



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**ECOLOGÍA TRÓFICA DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna*
zygaena (LINNAEUS, 1758) EN DOS ZONAS DE LA COSTA
OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.**

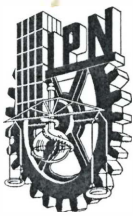
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

LUIS ENRIQUE SOLIS HEREDIA

LA PAZ, B.C.S., 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

La Paz, B.C.S., a 11 de MAYO del 2022

El Colegio de Profesores de Posgrado de CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS en su Sesión
(Unidad Académica)

ORDINARIA No. 0-356-22 celebrada el día 11 del mes MAYO de 2022 conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	SOLIS	Apellido Materno:	HEREDIA	Nombre (s):	LUIS ENRIQUE
-------------------	-------	-------------------	---------	-------------	--------------

Número de registro: A 2 0 0 6 2 3

del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna zygaena* (Linneaus, 1758) EN DOS ZONAS DE LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Objetivo general del trabajo de tesis:

Determinar la ecología trófica del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* a partir del contenido estomacal (CE) y el análisis de isótopos estables (AIE) en la costa occidental de Baja California Sur, México.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: DR. ARTURO TRIPP VALDEZ

2° Director: DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

No aplica: ☐

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

EL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS - IPN

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

DR. ARTURO TRIPP VALDEZ

2° Director de Tesis (en su caso)

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

Aspirante

BÍOL. LUIS ENRIQUE SOLIS HEREDIA

Presidente del Colegio

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14
REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.,** siendo las **12:00** horas del día **3** del mes de **Junio** del **2022** se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: **CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS** para examinar la tesis titulada:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna zygaena* (Linneaus, 1758) EN DOS ZONAS DE LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	SOLIS	Apellido Materno:	HEREDIA	Nombre (s):	LUIS ENRIQUE
-------------------	-------	-------------------	---------	-------------	--------------

Número de registro:

A 2 0 0 6 2 3

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene **17** % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI** ☐ **NO** ☒ **SE** ☒ **INSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

EL MAYOR PORCENTAJE DE SIMILITUD SE ENCUENTRA EN LA METODOLOGÍA Y LOS ANTECEDENTES DEL TRABAJO, TODO LO CUAL SE ENCUENTRA DEBIDAMENTE CITADO

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** ☒ **SUSPENDER** ☐ **NO APROBAR** ☐ la tesis por **UNANIMIDAD** ☒ o **MAYORÍA** ☐ en virtud de los motivos siguientes:

"SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES"

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

DR. ARTURO TRIPP VALDEZ
Director de Tesis
Nombre completo y firma

DR. LEONARDO ANDRÉS ARISTA CÁRDENAS
Nombre completo y firma

DR. FERNANDO RICARDO ELORRIAGA VERPLANCKEN
Nombre completo y firma

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
Director de Tesis
Nombre completo y firma

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS
Nombre completo y firma

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO
Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

**I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN**

NOMBRE DEL TRABAJO

Maestría TESIS con figuras.docx

AUTOR

Luis Enrique Solis Heredia

RECUENTO DE PALABRAS

13108 Words

RECUENTO DE CARACTERES

69439 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

65 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

780.0KB

FECHA DE ENTREGA

Jun 3, 2022 11:29 AM GMT-6

FECHA DEL INFORME

Jun 3, 2022 11:34 AM GMT-6**● 17% de similitud general**

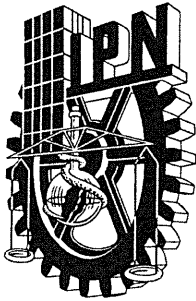
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 17 del mes de Junio del año 2022

El (la) que suscribe BIÓL. LUIS ENRIQUE SOLIS HEREDIA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A200623 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. ARTURO TRIPP VALDEZ y DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ECOLOGÍA TRÓFICA DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758)

EN DOS ZONAS DE LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las

siguientes dirección(es) de correo: Luiseh23@gmail.com - atripv@ipn.mx - fgalvan@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

BIÓL. LUIS ENRIQUE SOLIS HEREDIA

Nombre completo y firma autógrafa del (de la) estudiante

Dedicatoria

A mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A mi hermana por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Agradecimientos

Al Dr. Felipe Galván por aceptarme en su equipo de trabajo desde el 2016 cuando inicie este viaje marino hace 6 años, sin duda alguna un grande!

Al Dr. Arturo Tripp que me acepto bajo su tutela para esta investigación y no se rindió conmigo a pesar de todo, quien me apoyo y guío hasta el último momento, sin usted este trabajo no estuviera realizado, muchas gracias.

Al comité tutorial por aceptarme contra el tiempo y por su guía a lo largo de la maestría.

Al CICIMAR por abrirme las puertas de la institución y darme la oportunidad de realizar mi investigación en sus laboratorios.

A CONACyT y BEIFI por el apoyo económico para realizar esta maestría.

A Magui por enseñarme que a veces se necesita ver las cosas desde otro punto de vista, gracias por los viajes y tu compañía.

A todos mis compañeros y amigos de la maestría de la generación Covid, en especial a Stephy, Pancho, Chabys, Vladimir, Perla, Claudia y Jasivi por haber estado siempre al pie del cañón para la maestría y los chismes, ¡¡¡ Muchas gracias !!! , sin ustedes la maestría no hubiera sido lo mismo.

A mis roomies Checo, Pancho y Stephy quienes me apoyaron siempre en los momentos difíciles y me ayudaron a seguir adelante en los momentos más difíciles.

Al team intrépidos, Checo, Abel, Viri, Andrea, Imanol, Mariana, Mafe, Isis, Walter y Felipe con quienes pase muchos momentos agradables en la playa con nuestras bebidas refrescantes.

A todos aquellos que en algún momento se cruzaron en mi camino durante todo este trayecto Polanco, Citlali, Zaira, Elka, Nicole, Carlos, Jean, Majo, Rodrigo, Valeria, Sarai, muchas gracias a todos.

ÍNDICE

Índice de figuras.....	I
Índice de tablas	III
Glosario.....	IV
Resumen	V
Abstract.....	VI
1. Introducción	1
2. Antecedentes	6
3. Justificación	8
4. Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
5. Material y métodos	10
Zona de estudio.....	10
Bahía Tortugas.....	10
Punta Lobos	10
Trabajo de Campo.....	11
Trabajo de laboratorio	12
Contenido estomacal.....	12
Análisis de datos.....	13
Contenido estomacal.....	13
Curvas De Diversidad Acumulativa	13
Análisis Cuantitativo	14
Índices Ecológicos.....	15
Índice de Levin	15
Posición trófica.....	16
Isótopos estables.....	16
Amplitud y traslapo trófico	17
Modelo de mezcla	17
Posición trófica.....	18
6. Resultados	19
Intervalos de tallas.....	19
Contenido estomacal.....	20

Espectro trófico general.....	21
Espectro trófico entre zonas	24
Bahía Tortugas por sexos.....	25
Punta Lobos por sexos	26
Punta Lobos por estadios de madurez	27
Isótopos estables.....	28
Análisis isotópico de nitrógeno y carbono en músculos.....	28
Análisis isotópico por zonas	29
Bahía Tortugas por sexos.....	31
Punta Lobos por sexos	32
Punta Lobos por estadios de madurez	34
Modelo de mezcla (SIMMR).....	36
Posición trófica.....	40
7. Discusión.....	41
8. Conclusiones	50
9. Literatura citada.....	51

Índice de figuras

Figura 1. Vista ventral de la cabeza del tiburón <i>Sphyrna zygaena</i> . (Imagen modificada de Shark Trust, 2010).	2
Figura 2. Ilustración del tiburón <i>Sphyrna zygaena</i> . (Imagen modificada de Shark Trust, 2010).	3
Figura 3. Distribución mundial de <i>Sphyrna zygaena</i> (Modificado de Compagno, 1984).	4
Figura 4. Sitios de muestreo: campamento pesquero de Bahía Tortugas (A) y Punta Lobos (B).	11
Figura 5. Distribución de frecuencia de tallas en cm de <i>Sphyrna zygaena</i> analizados.	19
Figura 6. Distribución de frecuencia de tallas en cm de <i>Sphyrna zygaena</i> utilizados para el análisis de isótopos estables.	20
Figura 7. Curva de diversidad acumulada para el contenido estomacal de <i>Sphyrna zygaena</i>	21
Figura 8. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales dentro de la dieta general de <i>Sphyrna zygaena</i>	24
Figura 9. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales en la dieta de <i>Sphyrna zygaena</i> para las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos.	25
Figura 10. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para hembras y machos de <i>Sphyrna zygaena</i> en la zona de Bahía Tortugas.	26
Figura 11. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para hembras y machos de <i>Sphyrna zygaena</i> en la zona de Punta Lobos.	27
Figura 12. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para adultos y juveniles de <i>Sphyrna zygaena</i> en la zona de Punta Lobos.	28

