



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

Ecología trófica de *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur a partir de contenido estomacal e isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .

## TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**SAMANTHA BALLESTEROS HERNÁNDEZ**

**TUTOR PRINCIPAL:**

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

(CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS- IPN)

**COMITÉ TUTOR:**

DR. LUIS FERNANDO DEL MORAL FLORES

(Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM)

DR. YASSIR EDEN TORRES ROJAS

(Universidad Autónoma de Campeche)

DR. JORGE ALBERTO LÓPEZ ROCHA

(Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM)

DRA. MARÍA DEL PILAR BLANCO PARRA

(CONACyT-Universidad de Quintana Roo)

**CD. MX., AGOSTO, 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**Ecología trófica de *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839)  
en la costa occidental de Baja California Sur a partir de contenido  
estomacal e isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ .**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**SAMANTHA BALLESTEROS HERNÁNDEZ**

**TUTOR PRINCIPAL:**

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

(CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS- IPN)

**COMITÉ TUTOR:**

DR. LUIS FERNANDO DEL MORAL FLORES

(Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM)

DR. YASSIR EDEN TORRES ROJAS

(Universidad Autónoma de Campeche)

DR. JORGE ALBERTO LÓPEZ ROCHA

(Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM)

DRA. MARÍA DEL PILAR BLANCO PARRA

(CONACyT-Universidad de Quintana Roo)

**MÉXICO, CD. MX., AGOSTO, 2020**

## **Agradecimientos**

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, de la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad de continuar con mis estudios de posgrado, el apoyo y la educación de calidad brindada durante la realización de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por abrirme sus puertas y permitirme realizar este proyecto de la mano de excelentes investigadores y colegas.

Al Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Granada, por el apoyo y los recursos brindados para el análisis isotópico.

## **Agradecimientos personales**

Esta tesis va dedicada al Dr. Gallardo con quien iniciamos este proyecto y tristemente no pudimos culminar, le agradezco el tiempo, apoyo y enseñanzas que me dio, sobre todo la confianza, que fue de gran ayuda al iniciar esta aventura.

Quiero agradecer al doctor Galván y todo el equipo del proyecto tiburones y rayas del CICIMAR, por hacerme sentir bienvenida y ayudarme en la realización de este trabajo. Al Dr. Tripp por las asesorías y revisiones, al equipo del laboratorio de química por la asesoría y el espacio brindado para el procesamiento de muestras y a los investigadores que a lo largo de los años reunieron las muestras con las que fue realizado este proyecto.

A los asesores, por sus observaciones y revisiones que permitieron la realización de esta tesis. Al equipo del IACT por la paciencia y ayuda brindada en el análisis de isótopos.

A Julio y Armando, gracias por las consultas y ayuda brindada para las determinaciones y el proyecto en general, sin ustedes habría estado aún más perdida.

A mi familia Paceña (Juan, Vale, Mari, Ili, Fer, Adriá, Gaby, Diego, Armando, Julio y todo aquel que se me esté pasando), gracias por hacerme sentir en casa y acompañarme en esta aventura, sin ustedes no habría sido lo mismo.

Finalmente a mi familia, a Oscar y a todas las personas que me animaron y dieron su apoyo durante esta aventura que me permitió conocer lugares y gente nueva, éste es un éxito en conjunto y sin ustedes no habría sido posible.

## Índice

Índice.....	4
Resumen .....	6
Abstract.....	8
Introducción .....	10
Antecedentes .....	15
Justificación.....	18
Pregunta de investigación .....	19
Hipótesis.....	19
Objetivos .....	20
Materiales y métodos.....	21
Resultados.....	34
Discusión .....	58
Conclusiones .....	74
Literatura citada .....	76
ANEXO 1 .....	90
ANEXO 2 .....	92

## Índice de figuras

Figura 1. Tiburón piloto, <i>Carcharhinus falciformis</i> (Muller y Henle, 1839) capturado en Puerto Madero, Chiapas, México) .....	11
Figura 2. Localización del punto de muestreo .....	21
Figura 3. Gráfico de Amundsen et al. (1996) para analizar la estrategia alimentaria. ....	31
Figura 4. Estructura de edades correspondientes a los individuos de <i>C. falciformis</i> muestreados..	35
Figura 5. Categorías de grado de llenado estomacal de acuerdo a Stillwer y Kohler (1982) encontradas en las muestras de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la zona de Punta Lobos, Baja California Sur .....	36
Figura 6. Contribución PSIRI de <i>Carcharhinus falciformis</i> en Punta Lobos, Baja California Sur .....	39
Figura 7. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur .....	40
Figura 8. Porcentaje de contribución PSIRI de machos y hembras de <i>Carcharhinus falciformis</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.....	42
Figura 9. Amplitud y traslape trófico de los machos y hembras de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur .....	43
Figura 10. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de las hembras de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la Costa Occidental de Baja California Sur .....	44
Figura 11. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de los machos de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur . ....	45
Figura 12. Porcentaje de contribución de PSIRI en juveniles y adultos de <i>Carcharhinus falciformis</i> en Punta Lobos, Baja California Sur.....	47
Figura 13. Amplitud y traslape trófico de los adultos y juveniles de <i>C. falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur (A: Adultos; J: Juveniles).....	48
Figura 14. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de los adultos de <i>C. falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur .....	49
Figura 15. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de los juveniles de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur .....	50
Figura 16. Porcentaje de contribución de PSIRI en temporada cálida y fría de individuos de <i>Carcharhinus falciformis</i> en Punta Lobos Baja California Sur .....	52
Figura 17. Amplitud y traslape trófico por temporadas para el tiburón piloto en la costa occidental de Baja California Sur. ....	54
Figura 18. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur durante la temporada cálida .....	55
Figura 19. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de <i>Carcharhinus falciformis</i> en la costa occidental de Baja California Sur durante la temporada fría .....	56

## Resumen

La pesca de tiburón en México representa una de las derramas pesqueras de mayor importancia a nivel nacional. Dentro de las costas de Baja California Sur éste recurso se posiciona en el quinto lugar por su importancia y una de las especies con mayor abundancia y frecuencia dentro de las capturas es el tiburón piloto, *Carcharhinus falciformis*, la cual es una especie circuntropical. Asimismo, está catalogada en riesgo de extinción debido a su sobrepesca a nivel mundial; sin embargo, los estudios sobre su ecología trófica son pocos, por ello en el presente estudio se analiza la ecología trófica de este tiburón en la costa occidental de Baja California Sur para conocer los posibles cambios en su dieta por sexo, edad y temporadas. Se analizó el contenido estomacal con el fin de conocer las presas importantes, así como el análisis de isotopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  para conocer el hábitat trófico y nivel trófico de este tiburón. Las muestras fueron obtenidas en el campo pesquero Punta Lobos, B.C.S. entre los años 2011 y 2016. Para definir las temporadas ambientales se tomaron como referencia las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) durante el periodo de muestreo. Esto permitió determinar que el espectro trófico se encuentra conformado por el grupo de los peces (con 18 especies), seguido de los cefalópodos (8 especies) y los crustáceos (1 especie). De acuerdo con el índice de importancia relativa especie específico, el grupo de mayor importancia fue el de los crustáceos, ocupando el 53.6% del espectro trófico, con la especie *Pleuroncodes planipes* como presa principal, seguido del grupo de los peces (28.7%), de los cuales *Sardinops* sp. y *Sebastes* sp. fueron las presas de mayor importancia, y el de los cefalópodos (6.92%), con *Argonauta cornuta* y *Onychoteuthis* sp. como principales representantes. De manera general, el análisis isotópico muscular de este tiburón presentó valores de  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-17.68\text{‰} \pm 0.38$ , y el  $\delta^{15}\text{N}$  fue de  $17.09\text{‰} \pm 0.74$ . Se determinó una estrategia de alimentación especialista, siendo depredadores esencialmente carcinófagos. El nivel trófico promedio fue de 3.5 debido al alto consumo de langostilla. El modelo de mezcla sugiere un mayor aporte de la langostilla (*P. planipes*) y el grupo de los cefalópodos (*Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.) a la dieta, lo cual coincide con lo registrado en el análisis de contenido

estomacal. De las categorías revisadas, solo se observaron diferencias significativas entre los valores isotópicos de los juveniles y adultos. En el caso de las temporadas cálidas y frías de cada año de muestreo, se encontró un espectro trófico más amplio durante la temporada cálida. Con lo anterior fue posible determinar que la costa occidental de B.C.S. es una zona de alimentación para la especie. *C. falciformis* se comporta como un depredador especialista debido al alto consumo de langostilla; además, este tiburón presentó resiliencia a cambios ambientales como las variaciones en TSM, la cual se observa en la ampliación de su nicho trófico durante periodos de anomalías positivas.

Palabras clave: Tiburón piloto, isótopos estables, contenido estomacal, alimentación, Baja California Sur.

## Abstract

Shark fisheries in Mexico represent one of the most relevant economic impacts in the fisheries sector. In Baja California Sur coast this resource ranks fifth because of its relevance. One of the most abundant and frequent species in the catches is *Carcharhinus falciformis*, also known as silky shark, which is a circumtropical species. This shark is catalogued as at risk by the IUCN because of its overfishing worldwide; however studies of the trophic ecology of this species are just a few, that's why the present study pretends to analyze the trophic ecology of silky shark in the western coast of Baja California Sur, in order to know possible changes in its diet by sex, age and season. We analyzed the stomach content in order to recognize the main preys of the shark, we also analyzed the stable isotopes of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  to know the trophic habitat and level of the species. Samples were taken from the fishing camp Punta Lobos in B.C.S. between the years 2011 and 2016. In order to define the seasonality we took as references the anomalies in sea surface temperature (SST) in the sampling years. The data let us know that the trophic spectrum is comprised by fishes (18 species), followed by the cephalopods (8 species) and the crustaceans (1 species). According to the relative importance prey index (PSIRI), the crustaceans were the most important group, being *Pleuroncodes planipes* the main prey with 53.6% of the trophic spectrum, followed by fishes with 28.7%, having *Sardinops* sp. and *Sebastes* sp. as the most important fishes, and cephalopods with 6.92%, being *Argonauta cornuta* and *Onychoteuthis* sp. the most representative species. In general, the stable isotope analysis yielded values of  $\delta^{13}\text{C}$ :  $-17.68 \text{ ‰} \pm 0.38$  and  $\delta^{15}\text{N}$ :  $17.09 \text{ ‰} \pm 0.74$ , which indicate the oceanic trophic habitat of this shark species with a specialized feeding strategy and a trophic level between 3.5 and 3.7, being mainly a carcinogenic predator. The mix model, suggests a higher contribution of the red crab (*P. planipes*) and two cephalopods, *Ancistrocheirus lesueurii* and *Gonatus* sp. There were significant differences in the isotopic values between juveniles and adults. Also in the warm and cold seasons the silky shark showed different feeding strategies, being a generalist during the warm seasons and a specialist in the cold season. According to this information we can establish the western coast of Baja California Sur as a feeding habitat for the silky shark. This shark acts out as an specialist predator in the zone, being the oceanic

red crab its main prey, we also concluded that *C. falciformis* shows some resilience to climate changes in the zone, which can be seen in the wider trophic niche that the species has during positive anomalies.

Key words: Silky shark, stable isotope analysis, feeding ecology, Baja California Sur.

## Introducción

Los tiburones son considerados un recurso biológico con importancia alimentaria, pesquera y económica (CONAPESCA-INP, 2004). En México la pesca de estos organismos aporta una de las principales derramas económicas dentro de los estados dedicados a esta práctica (Sinaloa, Nayarit, Baja California Sur, Oaxaca, Sonora, Baja California, Veracruz, Tamaulipas, Chiapas, entre otros), con elevados precios de las aletas y bajo costo de la carne (Cifuentes y Torres, 1989; CONAPESCA-INP, 2004; CONAPESCA, 2017). Baja California Sur se posiciona como el cuarto estado con mayor volumen de pesca, aportando el 8.85% de la producción pesquera nacional (CONAPESCA, 2017). Cuenta con 2,972 embarcaciones ribereñas activas y 16 embarcaciones de altura (CONAPESCA-INP, 2004).

El tiburón y cazón están catalogados como el quinto grupo de mayor importancia pesquera dentro de la entidad, con 4,836 toneladas (de peso vivo) en el año 2017 (CONAPESCA, 2018). El esfuerzo pesquero es dirigido a diversas especies y fue aumentando a partir de la década de los cincuentas, llegando a su pico más alto durante el año 2010; además del aprovechamiento de su carne, es posible recuperar el aceite del hígado, así como la piel, la mandíbula y los dientes para su venta, por lo que su captura se considera pesquería de subsistencia para las comunidades costeras (Bonfil, 1994; Davidson et al., 2015; Campana et al., 2016; CONAPESCA, 2018). Dentro de las capturas se considera el aprovechamiento de al menos 50 especies de tiburones, correspondientes a 12 familias, destacando la familia Carcharhinidae como la más diversa en el país (CONAPESCA-INP, 2004; Del Moral-Flores et al., 2015).

Anteriormente se creía que los elasmobranquios sufrieron un declive en sus capturas a nivel mundial, debido a la disminución del 14% de la pesca de estos individuos en 2012 respecto a lo reportado en el 2000, sin embargo se considera probable que este declive se deba a la presión de pesca ejercida sobre estos organismos y actualmente la tendencia en capturas tiende a ir en aumento (Ferretti et al., 2010; Costello et al., 2012; Erikson y Clarke, 2015; Davidson et al., 2015; Campana et al., 2016).

Una de las especies de la familia Carcharhinidae que destaca por su abundancia y frecuencia dentro de las capturas con palangre es *Carcharhinus falciformis* (Figura 1), también conocido como tiburón piloto, aleta de cartón, sedoso o marrajo (Mendizábal y Orizaba, 1995; Del Moral Flores et al., 2015). Esta especie es circuntropical, se encuentra principalmente en áreas cercanas a los bordes insulares y continentales, así como en zonas oceánicas, se distribuye sobre la columna de agua hasta los 500 m de profundidad y su longitud total máxima es de 330 cm (Rigby et al., 2017). En sus capturas se han registrado tallas promedio de 196 cm de LT (Bizarro et al., 2007; Castillo et al., 2008; Rigby et al., 2017).



Figura 1. Tiburón piloto, *Carcharhinus falciformis* (Muller y Henle, 1839) capturado en Puerto Madero, Chiapas, México).

En cuanto a su alimentación, se le conoce como una especie de tipo oportunista, aunque en diversos trabajos está catalogado como especialista, por ejemplo, en Oaxaca su dieta fue restringida, con un aporte mayoritario (96%) de *Portunus xantusii* (Ruíz-Pérez et al., 2016). En el Pacífico Oriental Tropical se encontró como presa principal a *Thunnus albacares* (Andrade-González, 2005) y dentro de la costa occidental de Baja California Sur las principales presas fueron *Dosidicus gigas*, *Coryphaena equiselis*, *Pleuroncodes planipes* y *Scomber japonicus* (Cabrera-Chávez-Costa, 2003).

La distribución de estos tiburones y su tipo de alimentación les hace vulnerables a los cambios ambientales que puedan llegar a ocurrir afectando su trama trófica como efecto

de diversos fenómenos oceanográficos (ej. El Niño), afectando la supervivencia de estos organismos (Rojas, 2012).

Se denomina fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur a un periodo interanual del sistema océano-atmósfera en el Pacífico Ecuatorial, en el cual durante más de tres meses se presentan temperaturas superiores en comparación del promedio (+0.5°C). A lo largo de éste periodo se presenta un debilitamiento de los vientos alisos provenientes del sur que acarrearán aguas frías de la corriente de Humboldt, de esta manera se permite la entrada de aguas cálidas que tienen su origen en Indonesia y Australia, las cuales desplazan la capa delgada de agua fría de la corriente de Humboldt, iniciándose el proceso de aumento en la temperatura superficial del mar (TSM), así como el aumento de la capa de mezcla en la zona y con ello el desplazamiento de estas aguas cálidas hasta el Pacífico Central gracias a la corriente norecuatorial (CPC, 2012; Martínez et al., 2017).

Otro fenómeno con efectos en la TSM fue “La Mancha”, del cual se carece de información precisa; sin embargo, se conoce que inició como un parche anómalo de agua cálida (+2.5°C) en el noreste del Pacífico durante el invierno de 2013-2014. El cambio es adjudicado a una alta presión a nivel del mar, llegando hasta los 10 hPa, lo que provocó pérdida de calor en la capa océano-atmósfera, así como un debilitamiento en la advección fría en la zona superficial oceánica y como consecuencia se presentó una baja entrada de agua fría (Bond et al., 2015). Hacia el año 2015 “La Mancha” se separó y alcanzó las costas de California, con efecto en el Pacífico mexicano (Bond et al., 2015; Cavole et al., 2016).

Fenómenos como los mencionados pueden tener consecuencias en distintos niveles, como el aumento de temperatura en el agua que pueden causar cambios en las migraciones de determinadas especies, varamientos masivos, así como crecimientos algales nocivos en zonas donde anteriormente no se veían, por mencionar algunos ejemplos, estos efectos pueden ser considerados como posibles consecuencias de los cambios climáticos a largo plazo (Meza-Figueroa, 2013; Cavole et al., 2016).

Una manera de conocer los efectos de estos fenómenos en los individuos de un ecosistema es a partir de estudios de ecología trófica, esta rama se enfoca en la

alimentación como un vector para determinar el rol que juega un organismo dentro del ecosistema, permite reconocer interacciones entre los eslabones de la cadena alimenticia como un intercambio de materia o energía y, con esta información, es posible identificar cambios en las preferencias tróficas como resultado de procesos biológicos en el individuo o físicos en el sistema (Flores-Ortega et al., 2015).

Actualmente estos estudios se realizan, junto con otras técnicas, mediante el estudio de los isótopos estables, los cuales son variantes de un mismo elemento con igual número de neutrones y electrones, pero distinto número de protones, lo que les provee de una masa atómica diferente (Fry, 2008). En estudios ecológicos, los más utilizados son los isótopos de carbono y nitrógeno expresados como  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ . De manera general, el primero permite hacer inferencias sobre el hábitat de alimenticio; mientras que el segundo permite conocer la amplitud y posición trófica del individuo (Medina y Herranz, 2013).

Dentro de la ecología trófica, el uso de esta herramienta se ha popularizado, debido a las ventajas que puede brindar con respecto a otro tipo de técnicas, como la de contenido estomacal. En primera instancia esta técnica requiere de una cantidad mínima de muestra, lo que facilita la obtención de datos en casos donde las especies se encuentren protegidas o sean de difícil acceso (Kim y Koch, 2011). Los isótopos permiten analizar un panorama temporal más amplio, dado que el tejido revisado proporciona información de espacios de tiempo que varían desde los días (sangre), hasta los meses (hígado y músculo), llegando hasta los años (estructuras duras); mientras el análisis de la dieta permite conocer únicamente lo consumido por el organismo horas antes o al momento de la captura (Rosas y Andrade, 2015).

Los valores isotópicos de las bases tróficas tienden a variar, debido a los cambios en las fuentes de nutrientes y las concentraciones de las mismas, por ello se vuelven características de la zona en la que se encuentren, de manera que el consumidor mantendrá esa impronta isotópica que se verá enriquecida por el fraccionamiento que ocurre entre el consumidor y la presa, por lo cual es posible considerar a los isótopos estables como

marcadores químicos dentro de las redes alimentarias, permitiendo discernir el flujo energético en un ecosistema (Logan y Lutcavage, 2010; Serrano, 2015).

Considerando la alimentación como una actividad básica para los seres vivos y reconociendo la información fundamental que nos puede brindar acerca del rol del tiburón piloto dentro de la costa occidental de Baja California Sur, este trabajo pretende determinar las presas que se encuentran dentro del nicho trófico de esta especie, su contribución a la alimentación del mismo, así como, si existen diferencias entre los hábitos de machos, hembras, juveniles y adultos de esta especie. Además de lo anterior, teniendo en cuenta los diversos fenómenos a los que se ven expuestas las poblaciones en el Pacífico mexicano, se pretende determinar si existen fluctuaciones que nos puedan indicar si los cambios en la temperatura superficial del mar pueden influenciar los movimientos y hábitos del tiburón piloto y con ello dar una idea sobre si es que existen fluctuaciones dentro de las presas del mismo, lo que podría fungir como indicativo del estado de la comunidad donde ocurre este tiburón.

## Antecedentes

El tiburón piloto es una especie abundante dentro de la zona tropical y subtropical de los océanos y se le cataloga como un recurso de alta importancia en la pesca con cerco (Duffy et al., 2015). Debido a lo anterior, existen diversos estudios enfocados en determinar sus aspectos biológicos a lo largo del Océano Pacífico (Hoyos, 2003; Cervantes-Gutiérrez, 2013; Galván-Tirado et al., 2015; Alejo-Plata et al., 2016).

A nivel internacional se cuenta con reportes sobre la alimentación de esta especie en conjunto con otras. Estupiñan-Montaña et al. (2018) analizaron el contenido estomacal de tres especies de tiburón (*Carcharhinus falciformis*, *Carcharhinus limbatus* y *Nasolamia velox*) en el Pacífico Ecuatoriano, encontrando en los tres casos como componentes alimentarios principales al grupo de los teleósteos. Las presas más importantes fueron: *Thunnus albacares*, *Thunnus* sp. y *Auxis thazard*, prefiriendo recursos alimentarios oceánicos, catalogando al tiburón piloto como oportunista con baja competencia con *C. limbatus* y *N. velox*.

Andrade-González (2005) y Duffy et al. (2015) realizaron estudios acerca de la ecología trófica del tiburón piloto a lo largo del Pacífico Oriental, donde reportan como presas principales a especies de la familia Scombridae (*Katsuwonus pelamis*, *Thunnus albacares*, *Thunnus* sp. y *Auxis* sp.). Sin embargo, ambos autores discrepan respecto a la estrategia de alimentación; el primero le cataloga como una especie especialista, mientras los segundos como un depredador oportunista.

Al sur del Pacífico Mexicano, Ruíz-Pérez et al. (2016) analizaron las interacciones tróficas entre *Euthynnus lineatus*, *Thunnus albacares*, *Istiophorus platypterus*, *Coryphaena hippurus* y *Carcharhinus falciformis*, donde todas las especies presentaron una amplitud de nicho estrecha y fueron catalogadas como especialistas. El tiburón piloto presentó la dieta más restringida con nueve ítems alimentarios, siendo su principal recurso *Portunus xantusii*, seguido del grupo de los escómbridos.

En el Pacífico central, Barajas-Calderón (2018) reportó un espectro trófico más amplio (33 presas), donde las especies más importantes fueron *Opisthonema* sp., *Portunus xantusii* y *Ancistrocheirus lesueurii*. A partir del análisis isotópico se obtuvo un  $\delta^{15}\text{N}$  de 16.37 y un  $\delta^{13}\text{C}$  de -17.05, sin presentar diferencias entre sexos, pero sí entre estadios de madurez, indicando áreas de alimentación distintas y presas con diferentes niveles tróficos. El modelo de mezcla señaló a *A. lesueurii* como el ítem de mayor aporte a la dieta. En general se categorizó al tiburón piloto como un depredador tope con un nivel trófico entre 4.1 y 4.4.

Por su parte Cabrera-Chávez-Costa (2003) analizó el estado trófico de esta especie a partir de muestras provenientes de dos campos pesqueros, Punta Belcher y Punta Lobos, sitios ubicados en la costa occidental de Baja California Sur. En la primera localidad se obtuvieron como presas principales a *Pleuroncodes planipes* y a *Scomber japonicus*; mientras que en el segundo sitio las presas de mayor importancia fueron *Dosidicus gigas* y *Coryphaena equiselis*. En general se catalogó como un depredador especialista con una cadena trófica corta, el análisis de isótopos incluyó valores de  $\delta^{15}\text{N}$  15.07 a 17.68 y  $\delta^{13}\text{C}$  -17.12 a -18.51, los cuales confirman el consumo de presas de origen oceánico.

El análisis de isótopos estables permite discernir la posible zona de alimentación de los individuos, así como su nivel trófico, fue así como Galindo-Rosado (2014) analizó la composición isotópica de músculo y vertebras del tiburón piloto en el Pacífico Oriental Tropical, encontrando diferencias significativas entre la dieta por estadio de madurez, pero sin diferencias entre sexo, lo que indica un uso diferente de especies y nicho trófico, que responde a los requerimientos energéticos del individuo a lo largo de su desarrollo. En el mismo trabajo se estimó el nivel trófico de este depredador en 3.7, correspondiendo con un depredador terciario.

