativamente estas observaciones, revelando una menor disimilitud en la estructura comunitaria entre sitios en comparación con temporadas. El escalamiento multidimensional visualizó las relaciones entre las especies, y el análisis de redundancia basado en distancias proporcionó una comprensión adicional de cómo las especies responden a las variables ambientales de sitios y temporadas. Las asociaciones más fuertes se identificaron entre *N. ductor* con León Dormido y *Decapterus sp.* con Punta Pitt, junto con las condiciones específicas de cada sitio, así como las preferencias estacionales. Este enfoque multivariable contribuyó a una comprensión más completa de la dinámica de las comunidades marinas en el área de estudio. La presencia destacada de atunes, como *E. lineatus* y *T. albacares*, en aguas más frías se asoció con niveles superiores de oxígeno disuelto, respaldando la preferencia de estos peces pelágicos por condiciones más frescas. Este estudio proporciona información valiosa sobre la estructura y variabilidad de las comunidades pelágicas, subrayando la importancia de factores ambientales y estacionales en su dinámica.

*Palabras clave:* ensamblaje; estacionalidad; BRUVS; comunidades; heterogeneidad.

## ABSTRACT

This study employed Bait Based Remote Underwater Video Systems (BRUVS) to assess pelagic communities in the waters of San Cristóbal, a hotspot for pelagic fauna in the region. A significant diversity of vertebrates, including reptiles, mammals, elasmobranchs and teleost fishes, was recorded, revealing the heterogeneity of these communities. Comparative analysis between the sampling sites, Punta Pitt and León Dormido, revealed differences in the composition and abundance of pelagic marine life, with Punta Pitt being richer in species in both seasons. Application of similarity analysis (ANOSIM) quantitatively supported these observations, revealing less dissimilarity in community structure between sites compared to seasons. Multidimensional scaling visualized relationships among species, and distance-based redundancy analysis provided additional insight into how species respond to site and seasonal environmental variables. The strongest associations were identified between *N. ductor* with León Dormido and *Decapterus* sp. with Punta Pitt, along with site-specific conditions as well as seasonal preferences. This multivariate approach contributed to a more complete understanding of marine community dynamics in the study area. The prominent presence of tunas, such as *E. lineatus* and *T. albacares*, in cooler waters was associated with higher levels of dissolved oxygen, supporting the preference of these pelagic fish for cooler conditions. This study provides valuable information on the structure and variability of pelagic communities, highlighting the importance of environmental and seasonal factors in their dynamics.

*Key words:* assemblage; seasonality; BRUVS; communities; heterogeneity.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>14</b>
Sitio de estudio .....	14
Sistemas de vídeo submarinos.....	15
Análisis estadístico .....	16
<b>Resultados .....</b>	<b>18</b>
<b>Discusión .....</b>	<b>24</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>28</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>30</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>31</b>
<b>Anexo a: Especies representativas por sitio.....</b>	<b>35</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de lances realizados por temporada y recuento del número de individuos, especies y familias encontrados en cada una. ....	19
Tabla 2. Número de lances realizados por sitio en cada temporada y recuento del número de individuos, especies y familias encontrados en cada una.....	20
Tabla 3. Valor máximo de captura (MaxN) obtenido de las especies de interés socio – económico en cada temporada. ....	20



## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Vista detallada de la isla San Cristóbal con su capital y ambos lugares de muestreo en la temporada cálida y fría, León Dormido (LD) y frente a Punta Pitt (PP). Cada punto representa una cadena de tres BRUVS, codificada por colores LD (verde: temporada cálida; azul: temporada fría) y PP (rojo: temporada cálida; naranja: temporada fría). ..... 15
- Figura 2. Curva acumulada de todo el proyecto Curva de acumulación de riqueza de especies marinas vertebradas en la Reserva Marina de Galápagos, mostrando la riqueza acumulada en función del número de lances. ....21
- Figura 3. Escalamiento multidimensional (MDS) entre sitios de muestreo (izq.) y entre temporadas (der.) donde se comparan sus comunidades.....22
- Figura 4. Análisis de redundancia (RDA) utilizando el parámetro ecológico de abundancia de las especies en relación con el sitio y la temporada. La proximidad de cada especie a una variable (sitio o estación) explica su presencia. ....23

## INTRODUCCIÓN

Las Áreas Marinas Protegidas (AMP) son una herramienta importante en la conservación de la biodiversidad y la gestión efectiva de la pesca. Según el informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas del 2023 la proporción de las aguas bajo jurisdicción nacional incluidas en AMP se multiplicó por más de dos en cinco años. Siendo objetivo también la iniciativa "30 × 30" de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza: el 30% del océano protegido para 2030 (Zhao et al., 2020). Con la designación de AMP más grandes, se deben establecer líneas de base ecológicas para su protección.

Existe una necesidad de comprender mejor la composición de las comunidades de aguas abiertas (pelágicas) en AMP grandes, dado que la mayoría del espacio se encuentra en este hábitat. Esto es un desafío considerable, ya que las especies pelágicas comúnmente se distribuyen de manera irregular, responden a factores oceánicos dinámicos y sus asociaciones de hábitat y movimientos son relativamente poco comprendidos, en comparación con las especies costeras (Angel, 1993), en especial en las islas Galápagos con su influencia de corrientes y factores geológicos. Con el objetivo de determinar posibles variaciones en la composición pelágica influenciadas por la estacionalidad y la geografía en diferentes estaciones climáticas en sitios de importancia ecológica y económica, comparamos la riqueza entre un islote oceánico (Kicker Rock) y en el borde costero más oriental del archipiélago, directamente expuesto a la productiva corriente de Humboldt en Punta Pitt, en la Isla San Cristóbal.