Figura 13. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de <i>Sphyrna zygaena</i> para las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos.	29
Figura 14. Amplitud y traslapo trófico entre zonas de tiburones de <i>Sphyrna zygaena</i>	30
Figura 15. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de <i>Sphyrna zygaena</i> para hembras y machos de Bahía tortugas.	31
Figura 16. Amplitud y traslapo trófico de hembras y machos de <i>Sphyrna zygaena</i> en Bahía Tortugas.....	32
Figura 17. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de <i>Sphyrna zygaena</i> para hembras y machos de Punta Lobos.	33
Figura 18. Amplitud y traslapo trófico entre hembras y machos de tiburones de <i>Sphyrna zygaena</i> en la zona de Punta Lobos.....	34
Figura 19. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de <i>Sphyrna zygaena</i> para adultos y juveniles de Punta Lobos.	35
Figura 20. Amplitud y traslapo trófico entre adultos y juveniles de tiburones de <i>Sphyrna zygaena</i> en la zona de Punta Lobos.....	36
Figura 21. Boxplot que muestra la proporción de aporte de cada una de las presas a la dieta de <i>Sphyrna zygaena</i> a partir del modelo de mezcla para la costa occidental de B.C.S. México.....	37
Figura 22. Proporción de la contribución de las principales fuentes presa al tiburón <i>Sphyrna zygaena</i> a partir del modelo de mezcla para las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos.	38
Figura 23. Proporción de la contribución de las principales fuentes presa al tiburón <i>Sphyrna zygaena</i> por estadios de madurez en la zona de Punta Lobos.....	39

Índice de tablas

Tabla I. Valores de curvas de diversidad acumuladas para <i>Sphyrna zygaena</i> por categorías.	20
Tabla II. Composición de la dieta de <i>Sphyrna zygaena</i> en la costa occidental de B.C.S. por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%W), porcentaje de peso presa-específico (%PW) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).	22
Tabla III. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en músculo de <i>Sphyrna zygaena</i> por categorías: zonas, sexos y estadios de madurez.	29
Tabla IV. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en presas obtenidas en contenidos estomacales.	37
Tabla V. Niveles tróficos a partir del $\delta^{15}\text{N}$ en músculos de <i>Sphyrna zygaena</i> por categorías.	40

Glosario

Corriente marina: Las corrientes marinas se dividen en corrientes marinas inducidas por viento, que afectan los primeros 100 m de la columna de agua, y corrientes inducidas por cambios en la densidad (cambios termo-halinos). Transporte neto a lo largo de una trayectoria específica.

Depredador especialista: Organismo que utiliza un número bajo de recursos y que tiene preferencia por algunos en particular (Gerking, 1994).

Depredador generalista: Organismo que incluye en su dieta una variedad de recursos que se encuentran disponibles en el hábitat (Gerking, 1994).

Depredador tope: Organismo que está en el ápice de la red trófica.

Desnitrificación: Nitrato (NO_3^-) es reducido por bacterias heterótrofas a nitrógeno molecular (N_2) en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico.

Enriquecimiento isotópico: Incremento en la señal isotópica como resultado de la discriminación del isótopo pesado sobre el ligero por diferentes procesos físicos y biológicos.

Espectro trófico: Total de componentes alimentarios de la dieta de un organismo (Day *et al.* 1989).

Nitrificación: Proceso por el cual el amonio (NH_4^+) es oxidado por bacterias autótrofas a nitrato (NO_3^-) en presencia de oxígeno y carbono inorgánico.

Surgencias: Procesos oceanográficos caracterizados por el ascenso de aguas subsuperficiales con alto contenido de nutrientes (Barnes y Mann, 1998).

Isótopos: Término químico empleado para definir a los átomos (estables o inestables) del mismo elemento con el mismo número de protones (Z^+) y electrones (e^-) pero diferente número de neutrones (N).

Resumen

El tiburón martillo *Sphyrna zygaena* habita en zonas costeras y oceánicas y actualmente se encuentra en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN como vulnerable. Los estudios entre depredador–presa nos permiten entender las interacciones ecológicas en los hábitats marinos. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es determinar la ecología trófica del tiburón *S. zygaena* a partir del contenido estomacal (CE) y el análisis de isótopos estables (AIE) en dos zonas de la costa occidental de Baja California Sur, México. Se analizaron un total de 136 tiburones capturados en áreas cercanas a Punta Lobos y Bahía Tortugas, de los cuales 120 presentaron contenido estomacal. Se registraron 53 ítems presa de los cuales 35 fueron peces, 14 cefalópodos, 2 crustáceos, un mamífero marino y un quelonio. De acuerdo con el Índice de importancia de presa específica (%PSIRI) las presas más importantes fueron los calamares *Ancistrocheirus lesueurii* (17.15%), *Dosidicus gigas* (13.97%) y peces del género *Synodus* spp. (9.04%). El AIE a partir de los músculos obtenidos de *S. zygaena* en Bahía Tortugas mostro valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$: -16.81 ± 0.64 ‰ y $\delta^{15}\text{N}$: 17.65 ± 1.18 ‰, mientras que para Punta Lobos los valores correspondieron a $\delta^{13}\text{C}$: -16.42 ± 0.58 ‰ y $\delta^{15}\text{N}$: 18.16 ± 1.91 ‰. De acuerdo con el análisis de SIBER se encontraron nichos isotópicos similares entre sexos para la zona de Bahía Tortugas, mientras que por estadios de madurez para la zona de punta lobos se observó un aumento en el nicho isotópico de los adultos con respecto a los juveniles debido al desplazamiento migratorio que tienen los tiburones de esta especie. Adicionalmente se determinó que los tiburones capturados en Bahía Tortugas y Punta Lobos tienen una sobreposición trófica baja del 29% entre ambas zonas y de acuerdo con la varianza de los datos una amplitud de nicho de tendencia generalista. La posición trófica obtenida a partir de CE fue $PT = 4.36 \pm 0.39$, mientras que con el $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo PT : 4.65 ± 0.39 , ambos correspondientes a un depredador terciario.

Palabras clave: Contenido estomacal, depredadores tope, isótopos estables.

Abstract

The smooth hammerhead shark *Sphyrna zygaena* inhabits coastal and oceanic areas and is currently listed as vulnerable on the IUCN Red List of Threatened Species. Predator-prey studies allow us to understand ecological interactions in marine habitats. Therefore, the objective of this work is to determine the trophic ecology of the shark *S. zygaena* from stomach contents (SC) and stable isotope analysis (SIA) in two areas of the west coast of Baja California Sur, Mexico. A total of 136 sharks caught in areas near Punta Lobos and Bahía Tortugas were analyzed, of which 120 showed stomach contents. A total of 53 prey items were recorded, of which 35 were fish, 14 were cephalopods, 2 were crustaceans, 1 was a marine mammal and 1 was a chelonian. According to the prey-specific prey importance index (%PSIRI) the most important prey items were squid *Ancistrocheirus lesueurii* (17.15%), *Dosidicus gigas* (13.97%) and fish of the genus *Synodus* spp. (9.04%). The AIE from muscles obtained from *S. zygaena* in Tortugas Bay showed average values of $\delta^{13}\text{C}$: -16.81 ± 0.64 ‰ and $\delta^{15}\text{N}$: 17.65 ± 1.18 ‰, while for Punta Lobos the values corresponded to $\delta^{13}\text{C}$: -16.42 ± 0.58 ‰ and $\delta^{15}\text{N}$: 18.16 ± 1.91 ‰. According to the SIBER analysis, similar isotopic niches were found between sexes for the Bahía Tortugas area, while by maturity stages for the Punta Lobos area, an increase in the isotopic niche of adults with respect to juveniles was observed due to the migratory displacement of sharks of this species. Additionally, it was determined that the sharks captured in Tortugas Bay and Punta Lobos have a low trophic overlap of 29% between both zones and, according to the variance of the data, a niche amplitude with a generalist tendency. The trophic position obtained from CE was $\text{PT} = 4.36 \pm 0.39$, while with the $\delta^{15}\text{N}$ we obtained PT : 4.65 ± 0.39 , both corresponding to a tertiary predator.

Key words: Stomach contents, top predators, stable isotopes.

1. Introducción

Los peces condricios (tiburones, rayas y quimeras) se distribuyen en todos los océanos del mundo, habitando un amplio intervalo de profundidades, desde zonas someras hasta zonas oceánicas (Compagno, 1990). Con casi 375 especies vivas, los tiburones son considerados uno de los grupos evolutivamente más exitosos por su adaptación a una amplia variedad de hábitats. A pesar de esto, existe escasa información disponible para algunas especies que son explotadas comercialmente, principalmente sobre su biología básica (García-Núñez, 2008).

Por otra parte, los tiburones representan el 2.5% de la producción pesquera del país (Castillo-Géniz; Márquez-Farías, 1993), en donde la pesquería dirigida a los tiburones presenta un valor bajo en relación con otras pesquerías comerciales, siendo esta razón por la que no se le ha dado la prioridad en investigaciones y gestión pesquera (Lack y Sant, 2006).

Además, la mayoría de los tiburones de gran tamaño son considerados como depredadores tope, ocupando el nivel superior de las cadenas tróficas marinas (García-Núñez, 2008), por lo que a diferencia de otros recursos pesqueros y niveles tróficos inferiores que soportan una intensa explotación comercial, las poblaciones de tiburones son disminuidas con facilidad debido a que presentan una madurez tardía, fecundidad baja y periodos de gestaciones muy largas (Musick, 1999), estas características hacen que las poblaciones de tiburones sean considerablemente sensibles a la sobreexplotación (Bonfil, 1994).

Es importante resaltar también, que la demanda comercial internacional de tiburones ha crecido en años recientes, ocasionando una explotación ascendente para algunas especies, tan solo entre el periodo de 1990 y 2003 la captura declarada de tiburones tuvo una creciente del 20% y las explotaciones de sus productos se duplicaron (Lack y Sant, 2006). En cuanto a los tiburones conocidos como “cornudas”, pertenecientes a la familia Sphyrnidae, son un grupo que se captura frecuentemente por medios de palangres, redes superficiales y de fondo (Vannuccini, 1999).