Méndez Da Silveira (2015), realizó una comparación isotópica entre tejidos de diferentes tiburones en la costa occidental de Baja California Sur, entre ellos el tiburón piloto, el cual obtuvo valores de  $\delta^{15}\text{N}_{\text{sangre}} = 16.65 \pm 0.68\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{sangre}} = -17.03 \pm 0.25\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N}_{\text{músculo}} = 16.66 \pm 0.69\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{músculo}} = -17.03 \pm 0.25\text{‰}$ , los cuales corresponden a depredadores de ambientes oceánicos. El valor encontrado de posición trófica fue bajo en

comparación con las demás especies analizadas (NT=2.9), lo que indica el consumo de especies con un nivel trófico bajo.

Respecto a las variaciones ambientales, en años recientes, estudios como el de Ayala-Martínez (2018) han abordado las variaciones dadas por el efecto de La Mancha y el Fenómeno del Niño dentro de las costas de Baja California Sur en el tiburón *Mustelus lunulatus*, encontrando un cambio de especies por temporada entre dos localidades, dentro de Punta Lobos se reportó como especie más abundante *Platymera gaudichaudii*; mientras que, más al norte, en Bahía Tortugas la presa principal durante la temporada cálida fue *P. planipes*, y en la temporada fría fue *Hemisquilla californiensis*. El autor considera que este cambio de presas pudo ser consecuencia de las variaciones ambientales, provocando que *M. lunulatus* se alimentara de presas de fácil acceso en cada temporada.

## Justificación

A nivel mundial *Carcharhinus falciformis* es una de las especies con mayor captura de manera incidental y una de las más explotadas por la pesca artesanal (Oliver et al., 2015). La pesca desmedida de recursos como el tiburón ha causado la disminución de poblaciones como es el caso del tiburón piloto (Barajas-Calderón, 2018). Actualmente se busca el realizar planes de manejo, para mantener un mejor control sobre la explotación de esta clase de recursos, sin embargo, para poder cumplir con estos criterios es necesario tener un enfoque más global de los individuos a utilizar.

Considerando lo anterior, un buen comienzo es el análisis de la ecología trófica del recurso, la cual nos permite reconocer, a diferentes niveles, los patrones de alimentación de la especie de interés, dando de manera específica las presas que conviven en espacio y tiempo con el depredador, las variaciones de las mismas, así como patrones de distribución del tiburón. Esta información puede ser de utilidad para definir los movimientos de la especie y las poblaciones que pueden verse afectadas con el decaimiento en la abundancia del tiburón piloto o viceversa. Además, considerando reportes anteriores es posible realizar un seguimiento de las variaciones dentro del espectro trófico de *C. falciformis* a lo largo de los años, lo que nos permitirá definir el nivel de plasticidad que puede presentar esta especie ante cambios en el ambiente como los que actualmente estamos viendo en auge.

## Pregunta de investigación

¿Los hábitos alimenticios del tiburón piloto tienden a mantenerse con el paso del tiempo o presentan variaciones respecto al sexo, tamaño y cambios ambientales recurrentes (por temporada) o forzamientos oceanográficos extraordinarios como el Fenómeno del Niño y La Mancha?

¿Sus presas principales se mantienen o presentan cambios respecto a estudios anteriores?

¿La estrategia de alimentación del tiburón piloto se ve influenciada por cambios ambientales en la zona?

## Hipótesis

Dados los cambios ambientales que se produjeron durante el año 2013 al 2015 en la costa occidental de Baja California Sur (ej. migraciones extraordinarias de especies, varamientos masivos, florecimientos algales), como resultado del Fenómeno de El Niño y la Mancha, la dieta de *Carcharhinus falciformis* presentará cambios tanto en ítems alimentarios, como en el aporte de las presas a la dieta entre años.

## Objetivos

### **General**

- Conocer la ecología trófica de *Carcharhinus falciformis* por sexo, edad y temporadas, en la costa occidental de Baja California Sur, mediante contenidos estomacales y valores isotópicos de carbono y nitrógeno en músculo.

### **Particulares**

- Determinar la composición específica del espectro trófico del tiburón piloto.
- Determinar el nivel trófico, la estrategia de alimentación y espectro trófico por sexo, talla y temporada.
- Reconocer si existen diferencias en cuanto a los hábitos de la especie respecto a cambios ambientales en la costa occidental de Baja California Sur.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El campo pesquero Punta Lobos se encuentra dentro de la costa occidental de Baja California Sur (Figura 2), la cual es influenciada por vientos constantes del noroeste en periodos de mayo a octubre; mientras que en los meses de noviembre a febrero se encuentran vientos provenientes del suroeste. Los vientos que provienen de norte a noroeste permiten el movimiento de aguas de manera paralela a la costa, esto en conjunto con la influencia de la rotación de la Tierra, trae consigo el desplazo de las aguas superficiales a la zona oceánica, lo que produce el reemplazo de las mismas con aguas frías de zonas profundas, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno, este fenómeno es conocido como surgencia (Cervantes-Duarte et al., 1993; De la Lanza-Espino, 2001).

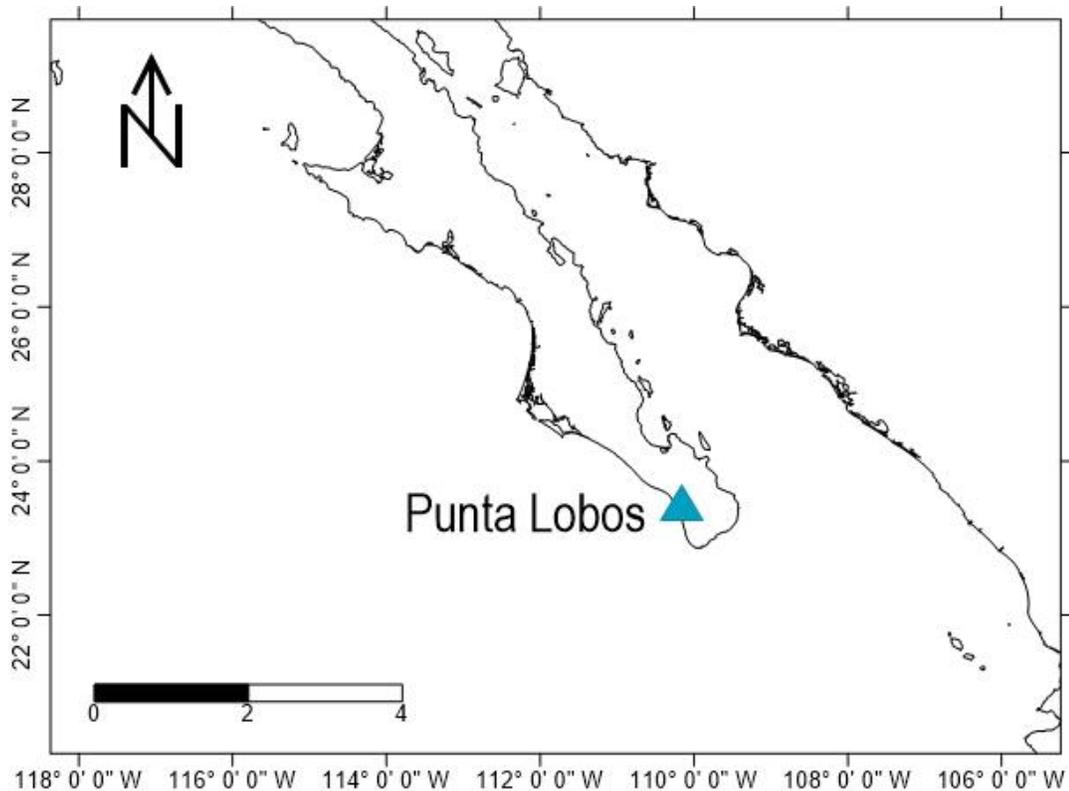


Figura 2. Localización del punto de muestreo.

Gran parte de éste fenómeno ocurre debido a la corriente de California, la cual se caracteriza por ser una corriente de bajas temperaturas y de baja salinidad que se calienta conforme avanza hacia el sur (De la Lanza-Espino, 2001). La corriente de California tiene 1000 m de ancho y 500 m de profundidad, además su flujo es considerado como lento (25 cm/s) durante el otoño e invierno, alcanzando su velocidad máxima a los 25°-35° (5 a 15 cm/s) durante primavera-verano; transporta aguas frías del subártico hacia los trópicos por la costa occidental de América del Norte, lo que propicia diversas zonas de surgencia, mismas que permiten el aumento de algunas poblaciones oceánicas (Rueda, 1983; De la Lanza-Espino, 2001). Durante el otoño se mantiene el aporte de nutrientes gracias a la ocurrencia de tormentas tropicales, mientras de noviembre a enero, se ve una disminución en las surgencias, producto del debilitamiento de los vientos alisos. Con ello, la corriente superficial de Davidson comienza a transportar agua hacia el norte desde Cabo San Lucas hasta Oregón (Cervantes et al., 1993).

De igual manera, dentro de esta zona se mantienen registros de fluctuaciones en la temperatura a causa de fenómenos como El Niño y La Niña, donde se registran anomalías de 2°C a 3°C por encima o debajo de los promedios habituales (NOAA, 2016). Juárez et al. (2014), mencionan que la productividad biológica de esta región se ve influenciada por la magnitud de estos fenómenos, estas mismas fluctuaciones climáticas causan, en conjunto con las pesquerías, la baja de diversas poblaciones, así como el aumento desmedido de algunas otras que se adaptan a estos cambios (Venrick et al., 2003).

### **Trabajo de campo**

Se realizaron visitas mensuales del 2011 al 2016, durante el segundo semestre de cada año, al campo pesquero Punta Lobos en Baja California Sur, considerando que es el principal periodo de aparición del tiburón piloto dentro de las capturas. Una vez identificado el organismo se tomaron medidas de longitud total (cm) y precaudal (cm) y se determinó el sexo. Para el análisis isotópico, durante los años 2011, 2014 a 2016 fue posible obtener una

sección de músculo de la parte dorsal, anterior al origen de la primera aleta dorsal; mientras que para el análisis de contenido estomacal, durante los años 2013 a 2016, se diseccionó la cavidad abdominal para extraer el estómago, posteriormente se determinó el nivel de llenado del mismo, con base en los parámetros de Stillwer y Kohler (1982) donde 0 es vacío; estado 1 de 1 a 25%; estado 2 de 26 al 50%; estado 3 de 51 al 75%; estado 4 de 76 al 100%. Las muestras se mantuvieron en hielo para su traslado al laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas en La Paz, B.C.S., donde se mantuvieron congeladas hasta su procesamiento.

### **Trabajo de laboratorio**

Los estómagos fueron descongelados y el contenido fue vaciado y filtrado con ayuda de un tamiz con una luz de malla de 0.1 mm. Las especies presa fueron separadas por grupos taxonómicos mayores para su posterior identificación hasta el menor taxón posible con ayuda de claves especializadas, según el grado de digestión que presentaran, el cual fue determinado de acuerdo con Galván et al. (1989). i) Para peces óseos se utilizaron las claves de Miller y Lea (1972), Thomson et al. (1979), Allen y Robertson (1994) y Fischer *et al.* (1995); ii) para crustáceos se tomó como punto de referencia el exoesqueleto y se utilizaron claves como las de Brusca (1980), Garth y Stephenson (1966) y Fischer et al., (1995); iii) para cefalópodos se tomó en cuenta la estructura mandibular (pico) debido a lo blando de sus cuerpos, por lo que se identificaron con las claves de picos de Wolff (1982, 1984) y Clarke (1962, 1986). Al momento de la identificación, las especies presa fueron pesadas en una balanza analítica Oertling OB152 max 1500 g, finalmente fueron contadas y almacenadas.

En el caso de los cefalópodos, dada la preexistencia de las fórmulas adecuadas para estimar el peso del manto a partir de los picos en algunas especies, se realizó el retrocálculo con los mismos y el ajuste del estado de digestión, siempre y cuando fuera posible, con el fin de minimizar el sesgo producido por la digestión de los organismos, esto de acuerdo con las fórmulas de Wolff (1982), Clarke (1986) y Allcock y Clarke (2004), presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Fórmulas del retrocálculo del manto con respecto a los picos, por especie. Donde P.M es el peso del manto y Ir es la longitud rostral del pico inferior.

Especie	Retrocálculo
<i>Ancistrocheirus lesseuri</i>	$P.M = \exp(-0.194 + 3.56 \ln Ir)$
<i>Argonauta</i> sp.	$P.M = 0.0366 Ir^{2.6045}$
<i>Dosidicus gigas</i>	$P.M = 4.631 * Ir^{2.6886}$
<i>Onychoteuthis</i> sp.	$P.M = \exp(0.58 + 3.70 \ln Ir)$

El tejido muscular fue lavado con agua destilada para eliminar impurezas y se obtuvieron alícuotas de 2 g en promedio, que fueron depositados en viales. Para las presas se realizó el mismo proceso, siempre y cuando su estado de digestión lo permitiera.

Una vez obtenidas las muestras se procedió a la eliminación de urea en el tejido de acuerdo con Kim y Koch (2011), para llevar a cabo el proceso se realizaron tres lavados consecutivos con agua desionizada a los músculos, las muestras fueron colocadas en un baño ultrasónico (Modelo M3800) durante 15 minutos entre cada lavado. Al finalizar este proceso las muestras fueron congeladas y liofilizadas.

Posteriormente las muestras fueron maceradas en un mortero de ágata, procurando limpiar el equipo utilizado con agua destilada y éter de petróleo entre cada muestra para evitar cualquier tipo de contaminación. Una vez listo el tejido pulverizado, se tomaron submuestras de 1.0 mg ( $\pm 0.5$  mg) pesados en una balanza analítica, esto se depositó dentro de cápsulas de estaño (8x5 mm) en el Laboratorio de Química marina del Centro de Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional.

Una vez encapsuladas, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de biogeoquímica de isótopos estables, del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, en la Universidad de Granada, para su análisis en el espectrómetro de masas (EA-IRMS) DELTA PLUS XL acoplado a un analizador elemental Carlo Elba NC-1500.

Los valores de isótopos estables de ( $\delta$ ) carbono y nitrógeno se calcularon mediante la fórmula de Park y Epstein (1961).

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left[ \left( \frac{R \text{ muestra}}{R \text{ estándar}} \right) - 1 \right] * 1000$$

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left[ \left( \frac{R \text{ muestra}}{R \text{ estándar}} \right) - 1 \right] * 1000$$

Dónde:  $R$  muestra es la proporción entre los isótopos  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  y  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ , según sea el caso;  $R$  estándar es Pee Dee Belemnita (PDB) para el carbono y el nitrógeno atmosférico para el nitrógeno.

Para definir la categoría de edad, se realizó el retrocálculo a partir de la longitud de los individuos con ayuda del despeje de la ecuación de von Bertalanffy (1938):

$$t = t_0 - \frac{1}{k} \left[ \ln \left( \frac{L}{L_\infty} - 1 \right) \right]$$

Dónde:  $t$  es la edad;  $t_0$  es la talla hipotética a la edad 0;  $k$  es la constante de crecimiento,  $L$  es la talla en un determinado tiempo;  $L_\infty$  es la longitud máxima asintótica.

Los parámetros utilizados fueron de Sánchez de Ita et al. (2011), para *Carcharhinus falciformis* en la zona de Punta Lobos:

$$L_\infty = 240 \text{ cm}$$

$$K = 0.138 \text{ año}^{-1}$$

$$t_0 = -2.98 \text{ años}$$

Se consideró como talla de primera madurez los 180 cm para hembras y 182 cm para machos de acuerdo con lo reportado por Hoyos (2003), de manera que la edad de primera madurez de los organismos correspondería a los siete años de edad y desde este punto se les considera como organismos adultos, por debajo de este valor fueron clasificados como juveniles.

Por otra parte para definir las temporadas del año a las que pertenecieron las muestras, se tomaron datos de temperatura superficial del mar (TSM) de la página EDRAPP de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) mensualmente durante el periodo de muestreo, con estos se determinaron las anomalías

de temperatura, estableciendo que para los años 2014 y 2016 la temporada fría ocurrió durante el periodo de diciembre a junio, mientras que la temporada cálida se dio del mes de julio a noviembre. Para el año 2015 se vio una prolongación de la temporada cálida abarcando hasta el mes de diciembre.

Aunado a lo anterior, para la determinación de las temporadas es necesario considerar que el tiempo analizado mediante el uso de isótopos estables corresponde a la tasa de recambio del tejido utilizado, en el presente estudio se obtuvo de acuerdo con la tasa de recambio propuesta por Logan y Lutcavage (2010), donde se estiman alrededor de 500 días para el recambio total de carbono y nitrógeno en el músculo de tiburón. Bajo esta idea se realizó el ajuste de las temporadas en que fueron obtenidas las biopsias.

### **Análisis estadísticos**

Con el fin de estimar el número de estómagos adecuado para representar la dieta del tiburón piloto, se llevó a cabo la curva de acumulación de especie-presa con respecto al número de estómagos con alimento por medio del software EstimateS 9.0.1 (Colwell, 2019). Se obtuvo el índice de diversidad de Shannon-Wiener de acuerdo con las presas obtenidas y por medio de una aleatorización de los datos. Se construyó la curva de acumulación considerando que una dieta bien representada debe de alcanzar un valor asintótico con un  $CV \leq 0.05$ , en donde al aumentar el número de estómagos no se verá una variación significativa en el número de presas.

Para el análisis de la composición cuantitativa de la dieta se utilizaron diversos índices (Hyslop, 1980; Caillet et al., 1986; Ramírez, 2006; Chipps y Garvey, 2007) que permitieran conocer la contribución de las presas al espectro trófico del tiburón piloto, mismos que se enlistan a continuación:

### **Método de Frecuencia de ocurrencia:**

Este método permite conocer la frecuencia que tuvo determinada presa en el total de estómagos con contenido analizados durante los muestreos, expresado como porcentaje, a partir de la siguiente fórmula:

$$\%FO = \frac{Fi}{F} * 100$$

Dónde:  $FO$  es la frecuencia relativa;  $Fi$  es el número de apariciones durante los meses de muestreo de determinada especie;  $F$  es el número total de estómagos con contenido.

### **Método numérico**

Permite hacer una relación entre el número de individuos de una especie o categoría, con respecto al total de individuos encontrados, expresado en porcentaje:

$$\%N = \frac{n}{NT} * 100$$

Dónde:  $\%N$  es el porcentaje en número;  $n$  es la sumatoria del número de individuos de cada presa;  $NT$  es la sumatoria del total de componentes alimenticios.

### **Método gravimétrico**

Permite estimar el porcentaje de peso húmedo que representa una presa con respecto al total de individuos que componen la dieta:

$$\%G = \frac{p}{PT} * 100$$

Dónde:  $\%G$  es el porcentaje en peso;  $p$  es el peso (g) de determinada presa;  $PT$  es la sumatoria de los pesos del total de presas encontradas.

### **Proporción promedio por número**

Permite estimar la variación media en número de una presa dentro del total de estómagos expresada como porcentaje:

$$\%MNi = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P \left( \frac{Nij}{\sum_{i=1}^o Nij} \right) * 100$$

Dónde:  $P$  es el total de individuos con presas;  $Ni$  número de individuos de la presa  $i$  en el total de estómagos con contenido.

### Proporción promedio por peso

Permite estimar la variación media en peso de una presa dentro del total de estómagos expresada como porcentaje:

$$\%MWi = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P \left( \frac{Wij}{\sum_{i=1}^o Wij} \right) * 100$$

Dónde:  $P$  es el total de individuos con presas;  $W_i$  peso de individuos de la presa  $i$  en el total de estómagos con contenido.

### PSIRI

Para determinar la relevancia de una presa dentro del espectro trófico del tiburón se calculó el índice de importancia relativa de presa específico (*PSIRI*) propuesto por Brown et al. (2012). Este método es aditivo, de manera que considera todos los ítems alimentarios sin importar el taxón de resolución al que se haya llegado, además al trabajar con porcentajes permite observar de manera más detallada ligeros cambios en los valores evitando así la sobre o subestimación de determinadas presas basadas en alguna de los valores de frecuencia, peso o número:

$$PSIRI = \frac{\%FOi * (\%PNi + \%PGi)}{2}$$

Dónde:  $\%PNi$  es el promedio del número total de individuos de una presa  $i$  entre el total de individuos presa por estómago expresado como porcentaje;  $\%PGi$  es el promedio del peso total de individuos de una presa  $i$  entre el total del peso de las presas por estómago expresada como porcentaje;  $FO$  es la frecuencia de aparición expresada de manera porcentual e  $i$  se refiere a una presa en concreto.

Con el fin de tener un punto de comparación con trabajos anteriores también se calculó el Índice de importancia relativa (*IRI*) de acuerdo con Pinkas et al. (1971):

$$IRI = (\%N + \%G)\%FO$$

Dónde:  $N$  es la composición numérica expresada como porcentaje;  $G$  es la composición gravimétrica expresada como porcentaje;  $FO$  es la frecuencia de aparición expresada de manera porcentual.

Para el análisis integro de la dieta se determinó la contribución de las presas a la

misma de acuerdo a los valores isotópicos obtenidos con ayuda del paquete MixSIAR en el software R, el cual realiza un modelo de mezcla utilizando la probabilidad bayesiana (Stock y Semmens, 2016) incluyendo las principales presas del tiburón piloto (Tabla 2). Debido a la similitud de sus firmas isotópicas se decidió agrupar a *Sardinops* sp. y *Sebastes* sp. en un solo ítem, así como *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp. como otro ítem; además con fines comparativos y considerando las presas principales reportadas con anterioridad para esta especie, se tomaron los valores teóricos de *Dosidicus gigas* y *Scomber japonicus* (Méndez-Da Silveira, 2015).

Tabla 2. Valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de las presas incluidas en el modelo de mezcla de *C. falciformis*. Dónde: Cau: *Caulolatilus* sp.; Lepo: *Lepophidium* sp.; Sco: *Scomber japonicus*; Dip: *Diplectrum* sp.; Rest: Restos de peces; Myc: Myctophidae; Argo: *Argonauta* sp.; Cyp: *Cypselurus callopterus*; Dos: *Dosidicus gigas*; Sar+Seb: *Sardinops* sp. y *Sebastes* sp.; Cor: *Coryphaena* sp.; Hir: *Hirundichthys marginatus*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Pleu: *Pleuroncodes planipes*.

FUENTES	PROMEDIO	DS $\Delta^{15}\text{N}$	PROMEDIO	DS $\Delta^{13}\text{C}$	N
	$\Delta^{15}\text{N}$		$\Delta^{13}\text{C}$		
CAU	19.4	0.0	-18.6	0.0	1
LEPO	18.2	0.0	-19.6	0.0	1
SCO	17.3	0.4	-16.9	0.6	1
DIP	17.0	0.0	-19.4	0.0	2
REST	16.8	0.0	-18.2	0.0	1
MYC	15.8	0.0	-18.8	0.0	1
ARGO	15.6	0.3	-22.2	0.6	2
CYP	15.2	0.0	-18.0	0.0	1
DOS	15.1	0.9	-18.2	0.5	11
SAR+SEB	15.0	1.9	-18.9	0.3	11
COR	14.9	2.4	-18.3	0.1	2
HIR	13.8	0.0	-19.0	0.0	1
ANC+GON	13.6	0.7	-17.3	0.3	16
PLEU	12.3	1.3	-21.4	0.1	5

### **Índice de amplitud de nicho trófico y estrategia de alimentación.**

Con los valores obtenidos a partir del contenido estomacal se calculó mediante el índice de Levin ( $B_i$ ) en donde los valores oscilan de 0 a 1. Los valores cercanos a 0 corresponden a depredadores selectivos con sus presas y aquellos cercanos a 1 implican que el depredador es generalista (Krebs, 1985):

$$B_i = \frac{1}{n - 1\{(1/\sum P_{ij}^2) - 1\}}$$

Dónde:  $P_{ij}^2$  es la proporción de la dieta del depredador  $i$  que representa a la presa  $j$ , mientras  $n$  es el número total de especies presa.

De manera complementaria se hizo la estimación de la estrategia alimenticia de acuerdo con el método gráfico de evaluación Amundsen *et al.* (1996) (Figura 3):

$$P_i = \frac{\sum S_i}{\sum St_i} * 100$$

Dónde:  $P_i$  es la abundancia específica (número, masa o volumen) de la presa  $i$ ;  $S_i$  es la abundancia de la presa  $i$  en los estómagos;  $St_i$  es la abundancia total de presas de los depredadores que contienen la presa  $i$ .