El cambio de estaciones trae consigo modificaciones importantes en el clima atmosférico y temperatura del océano en el Pacífico Este Tropical (PET). Las islas Galápagos, ubicadas en la línea ecuatorial, no experimentan cambios drásticos en la inclinación del eje de la tierra a lo largo del año, por lo cual la cantidad de radiación solar recibida durante todo el

año tiene una diferencia mínima (Dueñas et al., 2021). Las marcadas estaciones se explican entonces por las corrientes marinas que llegan a las islas. Hay tres corrientes principales que llegan a Galápagos, la corriente de Humboldt, que proviene del sur, es una corriente fría y rica en nutrientes. Esta corriente es responsable de la formación del afloramiento costero de Galápagos, un fenómeno que ocurre cuando las aguas se desplazan hacia arriba, trayendo consigo nutrientes del fondo marino. El afloramiento costero es esencial para la productividad marina de Galápagos, ya que proporciona alimento a una gran variedad de especies, incluidas las ballenas, los delfines, las tortugas marinas y las aves marinas. La corriente de Panamá, que proviene del norte, es una corriente cálida y menos rica en nutrientes. Esta corriente puede tener un impacto significativo en la temperatura del agua en Galápagos, especialmente durante los eventos de El Niño. La corriente sub-superficial de Cromwell, que proviene del oeste, es una corriente rápida y rica en nutrientes, esta contribuye a la productividad marina de Galápagos al ser obligada a subir a la superficie debido a la disminución de profundidad durante el acercamiento de las islas, proceso al cual se le denomina surgencia.

Las corrientes que llegan a Galápagos varían en intensidad y dirección según la estación del año. Durante la estación seca, que se extiende de junio a noviembre, la corriente de Humboldt es más fuerte y la corriente de Panamá se debilita. Esto da como resultado aguas más frías y ricas en nutrientes para las islas. Durante la estación húmeda, que se extiende de diciembre a mayo, la corriente de Panamá proveniente del norte es más fuerte y la corriente de Humboldt es más débil. Esto da como resultado aguas más cálidas y menos ricas en nutrientes, junto con la humedad atmosférica, la influencia de esta corriente provoca importantes precipitaciones para el archipiélago (Conroy et al., 2023; Dueñas et al., 2021).

La biogeografía de las islas Galápagos por su convergencia de corrientes y topografía irregular facilita a los organismos marinos la dispersión en el entorno oceánico, ya sea por dispersión pasiva, flotando en las corrientes marinas o dispersión activa, aumentando la

conectividad entre islas y las tasas de inmigración a los archipiélagos oceánicos cercanos como Cocos, Malpelo o Revillagigedo (Pinheiro et al., 2017). Debido a la influencia de sistemas de corrientes oceánicas de agua fría y cálida, que varían estacionalmente, ocasionan diferencias en las condiciones oceanográficas y biológicas en todo el archipiélago (Liu et al., 2013). Dentro de la Reserva Marina de Galápagos se han descrito cinco biorregiones en base a sus conjuntos distintivos de peces costeros someros y comunidades bentónicas de los arrecifes rocosos someros, junto con sus características oceánicas: Extremo Norte, Norte, Centro-Sudeste, Oeste y Elizabeth (Edgar et al., 2004).

Dentro de la Reserva Marina de Galápagos (RMG) se puede encontrar gran variedad de paisajes geológicos, acantilados, islotes, cráteres, etc. Principalmentem los islotes desempeñan una serie de roles ecológicos y geográficos importantes en los ecosistemas marinos (Bucaram & Hearn, 2014), como es el islote León Dormido conocido como una estación de limpieza de varias especies (Thys et al., 2017) o frente a Punta Pitt (Isla San Cristóbal), lugar de convergencia de corrientes. La región Centro-Sudeste se considera una región sin surgencias debido a la fuerte influencia de las variaciones estacionales de la corriente de Panamá y la corriente de Humboldt (Edgar et al., 2004; Figueroa, 2021), sin embargo, se ha visto que existe gran diversidad de fauna pelágica, importante en este estudio para poder conocer cuales son los factores determinantes de la mayor o menor riqueza pelágica en estos dos hábitats, cercanos pero biológicamente diferentes (Lopez, 2023).

Como propósitos para esta investigación se plantearon tres objetivos: 1) conocer las diferencias en la abundancia de organismos pelágicos entre una temporada fría y una temporada cálida para cada sitio (León Dormido y Punta Pitt); 2) estimar la riqueza de especies entre sitios considerando las dos temporadas; y 3) determinar la presencia de especies de importancia ecológica y económica. Predecimos que la riqueza de especies va a ser mayor en la temporada fría para ambos sitios puesto que el mar con menores temperaturas va a ser más

beneficioso desde la producción primaria hasta grandes depredadores, en comparación a lo que podrían ser aguas de 25 °C -28°C. Así mismo se prevee una mayor tasa de avistamientos de especies de interés socioeconómico durante la temporada fría en ambos sitios, tales como atunes y tiburones. El estudio ofrece una perspectiva de la importante influencia de la estacionalidad en la composición de fauna marina pelágica. En investigaciones futuras, esta información puede ser tomada en cuenta para proyectos que permitan establecer medidas espacio - estacionales de protección de la RMG.

## METODOLOGÍA

### *Sitio de estudio*

Los trabajos de campo fueron realizados en dos periodos diferentes entre los años 2019 y 2023. Con el fin de comparar estaciones climáticas, la primera parte se hizo durante una temporada fría, entre el 13 y 29 de noviembre de 2019. La segunda parte se hizo en la temporada cálida, entre el 5 y 15 de junio de 2023. Para la comparación geomorfológica, se escogieron dos lugares emblemáticos en la isla San Cristóbal, capital provincial de Galápagos ( $0.8675^{\circ}$  S,  $89.4364^{\circ}$  W). Esta isla ubicada en la zona más oriental del archipiélago, es la segunda con mayor habitantes (6000 personas) y la quinta isla más grande ( $557 \text{ km}^2$ ) (Galápagos Conservancy, 2022). Los sitios de muestreo fueron en León Dormido y a lo largo de un frente oceánico semi-permanente, frente a Punta Pitt (el punto más nor-oriental de la isla). León Dormido también conocido como Kicker Rock es un islote tipo cono de toba partido que se eleva a 148 metros sobre el nivel del mar, ubicado a aproximadamente 5 km frente a una bahía en costa de la isla, llamada Puerto Grande, la cual es zona de crianza de rayas y de tiburones martillo y puntanegra (Chiriboga-Paredes et al., 2022). El borde costero de Punta Pitt se encuentra en el punto más nor-oriental del archipiélago. Se caracteriza por acantilados de formaciones de toba volcánica y playas de arena que sirven de lugar de anidación para las iguanas marinas, aves y lobos marinos. Frente a Punta Pitt se produce un frente oceánico en consecuencia de las diferencias en temperatura y salinidad entre las corrientes de Perú y Panamá (Manzello et al., 2008) variando en cuanto a su intensidad y dirección en base a la estacionalidad.