La clasificación de la familia Sphyrnidae del orden Carcharhiniformes, comprende dos géneros: *Eusphyrna* con una especie (*Eusphyrna blochii*) y *Sphyrna* con ocho especies a nivel mundial (*Sphyrna corona*, *Sphyrna couardi*, *Sphyrna lewini*, *Sphyrna media*, *Sphyrna mokarran*, *Sphyrna tiburo*, *Sphyrna tudes* y *Sphyrna zygaena*) (Compagno *et al.*, 1995).

Las cornudas habitan en aguas superficiales de mares tropicales y templados en zonas oceánicas, aproximándose a la costa para alimentarse y se piensa que utilizan las zonas resguardadas cercanas a la costa para reproducirse (Compagno *et al.*, 1995).

En particular, la cornuda prieta o tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) se caracteriza por presentar lóbulos cefálicos largos y estrechos con un margen anterior sin la presencia de una hendidura o muesca central, la región anterior de la cabeza es intensamente achatada y expandida lateralmente a modo de martillo y presenta los ojos ubicados en los bordes externos (Compagno *et al.*, 1995) (Fig. 1).



Figura 1. Vista ventral de la cabeza del tiburón *Sphyrna zygaena*. (Imagen modificada de Shark Trust, 2010).

Su coloración es olivácea a parda grisácea en la parte dorsal y una tonalidad más clara en la parte ventral; el extremo ventral de las aletas pectorales es más oscura, las aletas pectorales son cortas y de forma recta, mientras que la primera aleta dorsal es grande, con el margen posterior ligeramente falciforme (Compagno, 1984).

Cuenta con 250 a 350 cm de longitud total, aunque raramente alcanza los 400 cm (Ferrari y Ferrari, 2001). Las hembras llegan a su madurez sexual al medir aproximadamente 230 cm de longitud, son organismos vivíparo-placentarios con un alto número de crías, que puede ir de los 29 a 37 ejemplares por camada (Smale, 1991; Compagno, 1995; Tricas *et al.*, 1998). La talla aproximada de nacimiento es de 60 cm longitud total (LT) (Smale, 1991; Compagno, 1995; Tricas *et al.*, 1998) (Fig. 2).

El tiburón *S. zygaena* es una especie que tiene importancia en las pesquerías, donde es utilizado para alimento humano o subproductos (Compagno *et al.*, 1995), su carne es distribuida en fresco y seco-salada, las aletas se comercializan secas para preparar sopa, utilizando las pectorales, la primera dorsal y el lóbulo inferior de la aleta caudal (Vannuccini, 1999).

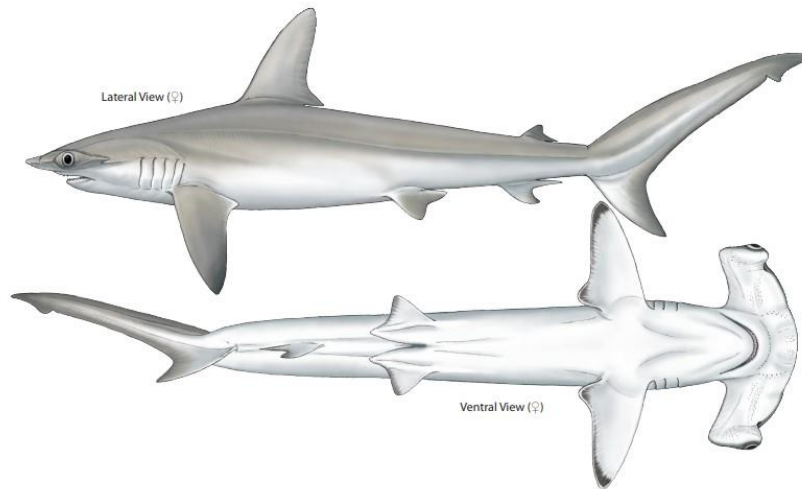


Figura 2. Ilustración del tiburón *Sphyrna zygaena*. (Imagen modificada de Shark Trust, 2010).

En el Océano Pacífico Oriental se encuentra desde las costas de California hasta el Golfo de California y desde Panamá hasta Chile incluyendo las Islas Galápagos y las Islas de Hawái, en el Océano Pacífico Occidental se encuentra desde Japón hasta Vietnam y en la costa sur de Australia y Nueva Zelanda. También se encuentra presente en el Mar Mediterráneo (aunque ha desaparecido en algunas de sus zonas), las costas desde el sur de Inglaterra hasta Costa de Marfil y en el Océano Atlántico Occidental se encuentra desde las costas de Nueva Escocia hasta el Mar Caribe y en el sur en Uruguay y Argentina (Compagno, 1984) (Fig. 3).

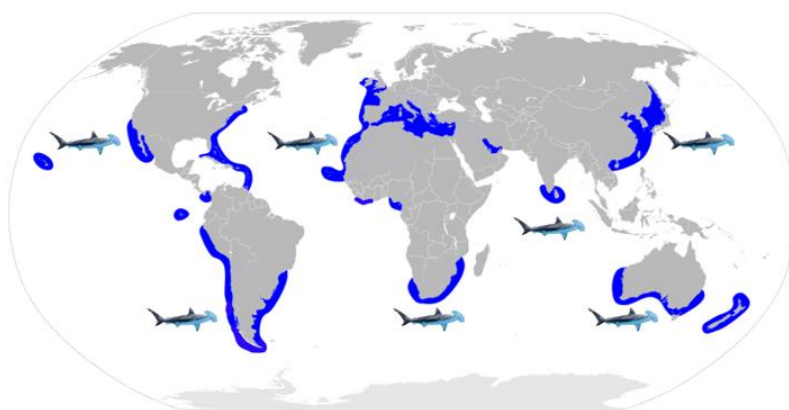


Figura 3. Distribución mundial de *Sphyrna zygaena* (Modificado de Compagno, 1984).

Se considera que los estudios de la biología de *S. zygaena* son insuficientes a nivel mundial. De ahí la importancia de elaborar estudios fundamentales, entre ellos de hábitos alimenticios, biología reproductiva, estrategias de vida, biología y dinámica poblacional.

La mayoría de los estudios sobre ecología trófica de los organismos se han realizado principalmente a partir del análisis del contenido estomacal y se utiliza para conocer las presas recién ingeridas, contribuyendo así al conocimiento de las presas consumidas por el depredador en un periodo corto, con la intención de ayudar a examinar los cambios de dieta en diferentes temporadas, lo que permite generar información que facilite la toma de medidas para conservación y manejo pesquero de la especie, con la finalidad de mejorar las poblaciones de los

tiburones y el uso de sus recursos. Sin embargo, una desventaja de estos métodos tradicionales es que únicamente representa el periodo entre la ingestión y digestión del alimento recién consumido (Peterson y Fry, 1987; Hobson *et al.*, 1996) lo cual nos impide detectar patrones de alimentación a largo plazo y aquellas presas que realmente son asimiladas por el depredador (Duffy y Jackson, 1986; Pinn *et al.*, 1998).

En los últimos años se han venido realizando estudios que no dependen necesariamente de las partes duras de las presas como lo son esqueletos de peces o picos de cefalópodos los cuales ofrecen una ventaja sobre estos métodos tradicionales para el estudio de la ecología trófica, entre estos se encuentra el análisis de isótopos estables (Peterson y Fry, 1987, Pierce y Boyle, 1991, Pierce *et al.*, 2004). Las mediciones isotópicas han demostrado ser una herramienta útil para determinar patrones de movimientos de los organismos así como las relaciones tróficas en el ecosistema marino. (Vander – Zanden, 2001, Post, 2002, Kim y Koch, 2011).

Los análisis de isótopos estables describen una dieta asimilada en un proceso donde los consumidores quedan enriquecidos con los isótopos pesados (^{13}C y ^{15}N) con relación a sus presas y respiran o excretan los isótopos más livianos (^{12}C y ^{14}N) en un proceso llamado fraccionamiento isotópico (Post, 2002). De esta manera, el isótopo estable de carbono (denotado como $\delta^{13}\text{C}$) se utiliza como indicador de la fuente original del carbono dentro de la red trófica (bentónica vs pelágica, costera vs oceánica), mientras que el isótopo estable de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) permite evaluar la posición trófica y amplitud de la dieta del depredador. La combinación de ambos análisis, aplicados a la ecología trófica permiten una evaluación más precisa de la estructura y función de la red trófica (Kling *et al.*, 1992, Post, 2002, Fry, 2006, Kim *et al.*, 2012).

2. Antecedentes

A pesar de que *Sphyrna zygaena* es una especie común en la pesquería artesanal dentro del Pacífico Mexicano, la información biológica sobre los hábitos alimenticios de este tiburón es muy escasa a nivel mundial, entre estos se encuentran algunos trabajos destacados:

Smale (1991) realizó un estudio sobre la alimentación de tres especies de tiburón (*Carcharhinus brachyurus*, *Carcharhinus obscurus* y *S. zygaena*) en la costa oriental de Sudáfrica, encontrando que su alimentación está dominada por el calamar europeo *Loligo v. reynaudii* (71.5%) lo que sugiere que la disponibilidad de presas era de primordial importancia. Por otro lado, parece ser que los peces como *Merluccius capensis* y *Engraulis capensis* podrían ser igualmente importantes.

En Ecuador los tiburones son un recurso relativamente abundante que siempre se encuentran presentes dentro de las pesquerías. Castañeda-Suárez y Sandoval-Londoño (2004) analizaron los hábitos alimenticios de tiburón martillo *S. zygaena* para el Pacífico ecuatoriano, encontrando que los cefalópodos son presas importantes dentro de sus redes tróficas siendo sus principales presas *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* y *Ancistrocheirus lesueurii* indicando que estos depredadores se alimentan principalmente de cefalópodos por la noche en zonas oceánicas.