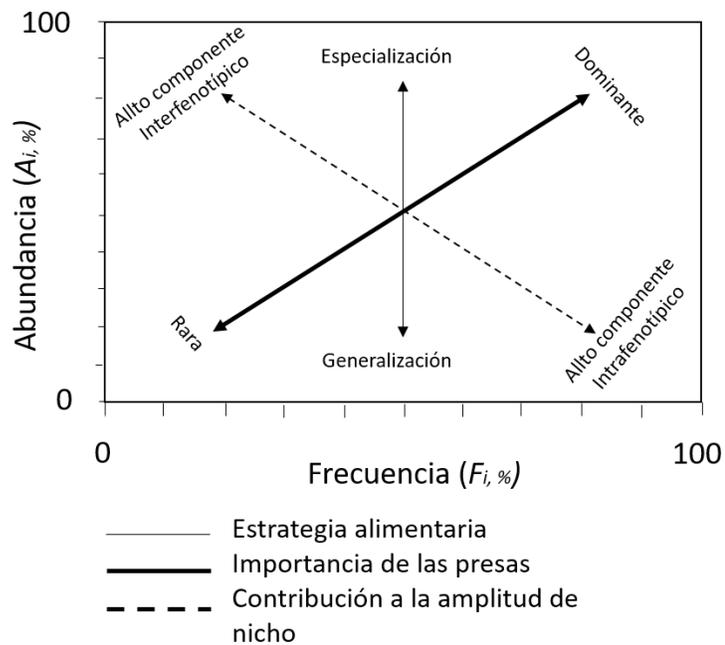


Figura 3. Gráfico de Amundsen et al. (1996) para analizar la estrategia alimentaria.

El análisis gráfico permite representar los componentes de la dieta de acuerdo con su frecuencia de ocurrencia y abundancia específica. Dentro del gráfico se ubican las presas dominantes en la sección superior mientras las raras u ocasionales se encuentran en la parte inferior a lo largo de la diagonal.

De acuerdo con los valores isotópicos se calculó la amplitud y traslape trófico, así como la amplitud del nicho trófico con ayuda de la paquetería de SIBER en R, de acuerdo al método de elipses bayesianas, donde se representan de manera bidimensional los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . El grado de traslape entre las elipses es igual al traslape trófico entre categorías, donde los valores cercanos a uno se consideran como un traslape alto (Jackson et al., 2011).

La amplitud de nicho también puede ser estimada a partir de la varianza de los datos de  $\delta^{15}\text{N}$ , se estima que valores de varianza por debajo de 1 son representativos de poblaciones especialistas, valores superiores son característicos de poblaciones

generalistas (Bearhop et al., 2004; Newsome et al., 2007).

### Nivel trófico

El nivel trófico se calculó considerando el número de presas encontradas en los estómagos de acuerdo con Christensen y Pauly (1992) con ayuda del programa TrophLab2K:

$$TL = 1 + \left( \sum_{i=1}^n DC_{ij} \right) (TL_j)$$

Dónde:  $TL$  es el nivel trófico del depredador;  $DC$  es la proporción de las presas  $j$  en la dieta del depredador  $i$ ;  $TL_j$  es el nivel trófico de las presas;  $n$  es el número de grupos.

De igual manera con los datos obtenidos de isótopos estables se estableció la posición trófica mediante la ecuación de Post (2002), para la cual se utilizó como base el valor de  $\delta^{15}N$  de *Pleuroncodes planipes* al ser la presa de menor nivel trófico y por tanto el valor más cercano a la base:

$$PT = \lambda + \frac{(\delta^{15}N_{depredador} - \delta^{15}N_{base})}{\Delta_n}$$

Dónde:  $\lambda$  es la posición trófica de la presa base ( $NT_{P.planipes}$ : 2.3);  $\delta^{15}N_{depredador}$  es el promedio de determinación de  $\delta^{15}N$  en *C. falciformis*;  $\delta^{15}N_{base}$  es la determinación de  $\delta^{15}N$  de la presa base ( $\delta^{15}N_{P.planipes}$ =12.35);  $\Delta_n$  que es valor teórico de enriquecimiento en  $^{15}N$  por nivel trófico (3.7‰, Kim y Koch, 2011).

### Análisis de similitud

Con el fin de estimar si existen diferencias significativas entre las dietas por categoría, para los datos de contenido estomacal se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) con ayuda del programa R studio ver. 1.1.456 (R Studio Team, 2019). Mientras que los valores isotópicos fueron tratados con una prueba t si los datos presentaban una distribución normal, en caso contrario se aplicó una U de Mann-Whitney por medio del

programa SigmaPlot (SISTATSoftware, 2017), valores de  $P \leq 0.05$  se consideraron diferencias significativas.

## Resultados

En total se obtuvieron 169 muestras de músculo de tiburón (Tabla 3) y 65 estómagos, de los cuales 50 presentaron contenido (Tabla 4). Cabe destacar que del total de músculos revisados, 31 carecían de datos que permitieran incluirles en alguna categoría de análisis por lo que fueron utilizados únicamente para estimaciones del espectro general de la especie, mientras que, dentro de los estómagos, cuatro individuos contaban con información incompleta por lo que se consideraron únicamente en las categoría donde pudieran ser posicionados.

Tabla 3. Músculos de *C. falciformis* obtenidos por año y categoría en la costa occidental de Baja California Sur.

Categoría	2011	2014	2015	2016
Total	31	34	36	67
Hembras	2	19	16	37
Machos	-	15	20	30
Juveniles	-	12	7	10
Adultos	-	22	25	57
Cálida	31	30	27	35
Fría	-	4	9	32

Tabla 4. Estómagos de *C. falciformis* obtenidos por año y categoría en la costa occidental de Baja California Sur.

Categoría	2013	2014	2015	2016
Total	4	1	16	28
Hembras	3	1	10	11
Machos	1	-	6	17
Juveniles	2	-	1	3
Adultos	2	1	11	24
Cálida	4	1	12	20
Fría	-	-	4	7

Los individuos muestreados presentaron edades desde uno hasta los 18 años (Figura 4), el 51.6% fueron hembras con una talla máxima de 227 cm y una mínima de 110 cm, el

resto (48.9%) corresponde a los machos, los cuales tuvieron tallas que oscilaban desde los 68 cm a los 268 cm. Se estima que el 20% fueron juveniles, mientras el 80% eran individuos maduros. El año con mayor número de organismos, tanto machos como hembras, fue el 2016 (Figura 4) y de manera general se puede decir que la población muestreada guarda una relación 1:1 entre machos y hembras.

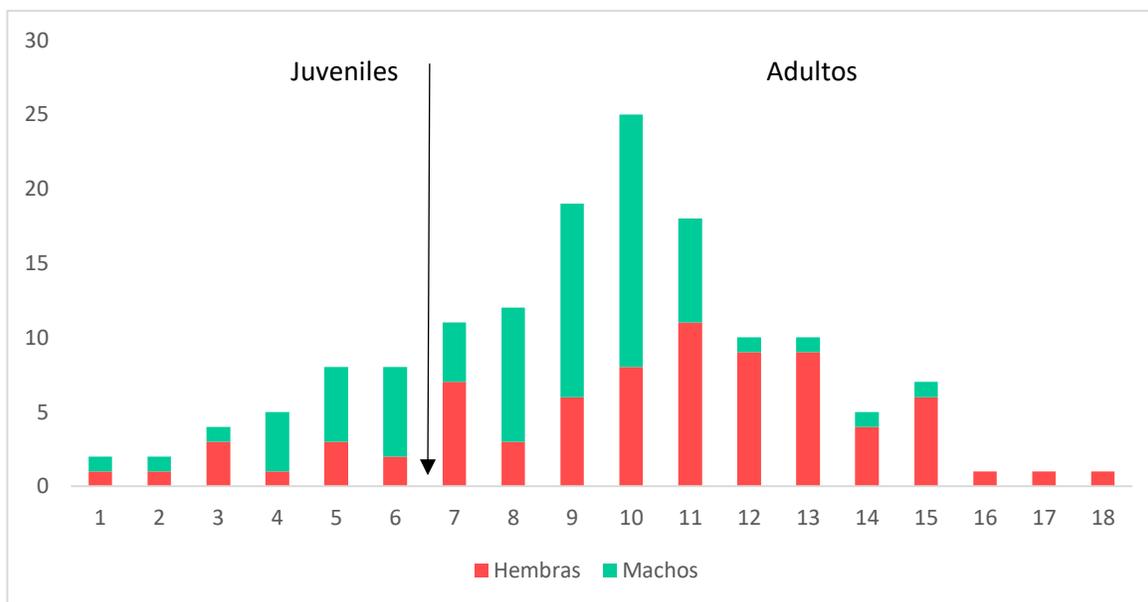


Figura 4. Estructura de edades correspondientes a los individuos de *C. falciformis* muestreados. Se observan los individuos correspondientes a edades inmaduras (1-6 años) y maduras (7-18 años).

Los 50 estómagos obtenidos con contenido fueron suficientes para caracterizar el espectro trófico de la especie de manera general, dado que la curva de diversidad acumulada alcanzó la asíntota a partir del estómago 32 ( $CV \leq 0.05$ ; Anexo 1). Para el total de organismos, el principal grado de llenado fue el uno con un 70%, seguido del grado dos con un 20% y en menor proporción por el grado tres y cuatro con 6 y 4% respectivamente (Figura 5).

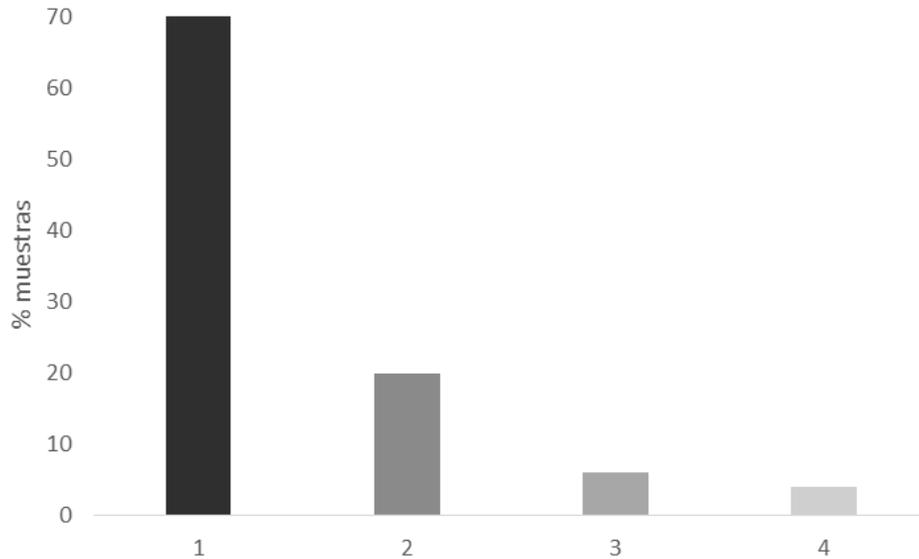


Figura 5. Categorías de grado de llenado estomacal de acuerdo con Stillwer y Kohler (1982) encontradas en las muestras de *Carcharhinus falciformis* en la zona de Punta Lobos, Baja California Sur. Donde 1) 0 a 25%, 2) 26 a 50%, 3) 51 a 75%, 4) 76 a 100% de llenado.

De acuerdo con el índice numérico, se obtuvieron un total de 767 individuos presa, el grupo con mayor riqueza fue el de los peces con 18 especies, seguido por los cefalópodos con ocho especies distintas. El índice de proporción promedio por número y por peso (%MN y %MW), así como el porcentaje de frecuencia de ocurrencia señalan a la langostilla como la presa principal, abarcando el 55.0%, el 52.4% y 66% respectivamente, esto indica que teóricamente el 50% de la población de tiburón piloto consume langostilla como presa principal, la siguiente especie de mayor importancia es *Argonauta cornuta* (%MN: 3.6; %MW: 0.01, %FO: 4.0), sin considerar aquellos organismos no identificados incluidos en los restos de peces y el grupo de los poliquetos (Tabla 5).

Tabla 5. Espectro trófico general de *Carcharhinus falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur.

TAXÓN	Especie	%FO	%N	%W	PNi	PWi	%MN	%MW	%IRI	%PSIRI
CEPHALOPODA										
OEGOPSIDA										
Ancistrocheiridae	<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	6	0.39	0.29	14.35	5.85	0.86	0.01	0.05	0.61
Onychoteuthidae	<i>Onychoteuthis</i> sp.	2	0.13	0.12	100	100	2.00	2.00	0.01	2.00
Gonatidae	<i>Gonatus californiensis</i>	2	0.13	0.02	33.33	20.18	0.66	0.40	0.00	0.54
	<i>Gonatus berryi</i>	2	0.13	0.00	3.12	0.07	0.06	0.00	0.00	0.03
VAMPYROMORPHA										
Vampyroteuthidae	<i>Vampyroteuthis infernalis</i>	2	0.13	0.00	1.75	0.02	0.03	0.00	0.00	0.02
OCTOPODA										
Ommastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	4	0.26	0.12	3.65	0.64	0.14	0.00	0.02	0.09
Argonautidae	<i>Argonauta cornuta</i>	4	2.74	0.93	91.67	73.71	3.66	0.01	0.19	3.31
	<i>Argonauta</i> sp.	4	0.39	0.01	3.47	0.26	0.13	2.94	0.02	0.07
	Restos de cefalópodo	2	0.13	0.01	25.00	0.41	0.50	0.00	0.00	0.25
MALACOSTRACA										
DECAPODA										
Munididae	<i>Pleuroncodes planipes</i>	66	85.53	28.18	83.40	79.09	55.04	52.41	95.33	53.62
	Restos de crustáceo	14	0.91	0.14	23.61	19.23	3.30	2.69	0.19	3.00
ACTINOPTERYGII										
ANGUILIFORMES										
Congridae		2	0.13	0.00	20.00	0.12	0.40	0.00	0.00	0.20
CLUPEIFORMES										
Clupeidae	<i>Sardinops</i> sp.	4	2.09	14.78	47.92	72.3	1.91	2.89	0.86	2.40
MYCTOPHIFORMES										
Myctophidae	<i>Bolinichthys</i> sp.	2	0.13	0.14	20.00	39.20	0.40	0.78	0.01	0.59
OPHIDIIFORMES										
Ophidiidae	<i>Lepophidium</i> sp.	2	0.13	0.11	20.00	32.7	0.40	0.65	0.01	0.53
MUGILIFORMES										
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	2	0.13	0.06	6.25	0.44	0.12	0.00	0.00	0.07
ATHERINIFORMES										
Atherinidae	<i>Atherinops</i> sp.	2	0.13	0.00	33.33	0.04	0.66	0.00	0.00	0.33

BELONIFORMES										
Exocoetidae	<i>Cypselurus callopterus</i>	2	0.13	0.70	50.00	9.56	1.00	0.19	0.02	0.60
	<i>Hirundichthys marginatus</i>	2	0.13	0.58	33.33	60.91	0.66	1.21	0.02	0.94
Belonidae	<i>Tylosurus</i> sp.	2	0.13	4.92	33.33	36.61	0.66	0.73	0.13	0.70
PLEURONECTIFORMES										
Pleuronectidae	<i>Microstomus pacificus</i>	2	0.13	0.37	33.33	39.05	0.66	0.78	0.01	0.72
Cynoglossidae		2	0.26	0.01	50	0.28	1.00	0.00	0.01	0.50
SYNGNATHIFORMES										
Syngnatidae	<i>Hippocampus ingens</i>	2	0.13	0.06	100	100	2.00	2.00	0.00	2.00
SCOMBRIFORMES										
Scombridae	<i>Euthynnus</i> sp.	2	0.13	0.45	1.35	18.16	0.02	0.36	0.01	0.20
CARANGIFORMES										
Coryphaenidae	<i>Coryphaena hippurus</i>	2	0.13	10.8	1.75	86.56	0.03	1.99	0.28	0.88
	<i>Coryphaena</i> sp.	2	0.13	3.11	33.33	96.49	0.66	1.74	0.08	1.30
PERCIFORMES										
Serranidae	<i>Diplectrum</i> sp.	2	0.39	0.49	16.67	49.79	0.33	0.99	0.02	0.66
		2	0.13	0.00	5.56	0.04	0.11	0.00	0.00	0.06
Malacanthidae	<i>Caulolatilus</i> sp.	2	0.13	6.62	50	90.44	1.00	1.80	0.17	1.40
SCORPAENIFORMES										
Sebastidae	<i>Sebastes</i> sp.	6	0.39	2.10	37.27	40.03	2.23	2.45	0.19	2.32
TETRAODONTIFORMES										
Balistidae	<i>Balistes polylepis</i>	2	0.13	13.77	6.25	96.61	0.12	1.93	0.35	1.03
Diodontidae	<i>Diodon</i> sp.	2	0.13	4.47	33.33	33.22	0.66	0.66	0.12	0.67
	Restos de pez	22	1.43	4.25	49.11	47.81	10.80	10.51	1.59	10.66
POLYCHAETA		6	1.96	0.15	84.13	62.49	5.04	3.74	0.16	4.4
Vegetación sumergida										
ALISMATALES										
Zosteraceae	<i>Zostera marina</i>	2	0.13	0.01	5.56	0.42	0.11	0.00	0.00	0.06
Materia orgánica										
	MONI	4	0.26	2.23	62.5	99.66	2.50	3.98	0.13	3.24

De acuerdo con el IRI la dieta del tiburón piloto se encontraría dominada por una sola especie, la langostilla, al abarcar el 95.3% del espectro trófico, haciendo entonces a *C. falciformis* un depredador esencialmente carcinófago; estos valores coinciden en especie principal con lo arrojado por el PSIRI, sin embargo, este último difiere en las proporciones por grupo (Figura 6), se observa que 56.6% de las presas fueron crustáceos, principalmente de la especie *Pleuroncodes planipes* (53.6%), 28.7% son peces, y 6.9% son cefalópodos (Tabla 5).

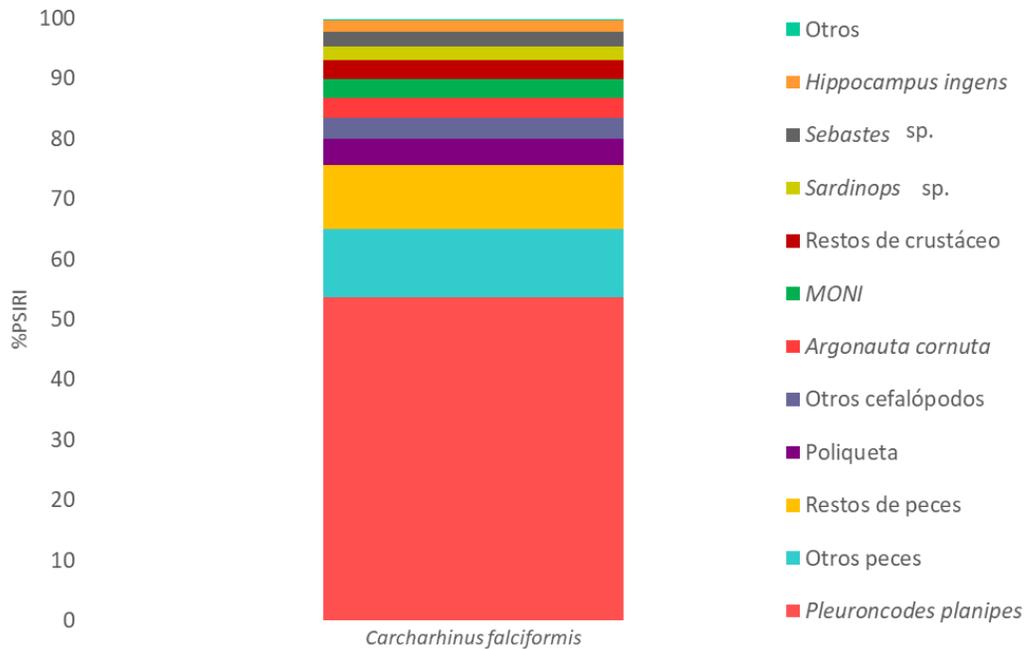


Figura 6. Contribución PSIRI de *Carcharhinus falciformis* en Punta Lobos, Baja California Sur.

Por su parte los análisis isotópicos señalan que, de manera general, las 169 muestras musculares del tiburón piloto presentaron valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  que oscilan entre -18.52‰ y -15.99‰, con un promedio de  $-17.68\text{‰} \pm 0.38$ , correspondiendo a un depredador principalmente oceánico, y de  $\delta^{15}\text{N}$  de 15.06‰ a 19.89‰, con un promedio de  $17.09\text{‰} \pm 0.74$ , con una razón carbono-nitrógeno (C:N) de  $3.7 \pm 0.08$  en promedio, lo que implica un equilibrio entre los lípidos y los carbohidratos en el músculo de manera que los valores obtenidos no se ven afectados por la presencia de urea u otros compuestos.

El modelo de mezcla obtenido a partir de los valores isotópicos generales señala un mayor aporte de *P. planipes*, al igual que el IRI y el PSIRI, y el grupo de cefalópodos conformado por *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp., seguido del pez volador *Hirundichthys marginatus* (Figura 7).

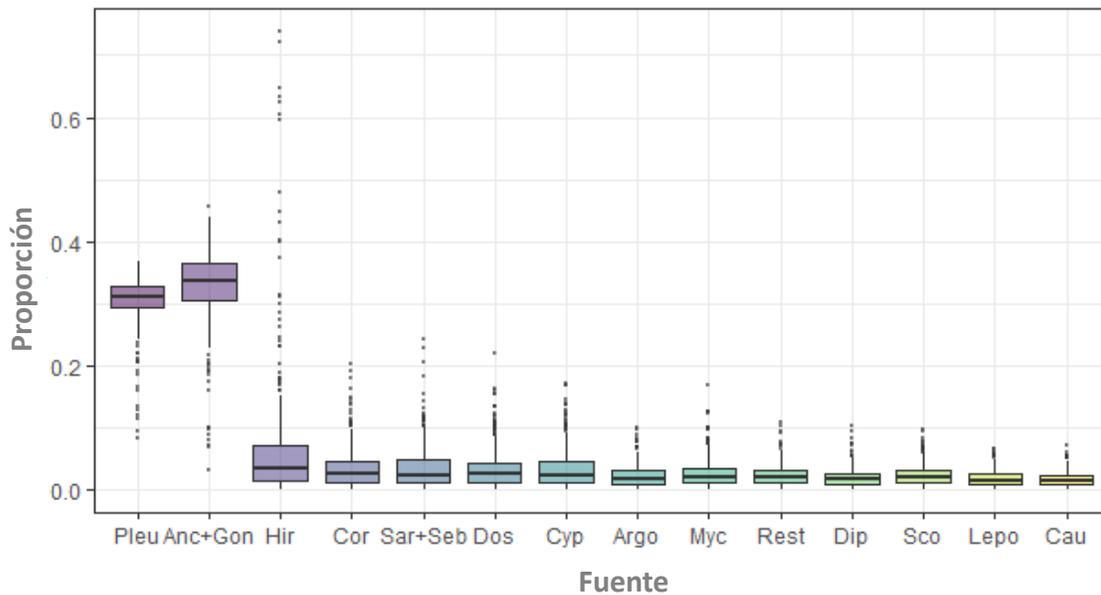


Figura 7. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de *Carcharhinus falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur (Pleu: *Pleuroncodes planipes*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Hir: *Hirundichthys marginatus*; Cor: *Coryphaena* sp.; Sar+Seb: *Sardinops* sp. y *Sebastes* sp.; Dos: *Dosidicus gigas*; Cyp: *Cypselurus callopterus*; Argo: *Argonauta* sp.; Myc: Myctophidae; Rest: Restos de peces; Dip: *Diplectrum* sp.; Sco: *Scomber japonicus*; Lepo: *Lepophidium* sp.; Cau: *Caulolatilus* sp.).

En cuanto a la amplitud de nicho calculada mediante el índice de Levin, se obtuvo un valor de 0.01, tanto éste índice como el gráfico Amundsen (ANEXO 2) y la varianza de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $\sigma^2= 0.55$ ), son característicos de un depredador con una estrategia de alimentación especialista.

De acuerdo con las características de la especie, el nivel trófico del tiburón piloto determinado tanto por la ecuación de Christensen y Pauly (1992) con contenido estomacal, como por la ecuación de Post (2002) con los valores isotópicos, presenta valores similares (3.6 y 3.5 respectivamente en promedio), por lo que se puede posicionar en un nivel trófico de 3.6, haciendo alusión a un depredador tope dentro de la trama trófica.

## Análisis por categorías

### Por Sexo

De las muestras de estómago obtenidas el 50% corresponden a machos y hembras, respectivamente. En ambos casos se alcanzó la asíntota en las curvas de acumulación, para las hembras a partir del estómago 22 (CV: 0.05), mientras que en los machos fue a partir del estómago 18 (CV: 0.05; Anexo 1). En las muestras revisadas el principal porcentaje de llenado encontrado fue el uno, es decir estómagos que se encontraban entre el 1% y el 25% de llenado en ambos grupos.