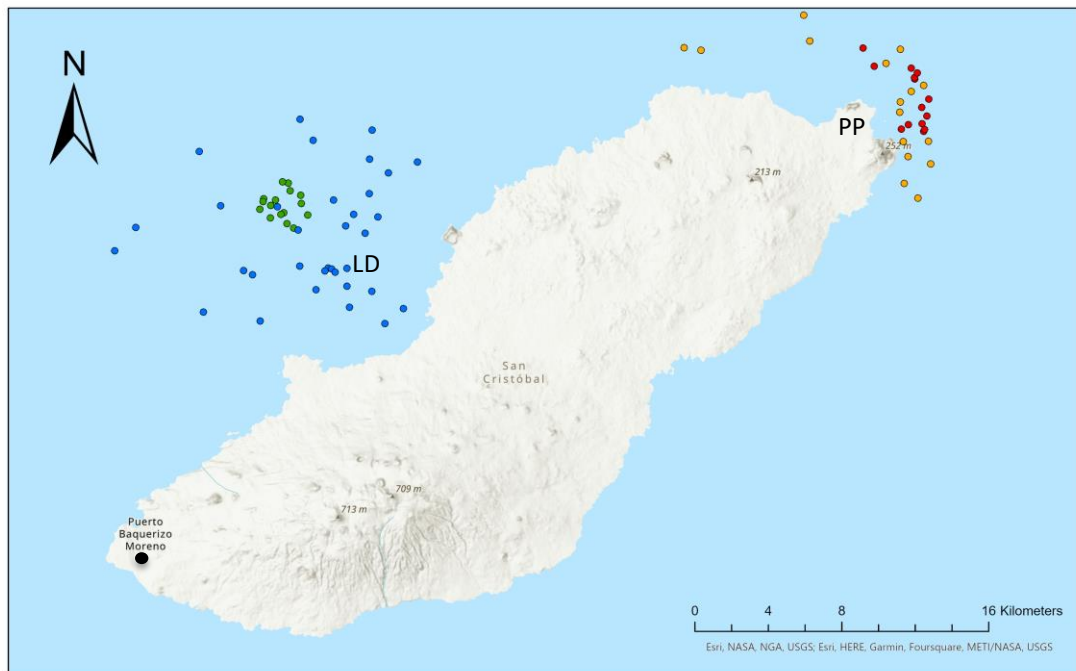


Figura 1. Vista detallada de la isla San Cristóbal con su capital y ambos lugares de muestreo en la temporada cálida y fría, León Dormido (LD) y frente a Punta Pitt (PP). Cada punto representa una cadena de tres BRUVS, codificada por colores LD (verde: temporada cálida; azul: temporada fría) y PP (rojo: temporada cálida; naranja: temporada fría).

### ***Sistemas de vídeo submarinos***

Para la recolección de los videos submarinos se utilizaron BRUVS (Baited Remote Underwater Video Stations), sistemas de vídeo remotos con cebo. Cada sistema (rig) está compuesto por un aparejo metálico en forma triangular, con capacidad de una cámara GoPro en cada vértice de la barra base, en configuración estéreo; con un brazo de cebo perpendicular a la barra base, en dirección del enfoque de las cámaras y un sistema de pesas y boyas para mantener el sistema en forma vertical y estable. El recipiente del cebo se hizo de un perforado de PVC capaz de esparcir el contenido al agua. En cada recipiente, se utilizó 1 kg de cebo de una mezcla oleosa de atún (*Thunnus* sp.), sardina reposada (*Sardinops* sp.), wahoo (*Acanthocybium solandri*) o restos de la pesca proveniente del capitán de la embarcación. Se realizaron dos lances cada día, cada lance consistió en dos líneas separadas, con tres rigs en cada línea, distanciados por 200 metros entre ellos. Cada línea se consideró como una muestra

por la secuencia de los tres rigs en la línea, estos fueron desplegados por 120 minutos cada día de muestreo, empezando entre las 7 am y 9 am. Se desplegaron los BRUVS en la zona epipelágica (12 m de profundidad) para muestrear los organismos presentes en este entorno, permitir el muestreo en zonas poco profundas y proporcionar luz natural adecuada para la identificación de los animales. Durante la temporada cálida se realizaron 30 despliegues de las líneas en los dos sitios de muestreo, con una distancia mínima de 1 km de la costa en el caso de Punta Pitt y 2 km de León Dormido.

Se utilizó el sistema EventMeasure (SeaGIS, s.f.) para el procesamiento de los videos para generar identificaciones taxonómicas y abundancia relativa para analizar cada video y determinar el MaxN (número máximo de individuos capturados en una toma del video de cada especie identificada) de cada uno de ellos. Se identificó cada animal individual con la resolución taxonómica más baja posible y se registró el MaxN de cada especie con el fin de realizar una matriz de abundancia para cada sitio en cada temporada, obteniendo cuatro matrices independientes y una matriz general.

### ***Análisis estadístico***

Los análisis fueron realizados usando el lenguaje de programación R versión 2023.09.1, con ayuda de los paquetes BiodiversityR, lattice, vegan, MASS y RcmdrMisc para llevar a cabo los análisis multivariados y los gráficos. Se aplicaron una variedad de análisis estadísticos para ver cómo cambia la estructura pelágica en relación a los dos sitios estudiados y en base a la temporada. Se realizó en primera instancia una curva de acumulación de riqueza de especies condensadas de todo el muestreo para verificar que el número de muestras tomadas sea aceptable y significativo, con el estimador Chao2 utilizando la función *poolaccum* del paquete BiodiversityR.

Se utilizó escalamiento multidimensional (MDS) para conocer si las comunidades muestreadas presentan diferencias en su composición en relación a los sitios y temporadas



respectivamente. También se realizó un ANOSIM (Análisis de similitudes) por sitios y temporadas, permitiendo probar estadísticamente si existe una diferencia significativa entre dos o más grupos de unidades de muestreo, en este caso las temporadas y sitios, brindando un porcentaje de diferencia entre los grupos, donde el estadístico R más cercano a 1 muestra disimilitud (Kindt & Coe, 2005). Luego como análisis principal se realizó un db-RDA (Análisis de redundancia basada en distancias), método que combina a un Análisis de Componentes Principales (PCA) con una regresión múltiple, útil cuando la matriz de datos puede ser transformada (Borcard et al., 2011) con el fin de conocer cómo las especies responden a las variables ambientales, es decir, a la temporada fría y cálida y a los dos sitios.