Asimismo, Estupiñán-Montaña y Cedeño-Figueroa (2005) trabajaron en Manta, Ecuador con tres especies de tiburones, reportando a *S. zygaena* como un organismo especialista que se inclina por el consumo de calamares de origen epipelágico de la familia Ommastrephidae, especialmente; *D. gigas* y *S. oualaniensis* de acuerdo con el aporte de biomasa.

Bolaño (2009) es el primer autor que analiza la ecología trófica de este tiburón mediante el uso de isótopos estables en tejido muscular en aguas ecuatorianas. A partir de 445 organismos analizados se identificaron 55 presas a nivel especie encontrando como en anteriores trabajos que los cefalópodos (*D. gigas* y

Lolliguncula diomedae) componen principalmente la dieta. De acuerdo con los valores obtenidos a partir de isótopos estables indicaron que los juveniles de esta especie siguen una misma estrategia de alimentación ya que permanecen alimentándose en zonas costeras infiriendo que dicho lugar es una zona de crianza para este tiburón.

En México, esta especie fue estudiada por Galván *et al.*, (1989) quienes realizaron algunos de los primeros estudios sobre los hábitos alimenticios de los tiburones del bajo Golfo de California, encontrando que *S. zygaena* se alimenta principalmente de peces (57.8%) principalmente el pez aguja *Strongylura exilis* y la raya águila *Aetobatus narinari*. Los estómagos también contenían cefalópodos (42.8%) *Histioteuthis heteropsis*, *Onychoteuthis banksi* y Cranchiidae.

Ochoa-Díaz (2009) estudió la ecología trófica de la cornuda prieta a partir del análisis de contenido estomacal y la utilización de los isótopos estables de carbono y nitrógeno en dos áreas de oceanográficas de B.C.S. El espectro trófico se constituyó por 23 tipos de presas, de las cuales las de mayor importancia está constituido por los cefalópodos: *D. gigas*, *Onychoteuthis banksii*, *S. oualaniensis* y *Ancistrocheirus lesueurii*. Con respecto al análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ se encontró que mientras en el Golfo de California se alimentó de presas de origen costero, en la costa occidental de B.C.S se consumen presas tanto costeras como oceánicas.

3. Justificación

A nivel mundial se ha observado una disminución generalizada de las capturas de tiburones debido a la sobrepesca de organismos adultos y juveniles. En particular, la costa del Pacífico mexicano contribuye cerca del 78% del total de peso y captura de este recurso, por lo cual es considerada como uno de los mayores productores de pesca de tiburón en México debido a su extensa línea de costa, mares interiores (Golfo de California), áreas naturales protegidas y por ser una zona con alta productividad primaria lo cual le permite una alta abundancia de presas y depredadores (Bonfil *et al.*, 1990, Cruz *et al.*, 2011).

Uno de los principales problemas en la pesquería de este recurso es la poca selectividad de las artes de pesca incluidas redes de enmalle, palangres, redes de arrastre, entre otros, lo que ocasiona que no exista una discriminación entre organismos neonatos, juveniles o adultos situación que atraviesan la mayoría de los tiburones en general (Márquez, 2001, Ramírez, 2011).

Aunque existen algunos trabajos sobre la ecología trófica de esta especie, la biología básica de este tiburón sigue siendo de las menos conocidas y el manejo de las pesquerías sobre la misma ha sido limitada (Camhi *et al.* 1998). En este contexto, la propuesta de investigación plantea el estudio de la ecología trófica del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* para dos zonas de la costa occidental de Baja California sur, México a partir del contenido estomacal y el análisis de isótopos estables.

4. Objetivo general

Determinar la ecología trófica del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* a partir del contenido estomacal (CE) y el análisis de isótopos estables (AIE) en la costa occidental de Baja California Sur, México.

Objetivos específicos

- I. Determinar y cuantificar la composición específica del espectro trófico de la especie *Sphyrna zygaena*.
- II. Determinar las presas principales en la dieta de *Sphyrna zygaena* con base el contenido estomacal.
- III. Determinar el traslapo trófico entre sexos, estadios de madurez y zonas de muestreo a través de los análisis contenido estomacal y valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$.
- IV. Determinar la posición trófica de *Sphyrna zygaena* con base en el contenido estomacal y analizando los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

5. Material y métodos

Zona de estudio

Bahía Tortugas

Se encuentra localizada sobre la costa occidental del estado de Baja California Sur, perteneciente al municipio de Mulegé (27°41'30" N y 114°53'45" O) (Fig. 4). Presenta un clima semicálido-seco durante el verano y parte del otoño y húmedo durante el invierno y la primavera. La temperatura del agua varía desde los 12.7°C hasta los 19.9°C dependiendo la época del año (Turrubiates-Morales, 1989, Guzmán – Del Prío *et al.*, 1991, Guzmán – Del Prío *et al.*, 2000).

Se considera una zona de transición de aguas templadas y cálidas la cual se encuentra fuertemente influenciada por la corriente de California, presenta una intensa actividad de fenómenos de surgencias, las cuales tienen fuertes efectos sobre el ecosistema aportando nutrientes los cuales quedan disponibles para la producción orgánica primaria por lo cual es considerada como un Centro de Actividad Biológica debido a su alta productividad biológica (Rueda, 1983, Amador – Buenrostro *et al.*, 1995, Arreguín - Sánchez, 2000)

Punta Lobos

Ubicado en el extremo sur de la costa occidental de Baja California Sur, entre los paralelos 23°25' de Latitud Norte y 110° 14' Longitud Oeste (Fig. 4). Esta zona presenta una estrecha plataforma continental de menos de 37 km (Ramírez-Amaro *et al.*, 2013), con temperaturas medias anuales de 20-22°C.

La circulación de las aguas superficiales está en relación con el patrón de los vientos, por lo que, en la temporada de invierno, esta es dominante hacia el sureste, lo que permite el desarrollo de la corriente de California. Esta corriente se presenta a profundidades de 100 m a 300 m, siendo más intensa durante la primera mitad del año (Álvarez-Arellano, 1987).

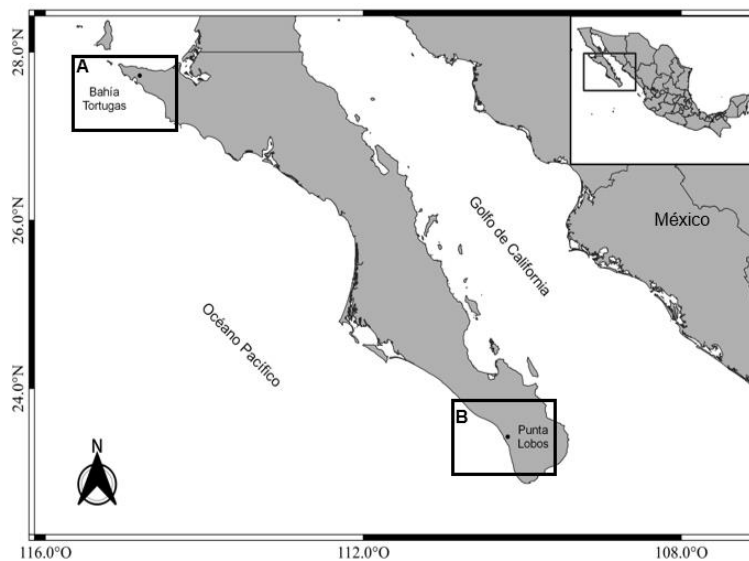


Figura 4. Sitios de muestreo: campamento pesquero de Bahía Tortugas (A) y Punta Lobos (B).

Trabajo de Campo

Se realizaron muestreos durante el periodo de 2015 a 2016 en los campos pesqueros de Bahía Tortugas y Punta Lobos en la costa occidental de B.C.S. De cada organismo capturado se midió la longitud total (LT) desde la punta del morro hasta la punta de la aleta caudal haciendo uso de un flexómetro graduado en cm, procurando que la posición del organismo fuera lo más lineal posible.

Los tiburones fueron diferenciados sexualmente por la presencia de los gonopterigios en machos, se anotó el grado de calcificación, rotación y la abertura del rifiodón (estructura de anclaje para la copula), mientras que en hembras se observó si existía la presencia de embriones o marcas de copula para diferenciar la etapa de madurez en la que se encontraba el tiburón.

Posteriormente los tiburones fueron diseccionados por la cavidad abdominal y se extrajo el estómago, mientras que las muestras de músculo fueron obtenidas cerca de la aleta dorsal con el fin de estandarizar el muestreo.

Las muestras fueron almacenadas en bolsas de plástico y congeladas para su traslado al Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) ubicado en la ciudad de La Paz, Baja California Sur.

Trabajo de laboratorio

Contenido estomacal

Para el análisis del contenido estomacal, se separaron por diferentes tipos de categorías presa de acuerdo con los diferentes grupos taxonómicos (peces, cefalópodos y crustáceos), identificándose hasta el menor taxón posible.

Para la determinación taxonómica de los peces que se encontraban catalogados como en estado digestivo 1, se utilizó la Guía de Fischer *et al.*; (1995). Para las muestras que se presentaban en los estados digestivos 2 y 3, la determinación taxonómica se realizó considerando el esqueleto axial, los cráneos, y vertebras, empleando los catálogos de peces de Barrera (2008), Sánchez (2013), Soto (2014), la guía de Clothier (1950), Clothier y Baxter (1969), Díaz (2006); Froese y Pauly (2017).