De acuerdo con el índice numérico, se encontraron un total de 314 individuos presa en los estómagos de las hembras, mientras en los machos fueron 453. Dentro del grupo de la hembras, el índice de proporción promedio por número y peso, así como el porcentaje de frecuencia de ocurrencia, posicionan a la langostilla como la presa principal (%MN: 68.3; %MW: 70.8; %FO: 76.0), de acuerdo con el %MW, la sardina fue el segundo ítem de mayor consumo (%MW: 5.7), mientras el %MN posiciona al grupo de los poliquetos como el segundo, si se observa la frecuencia de ocurrencia, podemos ver que ambas presentan un porcentaje de frecuencia de ocurrencia de 8.0%. Dentro de IRI la segunda presa de mayor importancia fue *Sardinops* sp., mientras que de acuerdo al PSIRI podemos definir a los poliquetos como el segundo ítem de mayor importancia.

En cambio dentro del grupo de los machos se mantiene la presa principal, pero el segundo grupo de mayor aporte a la dieta de acuerdo al índice de proporción promedio por número y peso y el porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%MN: 16.1; %MW: 15.8; %FO: 32.0) es de restos de peces, si dejamos de lado a este grupo observamos que se comparte el segundo puesto entre los cefalópodos *Argonauta cornuta* y *Onychotheuthis* sp. (%MN: 4.0; %MW: 4.0; %FO: 4.0), y los peces *Mycteroperca rosacea* e *Hippocampus ingens* (%MN: 4; %MW: 4.0; %FO: 4.0). Sin embargo, al revisar los índices, dejando de lado el grupo de restos de peces, se observa que el segundo ítem de mayor importancia es *Balistes polylepis* de acuerdo al IRI (1.39%) y *Sebastes* sp. de acuerdo al PSIRI (4.46%; Figura 8).

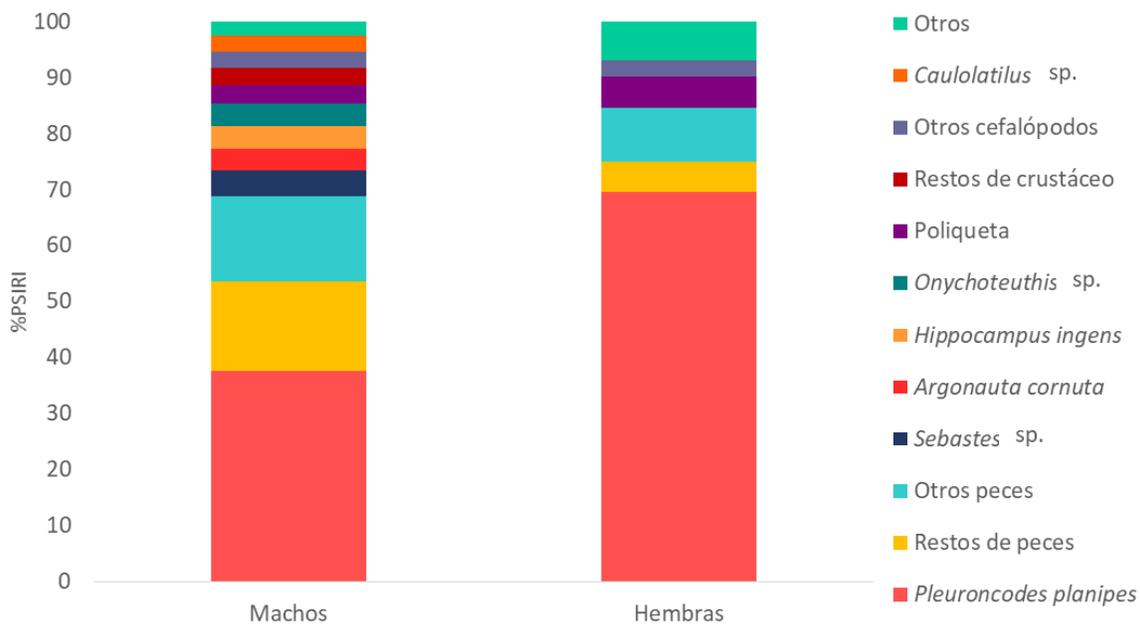


Figura 8. Porcentaje de contribución PSIRI de machos y hembras de *Carcharhinus falciformis* en Punta Lobos, Baja California Sur.

En cuanto al análisis isotópico realizado en ambos grupos, se analizaron en total muestras de músculo de 72 hembras y 65 machos. Los valores isotópicos de las hembras oscilaron, para el  $\delta^{13}\text{C}$  entre los  $-18.51\text{‰}$  y  $-16.78\text{‰}$  (valor promedio de  $-17.69\text{‰} \pm 0.36$ ) y el  $\delta^{15}\text{N}$  con un intervalo de  $15.06\text{‰}$  a  $19.89\text{‰}$  (promedio  $17.03\text{‰} \pm 0.80$ ). El grupo de los machos presentó intervalos, para el  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-18.52\text{‰}$  a  $-15.99\text{‰}$  (promedio  $-17.72\text{‰} \pm 0.43$ ) y para el  $\delta^{15}\text{N}$  de  $15.51\text{‰}$  a  $18.54\text{‰}$  (promedio  $17.09\text{‰} \pm 0.67$ ). Los valores de varianza en ambos grupos (Machos  $\sigma^2_c=0.18$ ; Hembras  $\sigma^2_c=0.12$ ) son indicativos de individuos que presentan migraciones estrechas entre la costa y la zona oceánica.

Al analizar las elipses arrojadas por la prueba SIBER, se observó que los machos presentan una mayor amplitud de nicho trófico (SEAc: 1.50) en comparación con las hembras (SEAc: 0.91). El traslapo trófico entre ambos grupos es considerado como intermedio (54%), lo que quiere decir que los machos se encuentran utilizando un área de alimentación mayor, también presentan un espectro trófico más amplio, por lo que pueden

obtener una variedad más extensa de recursos para su dieta comparados con las hembras, las cuales se encuentran distribuidas en un rango más estrecho y presentan un espectro trófico más reducido (Figura 9).

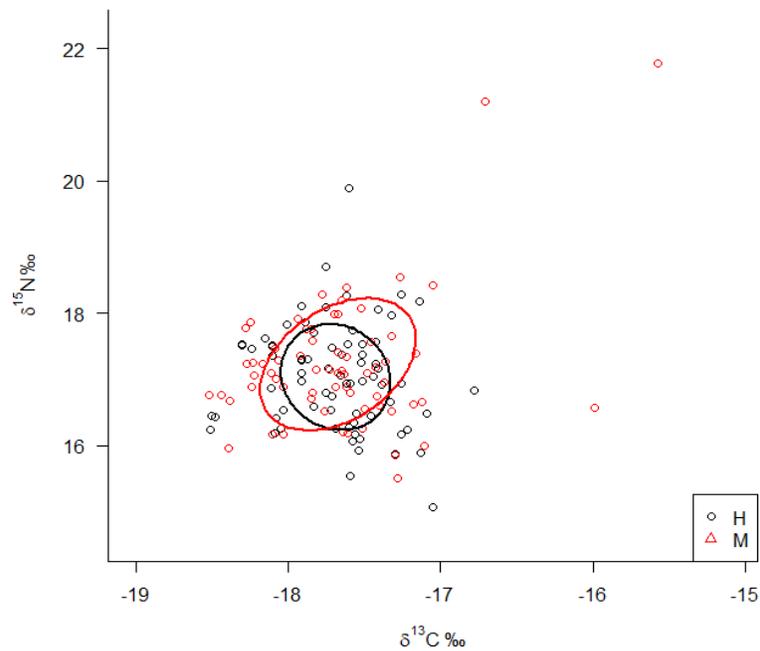


Figura 9. Amplitud y traslape trófico de los machos y hembras de *Carcharhinus falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur (H: Hembras; M: Machos).

Respecto a la contribución isotópica en ambos sexos, las especies con mayor contribución a la dieta fueron *Pleuroncodes planipes* y los cefalópodos *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp., dentro de la dieta de las hembras destacan también *Coryphaena* sp. y *Dosidicus gigas*, mientras los machos presentan un aporte similar de *Hirundichthys marginatus* (Figura 10 y 11).

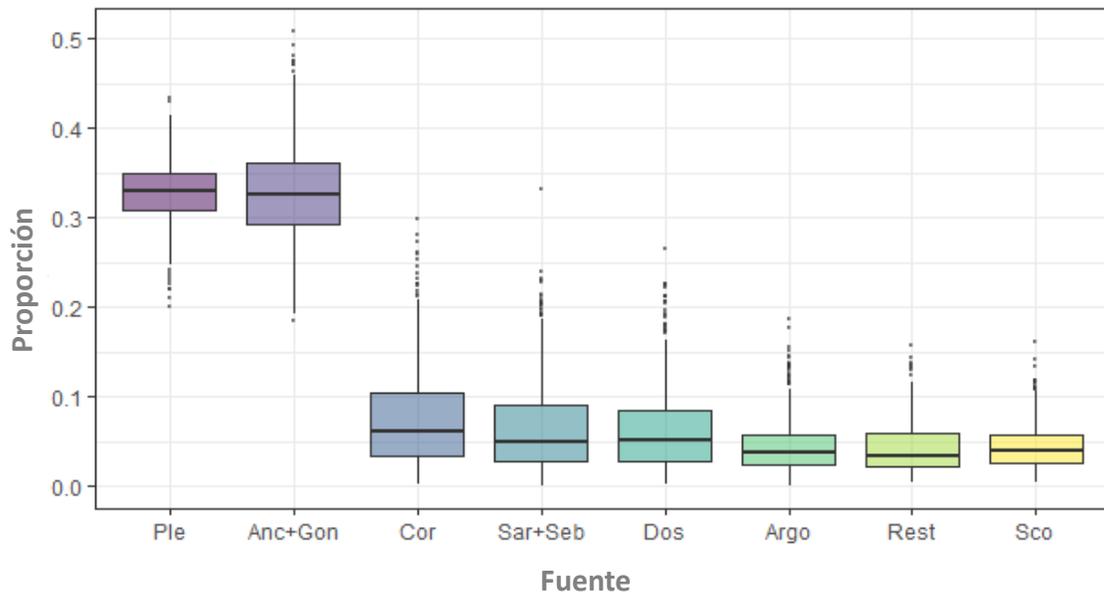


Figura 10. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de las hembras de *Carcharhinus falciformis* en la Costa Occidental de Baja California Sur (Ple: *Pleuroncodes planipes*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Cor: *Coryphaena* sp.; Sar+Seb: *Sardinops* sp. y *Sebastes* sp.; Dos: *Dosidicus gigas*; Argo: *Argonauta* sp.; Rest: Restos de peces; Sco: *Scomber japonicus*).

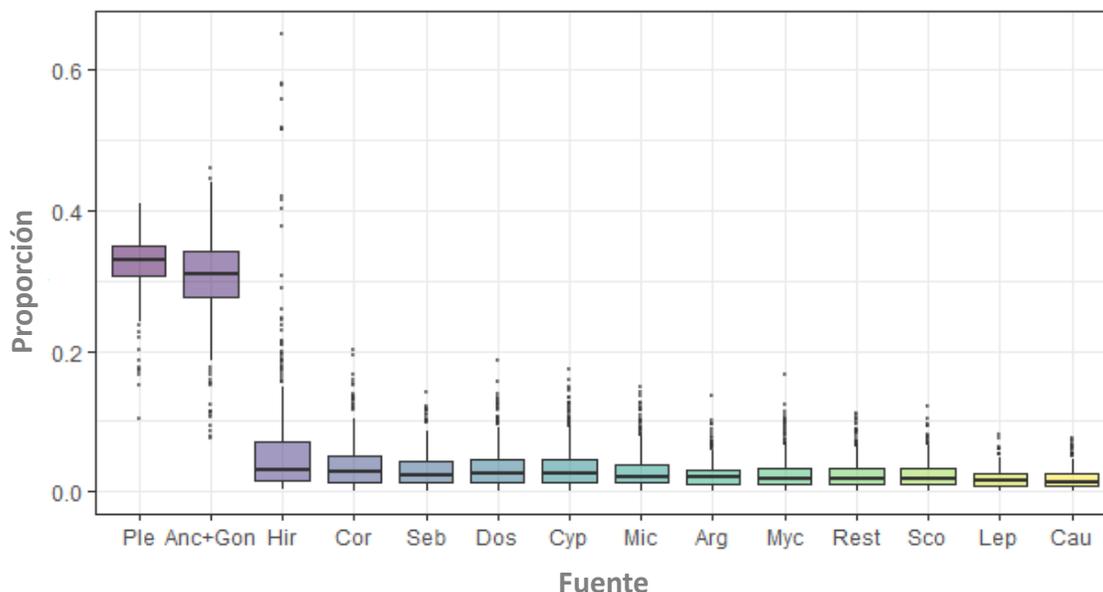


Figura 11. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de los machos de *Carcharhinus falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur (Pleu: *Pleuroncodes planipes*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Hir: *Hirundichthys marginatus*; Cor: *Coryphaena* sp.; Seb: *Sebastes* sp.; Dos: *Dosidicus gigas*; Cyp: *Cypselurus callopterus*; Mic: *Microstomus pacificus*; Arg: *Argonauta* sp.; Myc: Myctophidae; Rest: Restos de peces; Sco: *Scomber japonicus*; Lepo: *Lepophidium* sp.; Cau: *Caulolatilus* sp.).

El Índice de Levin ( $B_{iH} = 0.031$ ;  $B_{iM} = 0.009$ ), así como la varianza de los valores de  $\delta^{15}N$  para hembras y machos (Hembras  $\sigma^2_N = 0.64$ ; Machos  $\sigma^2_N = 0.44$ ) permite conocer el hábitat trófico del tiburón piloto, catalogándolo dentro de una estrategia de alimentación especialista, lo que coincide con lo encontrado con el análisis de Amundsen (ANEXO 2).

En cuanto al nivel trófico, se obtuvo un valor de 4.0 ( $\pm 0.66$ ) para machos y un 3.6 ( $\pm 0.59$ ) para hembras con base en el contenido estomacal, mientras que los valores isotópicos difieren arrojando para ambos grupos un nivel trófico de 3.5 (H:  $\pm 0.22$ ; M:  $\pm 0.18$ ), por lo que se encuentran consumiendo presas con firmas isotópicas similares.

Los análisis de similitud realizados mediante la prueba U de Mann-Whitney ( $P_{\delta^{13}C} = 0.437$ ,  $P_{\delta^{15}N} = 0.628$ ), así como el análisis de similitud de dietas (ANOSIM), el cual obtuvo

valores de R de 0.026 ( $P=0.1$ ), indicaron que, a pesar de las variaciones dentro del espectro trófico de ambos sexos, no existen diferencias significativas entre sus dietas.

### **Estadio de madurez**

De las muestras de estómagos revisadas el 84% corresponden a individuos adultos, mientras el 16% restante fueron de individuos juveniles. Las curvas de acumulación obtenidas para ambas categorías alcanzaron la asíntota, en adultos al estómago 26; mientras que los juveniles lo alcanzaron en el estómago siete debido a la poca variabilidad de especies dentro de su espectro trófico (Anexo 1). El principal porcentaje de llenado en las muestras revisadas fue de nivel uno.

De acuerdo al índice numérico, se encontraron un total de 385 individuos presa dentro de los adultos, mientras que los juveniles presentaron 287 individuos presa. Dentro del grupo de los adultos el índice de proporción promedio por número y peso, así como el porcentaje de frecuencia de ocurrencia, posicionan a la langostilla como la presa principal (%MN: 49.5; %MW: 46.5; %FO: 64.8), de acuerdo con el %MW y el %MN, así como el porcentaje de frecuencia de ocurrencia, dejando de lado los restos de peces, el grupo de los poliquetos fue la segunda presa principal (%MN: 6.8; %MW: 5.0; %FO: 8.1), sin embargo *Sebastes* sp. presentó la misma frecuencia de ocurrencia.

En el caso de los juveniles de tiburón piloto, mantienen a la langostilla como la presa principal, mientras que el %MN, %MW y el %FO ubican al cefalópodo *Onychoteuthis* sp. como la segunda presa principal (%MN: 14.2; %MW: 14.2; %FO: 12.5), aunque cabe resaltar que, fuera de la presa principal, la frecuencia de ocurrencia fue homogénea para el resto de las presas (%FO: 12.5).

Al analizar el PSIRI por estadio de madurez (Figura 12), se observa que la langostilla se mantiene como especie principal dentro de ambos espectros; sin embargo, los cefalópodos (*Onychoteuthis* sp. y *Argonauta cornuta*) se posicionan como las siguientes dos presas principales en el caso de los organismos juveniles; mientras que en los adultos son los restos de peces y el grupo de los poliquetos. Lo anterior dejando de lado a los grupos de

“otros”, que incluyen a aquellas presas cuyo porcentaje queda fuera del 85% de importancia de las presas.

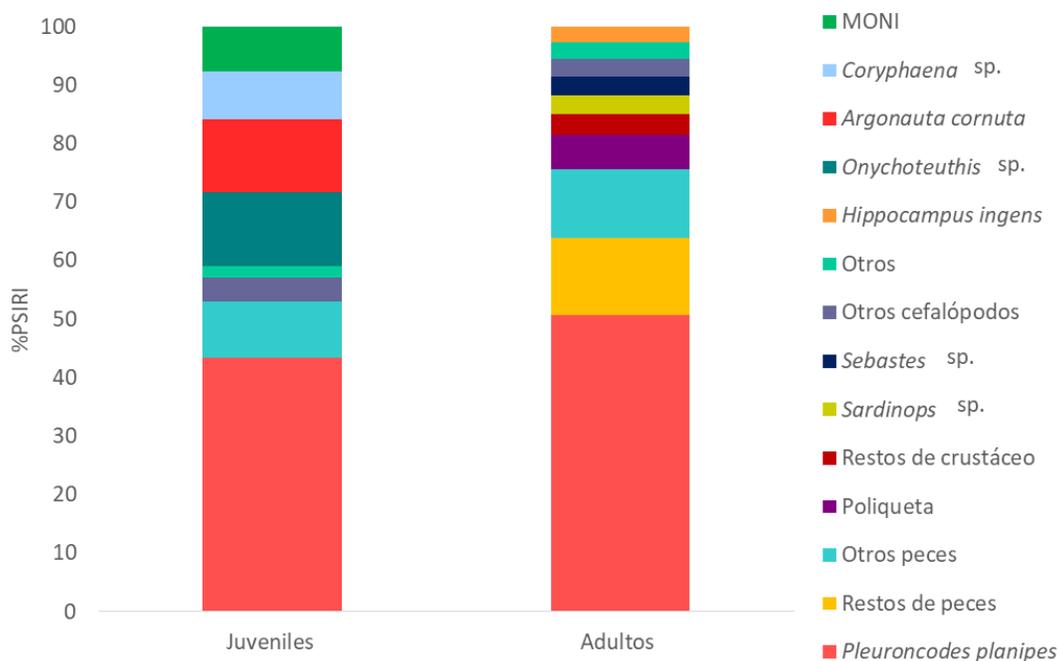


Figura 12. Porcentaje de contribución de PSIRI en juveniles y adultos de *Carcharhinus falciformis* en Punta Lobos, Baja California Sur.

Respecto a los músculos analizados, se obtuvo tejido de 104 adultos y 29 juveniles. Por su parte los adultos presentaron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  desde  $-18.52\text{‰}$  hasta  $-15.99\text{‰}$  (promedio de  $-17.75\text{‰} \pm 0.40$ ) y sus valores de  $\delta^{15}\text{N}$  oscilaron entre las  $15.51\text{‰}$  a  $19.54\text{‰}$  (promedio  $17.07\text{‰} \pm 0.70$ ), mientras los juveniles presentaron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dentro del rango de  $-18.08\text{‰}$  a  $-16.78\text{‰}$  (promedio  $-17.49\text{‰} \pm 0.28$ ) y valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre  $15.06\text{‰}$  a  $19.89\text{‰}$  (promedio  $16.96\text{‰} \pm 0.86$ ). La varianza de  $\delta^{13}\text{C}$  de ambos grupos ( $\sigma^2_{\text{CA}}=0.15$ ;  $\sigma^2_{\text{CI}}=0.08$ ) es indicativa de grupos con poca movilidad entre la zona oceánica y costera, con una marcada inclinación hacia la región oceánica.

Dentro del gráfico obtenido mediante la prueba SIBER (Figura 13), es posible determinar que el área de la elipse de los adultos y los juveniles (SEAcA: 0.95 y SEACJ: 0.76) presenta un traslapeo trófico medio (53%), de manera que comparten tanto presas como zonas de alimentación.

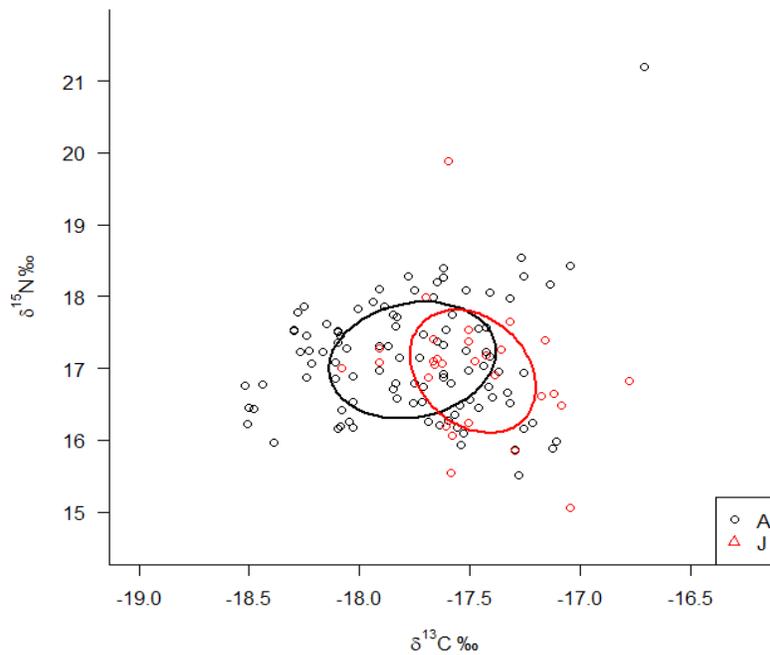


Figura 13. Amplitud y traslapeo trófico de los adultos y juveniles de *C. falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur (A: Adultos; J: Juveniles).

Se observó una variación entre las presas de mayor aporte dentro de las dietas de cada grupo; para los adultos las presas de mayor importancia fueron la langostilla, coincidiendo con lo estimado por el PSIRI, y los cefalópodos *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp. (Figura 14). Por otra parte, dentro del espectro de los juveniles se encontraron a estos mismos tres ítems con un mayor aporte (Figura 15).

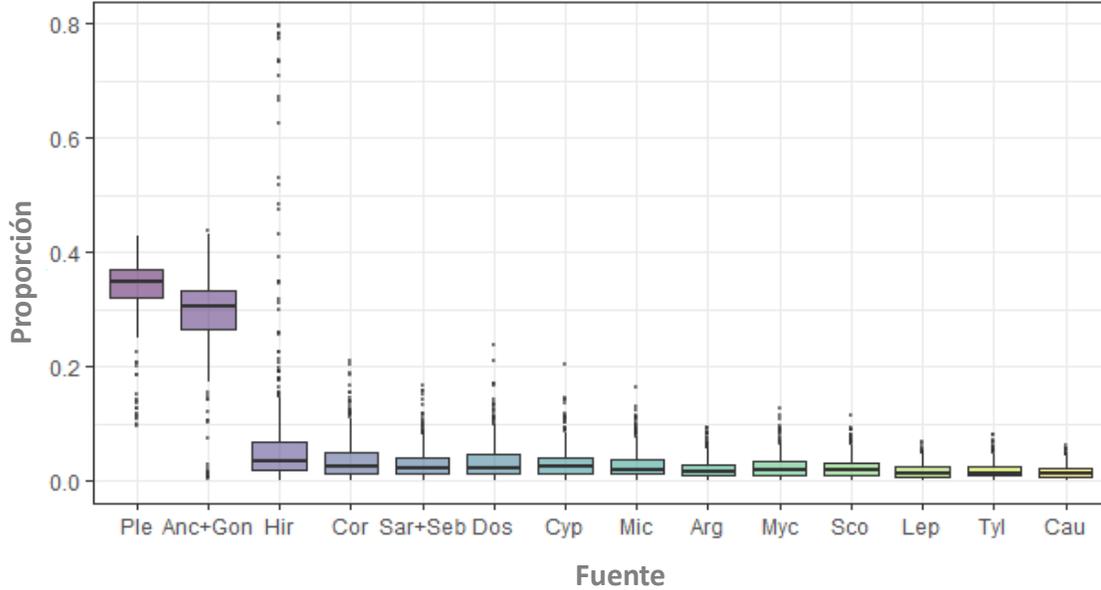


Figura 14. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de los adultos de *C. falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur (Sar+Seb: *Sardinops* sp. y *Sebastes* sp.; Pleu: *Pleuroncodes planipes*; Hir: *Hirundichthys marginatus*; Cau: *Caulolatilus* sp.; Lepo: *Lepophidium* sp.; Cor: *Coryphaena* sp.; Mic: *Microstomus pacificus*; Tyl: *Tylosurus* sp.; Myc: Myctophidae; Cyp: *Cypselurus callopterus*; Arg: *Argonauta* sp.; Sco: *Scomber japonicus*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Dos: *Dosidicus gigas*).