## RESULTADOS

Se realizaron un total de 15 lances de BRUVS en la temporada cálida y 25 en la temporada fría, obteniéndose 180 y 300 horas de grabación durante los días de salidas de campo respectivamente. Se eliminaron los videos donde el rig llegó al fondo o grababa cerca al fondo marino. Se registró un total de 5,823 individuos durante las dos temporadas sin contar con Cnidiarios y Ctenóforos, de los cuales 3,818 (65%) pudieron ser identificados hasta nivel de especie, 2,005 (34%) hasta género y 2 (0,03%) hasta familia. Los organismos registrados corresponden a 37 especies de 20 familias, 6 entidades identificadas solo hasta nivel de género y 1 a nivel de familia. Las familias con mayor número de especies fueron: Carangidae (9 especies), Scombridae (3 especies) y Carcharinidae (3 especies). El número de familias variaron entre temporadas (Tabla 1), así como también las familias más abundantes. Para la temporada fría Carangidae fue la familia de peces teleósteos más numerosa con 3,033 registros, seguida de Scombridae con 856. Se diferencia de la temporada cálida donde la familia de peces óseos más abundante fue Serranidae con 426 registros, seguida de Sardinidae con 247 y en tercer lugar Carangidae con 127 registros. Los elasmobranquios contribuyeron con el 2,1% de los registros de la temporada fría y 1% para la temporada cálida, abarcando dos familias de tiburones (Carcharhinidae y Sphyrnidae) y dos rayas (Dasyatidae y Mobulidae). La especie

con mayor registros en la temporada fría fue *Decapterus sp.* con 1628 individuos y para la temporada cálida fue *Paranthias colonus* con 426 individuos.

Tabla 1. Número de lances realizados por temporada y recuento del número de individuos, especies y familias encontrados en cada una.

	Temporada Cálida	Temporada Fría
Nº Lances	15	25
Nº Individuos	1,081	4,742
Nº Especies	26	30
Nº Familias	15	17

Por otro lado, la zona de Punta Pitt mostró mayor riqueza de especies comparado a León Dormido en ambas temporadas, se pudo observar un número similar de especies y familias al comparar la temporada cálida (22 spp. y 14 familias) y fría (25 spp. y 15 familias) en Punta Pitt, sin embargo, el número de individuos registrados fue 3.5 veces mayor en la temporada fría. Para León Dormido se obtuvo un patrón similar, considerando que se realizó el doble de lances que en los demás sitios. Con la mitad de los lances realizados en la temporada fría, el número de especies y familias se asemeja en ambas temporadas y de igual manera que en Punta Pitt, el número de individuos es mayor durante la temporada fría (Tabla 2). Durante la temporada fría se llegaron a registrar tres especies de atunes, la más abundante fue *Euthynnus lineatus* con 723 individuos, seguido de *Thunnus albacares* con 111 y *Acanthocybium solandri* con 11 registros, a diferencia de la temporada cálida donde se registraron dos especies (*T. albacares* y *A. solandri*) en menor abundancia (Tabla 3). Con los tiburones registrados de igual forma se redujo su abundancia significativamente durante la temporada cálida, diferencias

importantes para *S. lewini*, *C. galapagensis* y *C. limbatus* (especie no registrada durante la temporada cálida).

Tabla 2. Número de lances realizados por sitio en cada temporada y recuento del número de individuos, especies y familias encontrados en cada una.

	Punta Pitt Cálida	Punta Pitt Fría	León Dormido Cálida	León Dormido Fría
Nº Lances	7	8	8	17
Nº Individuos	875	3089	206	1653
Nº Especies	22	25	10	21
Nº Familias	14	15	7	14

Tabla 3. Valor máximo de captura (MaxN) obtenido de las especies de interés socio – económico en cada temporada.

	Temporada Cálida	Temporada Fría
<i>Euthynnus lineatus</i>	0	721
<i>Thunnus albacares</i>	4	111
<i>Acanthocybium solandri</i>	5	11
<i>Sphyrna lewini</i>	2	7
<i>Carcharhinus galapagensis</i>	2	19
<i>Carcharhinus limbatus</i>	0	30
<i>Carcharhinus falciformis</i>	2	5
<i>Prionace glauca</i>	3	0
<i>Zalophus wollebaeki</i>	1	5
<i>Chelonia mydas</i>	32	160

Se generó una curva de acumulación de riqueza de especies general, donde se representa el número de especie acumulada frente al esfuerzo de muestreo de las dos temporadas y sitios. La curva de acumulación de especies indicó que la riqueza total observada se aproximó a la asíntota con el número de muestreos realizados. La asíntota en la curva de acumulación de especies indica que el esfuerzo de muestreo realizado fue representativo de la riqueza de especies presente en el área de estudio (Figura 2). La riqueza específica observada por lance tuvo un mínimo de 4 especies y un máximo de 23, la mediana fue 5 especies y la media 6,54.

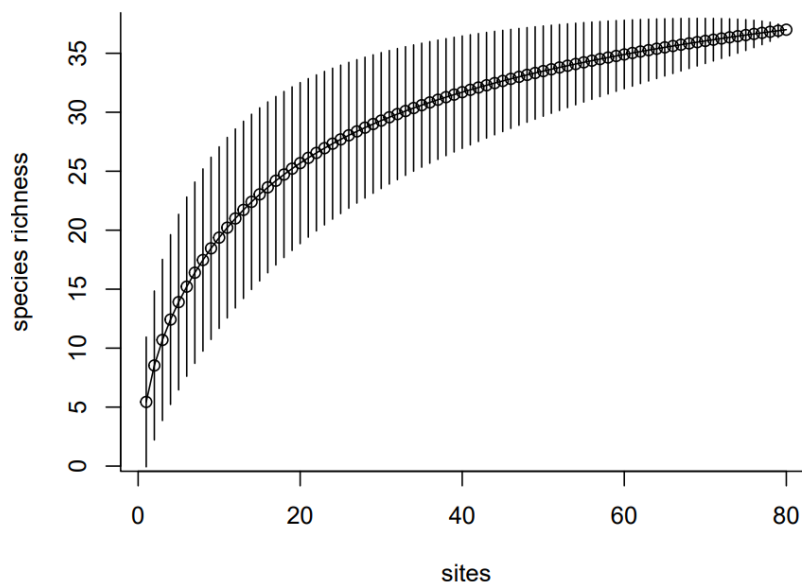


Figura 2. Curva acumulada de todo el proyecto Curva de acumulación de riqueza de especies marinas vertebradas en la Reserva Marina de Galápagos, mostrando la riqueza acumulada en función del número de lances.