Los crustáceos se identificaron por medio de los exoesqueletos o por restos de éstos, utilizándose las claves de Garth y Stephenson (1966), Brusca (1980) y Fischer *et al.* (1995). Y por último para los cefalópodos, debido a la rápida digestión de las partes blandas de su cuerpo la identificación se hizo por medio del aparato mandibular (pico), por lo que se emplearon las claves para identificación de Wolff (1982; 1984) y Clarke (1962; 1986). Estas determinaciones fueron corroboradas posteriormente con ayuda de la colección de picos de cefalópodos existentes en el laboratorio de Ecología de Peces del CICIMAR - IPN.

Isótopos estables

Para el análisis de los isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo tejido muscular del tiburón y sus presas, este fue lavado con agua destilada para quitar impurezas y se obtuvo en promedio 2 g de músculo los cuales fueron depositados en viales Eppendorf.

Posteriormente las muestras fueron colocadas en un horno a 50°C por aproximadamente 48 h con el fin de extraer la humedad presente en el tejido. Después las muestras se molieron con ayuda de un mortero de ágata y del polvo

resultante se pesó aproximadamente 1 mg de muestra con la ayuda de una balanza analítica y se almacenaron en capsulas de estaño de 4x6 mm.

Los tiburones producen urea la cual esta empobrecida en ^{15}N lo cual puede resultar en valores bajos de $\delta^{15}\text{N}$ lo que nos lleva a obtener estimaciones de posiciones tróficas bajas (Fisk *et al.*, 2002). Por lo cual se procedió a la extracción de urea posterior al liofilizado, cada muestra se colocó en viales de vidrio donde se les agregó 10 ml de agua desionizada, se colocaron en un sonificador por 15 minutos y posteriormente se les retiró el agua, este proceso se repitió tres veces por cada muestra.

Finalmente, para el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, las muestras de músculo fueron sometidas a un espectrómetro de masas de razones isotópicas en la Universidad de California, Davis.

Análisis de datos

Contenido estomacal

Curvas De Diversidad Acumulativa

Con las presas ya identificadas al menor taxón que fue posible, se estableció si el número de estómagos analizados fue suficiente para representar adecuadamente la dieta del tiburón *Sphyrna zygaena*, para lo cual se estimaron curvas de diversidad acumulativa. Se utilizó el programa de Estimate'S v8.2.0 (Colwell y Elsensohn, 2014) para calcular el índice de Shannon, graficando la media, los máximos y mínimos. Se calculó el Coeficiente de Variación (C.V.), para obtener el número mínimo de estómagos que se necesitaban para representar la dieta, considerando lo siguiente: cuando el valor del C.V. fue igual ó <0.05 se consideró que había alcanzado una asíntota (Polo - Silva *et al.*, 2013), lo que indicaba que el número de muestras obtenidas era suficiente para caracterizar la dieta de la especie.

Estas curvas de acumulación se estimaron considerando todos los individuos del estudio (datos generales), también para diferentes categorías: machos y hembras,

juveniles y adultos, considerando las diferentes zonas de muestreo (Bahía Tortugas y Punta lobos), esto con la intención de comprobar que cada categoría estuviera bien representada con las muestras obtenidas.

Análisis Cuantitativo

Para determinar las presas más importantes en los contenidos estomacales de la especie se empleó el Índice de Importancia Relativa Pesa Específica (%PSIRI) el cual se encuentra compuesto por los Índices de Frecuencia de Ocurrencia (%FO), abundancia específica numérica (%PN) y gravimétrica (%PW) (Brown *et al.*, 2012).

Índice de Frecuencia de Ocurrencia (%FO)

Aparición de una presa específica en un determinado número de estómagos analizados:

$$\%FO_i = \frac{n_i}{n}$$

Donde:

%FO_i= Frecuencia de ocurrencia de la presa i, n_i= número de estómagos que contienen la presa i y n= número total de estómagos.

Índices de abundancia específica numérica (%PN) y gravimétrica (%PW)

Considera el porcentaje de abundancia (numérica o gravimétrica) de un tipo presa promediado por los estómagos en que si se encontró esa determinada presa:

Porcentaje de presa específica (%PN_i, %PW_i):

$$\%PA_i = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij}}{n_i}$$

Porcentaje promedio de abundancia (%A_i):

$$\%A_i = \frac{\sum_{j=1}^n \%A_{ij}}{n}$$

Donde: %A_i= Abundancia (número o peso) de la categoría de presa *i* en el estómago *j*; *n_i* = Número de estómagos con la presa *i*; *n* = Total de estómagos analizados.

Índice de Importancia Relativa Presa Específica (%PSIRI)

Para el cálculo del PSIRI se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Brown *et al.* (2012):

$$\%PSIRI_i = \frac{\%FO_i \times (\%PN_i + \%PW_i)}{2}$$

Donde: %PSIRI = Índice de importancia relativa de presa específica; %FO = Porcentaje de ocurrencia; %PN = Porcentaje numérico de presa específico de presa y %PW es el Porcentaje gravimétrico de presa específico.

Índices Ecológicos

Índice de Levin

Para conocer si en las zonas de estudio *S. zygaena* presentaba una especialización sobre los recursos alimenticios existentes, se utilizó el Índice de Levin (Krebs, 1999), representado por la siguiente fórmula:

$$Bi = 1/n - 1\{(1/\sum jPij^2) - 1\}$$

Donde:

Bi= índice de Levin para el depredador *i*.

Pij = Proporción de la dieta del depredador *i* que utiliza la presa *j*.

n = Número total de especies presas

Este índice asume valores de cero (0) a uno (1), cuando los valores son <0.6, el depredador se considera especialista y nos indica que utiliza un número bajo de recursos, presentando preferencia por ciertas presas, y si son >0.6 su espectro es generalista, lo que nos indica que utiliza un mayor número de recursos sin previa selección (Krebs, 1999).

Posición trófica

Para conocer la posición trófica del tiburón *S. zygaena* se utilizó la fórmula propuesta por Christensen y Pauly (1992), usando la información del contenido estomacal:

$$PT = 1 + \left(\sum_{j=1}^G P_j * PT_j \right)$$

Donde:

PT = Posición trófica

PT_j = Posición trófica asignada a cada presa j

P_j = Proporción de cada grupo de presas j

G = Número de grupos en la dieta de i

Las posiciones tróficas de cada categoría presa se obtuvieron del trabajo de Cortés (1999), Dambacher *et al.*, (2010) y Froese y Pauly (2017) para los peces.

Isótopos estables

Se evaluó la normalidad de los valores obtenidos tanto de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov y a partir de esta se utilizaron pruebas paramétricas o no paramétricas para evaluar las posibles diferencias entre categorías. Todos los análisis fueron realizados con ayuda del programa RStudio 1.1.453 y Excel v 16.16.18.

Al verificar la razón C:N se encontró que los valores estaban por encima de 3.5 por lo cual se realizó una corrección aritmética para minimizar la presencia de lípidos en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ utilizando la ecuación de Post *et al.* (2007).

$$\delta^{13}C_{\text{corregido}} = \delta^{13}C_{\text{muestra}} - 3.32 + 0.99 * C:N$$

Los valores corregidos presentan una estimación de los valores tras realizar una extracción química.

Amplitud y traslapo trófico

Con el fin de determinar la amplitud del nicho trófico y el posible traslapo entre categorías se utilizó la prueba SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses on R). Este método se basa en elipses calculadas a partir de matrices de covarianzas las cuales definen el área y forma con un intervalo de confianza del 95 %. A su vez estas representan la amplitud del nicho isotópico y el posible traslapo entre elipses (Jackson *et al.*, 2011).

Al encontrar un traslapo alto en estas elipses equivaldrían a que se están compartiendo recursos o bien utilizando el hábitat de manera similar. Se pueden considerar valores cercanos a 1 como un traslapo alto y cercanos 0 como nulo. De acuerdo con lo planteado por Langton (1982), el traslapo de nicho es bajo si esta entre 0-29%, medio entre 30-60% y alto si es >60%.

Por otra parte, siguiendo la teoría propuesta por Bearhop *et al.* (2004), es posible usar la varianza en el análisis, particularmente del $\delta^{15}N$, para estimar la amplitud del nicho trófico en animales. Un límite entre pequeñas y altas varianzas puede ser de aproximadamente de 1 ‰, valores más altos indican una población isotópicamente generalista (Jaeger *et al.*, 2009).

Modelo de mezcla

Se utilizó un modelo de mezcla basado en las señales isotópicas del depredador y de las presas que se encontraron en los contenidos estomacales para determinar cuáles de estas presas eran mayormente asimiladas por el depredador, se decidió utilizar el modelo de mezcla SIMMR (Stable Isotope Mixing Models in R), el cual es un modelo de tipo bayesiano que utiliza los valores de los isótopos de N y C de las muestras tanto de las presas como del depredador. Este calcula la probabilidad del porcentaje de contribución a la dieta que una presa (fuente) tiene hacia el depredador (mezcla) (Parnell *et al.*, 2010). Los resultados de este modelo

muestran que presas se asimilan en mayor proporción, en este caso, a partir del músculo.

Posición trófica

Se utilizó la ecuación propuesta por Post (2002) para determinar la posición trófica de la especie con respecto a sus presas. Para todas las estimaciones tróficas, el valor de enriquecimiento se basó en lo propuesto por Kim *et al* (2012a).

$$NT = \lambda \frac{\delta^{15}N_{depredador} - \delta^{15}N_{base}}{\Delta_n}$$

Donde: λ = representa la posición trófica del organismo para estimar $\delta^{15}N$ base y Δ_n = representa el factor de discriminación trófico para el $\delta^{15}N$ de 3.7‰ de acuerdo con lo calculado para tiburones (Kim *et al.* 2012a). El $\delta^{15}N_{depredador}$ representa la composición isotópica de cada depredador, mientras que el $\delta^{15}N_{base}$ es la composición isotópica de $\delta^{15}N$ de zooplancton para cada zona de estudio obtenida de Murillo – Cisneros (2019) para Bahía Tortugas y Olson (2010) correspondiente para la zona de Punta Lobos.