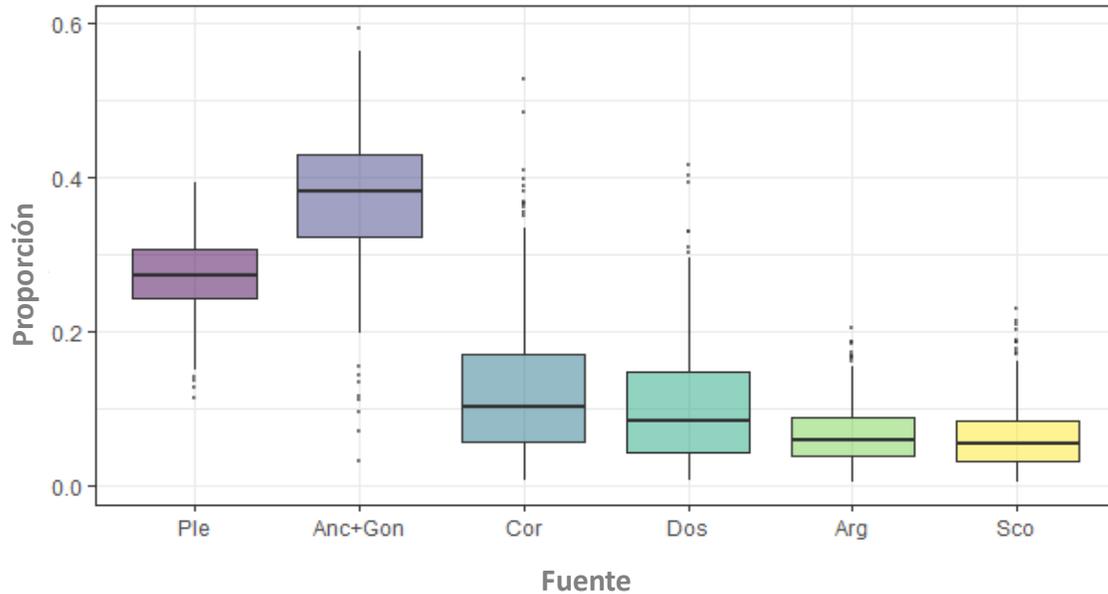


Figura 15. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de los juveniles de *Carcharhinus falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur (Ple: *Pleuroncodes planipes*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Cor: *Coryphaena* sp.; Dos: *Dosidicus gigas*; Arg: *Argonauta* sp.; Sco: *Scomber japonicus*).

El Índice de Levin, para juveniles y adultos ( $B_{Ij} = 0.009$ ;  $B_{IA} = 0.025$ ), así como la varianza de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $\sigma^2_{NA} = 0.48$ ,  $\sigma^2_{NJ} = 0.73$ ), indica que esta especie de tiburón presenta una estrategia de alimentación especialista, lo que coincide con lo encontrado con el análisis de Amundsen (ANEXO 2). Mientras que de acuerdo al contenido estomacal se estimó un nivel trófico de 3.9, mientras que la ecuación de Post lo posicionó en un nivel trófico de 3.5 a ambos grupos, siendo depredadores tope en ambos casos.

La prueba de similitud realizada de acuerdo al contenido estomacal no presenta diferencias entre las dietas de ambos grupos, sin embargo, la prueba de significancia en los valores isotópicos, arrojó diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de ambos grupos ( $U=892$ ,  $P < 0.001$ ), de manera que, si bien se están alimentando de presas similares, los juveniles tienden a encontrarse en zonas más cercanas a la costa; mientras los adultos mantienen una mayor movilidad dentro de la zona oceánica.

### Análisis por temporada

En total se obtuvieron 37 estómagos para la temporada cálida y 11 para la fría (Tabla 6), la curva de acumulación de la temporada cálida alcanzó la asíntota en el estómago 28, mientras en la temporada fría aparentemente se alcanzó la asíntota en el noveno estómago (Anexo 1). Ambos grupos presentaron principalmente un nivel de llenado uno.

Tabla 6. Estómagos de *Carcharhinus falciformis* obtenidos por temporada por año en Punta Lobos, Baja California Sur.

Año	Temporada	
	Fría	Cálida
2013	-	4
2014	-	1
2015	3	14
2016	8	18

Respecto al tejido revisado, considerando la tasa de recambio, en total se obtuvieron 159 muestras de tejido correspondientes a la temporada fría y 10 de temporada cálida (Tabla 7).

Tabla 7. Número de muestras musculares de tiburón piloto obtenidas por temporada y por año de muestreo en la costa occidental de Baja California Sur.

Temporada	2010	2013	2014	2015
Fría	32	33	59	35
Cálida	-	10	-	-

Durante la época de anomalía negativa, se encontraron nueve especies de peces y una de cefalópodos dentro de los ítems alimentarios; mientras en las épocas de anomalías positivas las presas aumentaron, encontrando hasta 14 especies de peces óseos y cinco de cefalópodos.

Dentro de la temporada cálida los individuos mostraron un espectro trófico más amplio (28 presas) respecto al de la temporada fría (14), en ambos casos, de acuerdo a los índices aplicados, la presa principal continúa siendo *P. planipes* aunque presenta una mayor incidencia durante la temporada cálida (Figura 16). El índice de %MN, %MW y el %FO, para la temporada cálida señalan al grupo de los poliquetos como la segunda presa de mayor importancia, dejando de lado los restos de otros grupos (7%; 5.2%; 8%, respectivamente). En cambio, durante la temporada fría, el índice de %MN y %MW posicionan al cefalópodo *Argonauta cornuta* y al pez *Mycteroperca rosacea* como las segundas presas de mayor importancia (%MN: 9; %MW: 9), sin embargo el porcentaje de frecuencia de ocurrencia posiciona al cefalópodo y a *Sardinops* sp. como las segundas presas principales (%FO: 9). De acuerdo al IRI y el PSIRI *P. planipes* se mantuvo como la presa principal durante ambas temporadas, sin embargo fue mayor su aporte durante la temporada cálida (%IRI: 95.7; %PSIRI: 56.4; Figura 16).

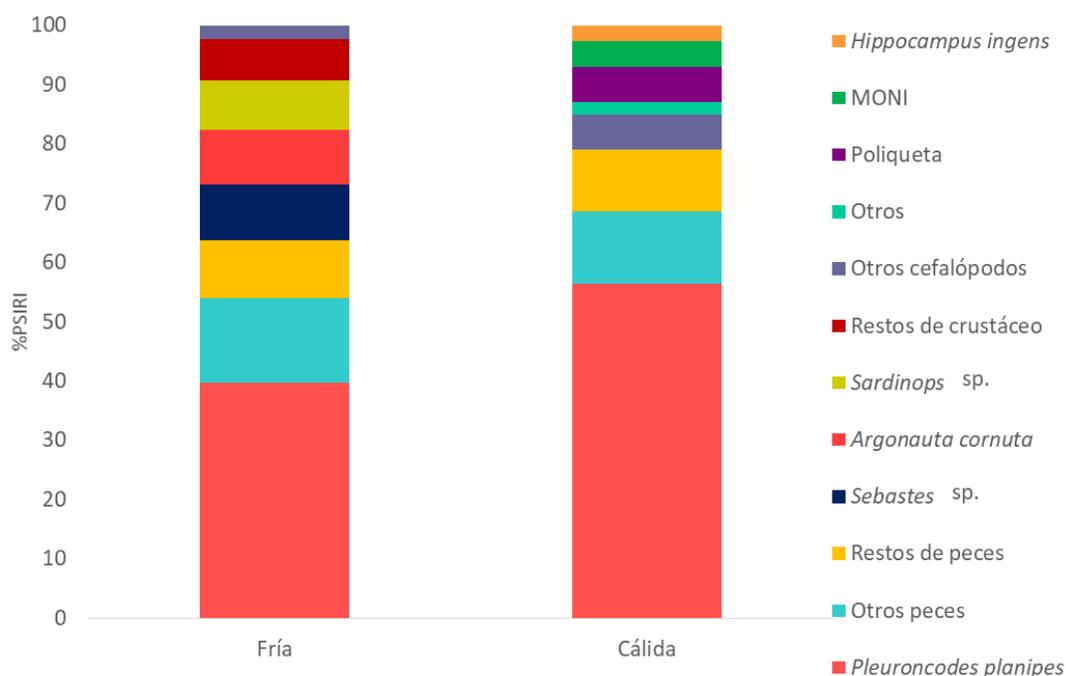


Figura 16. Porcentaje de contribución de PSIRI en temporada cálida y fría de individuos de *Carcharhinus falciformis* en Punta Lobos Baja California Sur.

Dentro del análisis isotópico la temporada cálida los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  oscilaron entre  $-18.38\text{‰}$  y  $-15.99\text{‰}$ , con promedios de  $-17.49\text{‰}$  ( $\pm 0.70$ ), por su parte los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se encontraron entre  $16.57\text{‰}$  y  $21.20\text{‰}$ , con un promedio de  $17.77\text{‰}$  ( $\pm 1.33$ ). De acuerdo a las varianzas de carbono obtenidas en esta época ( $\sigma^2_{\text{C}}=0.49$ ) se estima que *C. falciformis* presenta una mayor movilidad entre la costa y la región oceánica. En cambio, durante la temporada fría los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se ubicaron dentro del rango  $-18.52\text{‰}$  a  $-16.64\text{‰}$  con un promedio de  $-17.67\text{‰}$  ( $\pm 0.35$ ), los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se encontraban entre  $15.06\text{‰}$  y  $19.89\text{‰}$ , con un promedio de  $17.07\text{‰}$  ( $\pm 0.74$ ). De acuerdo al gráfico obtenido a partir del análisis SIBER (Figura 16) la temporada cálida presentó el área de la elipse más grande en comparación con las temporadas frías (Tabla 8). En cuanto al traslapeo trófico se observa una relación baja entre la temporada cálida y las frías, por lo que se estima que durante los periodos fríos el tiburón piloto se ve relegado a una zona de alimentación reducida y esencialmente oceánica.

Tabla 8. Área de las elipses corregidas por temporada, C=cálida y F=Fría.

Temporada	C13	F10	F13	F14	F15
SEAc	3.443366448	0.684533376	0.745866535	0.671942491	0.574759332

Entre los periodos fríos analizados se observa un traslapeo alto entre el año 2010 y 2013, los cuales corresponden a periodos normales en cuanto a temperatura; mientras el año 2015 presenta un área 10% más reducida y circular en comparación al 2014 (Figura 17). Lo anterior indica que durante el año 2015 presentó el espectro trófico y la amplitud trófica más reducida. Cabe destacar que durante el año 2014 se inició el periodo de anomalías positivas dentro del Pacífico debido al inicio de El Niño, y durante 2015 se vieron los efectos de La Mancha frente a la costa de Baja California.

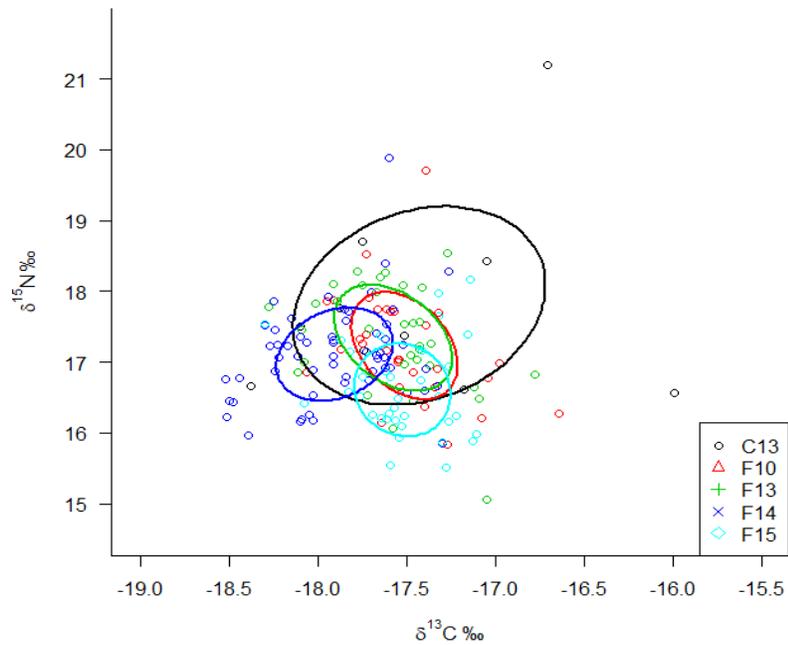


Figura 17. Amplitud y traslapo trófico por temporadas para el tiburón piloto en la costa occidental de Baja California Sur (C13: Cálida 2013; F10: Fría 2010; F13: Fría 2013; F14: Fría 2014; F15: Fría 2015).

En cuanto a la proporción de la dieta por temporadas, durante el periodo cálido se observa una proporción de los ítems alimentarios más homogénea, con un aporte principal de *P. planipes*, seguido de *H. marginatus*, *Coryphaena* sp. y el grupo de los cefalópodos con *A. lesueurii*, *Gonatus* sp. y *D. gigas* (Figura 18). Por el contrario, durante la temporada fría se observa una marcada preferencia por los cefalópodos *A. lesueurii* y *Gonatus* sp., seguida de la langostilla (Figura 19).

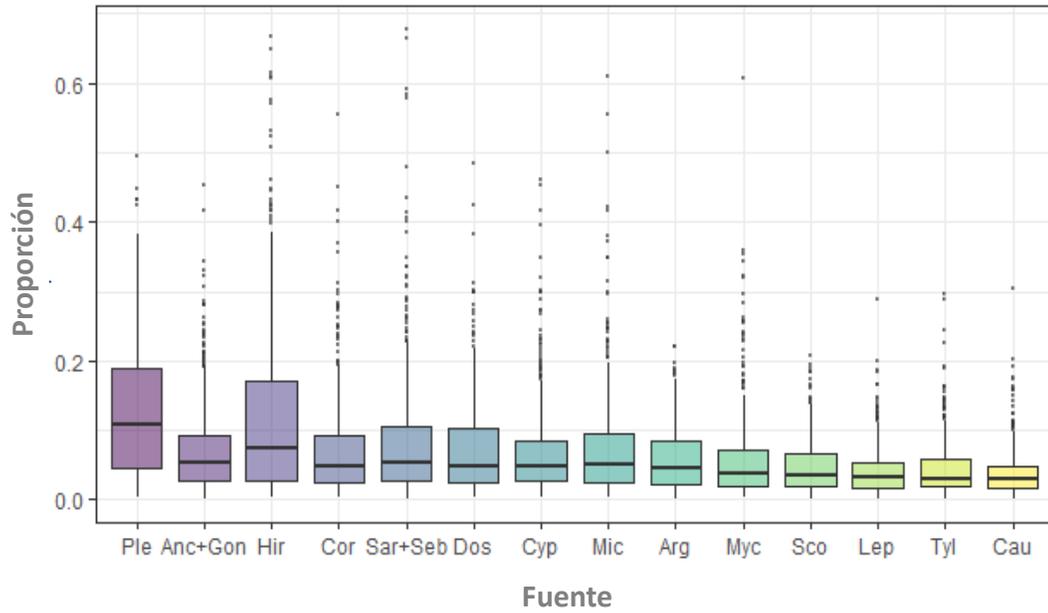


Figura 18. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de *Carcharhinus falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur durante la temporada cálida (Pleu: *Pleuroncodes planipes*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Hir: *Hirundichthys marginatus*; Cor: *Coryphaena* sp.; Sar+Seb: *Sardinops* sp. y *Sebastes* sp.; Dos: *Dosidicus gigas*; Cyp: *Cypselurus callopterus*; Mic: *Microstomus pacificus*; Arg: *Argonauta* sp.; Myc: Myctophidae; Sco: *Scomber japonicus*; Lepo: *Lepophidium* sp.; Tyl: *Tylosurus* sp.; Cau: *Caulolatilus* sp.).

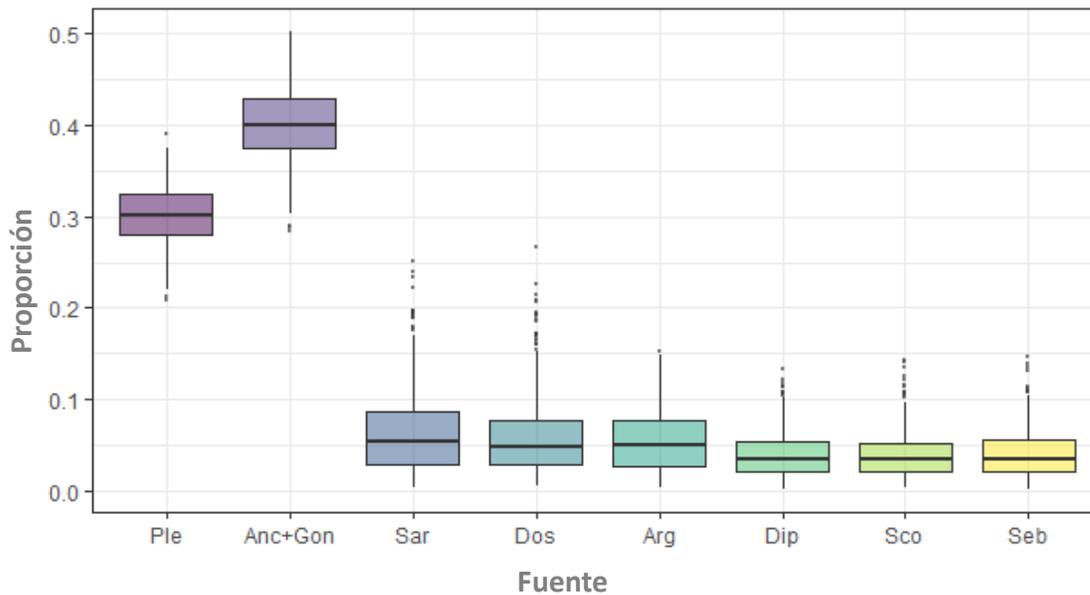


Figura 19. Comparación de la proporción de las posibles presas a la dieta de *Carcharhinus falciformis* en la costa occidental de Baja California Sur durante la temporada fría (Ple: *Pleuroncodes planipes*; Anc+Gon: *Ancistrocheirus lesueurii* y *Gonatus* sp.; Sar: *Sardinops* sp.; Dos: *Dosidicus gigas*; Arg: *Argonauta* sp.; Dip: *Diplectrum* sp.; Sco: *Scomber japonicus*; Seb: *Sebastes* sp.).

Por su parte el Índice de Levin obtenido para ambas temporadas ( $B_{if} = 0.154$ ;  $B_{ic} = 0.011$ ) indica que este tiburón es especialista, lo que coincide con lo señalado por el análisis de Amundsen (ANEXO 2). Sin embargo, los valores de varianza de  $\delta^{15}\text{N}$  en la temporada cálida ( $\sigma^2_{\text{N}} = 1.77$ ) catalogan a *C. falciformis* como una especie con una estrategia de alimentación generalista, en cambio, durante la temporada fría estos valores cambiaron ( $\sigma^2_{\text{N}} = 0.54$ ) dando una estrategia de alimentación especialista, de manera que existen cambios en la estrategia de alimentación utilizada por este tiburón entre las temporadas delimitadas.

El nivel trófico obtenido de acuerdo al análisis estomacal en temporadas cálidas dio un promedio de  $3.5 (\pm 0.37)$ , mientras que el análisis isotópico arrojó un nivel trófico ligeramente mayor para esta temporada ( $3.7 \pm 0.36$ ). Durante la temporada fría el nivel trófico promedio fue de  $4.04 (\pm 0.61)$ , de acuerdo al contenido estomacal, y  $3.5 (0.20)$ , según

la ecuación de Post. El contenido estomacal indica que la especie se alimenta de presas con menor nivel trófico durante las anomalías positivas, mientras que durante la temporada fría tienden a obtener recursos alimentarios con un nivel trófico mayor. Por su parte el análisis isotópico discrepa con lo anterior al obtener un mayor nivel trófico durante la época cálida, de manera que el tiburón piloto se encontraría alimentándose de presas con un mayor nivel trófico en esta temporada.

Los análisis para determinación de similitud ( $R=-0.06001$ ,  $P=0.746$ ) entre la dieta de ambos grupos, así como la prueba de significancia realizada ( $P_{\delta^{13}C}=0.723$ ,  $P_{\delta^{15}N}=0.067$ ), descartan la existencia de diferencia significativas entre temporadas, de manera que la dieta del tiburón piloto tiende a mantenerse a lo largo del año.

## Discusión

De los estómagos revisados de *Carcharhinus falciformis*, el 77% presentó contenido estomacal. El 23% restante se encontraron vacíos, lo cual podría ser debido a los años en que fueron capturados los individuos, los estómagos vacíos se obtuvieron, en su mayoría, en la temporada cálida, durante los años 2015 y 2016, mismos que corresponden a periodos de anomalías positivas en la temperatura superficial del mar y al periodo de transición una vez que disminuyeron estas anomalías, de manera que el alimento disponible para estos individuos pudo verse restringido por la abundancia de presas en esos momentos derivado de las migraciones ocurridas en diversas especies (Cavole et al., 2016).

A pesar del bajo porcentaje de estómagos vacíos, la alta incidencia del grado de llenado uno hace referencia a un periodo prolongado (hasta de 12 horas) en el arte de pesca. El palangre es colocado aproximadamente a las seis de la tarde y se recoge a la mañana del día siguiente, esto propicia un proceso de digestión completo y por ende estómagos con bajo contenido o con muestras altamente digeridas (Blanco-Parra et al., 2011). Ejemplo de esto puede ser el caso de los cefalópodos, los cuales presentan un tejido más blando y por lo tanto tienden a ser digeridos más fácilmente (Clarke, 1986), como ocurrió en el presente estudio; sin embargo, de manera puntual se obtuvo un individuo del género *Argonauta* con un bajo grado de digestión. Al considerar la distribución de esta especie que es costera (Landa-Jaime et al., 2018), es posible interpretar que el tiburón haya consumido a esta presa cerca de la costa poco antes de quedar atrapado en el palangre.

De acuerdo con la importancia de las presas que conforman la dieta del tiburón piloto, es posible establecerle como una especie carcinófaga, debido a la alta importancia obtenida por la langostilla, *P. planipes*, dentro de los estómagos. Lo anterior coincide con lo reportado por Cabrera-Chávez-Costa et al. (2010), donde la *langostilla* fue la presa principal consumida por el tiburón capturado cerca de Punta Lobos, Baja California Sur. Por otra parte, Barajas-Calderón (2018) reporta como segunda presa de mayor importancia a *Portunus xantussi* dentro de las costas de Jalisco, al igual que Ruíz-Pérez et al. (2016) quienes la mencionan como componente principal de la dieta de *C. falciformis* en el Pacífico

sur. *P. xantussi* (el cangrejo nadador) se ha reportado como el equivalente ecológico de *P. planipes* por lo que era de esperarse su alta incidencia dentro de la dieta del tiburón piloto en las costas de B.C.S. Cabe resaltar que ambas zonas de estudio presentan una abundancia constante de este crustáceo a lo largo del año, al igual que la langostilla dentro de la costa occidental de Baja California Sur, de manera que la importancia de estas presas en la dieta del tiburón piloto se relaciona con la residencia y abundancia de las especies en la zona de alimentación, por lo que es posible pensar que la alimentación de *C. falciformis* en zonas similares dentro de las costas de México, sea de igual manera de tipo carcinófaga.

La langostilla se caracteriza por ser la especie de mayor abundancia en el micronecton al sur de la corriente de California, se le encuentra distribuida en enjambres a lo largo de la columna de agua o en la zona demersal, abarcando varios kilómetros de longitud, debido a lo anterior es una presa importante para los pelágicos mayores (Robinson et al., 2004) y elasmobranquios demersales como *Zapterix exasperata*, *Pseudobatos productus*, *Mustelus lunulatus* y *Mustelus henlei* (Curiel-Godoy, 2017; Goñi-Godoy y Galván-Magaña, 2017; Martínez-Ayala, 2018; Vázquez-Moreno, 2018). Además de lo anterior, la mayor biomasa de esta especie ocurre durante los periodos de surgencia, en temperaturas entre los 13 y 17°C, donde se encuentran grandes enjambres en la zona bentónica, sin embargo existe registro de individuos, principalmente pelágicos durante las temporadas cálidas (Ríos-Díaz-Barriga, 1994), mismas en las que ocurre la mayor captura del tiburón piloto en la costa occidental de Baja California Sur.