El análisis de similitudes (ANOSIM) para los sitios arrojó un valor de correlación estadístico  $R = 0.2753$  con significancia de 0.0001 y para el análisis de las temporadas ANOSIM arrojó un valor de estadístico  $R = 0.4214$  con significancia de 0.0001. Un valor  $R$  próximo a "1" sugiere disimilitud entre grupos, mientras que un valor  $R$  cercano a "0" sugiere una distribución uniforme de rangos altos y bajos dentro de los grupos y entre ellos. Los valores  $R$  menores a "0", en cambio, sugiere que las disimilitudes son mayores dentro de los grupos

que entre ellos (Sommerfield et al., 2021). Se encontró menor disimilitud en la estructura comunitaria entre sitios que entre temporadas. En este caso, la aplicación del escalamiento multidimensional resultó en un gráfico bidimensional (Figura 3) que muestra las relaciones entre las especies y sustenta el resultado de ANOSIM, donde a mayor asociación entre las dos comunidades menor distancia entre los puntos centrales del conjunto de datos y mayor sobreposición de los vectores. Se muestra la mayor proximidad entre las comunidades comparadas entre sitios y sobreposición que ocupan los vectores (mayor incidencia comparado entre sitios) en ambos casos, reflejando mayor similitud entre las comunidades muestreadas y comparadas en base al lugar de muestreo.

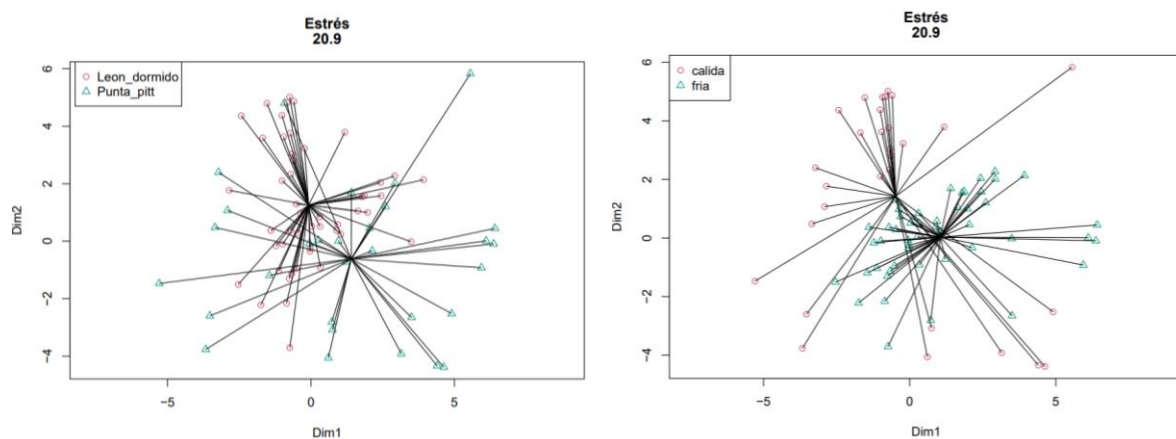


Figura 3. Escalamiento multidimensional (MDS) entre sitios de muestreo (izq.) y entre temporadas (der.) donde se comparan sus comunidades.

El análisis de redundancia basado en distancias mostró cómo responden las especies a las dos variables ambientales, es decir, sitios (eje y) y temporadas (eje x). Las especies más alejadas al punto medio de los ejes representan mejor las variables más próximas a los ejes dentro del cuadrante. Se muestra que la mayoría de las especies se reúnen en el centro de los ejes, es decir, estas no responden directamente a ninguna variable, a pesar de tener una tendencia a algún cuadrante, tomando en cuenta a su vez que la mayoría de las especies con

abundancias bajas no mostraron un comportamiento claro en relación con las variables evaluadas, acumulándose en el centro del diagrama (Figura 4).

Entre las especies que muestran asociaciones más fuertes con las variables, están *P. colonus* relacionada fuertemente con Punta Pitt y mayormente a la temporada cálida junto con *Sardinella. sp.* Para el mismo sitio con relación a la temporada fría se encuentra *Decapterus. sp.* como especie representativa, le siguen *E. lineatus* y *T. albacares* como preferencia a estas dos variables. Para la temporada fría en León Dormido la especie más relevante fue *N. ductor*, seguido de *C. mydas* y *S. annulatus*. Finalmente *P. cyanophrys* fue la especie que describió mejor al sitio León Dormido con afinidad a la temporada cálida junto con *L. lagocephalus* (Figura 4).

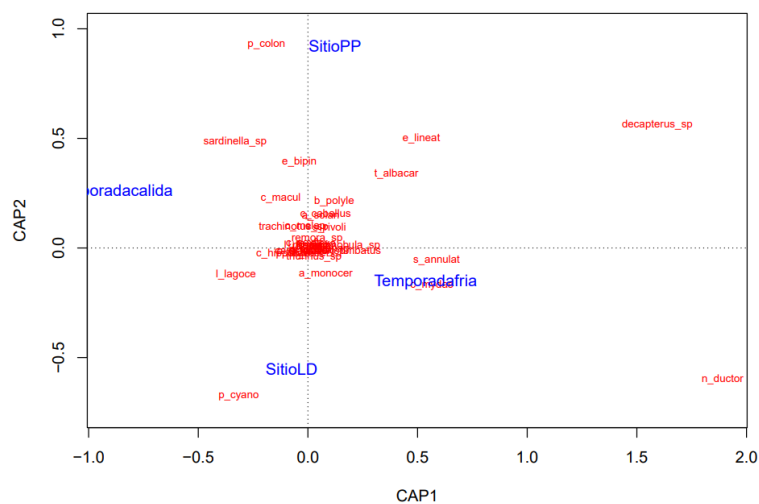


Figura 4. Análisis de redundancia (RDA) utilizando el parámetro ecológico de abundancia de las especies en relación con el sitio y la temporada. La proximidad de cada especie a una variable (sitio o estación) explica su presencia.