6. Resultados

Intervalos de tallas

Se registraron un total de 136 organismos de *Sphyrna zygaena*, 70 hembras y 66 machos, que presentaron tallas entre los 66 cm y 296 cm de longitud total con una talla promedio de 171.19 cm (Fig. 5).

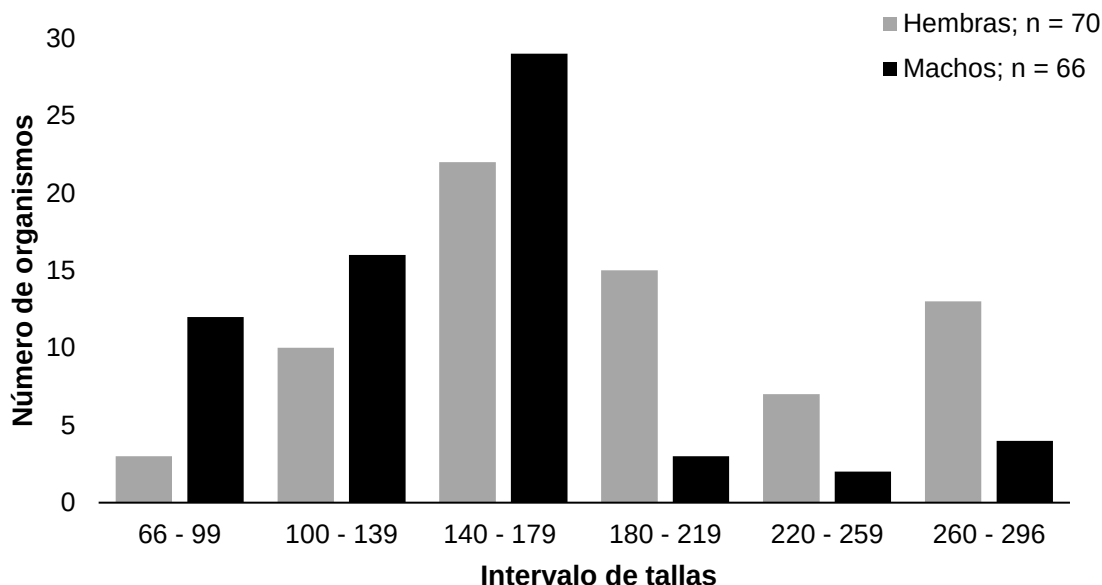


Figura 5. Distribución de frecuencia de tallas en cm de *Sphyrna zygaena* analizados.

De los 136 estómagos analizados, 120 presentaban alimento identificable (88.23%) y 16 estaban vacíos (11.77%). Al analizar el porcentaje de llenado de los estómagos con contenido, se encontraron 35 estómagos en categoría 1 (29.17%), 37 en categoría 2 (30.84%), 32 en categoría 3 (26.66%) y 16 en categoría 4 (13.33%).

Para el análisis de isótopos estables se utilizó un total de 89 muestras de músculo de *S. zygaena* con tallas desde los 77 hasta los 308 cm de LT para la costa occidental de B.C.S. (Fig. 6).

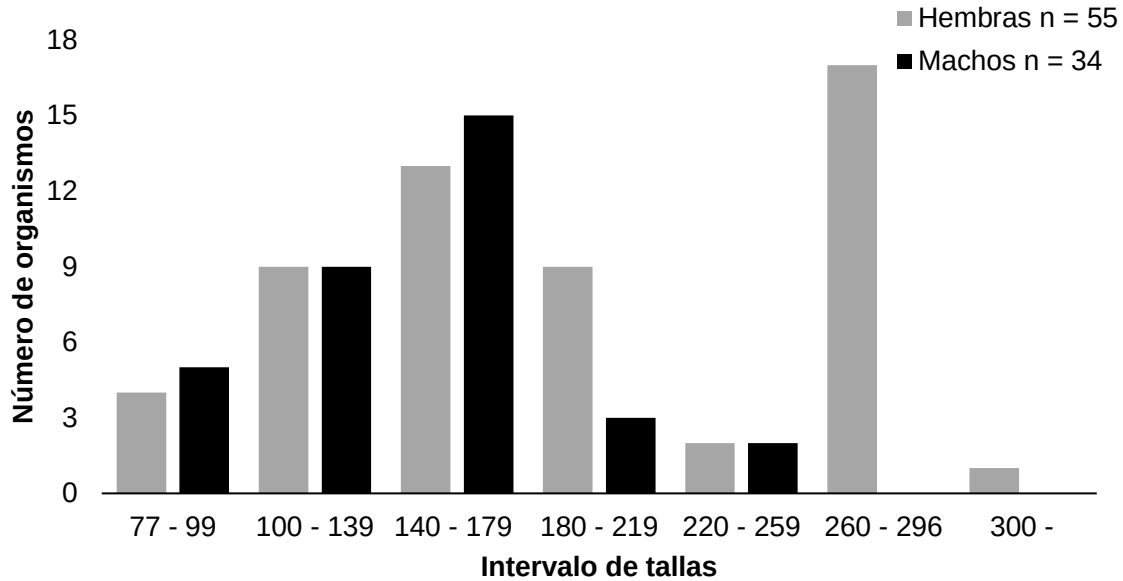


Figura 6. Distribución de frecuencia de tallas en cm de *Sphyrna zygaena* utilizados para el análisis de isótopos estables.

Contenido estomacal.

De acuerdo con la curva de diversidad acumulada, el número de estómagos con contenido estomacal analizados fue suficiente para caracterizar el espectro trófico general de *S. zygaena*, ya que se alcanzó un coeficiente de variación (C.V) menor a 0.05 (0.0490) al analizar 67 estómagos (Fig. 7). Esta misma curva se realizó para todas las categorías de ambas zonas (Tabla I).

Tabla I. Valores de curvas de diversidad acumuladas para *Sphyrna zygaena* por categorías.

Categorías	Estómagos analizados	Muestra representativa
General	120	67
Bahía Tortugas	42	20
Punta Lobos	78	30

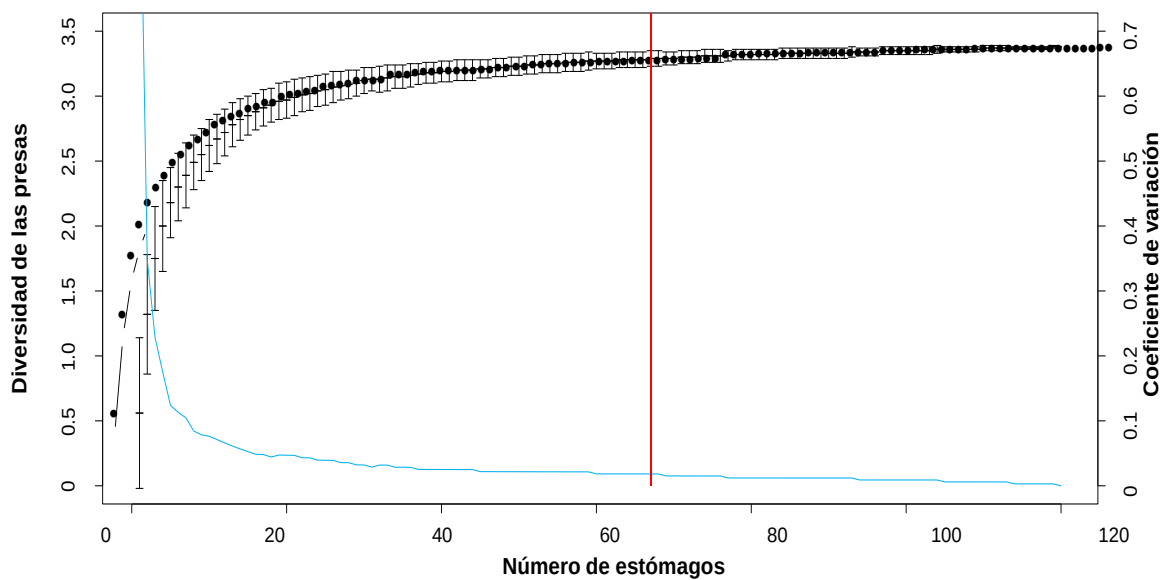


Figura 7. Curva de diversidad acumulada para el contenido estomacal de *Sphyrna zygaena*, la línea azul representa el CV mientras la línea roja representa el punto donde el CV alcanza un valor igual a 0.05.

Espectro trófico general.

La dieta de *S. zygaena* estuvo conformada por 782 organismos pertenecientes a 53 ítems presa en la costa occidental de B.C.S (Tabla II) de las cuales, de acuerdo al %PSIRI, los cefalópodos representaron el 48.45% de la dieta, seguido de los peces con un 45.74%, después por los crustáceos con 4.06%, restos de mamíferos con un 1.67% y un 0.09% de restos perteneciente a alguna especie de quelonio. De manera específica, la presa con mayor aporte a la dieta fueron los cefalópodos *Ancistrocheirus lesueurii* (17.13%) y *Dosidicus gigas* (13.97%) y finalmente los peces del género *Synodus* (9.04%) (Fig. 8).

A pesar de consumir un total de 53 ítems presa el índice de Levin indicó un valor de $B_i = 0.26$ lo que clasifica a esta especie como un depredador especialista y finalmente se calculó el nivel trófico a partir de las presas encontradas en el contenido estomacal. De forma general se encontró que la posición trófica de estos tiburones fue de $PT = 4.36 \pm 0.39$, valor que corresponde a un depredador tope.