El segundo grupo de mayor importancia dentro de la dieta del tiburón piloto fue el de restos de peces, esto coincide con reportes anteriores tanto de la especie como de diversos carcarínidos (ej. *Carcharhinus limbatus* y *Carcharhinus isodon*), donde la dieta se encuentra conformada principalmente por teleósteos (Tavares, 1997; Hoffmayer y Parson, 2003). Trabajos como el de Andrade-González (2005), clasifican al tiburón piloto como ictiófago, en este caso se estableció una importancia del 66% para *Thunnus albacares*, siendo la especie de mayor aporte para el tiburón a lo largo del Pacífico oriental, sin embargo, al observar el espectro trófico de este tiburón específicamente dentro del Pacífico mexicano, en zonas cercanas a la costa, observamos que la importancia relativa del atún es

mínima (%IRI: 0.05), siendo *Auxis* sp. la de mayor aporte en la zona (%IRI: 31), por lo que no resulta extraña la ausencia de atunes dentro del espectro trófico de *C. falciformis* en el presente estudio.

Las familias Balistidae, Clupeidae, Coryphaenidae y Scombridae fueron reportadas con anterioridad dentro de la zona de estudio (Cabrera-Chávez-Costa, 2003); sin embargo, la familia Clupeidae fue representada por *Harengula thrissina*; mientras que en el presente estudio se encuentra representada por *Sardinops* sp., lo anterior puede deberse a que ambas especies tienen hábitos similares, ambas hacen agregaciones superficiales cercanas a la costa durante el día, se distribuyen en temperaturas subtropicales y se alimentan de fitoplancton y zooplancton, haciendo a ambas susceptibles a la depredación por este tiburón (Whitehead, 1985; Martínez-Porchas, 2012). *Sardinops sagax*, específicamente, presenta migraciones, durante el verano tiende a ir hacia el norte, mientras que en el invierno se desplaza más al sur (Martínez-Porchas, 2012), coincidiendo con las temporadas en que el tiburón piloto se encuentra en la zona de estudio.

Un caso similar es el de los integrantes de la familia Scombridae, donde el reporte anterior hacía referencia a *Auxis thazard*, *Auxis* sp. y *Scomber japonicus* (Cabrera-Chávez-Costa et al., 2010); mientras actualmente solo se encontró a un individuo del género *Euthynnus*. Las especies de este último género se distribuyen de manera circunglobal en ambientes tropicales a subtropicales, se encuentran en zonas con una TSM mayor a los 26°C, se distribuyen en zonas cercanas a la costa de manera superficial y tienden a formar cardúmenes junto con individuos del género *Auxis*, *Thunnus* y *Katsuwonus*; además, comparten especies presa con diversos atunes, delfines, bonitos, entre otras especies, por lo que es común encontrarlos en la misma zona de distribución (Colette y Nauen, 1983).

Los cardúmenes de la Melva (*A. thazard*) presentan sus picos de abundancia en el periodo comprendido de diciembre a abril, por lo que es posible que no coincidiera en espacio con el tiburón piloto (Olvera-Limas et al., 1990). Trabajos anteriores han reportado a esta especie como parte de la dieta de *Sphyrna lewini* dentro de las costas de Baja California Sur, sin embargo su importancia también fue mínima (%N: 1.3) dentro del

espectro (Galván-Magaña et al., 2013), lo mismo ocurre en las costas de Ecuador donde el análisis de contribución de presas a la dieta señaló como mínima la contribución de esta especie a la dieta de *C. falciformis*, *Alopias pelagicus* y *Prionace glauca* (Estupiñan-Montaño, 2016).

Por su parte la Macarela (*Scomber japonicus*) forma cardúmenes mixtos con *Sardinops sagax* (Collette y Nauen, 1983), sin embargo se ha reportado que la distribución de esta especie se puede ver afectada por el aumento en la temperatura superficial del mar, realizando migraciones hacia el norte durante las temporadas cálidas y más hacia el sur en temporadas frías (Castro y Santana, 2000), explicando la ausencia de la misma en el contenido estomacal de *C. falciformis*.

Si se consideran reportes anteriores de especies que consumen presas como las anteriormente mencionadas, existen ejemplos como el caso de Rodríguez-Romero et al., (2013), quienes determinaron a *Scomber japonicus* como una de las presas de mayor importancia dentro de la dieta de *Mustelus henlei* en la misma zona de estudio, estimaron un %IRI del 0.89, mientras que en el mismo estudio la langostilla (que fue la principal presa consumida) presenta un %IRI del 81%, por lo que se observa una tendencia en la disminución de esta presa en la zona.

Lo anterior permitiría establecer una alta competencia entre diversos pelágicos mayores por los recursos como *Auxis thazard*, *Scomber japonicus* e incluso *Thunnus* sp., lo que en conjunto con los movimientos migratorios de estas presas debido a los cambios en la TSM ocurridos durante los años de muestreo podría influenciar la falta de los mismo en los contenidos estomacales.

Con respecto a los cefalópodos, como ítem alimentario nuevo, se encontró a *Gonatus berryi*, una especie relativamente común, distribuida en las pendientes continentales desde la zona mesopelágica hasta los 1000 m de profundidad, se le considera de ambientes templados (Granados, 2008; Barrat y Alcott, 2014). Su aparición como parte de la dieta del tiburón puede indicar que el depredador realizó inmersiones a mayor profundidad, dado que *C. falciformis* puede realizar inmersiones hasta los 500 m. de

profundidad (Rigby et al., 2017) para obtener alimento; esto ha sido reportado con anterioridad, donde se ha observado que el tiburón piloto consume cefalópodos epipelágicos que realizan migraciones durante las noches y mesopelágicos que migran desde zonas profundas (Galván-Magaña et al., 2013).

A pesar de presentar un espectro trófico aparentemente amplio, la amplitud de nicho obtenida para el tiburón piloto en este estudio es estrecha, viéndose dominada por determinadas presas. Mediante el análisis estomacal la langostilla se posicionó como la especie de mayor aporte, mientras el análisis isotópico incluye al grupo de los cefalópodos, *A. lesueurii* y *Gonatus* sp., como recurso fundamental. Lo anterior clasifica a este tiburón como un depredador especialista, los cuales se definen, como depredadores con un nicho ecológico reducido, pocas presas y que usualmente se encuentran dominados por una presa principal (Díaz-Ruiz, 2014).

Esta estrategia, anteriormente reportada para el tiburón piloto, se ha encontrado como típica de pelágicos mayores, donde, a pesar del bajo aporte energético que puedan dar recursos alimentarios como los antes mencionados, su importancia radica en la biomasa de los mismos y la frecuencia con la que son consumidos por el depredador (Cabrera-Chávez-Costa et al., 2010; López-Herrera, 2015; Ruíz-Pérez et al., 2016). Sin embargo, considerando que *C. falciformis* presenta al menos 28 presas dentro de su espectro trófico y una dominante, así como los estadísticos efectuados para determinar la estrategia alimenticia, es posible considerarle como un especialista facultativo, los cuales pueden adaptarse a las condiciones dominantes del sistema cambiando su estrategia y su presa principal si esta merma en existencia y se presenta un mayor aporte de presas secundarias (Díaz-Ruiz, 2014).

Los valores isotópicos obtenidos para éste tiburón ( $\delta^{13}\text{C}$   $-17.68\text{‰} \pm 0.38$ , y  $\delta^{15}\text{N}$  de  $17.09\text{‰} \pm 0.74$ ) coinciden con reportes anteriores (Cabrera-Chávez-Costa, 2003; Barranco-Servin, 2008; Galindo-Rosado, 2014; Barajas-Calderón, 2018), y son característicos de ambientes oceánicos. Sin embargo, al comparar los valores reportados para esta misma especie en zonas del Pacífico ecuatoriano, se observa que los rangos de carbono tienden a

ser más positivos ( $\delta^{13}\text{C}$   $-14.3 \pm 0.05\%$ ), indicando una distribución más cercana a la costa. De acuerdo con Estupiñan-Montaño (2016), la variación en los valores isotópicos se debe a las diferencias latitudinales, ya que esta especie es altamente migratoria, de manera que, sus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  reflejan la alimentación del tiburón a lo largo de la costa ecuatoriana, la cual presenta una plataforma continental de mayor amplitud comparada con la de Baja California Sur; aunado a lo anterior, dentro de las costas de Ecuador podemos encontrar una serie de cordilleras y cuencas creando un ambiente oceánico distinto, repercutiendo en las diferencias encontradas entre los valores isotópicos (Pazmiño y Santana, 2006; Estupiñan-Montaño, 2016).

Resulta importante resaltar que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para el tiburón piloto dentro de la costa occidental de B.C.S. y zonas aledañas, se ha mantenido constante a lo largo de los años (Cabrera-Chávez-Costa, 2003; Barranco-Servin, 2008; Galindo-Rosado, 2014; Barajas-Calderón, 2018). Esta invariabilidad da idea de una alta afinidad por parte de la especie a la zona, al cotejarlo con los valores de varianza encontrados, fue posible definir pocas o estrechas migraciones por parte de esta especie.

Además de lo anterior, se sabe que la fluctuación en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre niveles tróficos suele ser mínima por lo cual es un buen indicador de la fuente primaria dentro de la zona de estudio, estos valores nos permiten diferenciar entre una fuente oceánica vs costera o pelágica vs bentónica (Miller et al., 2008). En el caso del presente estudio es posible interpretar que la fuente primaria de carbono en la zona, de igual manera, se ha mantenido constante con el paso del tiempo, reflejándose en la firma isotópica de *C. falciformis*.

Por su parte, los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fueron más positivos en la presente contribución, lo cual puede ser adjudicado a los mismos patrones latitudinales anteriormente mencionados (Farrell et al., 1995; Estupiñan-Montaño, 2016). Las diferencias encontradas se deben en gran medida a que la costa occidental de Baja California Sur se caracteriza por presentar una plataforma continental angosta, lo que explicaría la presencia de recurso alimenticios costeros aparentemente alejados de la costa, así como las especies presa que

se distribuyen en la pendiente continental; además, esta especie se ha catalogado como altamente migratoria, tanto latitudinal como longitudinalmente explicando la variedad de presas encontradas en la dieta de este depredador (Compagno, 1984; Fischer et al., 1995; Galindo-Rosado, 2014; Barajas-Calderón, 2018).

Por el contrario, hay estudios como el de Méndez Da Silveira (2015), donde los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  son menores a los reportados en el presente trabajo ( $\delta^{15}\text{N}$ :  $16.66 \pm 0.69\text{‰}$ ), lo que indicaría que el tiburón se encontraba alimentándose de presas con cadenas tróficas cortas, al igual que en el presente trabajo, de manera que, el aumento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  podría ser reflejo del desplazamiento hacia zonas de mayor profundidad, lo que contribuiría a la obtención de presas con mayor nivel trófico durante el periodo de muestreo comprendido en el presente estudio.

Comparando el nivel trófico obtenido por el tiburón piloto en el presente estudio (3.6) con estudios previos en la misma zona, encontramos discrepancias con trabajos como el del autor antes mencionado, donde el nivel trófico estimado mediante la ecuación de Post (2002) es menor al encontrado, esto refuerza la idea de que el tiburón piloto se desplazó a zonas más oceánicas y profundas durante los años de muestreo comprendidos en el presente estudio. Sin embargo, esta variación se puede ver influenciada por el factor de enriquecimiento de nitrógeno utilizado (el cual coincide con el utilizado en este estudio) y además el  $\delta^{15}\text{N}$  de la base, en el caso de Méndez Da Silveira (2015) la base utilizada fue el valor de Materia Orgánica Particulada (MOP) para el Golfo de California ( $\delta^{15}\text{N}$ :  $9.6 \pm 0.7\text{‰}$ ), lo que pudo causar las diferencias en el nivel trófico. Sin embargo, tomando en cuenta las diferencias oceanográficas entre el Golfo de California y la costa occidental de Baja California Sur, así como la temporalidad en la que fueron estimados los valores de MOP (2012) y los fenómenos ocurridos durante los muestreos del presente estudio (ej. el fenómeno del niño), se consideró pertinente trabajar con los valores más cercanos a la base de la cadena trófica en la zona al alcance de este estudio, siendo la langostilla la referencia más adecuada. Lo anterior podría explicar que el nivel trófico del tiburón piloto fuera más cercano al de otros tiburones como *Sphyrna zygaena*, de acuerdo a los criterios seguidos en el trabajo de Méndez Da Silveira (2015).

## Análisis por sexo

A pesar de que no fueron encontradas diferencias significativas entre los machos y las hembras, el análisis del contenido estomacal de los individuos permitió reconocer cambios dentro del espectro trófico de ambos grupos. Por ejemplo, los machos mantuvieron un mayor número de presas en comparación a la dieta de las hembras. Pese a que las principales presas son típicas de zonas costeras, existen algunos individuos de especies como *Coryphaena hippurus*, *Balistes polylepis* e *Hirundichthys marginatus*, entre otras, que son de ambientes oceánicos y su incidencia fue menor o nula en el grupo de las hembras.

La similitud entre las dietas de ambos grupos, así como la presencia tanto de especies oceánicas como costeras, refuerza la idea previa de que en esta especie no se da una segregación por sexos (Galván, 1989; Barajas-Calderón, 2018). Sin embargo estudios como el de Cabrera-Chávez-Costa et al. (2010), mencionan que puede darse una compartición de nicho, donde las hembras se alimentan en zonas más oceánicas; mientras los machos tienen migraciones longitudinales más amplias, explicando la presencia de teleósteos oceánicos y cefalópodos como *Dosidicus gigas*, *Vampyroteuthis infernalis* y *Gonatus californiensis* en su espectro trófico.

El análisis isotópico responde a la idea anterior, ya que el traslapo trófico entre ambos grupos es medio (54%), de manera que se encuentran alimentándose en zonas similares, con la diferencia de que la amplitud de nicho de las hembras es menor. Anteriormente se ha reportado que las hembras de tiburón piloto tienden a obtener sus presas en zonas más profundas (Méndez Da Silveira, 2015); mientras que los machos realizan migraciones más activas, tanto dentro y fuera de la costa, como a lo largo de la columna de agua (Cabrera-Chávez-Costa et al., 2010; Galindo-Rosado, 2014; Estupiñan-Montaño, 2016).

Al observar los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  podemos determinar un consumo de presas con mayor nivel trófico por parte de los machos, de acuerdo al análisis de contenido estomacal (4.4) y la elipse obtenida por este grupo dentro del análisis SIBER, el cual presenta una amplitud de nicho más amplia en comparación con el grupo de las hembras. Este tipo de

comportamiento propicia la coexistencia de ambos grupos en la zona, dado que la competencia por alimento sería relativamente baja.

## Análisis por estadios de madurez

La baja incidencia de juveniles en la costa occidental sudcaliforniana se explica por la posible segregación de la especie por estadios de madurez en donde los juveniles tienden a estar más al sur en zonas cercanas a las costas de Jalisco, como se observa en el trabajo de Barajas-Calderón (2018), donde el 85% del total de sus muestras correspondían a organismos juveniles, mismos que tienen presencia durante todo el año, al igual que los adultos en menor proporción (6.5%).

Méndez da Silveira (2015) indica que los adultos tienden a mantenerse más alejados de la costa o en zonas más profundas, la presencia de recursos como *V. infernalis*, *G. californiensis* y *G. berryi*, permiten reforzar esta idea al ser especies oceánicas y de hábitos mesopelágicos (Arkhipkin, 1997; Barrat y Alcott, 2014). La poca presencia de presas oceánicas dentro de los estómagos de los juveniles, así como de especies de menor tamaño, como individuos de la familia Cynoglossidae y Argonautidae, y especies epipelagicas como el caso del género *Euthynnus* y *Coryphaena* (Robertson y Allen, 2015), indican estrategias de alimentación distintas, dado que los juveniles tienden a buscar presas de menor tamaño y fácil acceso, mientras los adultos podrán ir a zonas más profundas y pescar organismos de mayor tamaño, lo cual es un comportamiento observado con anterioridad en algunos tiburones (Lowe et al., 1996; Cabrera-Chávez-Costa et al., 2010).

Las diferencias significativas entre las dietas se aprecian desde el traslapo trófico encontrado, siendo este medio (53%), donde los adultos presentan una amplitud de nicho trófico más inclinada a la zona oceánica con máximos de  $\delta^{13}\text{C}$  -18.52‰ y mínimos de -16.78‰. Los juveniles por su parte presentaron valores mínimos de  $\delta^{13}\text{C}$  -15.99‰, indicando un mayor enriquecimiento en comparación con los de los adultos, este aumento en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  es característico de zonas costeras (Miller et al., 2008). Este comportamiento ha sido reportado con anterioridad para el tiburón piloto (Cabrera-Chávez-Costa, 2003; Méndez Da Silveira, 2015; Barajas-Calderón, 2018) resulta probable que los individuos juveniles prefieran la zona costera debido a la mayor abundancia de presas a su alcance y porque dentro de la misma pueden encontrarse menos expuestos en

comparación con la zona oceánica donde podrían ser más vulnerables a la depredación (Barajas-Calderón, 2018).

Esta especie muestra pocos cambios ontogenéticos en la zona, como se pudo corroborar mediante el modelo de mezcla, donde ambos grupos presentan los mismos recursos alimenticios principales, lo que justifica la poca variación observada entre los valores isotópicos encontrados (Duffy et al., 2015; Estupiñan-Montano et al., 2017). El nivel trófico de ambos grupos responde a lo anterior dado que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}_A$ :  $17.07\text{‰}\pm 0.70$ ;  $\delta^{15}\text{N}_J$ :  $16.94\text{‰}\pm 0.96$ ) pueden ser indicativos de que, a pesar de estar alimentándose en zonas cercanas, los juveniles obtengan presas con menor nivel trófico.

Con base en los datos obtenidos y la poca incidencia de organismos juveniles, es posible decir que la costa occidental de Baja California Sur funge como una zona de alimentación para el tiburón piloto, mientras que zonas más sureñas pueden estar siendo utilizadas como área de crianza.

## **Análisis por categoría de temporadas**

Considerando que *C. falciformis* es una especie de ambientes tropicales y subtropicales, es necesario el mantener en consideración el ambiente circundante en el que se encontraba durante los años de muestreo. La conjunción de los fenómenos ambientales que se desarrollaron en el periodo de 2013 a 2016, La Mancha y El fenómeno de El Niño, llegando a la costa occidental de Baja California Sur, puede ser un factor determinante en la composición de la dieta de éste tiburón, así como en el porcentaje de aporte a la dieta de determinadas especies.

Con respecto a la pesca de tiburón en la zona, se sabe que la producción pesquera de este recurso en el estado de Baja California Sur aumentó durante los años de muestreo siendo el año 2013 el más bajo con 3,487 toneladas de peso vivo y el año 2016 el más alto con 4,995 toneladas de peso vivo (CONAPESCA, 2018). Este aumento puede deberse en parte a los cambios ambientales que ocurrieron, al aumentar la temperatura superficial del mar se favorece la migración de especies subtropicales y transicionales, como el tiburón piloto, a zonas más norteñas, permitiendo una mayor diversidad en la zona (Cavole et al., 2016).

El tiburón piloto se ha reportado como una especie con presencia en los litorales de Baja California Sur durante los periodos de primavera (marzo-abril) y verano (mayo-junio; Galván, 1989), sin embargo en este trabajo se tuvieron capturas durante los periodos de primavera y otoño, con pequeñas contribuciones durante el verano, que coincide con la temporada de veda de tiburones y rayas a nivel nacional. De acuerdo con las anomalías registradas por la NASA (NEO, 2018) durante los años de muestreo el aumento de temperatura se da a partir del mes de julio, de manera que el pico de anomalías positivas ocurre en el mes de septiembre justificando así, que las mayores capturas se dieran durante este mes en los cuatro años de muestreo.

La presencia de *C. falciformis* durante la temporada fría sucedió en los meses de marzo del 2015 y 2016, así como en noviembre del 2016, años en los que se ven los efectos tanto de El Niño, como de La mancha en la zona del Pacífico Oriental (Cavole et al., 2016;

Diamond et al., 2017), hacía finales del 2016 se observan aún efectos de la variación en temperatura dado que la anomalía de noviembre del 2016 es mayor que la del 2013, lo que implicaría que el ambiente aún se encontraba en periodo de transición (Diamond et al., 2017) y por tanto favorable para la presencia de individuos de esta especie.

Bajo este panorama se pudieron observar variaciones en el comportamiento de algunos individuos presa como *P. planipes*, la cual es una especie típica de aguas frías, que al momento en que el agua comenzó a elevar su temperatura realizó migraciones hacia las costas del norte (Cavole et al., 2016). La conjunción de ambos fenómenos pudo provocar que un porcentaje de la población habitante en Baja California Sur no lograra migrar, dando como resultado varamientos masivos, que es un comportamiento visto con anterioridad en esta especie (Aurióles, 1995), dejando bancos de langostilla flotando a la deriva, de lo que se pudieron haber alimentado diversas especies.

Los tiburones en general tienden alimentarse de especies con alto contenido energético o que se encuentren distribuidas por cardumen ya que es mayor la probabilidad de consumir las presas y menor el gasto energético en la pesca (Cabrera-Chávez-Costa et al., 2010). Lo anterior explica que la presencia de esta especie en los contenidos estomacales fuera mayor en comparación con estudios como el de Cabrera-Chávez-Costa et al. (2010), donde el *IRI* arrojaba valores del 83%; mientras que en el presente trabajo el valor alcanzó hasta el 95.33% del espectro trófico.

Casos similares al anterior son el de algunos peces y cefalópodos como *Coryphaena hippurus* y algunas especies de *Argonauta*, de las cuales se han reportado migraciones hacia el norte durante el periodo de La Mancha. Otro organismo con comportamiento similar fue *Dosidicus gigas*, sin embargo, su bajo aporte a la dieta del tiburón piloto en la zona puede deberse a la amplia migración que realizó, ya que se reportaron movimientos de latitudes de 34.45°N a 59.80°N (Cavole et al., 2016).

Especies anteriormente aludidas como nuevo registro dentro de la dieta del tiburón piloto (*G. berryi* y *Onychotheuthis* sp.) coinciden en que sus individuos se distribuyen en ambientes cálidos (Palomares et al., 2019), de manera que la conjunción de ambos

forzamientos oceanográficos podría haber dado paso a su migración dentro del hábitat del tiburón sedoso propiciando su consumo.

De manera general se registró una mayor diversidad de presas durante la temporada cálida, lo cual puede ser un reflejo de la comunidad circundante. Dentro de la literatura se estima que una comunidad diversa le da estabilidad al sistema (Torres-Ariño, 2012), lo que propiciaría el mantenimiento de las especies residentes, como es el caso del tiburón piloto.

Al tomar en cuenta los valores isotópicos por temporada resulta necesario el considerar la tasa de recambio del tejido que se está analizando, en el caso del músculo se ha reportado una tasa de recambio que oscila entre los 555 días (Logan y Lutcavage, 2010), con lo que al realizar el ajuste tomando en cuenta la fechas en las que se obtuvieron las muestras de músculo, la mayoría (93.5%) de las muestras reflejan valores correspondientes a temporadas frías, sin embargo los valores arrojados por las elipses bayesianas, así como las proporciones de aporte a la dieta observados, muestran diferencias que, a criterio del investigador, son interesantes de discutir.

El área de la elipse corregida de la temporada cálida registrada es de 3.44, siendo el valor más alto obtenido durante las temporadas estudiadas, durante esta época los tiburones presentaron valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-17.49 \pm 0.90\text{‰}$ , los cuales indican una preferencia por la zona oceánica, con migraciones estrechas hacia la costa (Galindo-Rosado, 2014; Niño-Torres et al., 2016; Barajas-Calderón, 2018).

La similitud entre los valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  entre ambas temporadas permite reforzar la idea de la afinidad de esta especie por la zona de muestreo. Trabajos como el de Miller y colaboradores (2008) hacen alusión a la relación que presenta el  $\delta^{13}\text{C}$  con la clorofila a, aquí se describe un decremento en la clorofila conforme se aleja de la costa, dando como resultado valores más negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  dentro de la zona oceánica. Teniendo en cuenta que los fenómenos de surgencia se llevan a cabo dentro de la franja costera y desencadenan un aumento en el fitoplancton preferencialmente durante la temporada fría del año; es probable que *C. falciformis* mantenga una preferencia por la zona oceánica debido a la posible estabilidad que se da en la misma; durante la temporada cálida presenta una mayor

diversidad, mientras que durante la temporada fría es mayor la abundancia de las presas lo que haría de la costa occidental de Baja California Sur una zona de alimentación adecuada para esta especie. Lo anterior explicaría el por qué en trabajos como el de Cabrera-Chávez-Costa (2003) encontramos valores similares a los encontrados en el presente estudio de  $\delta^{13}\text{C}$  a pesar de la diferencia de años.