## DISCUSIÓN

Los BRUVS documentaron que las aguas de San Cristóbal, hotspot para la fauna pelágica a escala regional, albergan una gran variedad de vertebrados pelágicos, incluidos reptiles, mamíferos, elasmobranquios y teleósteos. Las comunidades pelágicas tienden en gran medida a ser heterogéneas, es decir, presentan una gran diversidad de especies y hábitats. Esto se debe a que las aguas pelágicas son un entorno muy dinámico, con variaciones en la temperatura, la salinidad, la profundidad y la disponibilidad de alimento (Kaiser et al., 2023). Estas variaciones dan lugar a una gran diversidad de nichos ecológicos, que son ocupados por diferentes especies. Las comunidades pelágicas se diferencian de las comunidades costeras en varios aspectos. En primer lugar, las comunidades pelágicas están menos influenciadas por la actividad humana que las comunidades costeras. En segundo lugar, las comunidades pelágicas son más móviles, ya que las especies pelágicas se desplazan constantemente en busca de alimento y condiciones favorables. En tercer lugar, las comunidades pelágicas están más expuestas a los fenómenos meteorológicos como las estaciones y oceanográficos como las corrientes, fenómenos muy importantes en las Islas Galápagos.

A pesar de valores elevados de métricas de vida marina pelágica, hay diferencias localizadas entre Punta Pitt y León Dormido. Punta Pitt, expuesta a la corriente de Humboldt en la temporada fría, exhibe valores más altos de métricas que León Dormido. La batimetría y ubicación son impulsores clave de la composición de vida marina pelágica, mientras que la estacionalidad desempeñan un papel significativo en la variabilidad en la abundancia. Las variaciones entre temporadas fueron evidentes en términos de la composición de familias como en la abundancia de ciertas especies. La familia Carangidae dominó en la temporada fría, mientras que Serranidae lideró en la temporada cálida. Asimismo, se observaron cambios significativos en la presencia de elasmobranquios entre temporadas, destacando una reducción notable en la abundancia durante la temporada cálida.



La comparación entre los sitios de muestreo, Punta Pitt y León Dormido, reveló una mayor riqueza de especies en Punta Pitt en ambas temporadas. Frente a Punta Pitt se genera un cúmulo de partículas asociada a la zona de convergencia de dos corrientes que atrae niveles tróficos superiores, promueve la difusión de nutrientes y al ser un frente oceánico promueven la resuspensión de nutrientes y materia orgánica del fondo al generar surgencia hacia la zona eufótica (Jiménez & Bonilla, 1980). Aunque el número de especies y familias fue considerablemente similares entre las temporadas cálida y fría en ambos sitios, la cantidad de individuos registrados fue considerablemente mayor en la temporada fría. Estos hallazgos sugieren también una influencia marcada de las condiciones estacionales en la abundancia de organismos marinos.

El análisis de similitudes (ANOSIM) respalda cuantitativamente estas observaciones, revelando una menor disimilitud en la estructura comunitaria entre sitios en comparación con temporadas. El escalamiento multidimensional refuerza estos resultados al visualizar las relaciones entre las especies. El análisis de redundancia basado en distancias proporciona una comprensión adicional de cómo las especies responden a las variables ambientales de sitios y temporadas. Las asociaciones más fuertes se identificaron entre ciertas especies y las condiciones específicas de Punta Pitt o León Dormido, así como las preferencias estacionales. Este enfoque multivariable contribuye a una comprensión más completa de la dinámica de las comunidades marinas en el área de estudio.

Las comunidades de vida marina difieren entre León Dormido y Punta Pitt, destacando la especificidad de la distribución de especies pelágicas. León Dormido alberga especies de peces pelágicos pequeños como *P. cyanophrys*, mientras que Punta Pitt exhibe mayor abundancia de especies de peces que forman cardúmenes como *Decapterus sp* o el túnido *E. lineatus* (Lopez, 2023). La presencia de tiburones es común en ambas ubicaciones durante la temporada fría y cálida (menor abundancia), sin embargo, para *C. limbatus* durante la

temporada cálida no se realizaron registros. A pesar de que este tipo de tiburón prefiere aguas cálidas y se esperaba una mayor abundancia durante la temporada cálida, se debe tomar en cuenta la influencia del fenómeno de El Niño durante este año (Zevallos-Rosado et al., 2022). Dado que la migración del tiburón punta negra está estrechamente correlacionada con la temperatura del agua, con muy pocos tiburones encontrados cuando las temperaturas del agua superan los 25°C (Kajiura & Tellman, 2016), se ha documentado que el aumento en temperaturas oceánicas promueve la presencia de organismos marinos en latitudes cada vez más altas. Esto puede explicar la ausencia de esta especie durante la temporada cálida, por lo que se sugiere que esta especie durante la temporada fría disminuye la profundidad en la que encuentra y puede ser observado cerca de la superficie donde la temperatura del agua no es tan baja, por el contrario en la temporada cálida, en especial con el fenómeno El Niño los tiburones punta negra puede que aumenten la profundidad o migren. Lo mismo puede ocurrir con *S. lewini*, registrado en menor medida en la temporada cálida a pesar de que su rango de preferencia termal es mayor que el de *C. limbatus* (Hoffmayer et al., 2013).

Por otro lado, las tortugas marinas son animales ectotérmicos, lo que significa que dependen del calor externo para regular su temperatura corporal. Las temperaturas más cálidas les permiten a las tortugas marinas ser más activas y tener más éxito en la reproducción (Hamann et al., 2002), sin embargo, en este muestreo se contabilizaron considerablemente mayor abundancia durante la temporada fría. Las tortugas marinas, después de anidar, suelen migrar hacia áreas de alimentación, las jóvenes se alimentan de algas y animales pequeños, las adultas se alimentan de peces, calamares y otros animales marinos pelágicos, en algunas regiones, la temporada cálida puede coincidir con períodos de menor disponibilidad de alimentos debido a cambios en las corrientes oceánicas u otras condiciones oceanográficas como es el fenómeno de El Niño donde la disponibilidad de alimento se reduce. Según estudios realizados (Carrión-Cortez et al., 2010) se encontró que la abundancia de tortugas verdes estaba

correlacionada con la disponibilidad de alimento, que era mayor en la temporada fría, lo que concuerda con lo observado.