Tabla II. Composición de la dieta de *Sphyrna zygaena* en la costa occidental de B.C.S. por porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico (%N), porcentaje del número presa-específico (%PN), porcentaje de peso (%W), porcentaje de peso presa-específico (%PW) y el porcentaje del índice de importancia relativa presa-específico (%PSIRI).

Grupo	Familia	Item presa	%FO	%N	%PN	%W	%PW	%PSIRI
Mollusca								
Cephalopoda								
	Ancistrocheiridae	<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	30.00	15.77	52.56	18.48	61.61	17.13
	Argonautidae	<i>Argonauta</i> spp	15.83	5.38	33.99	1.61	10.18	3.50
	Bolitaenidae	<i>Japetella</i> spp	1.67	0.12	7.23	0.01	0.31	0.06
	Gonatidae	<i>Gonatus</i> spp	7.50	1.18	15.69	2.23	29.75	1.70
	Histioteuthidae	<i>Stigmatoteuthis dofleini</i>	2.50	0.57	22.66	0.22	8.73	0.39
	Loliginidae	<i>Lolliguncula</i> spp	8.33	3.24	38.88	3.62	43.47	3.43
	Mastigoteuthidae	<i>Mastigoteuthis dentata</i>	8.33	2.67	32.06	1.96	23.54	2.32
	Octopodidae	<i>Octopus</i> spp	2.50	0.63	25.25	0.10	3.87	0.36
	Octopoteuthidae	<i>Octopoteuthis sicula</i>	0.83	0.28	33.33	0.25	29.92	0.26
	Ommastrephidae	<i>Dosidicus gigas</i>	22.50	13.47	59.84	14.48	64.34	13.97
		<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	4.17	1.38	33.07	1.51	36.32	1.45
	Onychoteuthidae	<i>Onychoteuthis banksii</i>	6.67	1.54	23.10	0.96	14.34	1.25
	Pholidoteuthidae	<i>Pholidoteuthis</i> spp	10.83	2.26	20.89	1.48	13.64	1.87
	Thysanoteuthidae	<i>Thysanoteuthis rhombus</i>	3.33	0.53	15.86	0.98	29.29	0.75
Crustacea								
Decapoda								
	Munididae	<i>Pleuroncodes planipes</i>	11.67	4.35	37.29	2.11	18.09	3.23
	Portunidae	<i>Portunus</i> spp	0.83	0.83	100.00	0.83	100.00	0.83
Osteichthyes								
Anguilliformes								
	Congridae	<i>Rhynchoconger nitens</i>	0.83	0.02	2.78	0.01	1.77	0.02
	Muraenesocidae	<i>Cynoponticus coniceps</i>	0.83	0.17	20.00	0.11	13.29	0.14
Atheriniformes								
	Atherinopsidae	<i>Atherinops affinis</i>	1.67	0.21	12.50	0.02	1.05	0.11
Aulopiformes								
	Synodontidae	<i>Synodus</i> spp	10.00	8.89	88.89	9.19	91.86	9.04
Batrachoidformes								
	Batrachoididae	<i>Porichthys</i> spp	0.83	0.04	4.35	0.03	3.03	0.03
Beloniformes								
	Belonidae	<i>Ablennes hians</i>	7.50	2.63	35.06	2.82	37.58	2.72
		<i>Strongylura exilis</i>	0.83	0.83	100.00	0.83	100.00	0.83
	Exocoetidae	<i>Cheilopogon</i> spp	0.83	0.28	33.33	0.43	51.85	0.35
Clupeiformes								
	Clupeidae	<i>Harengula thrissina</i>	2.50	1.58	63.33	1.05	42.11	1.32
		<i>Sardinops sagax</i>	2.50	1.39	55.56	0.89	35.62	1.14

	Engraulidae	<i>Engraulis mordax</i>	0.83	0.11	13.16	0.01	0.70	0.06
Mugiliformes								
	Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	2.50	1.08	43.03	0.96	38.46	1.02
Perciformes								
	Carangidae	<i>Caranx vinctus</i>	5.83	1.59	27.23	1.31	22.40	1.45
		<i>Seriola</i> spp	0.83	0.42	50.00	0.07	8.06	0.24
	Coryphaenidae	<i>Coryphaena hippurus</i>	7.50	4.56	60.85	5.06	67.46	4.81
	Haemulidae	<i>Anisotremus interruptus</i>	1.67	0.12	7.23	0.10	6.29	0.11
		<i>Haemulon</i> spp	3.33	2.04	61.11	1.80	53.98	1.92
	Kyphosidae	<i>Girella nigricans</i>	1.67	0.40	23.85	0.66	39.44	0.53
		<i>Medialuna californiensis</i>	0.83	0.42	50.00	0.43	51.01	0.42
	Labridae	<i>Labridae</i>	0.83	0.83	100.00	0.83	100.00	0.83
		<i>Semicossyphus pulcher</i>	0.83	0.42	50.00	0.75	89.52	0.58
	Malacanthidae	<i>Caulolatilus affinis</i>	6.67	2.11	31.63	2.97	44.50	2.54
	Scombridae	<i>Auxis</i> spp	3.33	1.37	41.11	2.20	65.89	1.78
		<i>Euthynnus lineatus</i>	3.33	0.93	27.92	0.85	25.55	0.89
		<i>Sarda lineolata</i>	0.83	0.28	33.33	0.72	86.50	0.50
		<i>Scomber japonicus</i>	7.50	4.91	65.46	4.81	64.14	4.86
	Serranidae	<i>Serranidae</i>	0.83	0.56	66.67	0.60	72.13	0.58
	Sparidae	<i>Calamus brachysomus</i>	0.83	0.02	2.78	0.02	2.07	0.02
Scorpaeniformes								
	Scorpaenidae	<i>Scorpaena</i> spp	0.83	0.28	33.33	0.55	66.48	0.42
		<i>Sebastes macdonaldi</i>	0.83	0.17	20.00	0.24	28.89	0.20
Syngnathiformes								
	Fistulariidae	<i>Fistularia corneta</i>	0.83	0.12	14.29	0.05	5.85	0.08
Tetraodontiformes								
	Balistidae	<i>Balistes polylepis</i>	4.17	1.09	26.27	1.72	41.31	1.41
	Diodontidae	<i>Diodon</i> spp	0.83	0.09	11.11	0.03	4.00	0.06
	Tetraodontidae	<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	0.83	0.09	11.11	0.05	5.69	0.07
Chondrichthyes								
Myliobatiformes								
	Myliobatidae	<i>Mobula</i> spp	5.83	4.03	69.05	5.26	90.11	4.64
Reptiles								
Testudines								
	Cheloniidae	Restos de tortuga	0.83	0.08	10.00	0.09	11.34	0.09
Mamíferos								
	-	Restos de mamífero	1.67	1.67	100.00	1.67	100.00	1.67

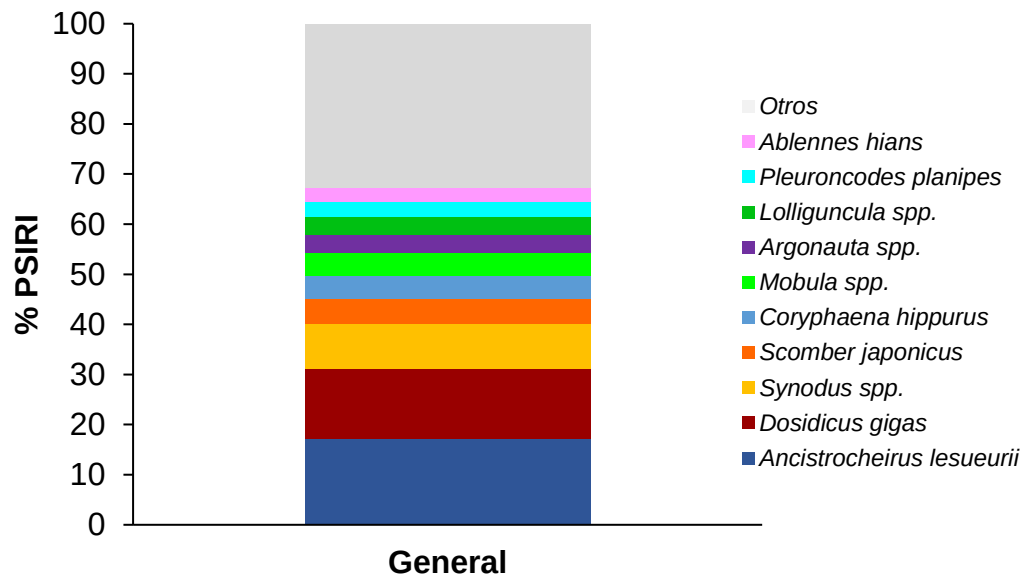


Figura 8. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales dentro de la dieta general de *Sphyrna zygaena*.

Espectro trófico entre zonas

El espectro trófico fue muy similar entre zonas, no se encontraron diferencias significativas (PERMANOVA $F = 1.2128$, $p = 0.24$).

En los organismos analizados para la zona de Bahía Tortugas se encontró un total de 29 ítems presa, de las cuales de acuerdo con el %PSIRI se encontró que los peces fueron la presa más importante, destacándose peces del género *Synodus* con un 20.33% de la dieta y *S. japonicus* con un 11.55% y cefalópodos como el calamar gigante *D. gigas* (15.71%) (Fig. 10). Se consideró a este grupo como especialista ($B_i = 0.33$) y una posición trófica de $PT = 4.19 \pm 0.34$.