Por otra parte, la similitud entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre temporadas (C: 17.77‰, F: 17.07‰) indican que los individuos se estuvieron alimentando de especies con niveles tróficos similares, sin embargo, las elipses obtenidas indicarían una alimentación en zonas distintas de acuerdo a la temporada, lo cual se ha reportado con anterioridad (Barranco-Servin, 2008; Barajas-Calderón, 2018). Es posible cotejar lo anterior con las presas obtenidas, ya que ítems como *P. planipes*, se mantuvieron durante ambas temporadas, lo que indicaría que durante la temporada cálida en tiburón piloto amplió su área de alimentación buscando estas mismas presas.

Lo anterior se refuerza al observar el nivel trófico, ya que durante la temporada cálida el tiburón sedoso presentó un nivel trófico de 3.7 y durante la temporada fría fue de 3.5. Esta diferencia en decimales se ve reflejada en la estrategia de alimentación, puesto que durante el periodo cálido se le catalogó como una especie generalista y en la temporada fría como especialista. Dentro de reportes anteriores, en periodos de temperaturas cálidas, el tiburón piloto se cataloga como un depredador con una estrategia de alimentación oportunista, ya que presenta un aporte homogéneo entre sus presas dentro del modelo de mezcla, lo que podría indicar condiciones adversas en el medio que propician que se alimente de una variedad más amplia de especies (Wetherbee et al., 1990; Cabrera-Chávez-Costa et al., 2010). Sin embargo, al tomar en cuenta la presencia principal de una sola especie de acuerdo al IRI y PSIRI, se mantiene la idea de que esta ampliación del espectro trófico durante la temporada cálida sería más característico de un depredador con una estrategia especialista facultativa, como se mencionó con anterioridad.

Si bien, ambientes con temperaturas más elevadas propician condiciones adecuadas para el desarrollo de diversas especies (Stevens, 1989), durante la temporada fría dentro

de la costa occidental de Baja California Sur se dan las surgencias, fenómeno que pone a disposición nutrientes que son aprovechados por los productores primarios, mismos que al proliferar sostienen a las poblaciones de niveles tróficos superiores (Rueda, 1983; De la Lanza-Espino, 2001). Estos patrones explican los cambios que ocurren en el nicho trófico del tiburón piloto a lo largo de las temporadas.

Si se observan las variaciones dentro de las temporadas frías analizadas, es posible determinar que las correspondientes al año 2010 y 2013 (considerando la tasa de recambio) muestran un traslape trófico alto, mientras que estas respecto a las encontradas en los años siguientes presentan un traslape trófico bajo. Lo anterior puede deberse a que las primeras temporadas registradas corresponden a años normales, mientras que las segundas pertenecen a años anómalos (NOAA, 2017).

Durante el año 2015 se reportaron anomalías importantes derivadas probablemente de la influencia del fenómeno de La Mancha y el ENSO, es en este mismo año donde se observa la amplitud de nicho trófico más estrecha (SEAc: 0.57), así como una alimentación de organismos de niveles tróficos más bajos, lo que podría ser consecuencia de las migraciones que realizaron algunas presas de esta especie debido a los cambios ambientales (Bond et al., 2015; Cavole et al., 2016).

Pensando en que fenómenos, como el actual calentamiento global, pueden llegar a influenciar las aguas en donde se distribuye esta especie, resulta necesario el considerar los posibles efectos que este tenga sobre el tiburón piloto. Dados los cambios observados en la abundancia y diversidad de presas entre temporadas, es posible hablar de una determinada plasticidad por parte del tiburón piloto, reforzando la idea de que esta especie puede ser catalogada como un especialista facultativo y permite pensar en una cierta resiliencia ante esta clase de cambios ambientales.

De acuerdo a lo anterior se esperaría que especies como este tiburón pudieran mantener sus poblaciones a través de estos cambios, sin embargo se vuelve necesario el considerar la sobreexplotación a la que se encuentra expuesta esta especie, la cual podría causar un decremento drástico en la población a pesar de su aparente resiliencia.

## Conclusiones

En general el espectro trófico de esta especie se encuentra conformado por 18 especies de teleósteos, ocho especies de cefalópodos y una especie de crustáceo. El grupo de los crustáceos es el más importante dentro de la dieta del tiburón piloto en la costa occidental de B.C.S. debido al alto consumo de langostilla.

El análisis de contenido estomacal indica como presas principales al grupo de los crustáceos y de los teleósteos. Sin embargo, el modelo de mezcla permitió determinar a los cefalópodos como el segundo grupo de mayor importancia para la alimentación del tiburón sedoso en la zona.

El tiburón piloto presenta un nicho trófico estrecho y una estrategia de alimentación especialista, debido al consumo de *P. planipes*, *A. lesueurii* y *Gonatus* sp.

El tiburón piloto presentó un nivel trófico de 3.6. De manera general es posible definir a *C. falciformis* como una especie que presenta diferentes estrategias de alimentación de acuerdo a la zona donde se encuentre, por lo que podría hablarse de un depredador oportunista a grandes rasgos, sin embargo, dentro del presente estudio observamos una marcada preferencia por una presa en específico, si consideramos reportes anteriores y en diversas partes del pacífico mexicano, podemos observar una tendencia por presas con mayor biomasa y una determinada estabilidad en cuanto a la temporalidad de estas especies, es por ello que, a criterio del autor, dentro de la costa occidental de Baja California Sur, se le podría catalogar como un depredador especialista facultativo.

Se encontraron diferencias significativas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  del grupo de los juveniles y adultos, denotando una segregación por estadio de madurez. Donde los adultos tienden a mantenerse en zonas más oceánicas; mientras los juveniles se encuentran cercanos a la costa.

La alimentación de este tiburón en la costa occidental de B.C.S. se ve influenciada por los cambios de temperatura que ocurren en su ambiente ya que durante épocas fría su nicho trófico se ve reducido y presenta hábitos especialistas; mientras en la temporada

cálida cambia su estrategia de alimentación, adaptándose a los cambios en el medio y las presas, dando una mayor amplitud de nicho trófico y comportándose como un depredador especialista u oportunista.

## Literatura citada

Alejo-Plata, M.C., Ahumada-Sempoal, M.A., Gómez-Márquez, J.L., y González-Acosta, A., Estructura poblacional y aspectos reproductivos del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) en la costa de Oaxaca, México, *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 2016, vol. 44, no. 3, pp.513-524.

Allcock, L., y Clarke, M., The CIAC Beak Database – Version 1.0. <http://www.cephbase.utmb.edu/beak/beak.cfm>, 2004, citado octubre 19, 2019.

Allen, G.R., y Robertson, D.R., *Fishes of the tropical eastern Pacific*, Hawaii: University of Hawaii, 1994.

Amundsen, P.A., Gabler, H.M., y Staldvik, F.J., A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data – modification of the Costello (1990) method, *J. of Fish Biol.*, 1996, vol.48, pp. 607-614.

Andrade-González, S.Z., Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* en el Océano Pacífico Oriental, Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2005.

Arkhipkin, A.I., Age and growth of the mesopelagic squid *Ancistrocheirus lesueurii* (Oegopsida: Ancistrocheiridae) from the central-east Atlantic based on statolith microstructure, *Mar. Biol.*, 1997, vol. 129, pp. 103–111.

Aurioles-Gamboa, D., Distribución y abundancia de la langostilla bentónica (*Pleuroncodes planipes*) en la plataforma continental de la costa occidental de Baja California, en *La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*, Aurioles-Gamboa D., y Balart, E., Eds., México: *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste*, 1995.

Barajas-Calderón, A.V., Ecología trófica de *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) en la costa sur de Jalisco, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2018.

Barranco-Servin, L.M., Hábitos alimenticios y nivel trófico del tiburón *Carcharhinus falciformis*, Muller & Henle 1841 (Elasmobranchii: Carcharhinidae) en el Golfo de Tehuantepec, México por medio del análisis del contenido estomacal e isótopos estables de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . Tesis de Maestría. Universidad del Mar, 2008.

Barratt, I., y Allcock, L., *Gonatus berryi*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T163342A1000192.en>., 2014, citado octubre 18, 2019.

Bearhop, S., Adams, C.E., Waldron, S., Fuller, R.A., y Macleod H., Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis, *J. Anim. Ecol.*, 2014, vol. 73, no. 5, pp. 1007-1012.

Bertalanffy, L.V., A quantitative theory of organic growth. *Hum. Biol.*, 1938, vol.10, no. 2, pp. 181-213.

Bizzarro, J.J., Smith, W.D., Hueter, R.E., Tyminski, J., Márquez-Farías, J.F., Castillo-Géniz, J. L., Cailliet, G.M., y Villavicencio-Garayzar, C.J., The status of shark and ray fishery resources in the Golf of California: Applied research to improve management and conservation, A report to the David and Lucile Packard Foundation, 2007.

Blanco-Parra, M.P., Galván-Magaña, F., Márquez-Farías, J.F., y Niño-Torres, C.A., Feeding ecology and trophic level of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, inferred from stable isotopes and stomach contents analysis, *Environ. Biol. Fish.*, 2011, vol 95, pp. 65–77.

Bond, N.A., Cronin, M.F., Freeland, H., y Mantua, N., Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 2015, vol. 42, pp. 3414–3420.

Bonfil, R., *Overview of world elasmobranch fisheries*. FAO Fish. Tech. 1994.

Brown S.C., Bizzarro, J.J., Cailliet, G.M., y Ebert, D.A., Breaking with tradition: redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896), *Environ. Biol. Fish.*, 2011, vol. 95, no. 1, pp. 3-20.

Brusca, R.C. Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California, Mexico. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 1980, vol. 100, pp. 231- 529.

Cabrera-Chávez-Costa, A.A., Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2003.

Cabrera-Chávez-Costa, A.A., Galván-Magaña, F., y Escobar-Sánchez, O., Food habits of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) off the western coast of Baja California Sur, México. *J. Appl. Ichthyol.*, 2010, vol. 26, pp. 499-503.

Caillet, G. M., Love, M.S., y Ebeling, A.W., *Fishes: a field and laboratory manual on their structure, identification and natural history*, California: Wadsworth Publishing Co., 1986.

Campana, S., Ferretti, F., y Rosenberg, A., Chapter 40. Sharks and Other Elasmobranchs en *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*, United Nations, Ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2016, pp. 781-788.

Castillo, G.L., Soriano, V.S.R., y Villaseñor, T.R., Pesquerías mexicanas de tiburón en el Océano Pacífico, en *Pesquerías Latinoamericanas*, Machii, T., y Flores, O.J., Eds., México: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2008, pp. 211- 241.

Castro, J.J. y Santana, A.T., *Synopsis of Biological data on the chub mackerel (Scomber japonicus Houttuyn, 1782)*. FAO Fish. Synop., 2000.

Cavole, L.M., Demko, A.M., Diner, R.E., Giddings, A., Koester, I., Pagniello, C.M.L.S., Paulsen, M.L., Ramirez-Valdez, A., Schwenck, S.M., Yen, N.K., Zill, M.E., y Franks, P.J.S., Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future, *Ocean.*, 2016, vol. 29, no. 2, pp. 273–285.

Cervantes-Duarte, R., Aguiñiga-García, S., y Hernandez-Trujillo, S., Upwelling conditions associated to the distribution of zooplankton in San Hipolito, BCS, *Cienc. Mar.*, 1993, vol. 19, pp. 117–135.

Cervantes-Gutiérrez, B.F.M., Edad y crecimiento de *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) en la zona oceánica del Pacífico Oriental Tropical, Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2013.

Chipps, S., y Garvey, J., en *Assessment of diets and feeding patterns*, Guy, C.S. y Brown, M.L., Eds., Maryland: American Fisheries Society, 2007, pp.473-514.

Christensen, V., y Pauly, D., The Ecopath II: A software for balancing steady-state models and calculating network characteristics, *Ecol. Model.*, 1992, vol. 61, pp. 169-185.

Cifuentes, L.J.L., y Torres, G.M.P., *Océano y sus recursos IX: La Pesca*, México: Fondo de cultura económica, 1989.

Clarke, M.R, The identification of cephalopod beaks and their relationship between beak size and total body weight, *Bull. British. Mus. (Nat. Hist.)*, 1962, vol. 10, pp. 422 – 480.

Clarke, M.R, *A handbook for the identification of cephalopod beaks*, Oxford: Clarendon, 1986.

Climate Prediction Center (CPC), What is El Niño? [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#NINO](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#NINO), 2012, citado septiembre 07, 2019.

Collette, B.B., y Nauen, C.E., FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date, *FAO Fish. Synop.* 1983, vol. 125, no. 2, pp. 137.

Colwell, K.R., Estimates Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. <http://purl.oclc.org/estimates>, 2019, citado septiembre 07, 2019.

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA), *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2017 de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca*, México: CONAPESCA, 2018.

Compagno, J.L.V., *FAO Species Catalogue. Vol. 4 Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species know to date. Parts 1 and 2*, FAO Fish. Synop., 1984, vol. 125, no. 4 (1 y 2), pp. 655.

CONAPESCA-INP, *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México*, México: Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2004.

Convention on International Trade in Endangered Species of wild fauna and flora (CITES), *Consideration of proposals for amendment of appendices i and ii*, CITES, 2016.

Costello, C., Ovando, D., Hilborn, R., Gaines, S.D., Deschenes, O., y Lester, S.E., Status and solutions for the world's unassessed fisheries, *Scien.*, 2012, vol. 338, no. 6106, pp. 517–520.

Curiel-Godoy, P., Ecología trófica de la raya guitarra *Pseudobatos productus* (Ayres, 1854) en Bahía Totugas, Baja California Sur, México, Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2017.

Davidson, L.N.K., Krawchuck, M.A., y Dulvy, N.K., Why have global shark and ray landings declined: improved management or overfishing?, *Fish Fish.*, 2015, vol. 17, pp. 438–458.

De la Lanza-Espino, M.G. *Características físico-químicas de los mares de México 1.9.1*, México: Instituto de Geografía, UNAM, 2001.

Del Moral–Flores, L.F., Morrone, J.J., Alcocer, D.J., Espinosa–Pérez, H., y Pérez–Ponce, L.G., Listado anotado de los tiburones, rayas y quimeras (Chondrichthyes, Elasmobranchii, Holocephali) de México, *Arx. Miscel. Zool.*, 2015, vol. 13, pp. 47–163.

Diamond, H.J., y Schreck III, C. J., The Tropics in State of the Climate in 2016, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2017, vol. 98, no. 8, pp. S93–S128.

Díaz-Ruiz, F., Ecología y gestión de depredadores generalistas: el caso del zorro (*Vulpes vulpes*) y la urraca (*Pica pica*). Tesis de doctorado, Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos (IREC-CSIC-UCLM-JCCM), Universidad de Castilla-La Mancha, 2014.

Duffy, L.M., Olson, R., Lennert-Cody, C., Galván-Magaña, F., Bocanegra-Castillo, N., y Kuhnert, P., Foraging ecology of silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, captured by the tuna purse-seine fishery in the eastern Pacific Ocean, *Mar. Biol.*, 2015, vol. 162, pp. 571–593.

Eriksson, H., y Clarke, S., Chinese market responses to overexploitation of sharks and sea cucumbers, *Biol. Conserv.*, 2015, vol. 184, pp. 163-173.

Estupiñán-Montaño, C., Ontogenia alimentaria de tres especies de tiburones pelágicos: *Alopias pelagicus*, *Carcharhinus falciformis* y *Prionace glauca* en la reserva marina de Galápagos, Ecuador, Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2016.

Estupiñán-Montaño, C., Pacheco-Triviño, F., Cedeño-Figueroa, L.G., Galván-Magaña, F., y Estupiñán-Ortiz, J.F., Diet of three shark species in the Ecuadorian Pacific, *Carcharhinus falciformis*, *Carcharhinus limbatus* and *Nasolamia velox*, *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom*, 2017, vol. 98, pp. 927–935.

Farrell, J.W., Pedersen, T.F., Calvert, S.E., y Nielsen. B., Glacial-interglacial changes in nutrient utilization in the equatorial Pacific, *Ocean. Nature*, 1995, vol. 377, pp. 514- 516.

Ferretti, F., Worm, B., Britten, G.L., Heithaus, M.R., y Lotze, H.K., Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean, *Ecol. Lett.*, 2010, vol. 13, pp. 1055–1071.

Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K.E., y Niem, V.H., *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro-Oriental*, Roma: FAO, 1995.

Flores-Ortega, J.R., Godínez-Domínguez, E., y González-Sansón, G., Ecología trófica de siete especies de batoideos (Batoidea) en el Pacífico Central Mexicano. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 2015, vol. 50, 512–533.

Fry, B., *Stable Isotope Ecology*, Springer, 2008.

Galindo-Rosado, M.A., Composición isotópica ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) durante el desarrollo ontogénico del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) en la zona oceánica del Pacífico Oriental Tropical, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinarios de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2014.

Galván, F., Nienhuis, H., y Klimley, P., Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico, *Calif. Fish Game.*, 1989, vol. 75, pp. 74–84.

Galván-Magaña, F., Polo-Silva, C., Hernández-Aguilar, S.B., Sandoval-Londoño, A., Ochoa-Díaz, M.R., Aguilar-Castro, N., Castañeda-Suárez, D., Chávez-Costa, A., Baigorri-Santacruz, A., Torres-Rojas, Y.E., y Abitia-Cárdenas, L.A., Shark predation on cephalopods in the Mexican and Ecuadorian Pacific Ocean, *Deep. Res. Part II*, 2013, vol. 95, pp. 52–62.

Galván-Tirado, C., Galván-Magaña, F., y Ochoa-Báez, R., Reproductive biology of the silky shark *Carcharhinus falciformis* in the southern Mexican Pacific, *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom*, 2015, vol. 95, no.3, pp. 561-567.

Garth, J.S., y Stephenson, W., Brachyura of the Pacific coast of America. Brachyrhyncha – Portunidae, *Allan Hancock Monogr. Mar. Biol.*, 1966, vol. 1, pp. 154.

Goñi-Godoy, G., y Galván-Magaña, F., Trophic ecology of the brown smooth hound shark *Mustelus henlei* (Gill, 1863) in Tortugas Bay, Baja California Sur, Mexico, Tesis de Maestría, Universidad de La Palmas de la Gran Canaria, 2017.

Granados, A.J., Calamares epiplanctónicos de la Costa Occidental de la península de Baja California, México, Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinarios de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2008.

Hoffmayer, E., y Parsons, G., Food Habits of Three Shark Species from the Mississippi Sound in the Northern Gulf of Mexico, *Southeast. Nat.*, 2003, vol. 2, no. 2, pp. 271-280.

Hoyos, M., Biología reproductiva del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (BIBRON, 1839) de Baja California Sur, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), 2003.

Hyslop, E., Stomach contents analysis – a review of methods and their application, *J. Fish. Biol.*, 1980, vol 7, pp. 411-429.

Jackson A.L., Parnell A.C., Inger R., y Bearhop, S., Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER –Stable Isotope Bayesian Ellipses in R, *J. Anim. Ecol.*, 2011, vol. 80, pp. 595-602.

Juárez, M., Sánchez A., y González-Yajimovich, O., Variability of marine biological productivity in the northeastern Pacific over the past millennium, *Cien. Mar.*, 2014, vol. 40, pp. 211–220.

Kim, S.L., y Koch, P.L., Methods to collect, preserve, and prepare elasmobranch tissues for stable isotope analysis, *Environ. Biol. Fish.*, 2011, vol. 95, pp. 53–63.

Krebs, C.J., *Ecología: Estudio de la distribución y la abundancia*. 2ª ed., México: Harla, 1985.

Landa-Jaime, V., Palomino, B., y Saucedo, M., First records of *Argonauta* spp. collected in the wild and as prey of larger pelagic in the Mexican Central Pacific, *Biodivers. Int. J.*, 2018, vol. 2, no. 4, pp. 347-349.

Logan, J.M., y Lutcavage, M.E., Stable isotope dynamics in elasmobranch fishes, *Hydrobiologia*, 2010, vol. 644, pp. 231–244.

López-Herrera, D.L., Caracterización de la energía de ingesta de *Istiophorus platypterus* (Shaw 1792) y *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758, a través de sus principales presas en la costa de Oaxaca, México, Tesis de Maestría, Universidad del Mar, 2015.

Lowe, G.C., Wetherbee, B.M., Crow, G.L., y Tester, A.L., Ontogenetic dietary shifts and feeding behavior of the tiger shark *Galeocerdo cuvier*, in Hawaiian waters, *Env. Biol. Fish.*, 1996, vol. 47, pp. 203–211.

Martínez, R., Zambrano, E., Nieto, J.J., Hernández, J., y Costa, F., Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investig. Geográficas*, 2017, vol. 68, pp. 65–78.

Martínez-Ayala, J.C., Ecología trófica del cazón mamon *Mustelus lunulatus* (Jordan & Gilbert, 1882) en la costa occidental de Baja California Sur, México, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, 2018.

Martínez-Porchas, M., Estudios de la distribución de la Sardina del pacífico *Sardinops sagax caeruleus* (Clupeiformes Clupeidae): historia, estado actual y perspectivas, *Univ. Cienc.*, 2012, vol. 28, pp. 285–300.

Medina, F.N., y Herranz, M.V., Uso de isótopos estables en investigaciones en ecología. *Ambiociencias.*, 2013, vol. 11, pp. 25-33.

Méndez Da Silveira, E.D., Composición Isotópica de carbono y nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) en tejidos de tiburones de la costa occidental de Baja California Sur, Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2015.

Mendizábal, J., y Oriza, D., Biología reproductiva, crecimiento, mortalidad y diagnóstico de *Alopias vulpinus* (tiburón zorro) y *Carcharhinus limbatus* (tiburón volador) de la boca del Golfo de California al Golfo de Tehuantepec (período 1986-1987), Tesis de Maestría, Fac. de Ciencias, UNAM, 1995.

Meza-Figueroa, M.E., Consecuencias Biológicas del ENSO en el Pacífico Occidental, Tesis de maestría, Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2013.

Miller, J.D., y Lea, N.R., Guide to the Coastal Marine Fishes of California, *Fish. Bull.*, 1972, vol. 157, pp. 249.

Miller, T.W., Brodeur, R.D., y Rau, G.H., Carbon stable isotopes reveal relative contribution of shelf-slope production to the northern California Current pelagic community. *Limnol. Oceanogr.*, 2008, vol. 53, pp. 1493–1503. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.4.1493>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), NOAA's Climate Change Web Portal. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/ipcc/ocn>, 2016, citado noviembre 08, 2018.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), PSD Map Room Climate Products- Sea Surface Temperature (SST). <https://www.esrl.noaa.gov/psd/map/clim/sst.shtml>, 2017, Citado agosto 17, 2017.

NEO (NASA Earth Observations), Sea Surface Temperature (One Month Aqua/MODIS). <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MYD28Myyear=2015>, 2018, citado mayo 16, 2018.

Newsome, S.D., Martinez del Río, C., Bearhop, S., y Phillips, D.L., A niche for isotopic ecology, *Front. Ecol. Environ.*, 2007, vol. 5, pp. 429-436.

Niño-Torres, C.A., Gallo-Reynoso, J.P., Galván-Magaña, F., Escobar-Briones, E., y Macko, S.A., Isotopic Analysis de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  "A Feeding Tale" in teeth of the longbeaked common dolphin, *Delphinus capensis*, *Mar. Mam. Sci.*, 2016, vol. 22, no.4, pp. 831-846.

Oliver, S., Braccini, M., Newman, S.J., y Harvey, E.S., Global patterns in the bycatch of shark and rays, *Mar. Poli.*, 2015, vol. 54, pp. 86-97.

Olvera-Limas, R.M., García, B.J.A., Cerecedo, B.J.L., y Sánchez, R.R., Distribución y abundancia de las larvas de Melva *Auxis thazard* y de Barrilete negro *Euthynnus lineatus* (Pisces, Scombridae) y biomasa reproductora de la Melva *A. thazard* en el Pacífico Oriental Mexicano, *Cien. Pesq.*, 1990, vol. 7, pp. 59-80

Palomares, M.L.D., y Pauly, D., SeaLifeBase. World Wide Web publication. [www.sealifebase.org](http://www.sealifebase.org), 2018, citado febrero 09, 2019.

Park, R., y Epstein, S., Metabolic Fractionation of C<sup>13</sup> and C<sup>12</sup> in plants, *Plant Physiol.*, 1961. 36: 133-138.