Especies de interés observadas durante la temporada fría fueron atunes que aparecieron en gran abundancia. *E. lineatus* y *T. albacares* son de gran importancia económica en la pesca en pequeña escala del Pacífico Oriental Tropical (Sandoval et al., 2020). Las aguas más frías tienden a contener mayores niveles de oxígeno disuelto, lo que es esencial para el metabolismo y la actividad de los atunes, además, las corrientes y los gradientes de temperatura pueden concentrar presas, atrayendo a los atunes a aguas más frescas (Carey & Teal, 1969).

El estudio durante la temporada cálida estuvo acompañado de una época de transición ambiental e influencia del fenómeno del Niño (Zevallos-Rosado et al., 2022) por lo que un muestreo a largo plazo permitiría estimar rigurosamente la variación estacional e interanual, lo que también proporcionaría la capacidad de evaluar la influencia de las características ambientales “normales” en época fría y cálida sin sesgos por fenómenos como los de El Niño o La Niña. Es importante destacar que este estudio se enfocó únicamente en la zona epipelágica a 12 metros de profundidad. Por esta razón, especies pelágicas que migran a aguas más profundas pueden no haber sido tomadas en cuenta. Se recomienda principalmente utilizar estéreo BRUVS de profundidad para suplir esta falta de información. El uso de MaxN calculado a partir de los estéreo BRUVS puede producir estimaciones conservadoras de la abundancia, especialmente en áreas de alta densidad de especies (Cappo et al., 2007).

## CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados obtenidos mediante el uso de BRUVS en las aguas de San Cristóbal han proporcionado una visión de la diversidad y dinámica de las comunidades pelágicas en la región. La heterogeneidad de estas comunidades, caracterizada por una amplia variedad de especies y hábitats, se atribuye a la naturaleza dinámica del entorno pelágico, con fluctuaciones en la temperatura, salinidad, profundidad y disponibilidad de alimento. El análisis comparativo entre los sitios de muestreo, frente a Punta Pitt y León Dormido, reveló diferencias significativas en la composición y abundancia de la vida marina pelágica, siendo Punta Pitt más rica en especies en ambas temporadas. Factores como la batimetría, la ubicación geográfica y la estacionalidad jugaron un papel clave en la variabilidad observada.

La presencia de especies específicas, como tiburones y tortugas marinas, mostró respuestas distintas a las condiciones estacionales y a fenómenos climáticos como El Niño. La ausencia de tiburones punta negra durante la temporada cálida se asoció con la influencia de temperaturas elevadas, mientras que la mayor abundancia de tortugas marinas durante la temporada fría se vinculó con una mayor disponibilidad de alimentos. Los atunes, especialmente *E. lineatus* y *T. albacares*, fueron destacados como especies de interés económico y se observó su mayor presencia en aguas más frías, atribuida a la mayor concentración de oxígeno disuelto y a la atracción de presas en estas condiciones.

En términos de metodología, se resalta la importancia de considerar la influencia de fenómenos climáticos y recomendar la realización de muestreos a largo plazo para comprender mejor la variación estacional e interanual. Además, se sugiere el uso de estéreo BRUVS de mayor profundidad para abordar posibles limitaciones en la captura de especies pelágicas que migran a aguas más profundas.

Los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para la conservación de la biodiversidad en las islas Galápagos. La disminución en el número de especies durante la estación cálida puede ser un indicador de estrés ambiental. Los eventos climáticos extremos, como El Niño, pueden intensificar la influencia de la corriente de Panamá y provocar una disminución aún mayor en el número de especies. La protección de estos hábitats es esencial para la conservación de la biodiversidad de las islas Galápagos. Para futuras investigaciones, sería interesante estudiar la variación de la riqueza y el número de especies de peces en las islas Galápagos a lo largo del tiempo. Esto podría ayudar a comprender mejor cómo los cambios ambientales están afectando la biodiversidad del archipiélago.

Se recomienda utilizar esta información en futuros trabajos para entender mejor la función de los islotes y frentes oceánicos, así como los cambios entre estaciones y con ellos poder generar información que permita crear medidas de conservación espacio - estacionales.

## AGRADECIMIENTOS

Con este trabajo finalizo una de las etapas más felices y con mayor crecimiento personal que he podido tener, dentro de esta increíble universidad, mi querida San Francisco de Quito.

Primero agradezco a mis queridos padres, no hay palabras para expresar la gratitud que siento por ustedes, han sido mi apoyo incondicional desde el día uno. Sin ustedes, este trabajo final no hubiera sido posible. A mi abuelita y tios que aunque estando lejos su amor, su apoyo y su confianza me han dado la fuerza para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

Le agradezco muy especialmente a mi profesor/colega español Alex Hearn, tutor de tesis, quién creyó en mi y sacrificó parte de su ocupada agenda y se dió el tiempo para mejorar mi formación académica. Parte del logro de graduarme se lo debo a él. Gracias por ser mi figura profesional a seguir desde el primer día de la carrera.

A mis queridos profesores, les agradezco su dedicación y compromiso con la enseñanza. Su ejemplo y amor por la naturaleza me ha inspirado a seguir aprendiendo y crecer como persona y profesional para poder aportar al mundo.

A mis queridos amigos y compañeros que se convirtieron en mi segunda familia, gracias por su apoyo y compañía durante esta increíble etapa de mi vida. Su amor y amistad han sido un pilar fundamental para mí. Ustedes han hecho de este camino divertido y gratificante. Les agradezco con el alma el haber puesto una sonrisa en mi rostro cuando solo habían lagrimas en mis ojos.

A todos los que han contribuido, de una u otra manera, a la realización de esta tesis, les agradezco de corazón. Su apoyo ha sido invaluable.

Esta tesis es un logro de todos nosotros.

*Once a dragon, always a dragon...*

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Angel, M. V. (1993). Biodiversity of the Pelagic Ocean. *Conservation Biology*, 7(4), 760-772. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740760.x>
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). Numerical Ecology With R. En *Numerical Ecology with R* (Vol. 17). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7976-6>
- Bucaram, S. J., & Hearn, A. (2014). Factors that influence the entry–exit decision and intensity of participation of fishing fleet for the Galapagos lobster fishery. *Marine Policy*, 43, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.05.005>
- Cappo, M., Harvey, E., & Shortis, M. (2007). Counting and measuring fish with baited video techniques -an overview. In: Lyle JM, Furlani DM, Buxton CD , editors. Cutting-edge technologies in fish and fisheries science. *2006 AFSB Conference and Workshop, Hobart, Tasmania: Australian Society for Fish Biology.*, 101-114.
- Carey, F. G., & Teal, J. M. (1969). Regulation of body temperature by the bluefin tuna. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 28(1), 205-213. [https://doi.org/10.1016/0010-406X\(69\)91336-X](https://doi.org/10.1016/0010-406X(69)91336-X)
- Carrión-Cortez, J. A., Zárate, P., & Seminoff, J. A. (2010). Feeding ecology of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the Galapagos Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(5), 1005-1013. <https://doi.org/10.1017/S0025315410000226>
- 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>

- Conroy, J., Murray, N., Patterson, G., Schore, A., Ikuru, I., Cole, J. E., Chillagana, D., & Echeverria, F. (2023). Equatorial Undercurrent Influence on Surface Seawater  $\delta\text{O}$  Values in the Galápagos. *Geophysical Research Letters*, 50.  
<https://doi.org/10.1029/2022GL102074>
- Dueñas, A., Jiménez-Uzcátegui, G., & Bosker, T. (2021). The effects of climate change on wildlife biodiversity of the galapagos islands. *Climate Change Ecology*, 2, 100026.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecochg.2021.100026>
- Edgar, G. J., Banks, S., Fariña, J. M., Calvopiña, M., & Martínez, C. (2004). Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galapagos archipelago. *Journal of Biogeography*, 31(7), 1107-1124.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01055.x>
- Figueroa, D. F. (2021). Environmental forcing on zooplankton distribution in the coastal waters of the Galápagos Islands: Spatial and seasonal patterns in the copepod community structure. *Marine Ecology Progress Series*, 661, 49-69.  
<https://doi.org/10.3354/meps13617>
- Hamann, M., Limpus, C., & Whittier, J. (2002). Patterns of lipid storage and mobilisation in the female green sea turtle (*Chelonia mydas*). *Journal of Comparative Physiology B*, 172(6), 485-493. <https://doi.org/10.1007/s00360-002-0271-2>
- Hoffmayer, E., Franks, J., Driggers, W., & Howey, P. (2013). Diel Vertical Movements of a Scalloped Hammerhead, *Sphyrna Lewini*, in the Northern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science -Miami-*, 89, 2013. <https://doi.org/10.5343/bms.2012.1048>
- Jiménez, R., & Bonilla, D. (1980). Composición y distribución de la biomasa del plancton en el frente ecuatorial. *Acta oceanográfica del Pacífico*, 1(1), 19-64.



- Kaiser, M., Attrill, M., Jennings, S., Thomas, D., Barnes, D., Brierley, A., Graham, N., Hiddink, J., Howell, K., & Kaartokallio, H. (2023). *Pelagic Ecosystems*.  
<https://doi.org/10.1093/hesc/9780198717850.003.0009>
- Kajiura, S. M., & Tellman, S. L. (2016). Quantification of Massive Seasonal Aggregations of Blacktip Sharks (*Carcharhinus limbatus*) in Southeast Florida. *PLOS ONE*, *11*(3), e0150911. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150911>
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). Tree Diversity Analysis. A Manual and Software for Common Statistical Methods for Ecological and Biodiversity Studies. En *Nairobi: World Agroforestry Centre (ICRAF)*.
- Liu, Y., Xie, L., Morrison, J. M., & Kamykowski, D. (2013). Dynamic Downscaling of the Impact of Climate Change on the Ocean Circulation in the Galápagos Archipelago. *Advances in Meteorology*, *2013*, e837432. <https://doi.org/10.1155/2013/837432>
- Lopez, N. A. (2023). *From above and below: Identification of key areas for pelagic wildlife conservation* [Doctoral Thesis]. <https://doi.org/10.26182/4pa0-p094>
- Manzello, D. P., Kleypas, J. A., Budd, D. A., Eakin, C. M., Glynn, P. W., & Langdon, C. (2008). Poorly cemented coral reefs of the eastern tropical Pacific: Possible insights into reef development in a high-CO<sub>2</sub> world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(30), 10450-10455. <https://doi.org/10.1073/pnas.0712167105>
- Pinheiro, H. T., Bernardi, G., Simon, T., Joyeux, J.-C., Macieira, R. M., Gasparini, J. L., Rocha, C., & Rocha, L. A. (2017). Island biogeography of marine organisms. *Nature*, *549*(7670), Article 7670. <https://doi.org/10.1038/nature23680>
- Sandoval, A., Cerdenares, G., Rojas-Herrera, A., González, J., García-Ibáñez, S., & Hernández-Gómez, J. (2020). Feeding habits of the fishes *Euthynnus lineatus* and *Scomberomorus sierra* (Perciformes: Scombridae) in the Eastern Tropical Pacific. *Revista de Biología Tropical*, *68*. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.40588>

- SeaGIS. (s.f.). EventMeasure. <https://www.seagis.com.au/event.html> (Accessed 12 November 2023).
- Somerfield, P. J., Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2021). Analysis of similarities (ANOSIM) for 2-way layouts using a generalised ANOSIM statistic, with comparative notes on Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). *Austral Ecology*, 46(6), 911-926. <https://doi.org/10.1111/aec.13059>
- Thys, T. M., Hearn, A. R., Weng, K. C., Ryan, J. P., & Peñaherrera-Palma, C. (2017). Satellite Tracking and Site Fidelity of Short Ocean Sunfish, *Mola ramsayi*, in the Galapagos Islands. *Journal of Marine Sciences*, 2017, e7097965. <https://doi.org/10.1155/2017/7097965>
- Zevallos-Rosado, J., Chinacalle-Martínez, N., Carlos Murillo-Posada, J.C., Veelenturf, C., Peñaherrera-Palma, C., Accepted. (2022). A comparative analysis of spatiotemporal trends in sea surface temperature in the major marine protected areas of the Eastern Tropical Pacific. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 58.
- Zhao, Q., Stephenson, F., Lundquist, C., Kaschner, K., Jayathilake, D., & Costello, M. J. (2020). Where Marine Protected Areas would best represent 30% of ocean biodiversity. *Biological Conservation*, 244, 108536. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108536>

## ANEXO A: ESPECIES REPRESENTATIVAS POR SITIO