Pinkas, L., Oliphant, M.S., y Iverson, L.K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters, *Fish. Bull.*, 1971, vol. 152, pp. 105.

Pazmiño, N., y Santana, E., Plataforma continental de Ecuador, *Act. Ocean. Pacific.*, vol. 13, no. 1, pp. 257-269.

Post, D.M., Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions, *Ecol.*, 2002, vol. 83, pp. 703-718.

Ramírez, G.A. *Ecología: métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. 2006.

Rigby, C.L., Sherman, C.S., Chin, A., y Simpfendorfer, C., *Carcharhinus falciformis*. The IUCN Red List of Threatened Species. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T39370A117721799.en>, 2017, citado mayo 16, 2018.

Ríos-Díaz-Barriga, L.E., Metabolismo rutinario de la langostilla *Pleuroncodes planipes* en relación a la distribución y abundancia en la costa occidental de Baja California Sur, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 1994.

Robertson, D R., y Allen, G.R., *Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea. Versión 2.0*, República de Panamá: Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, 2015.

Robinson, C.J., Anislado, V., y López, A., The pelagic red crab (*Pleuroncodes planipes*) related to active upwelling sites in the California Current off the west coast of Baja California, *Deep. Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 2004, vol. 51, pp. 753–766.

Rodríguez-Romero, J., Álvarez-Bauman, E., Ochoa-Díaz, M.R., López-Martínez, J., Maldonado-García, M., Hábitos alimentarios de *Mustelus henlei* en la costa Occidental de Baja California Sur, México., *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 2013, vol. 48, pp. 261–271. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000200006>

Rojas, J.R., Análisis de las amenazas e implicaciones del cambio climático sobre los tiburones, *Rev. Ciencias Ambient.*, 2012, vol. 44, pp. 33.

Rosas, L.R., y Andrade, L.P., Isotopos estables de nitrógeno y carbono para entender la ecología trófica de los organismos marinos, *Bol. la Asoc. Argentina Malacol.*, 2015, vol. 4, pp. 19–22.

R Studio Team, RStudio: Integrated Development for R. RStudio, <http://www.rstudio.com/>, citado noviembre 11, 2019.

Rueda, S.F., La precipitación como indicador de variación climática en la Península de Baja California y su relación dendrocronológica, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, 1983.

Ruíz-Pérez, N.E., Cerdenares-Ladrón, G.G., López-Herrera, D.L., y Altamirano-Ramírez, I.R., Relaciones tróficas entre cinco especies de peces pelágicos que cohabitan en las costas de Oaxaca, México, *Hidrobiología.*, 2016, vol. 26, no. 1, pp. 77-85.

Sánchez-De Ita, J.A., Quiñónez-Velázquez, C., Galván-magaña, F., Bocanegra-Castillo, N., y Félix-Uraga, R., Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the west coast of Baja California Sur, Mexico, *J. Appl. Ichthyol.*, 2011, vol. 27, pp. 20–24.

Serrano, G.L., Efectos del cambio global en la estructura trófica de los humedales a través del uso de isótopos estables, Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 2015.

SISTATSoftware, SigmaPlot, [https://systatsoftware.com/wp-content/uploads/sw/sigmaplot\\_14\\_brochure.pdf](https://systatsoftware.com/wp-content/uploads/sw/sigmaplot_14_brochure.pdf), citado noviembre 11, 2017.

Stevens, G. C. 1989. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species co-exist in the tropics. *Am. Nat.*, vol. 133, 240– 256.

Stillwer, C.E., y Kohler, N.E., Food, Feeding habits and Estimates of Daily Ration of the Shortfin Mako (*Isurus oxyrinchus*) in the Northwest Atlantic. *Can. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, vol. 39, pp. 407–414.

Stock, B.C., y Semmens B.X. MixSIAR GUI User Manual. Versión 3.1. <https://github.com/brianstock/MixSIAR>. doi:10.5281/zenodo.56159, 2016, citado mayo 03, 2019.

Tavares, R., Alimentación de *Carcharhinus limbatus* (Valenciennes, 1839) (Pisces: Carcharhinidae) y datos sobre la dieta de otras especies de tiburones presentes en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Tesis de licenciatura, Universidad de Lisboa, 1997.

Thomson, D. A., Findley, L.T., y Kerstitch, A.N., *Reef fishes of the Sea of Cortez*, New York: John Wiley and Sons, 1979.

Torres-Ariño, A., Composición temporal del fitoplancton en ambiente de arrecife costero en el sureste de la Península de Baja California, en Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur, Pérez-Ramírez, M., y Lluch-Cota, E.S., Eds., México: CIBNOR, 2012, pp. 122-144.

Vázquez-Moreno, R.A., Ecología trófica de la guitarra bandeada *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) en el área de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México, Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), 2018.

Venrick E., Bograd, S.J., Checkley, D., Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., Hunter, J., Huyer, A., Hyrenbach, K.D., Lavaniegos, B.E., Mantyla, A., Schwing, F.B., Smith, R.L., Sydeman, W. J., Wheeler, P. A., The state of The California Current, 2002-2003: Tropical and subarctic influences vie for dominance. *CalCOFI Reports*, 2003, vol. 44, pp. 45p.

Wetherbee, B., Gruber, S., y Cortes, E., Diet, feeding habits, digestion and consumption in sharks, with special reference to the lemon shark, *Negaprion brevirostris*, en *Elasmobranchs as living resources: advances in the Biology, Ecology, Systematics and the status of the Fisheries*, Pratt Jr, H.L., Gruber, S.H., y Taniuchi, T., Eds., Washington: NOAA Tech. Rep., vol. 90, pp. 29–47.

Whitehead, P.J.P., FAO Species Catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeioidi). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines,

pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings., *FAO Fish. Synop.*, 1985, vol. 125, no. 7/1, pp. 1-303.

Wolff, C.A., A beak key for eight eastern tropical Pacific cephalopods species, with relationship between their beak dimensions and size, *Fish. Bull.*, 1982, vol. 80, no. 2, pp. 357–370.

Wolff, C. A., Identification and estimation of size from the beaks of eighteen species of cephalopods from the Pacific Ocean, *NOAA Tech. Rep.*, 1984, pp. 17–50.

**ANEXO 1**

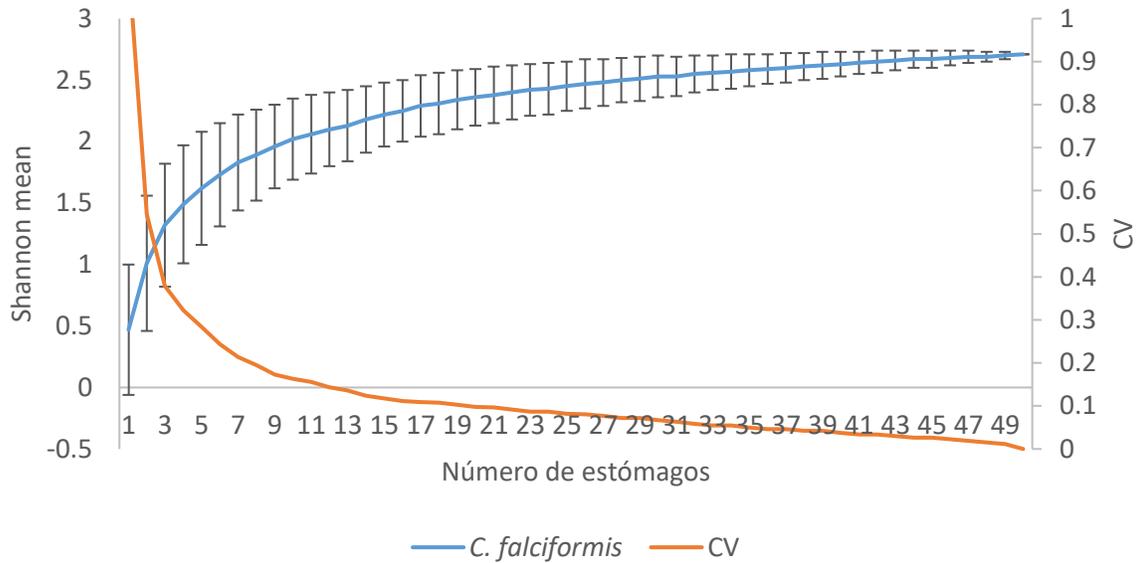


Figura 1. Curva de acumulación general para *Carcharhinus falciformis* en Punta Lobos, Baja California Sur en el periodo de 2013-2016. El coeficiente de variación alcanzó valores de CV <0.05 a partir del estómago 32.

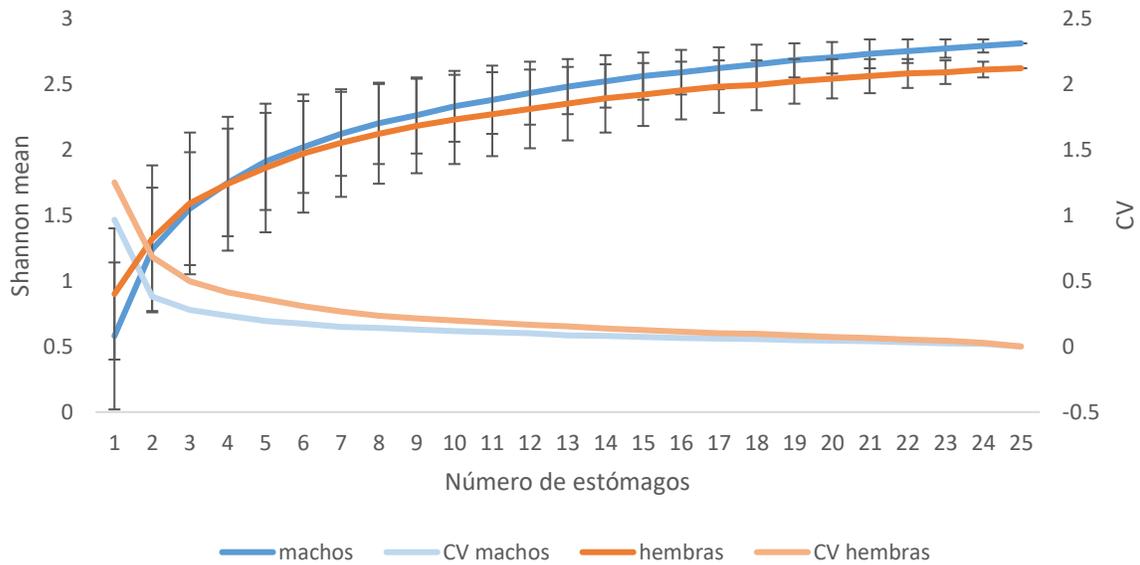


Figura 2. Curvas de acumulación de las hembras y machos de *Carcharhinus falciformis* obtenidos en Punta Lobos, Baja California Sur. Las asíntotas fueron alcanzadas en el estómago 18 para los machos y 22 para las hembras.

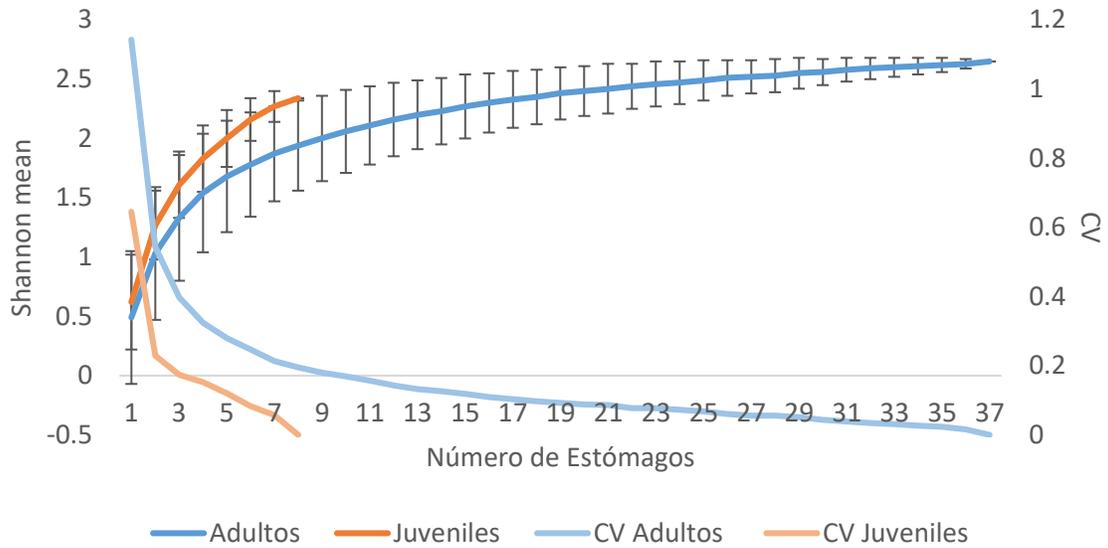


Figura 3. Curvas de acumulación de juveniles y adultos encontrados para *Carcharhinus falciformis* en Punta Lobos durante los años de muestreo.

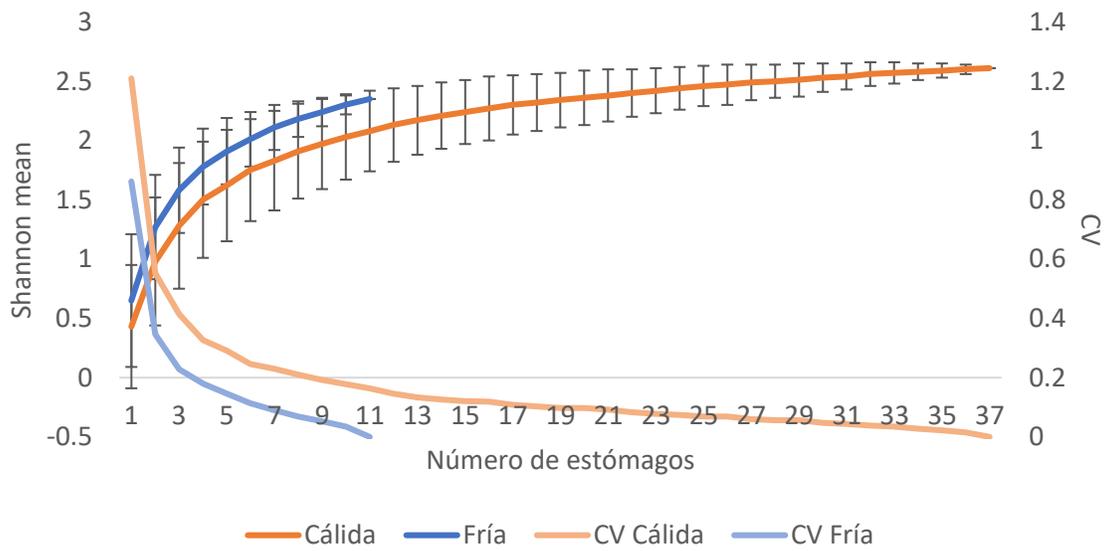


Figura 3. Curvas de acumulación de temporada cálida y fría encontrados para *Carcharhinus falciformis* en Punta Lobos durante los años de muestreo.

ANEXO 2

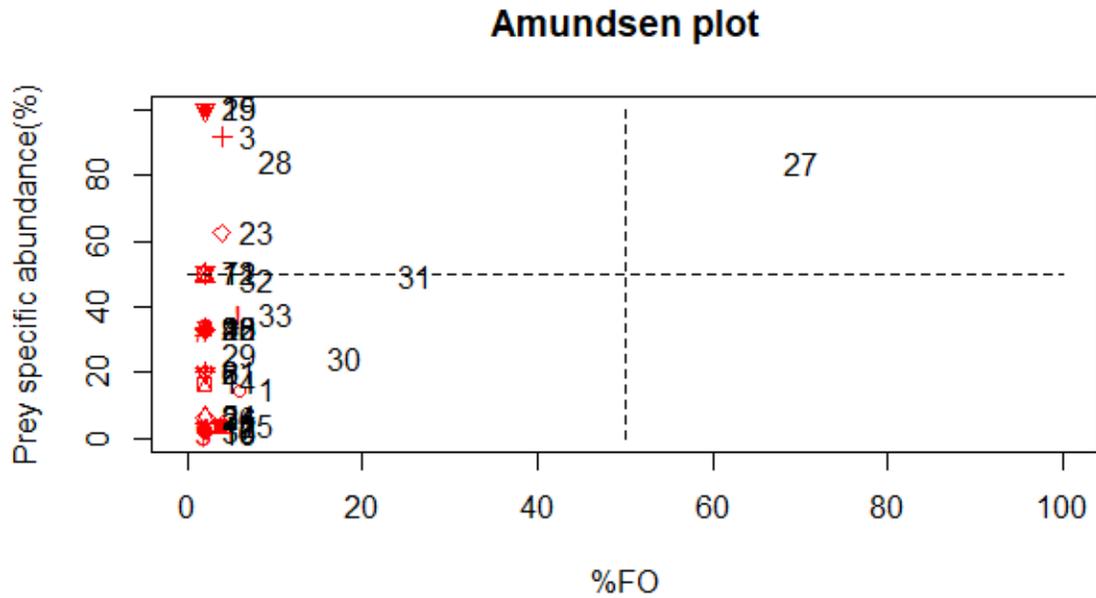


Figura 4. Diagrama Amundsen general para *Carcharhinus falciformis*, en Punta Lobos, Baja California Sur, México.

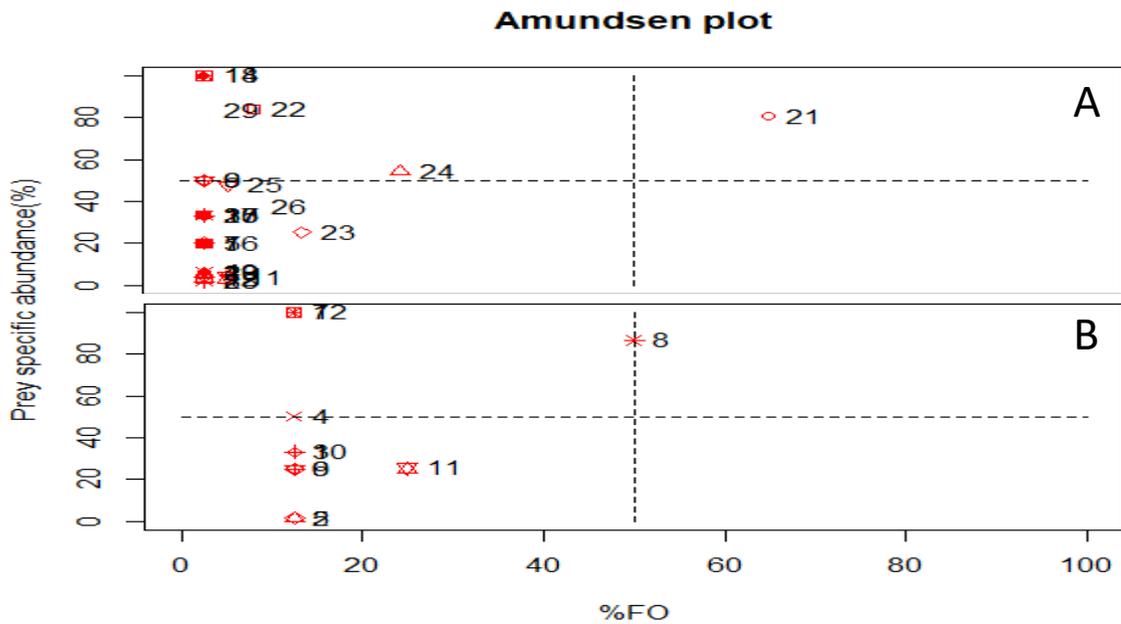


Figura 5. Diagrama Amundsen de machos (A) y hembras (B) de *Carcharhinus falciformis*, en Punta Lobos, Baja California Sur, México.

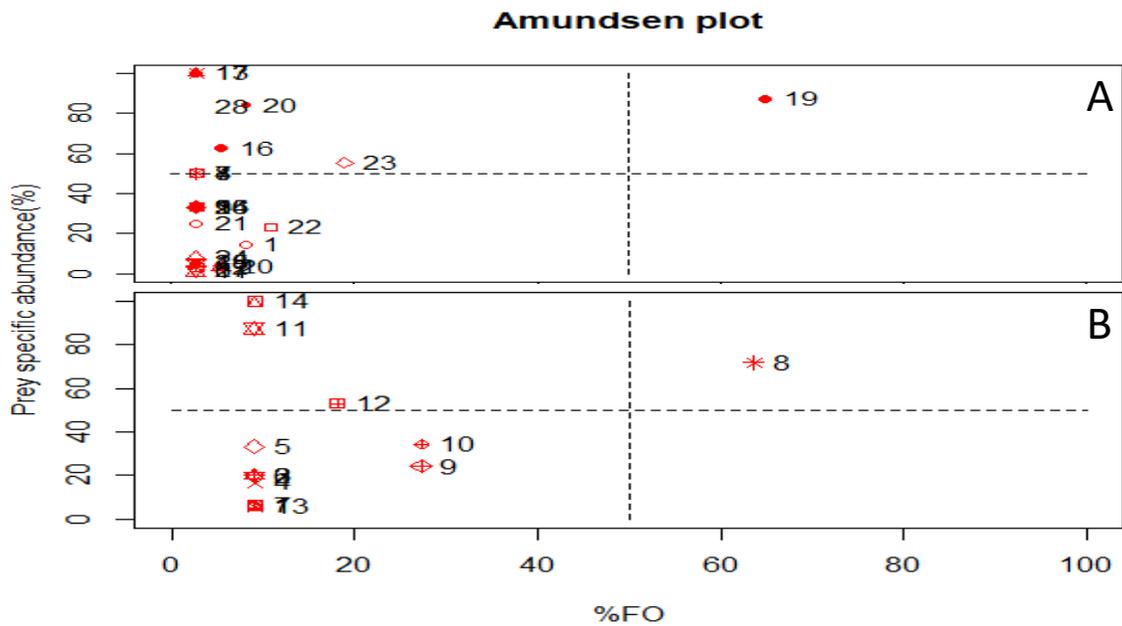


Figura 6. Diagrama Amundsen por estadio de madurez: Adultos (A) y Juveniles (B), de *Carcharhinus falciformis*, en Punta Lobos, Baja California Sur, México.

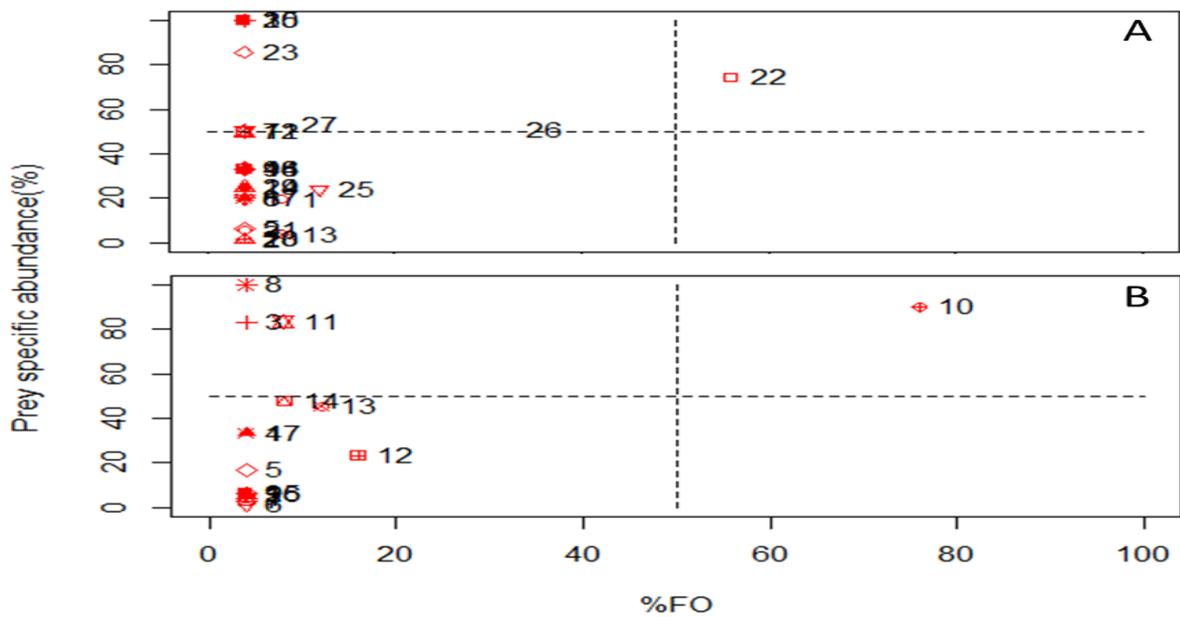


Figura 7. Diagrama Amundsen por estadio temporada: Cálida (A) y Fría (B), de *Carcharhinus falciformis*, en Punta Lobos, Baja California Sur, México.