Para la zona de Punta Lobos se encontró un total de 46 ítems presa, donde los cefalópodos *A. lesueurii* y *D. gigas* aportaron a la dieta el 24.13% y 13.03% respectivamente, seguidos de peces de la especie *Coryphaena hippurus* con un 6.51% (Fig. 9). Los tiburones de Punta Lobos se clasificaron como depredadores especialistas ($B_i = 0.23$) y una posición trófica de $PT = 4.43 \pm 0.39$.

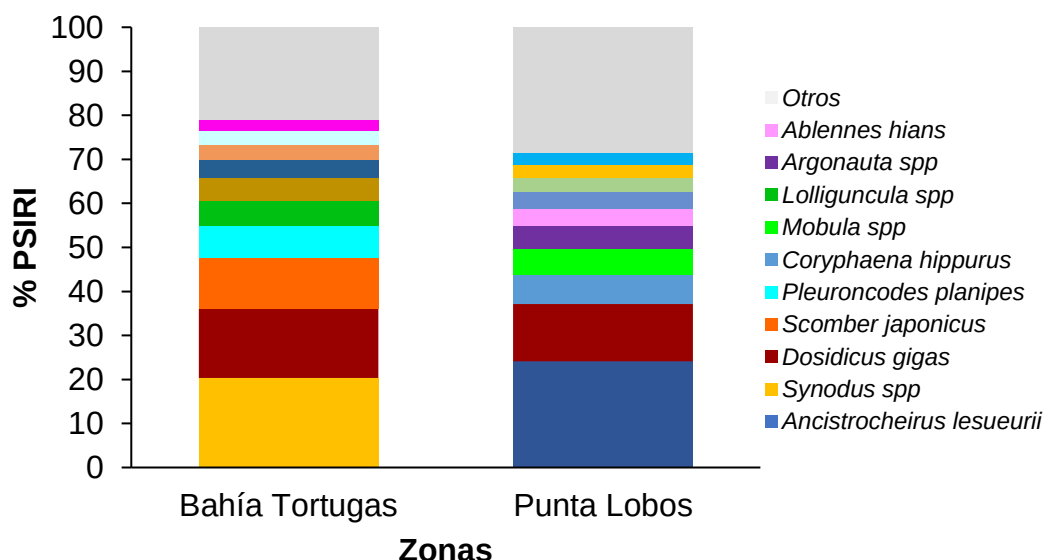


Figura 9. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales en la dieta de *Sphyrna zygaena* para las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos.

Bahía Tortugas por sexos

Las presas principales fueron muy similares entre hembras y machos en el área de Bahía Tortugas, no se encontraron diferencias significativas entre sexos (PERMANOVA $F = 0.790$, $p = 0.65$). Las hembras se alimentaron en mayor proporción de *D. gigas* (18.63%), seguido de la langostilla *P. planipes* (14.07%) y peces del género *Synodus* (12.50%). Para los machos, se mantuvieron dos de las tres especies, *Synodus* spp (25.15%), seguido del pez *S. japonicus* (16.39%) y el calamar *D. gigas* (13.92%) (Fig. 10).

De acuerdo con el Índice de Levin, las hembras fueron catalogadas como especialistas ($B_i = 0.51$) al igual que los machos ($B_i = 0.35$). Se estimó una posición trófica en hembras de $PT = 4.1 \pm 0.33$ y $PT = 4.28 \pm 0.33$ en machos.

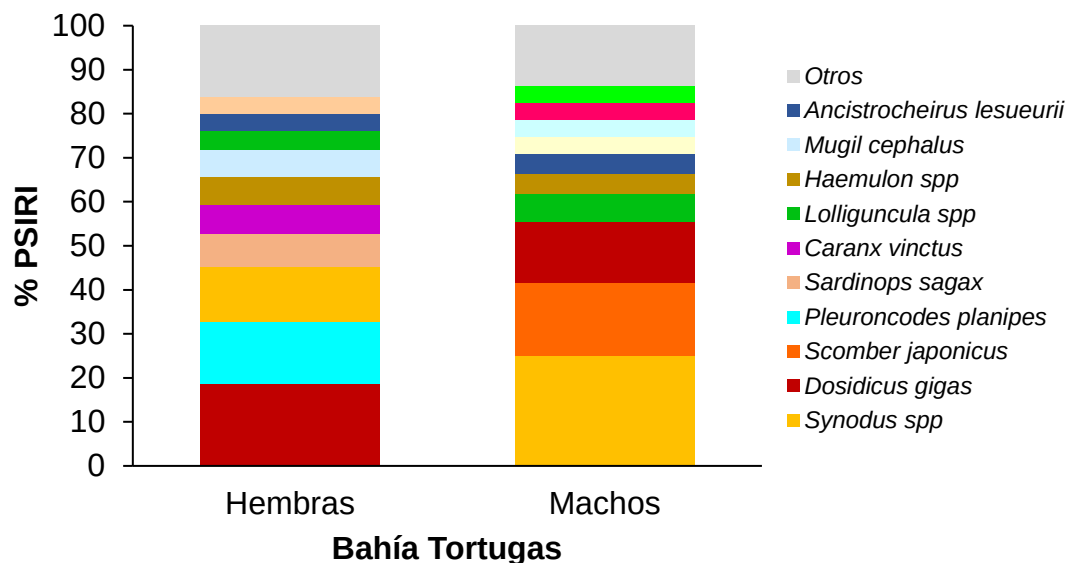


Figura 10. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para hembras y machos de *Sphyrna zygaena* en la zona de Bahía Tortugas.

Punta Lobos por sexos

Para esta zona las hembras se alimentaron de 38 ítems presa y los machos de un total de 27. Para el caso de Punta Lobos, tanto para hembras como para machos las presas más importantes fueron el calamar *A. lesueurii* con un aporte a la dieta de 24.43 % y 23.68% respectivamente, por otro lado, el calamar gigante *D. gigas* tuvo un aporte a la dieta de las hembras del 8.53% mientras que para los machos el aporte fue mayor con un 19.86% (Fig. 11). No se encontraron diferencias significativas en la dieta entre sexos (PERMANOVA $F= 0.445$, $p= 0.96$).

A partir del Índice de Levin se encontraron valores muy similares ($B_i = 0.29$) tanto como para hembras y machos, indicando que en esta zona este tiburón tiene un hábito especialista sobre sus presas debido al mayor consumo de cefalópodos. Se estimó una posición trófica para hembras de $PT = 4.69 \pm 0.41$ y para machos de $PT = 4.38 \pm 0.33$.

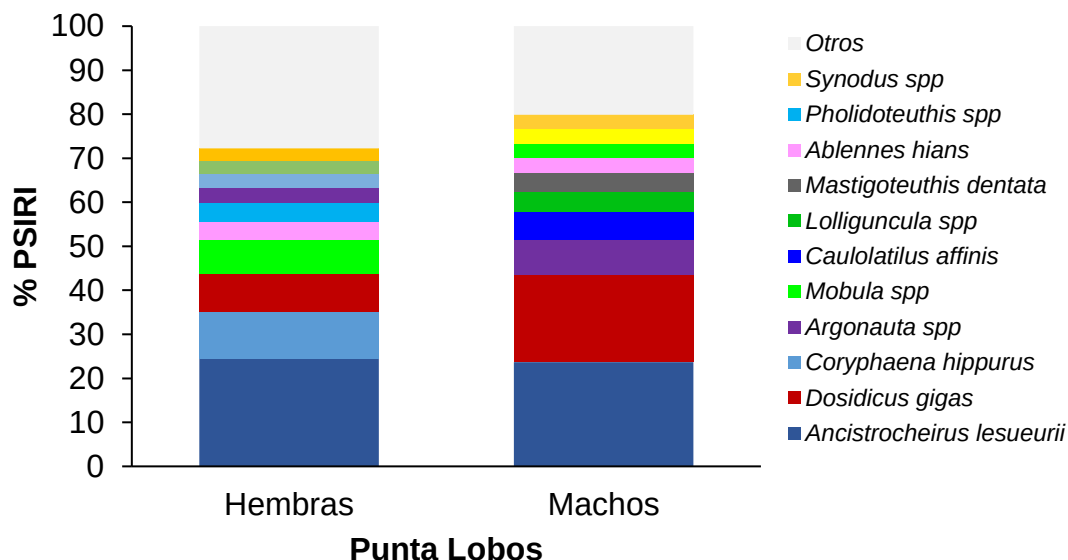


Figura 11. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para hembras y machos de *Sphyrna zygaena* en la zona de Punta Lobos.

Punta Lobos por estadios de madurez

El espectro trófico por estadios de madurez fue similar para el área de Punta Lobos, no se encontraron diferencias significativas (PERMANOVA $F = 1.582$, $p = 0.07$).

En los adultos se encontró un total de 27 ítems presa de las cuales *A. lesueurii* representó el 32.85%, seguido de *Mobula* spp. con 14.74% y en tercer lugar el dorado *C. hippurus* con un 11.56% (Fig.12). El grupo de adultos se consideró especialista ($B_i = 0.23$) y con una posición trófica de $PT = 4.5 \pm 0.40$.

Para los juveniles se registraron un total de 37 ítems presa donde, los cefalópodos aportaron más del 40% de la dieta siendo las principales especies presa *A. lesueurii* con un 18.38%, seguido de *D. gigas* con 16.39% y *Argonauta* spp. que aportó el 8.35% a la dieta (Fig.12). Se catalogó a los juveniles como depredadores especialistas ($B_i = 0.31$) con una posición trófica de $PT = 4.37 \pm 0.36$.

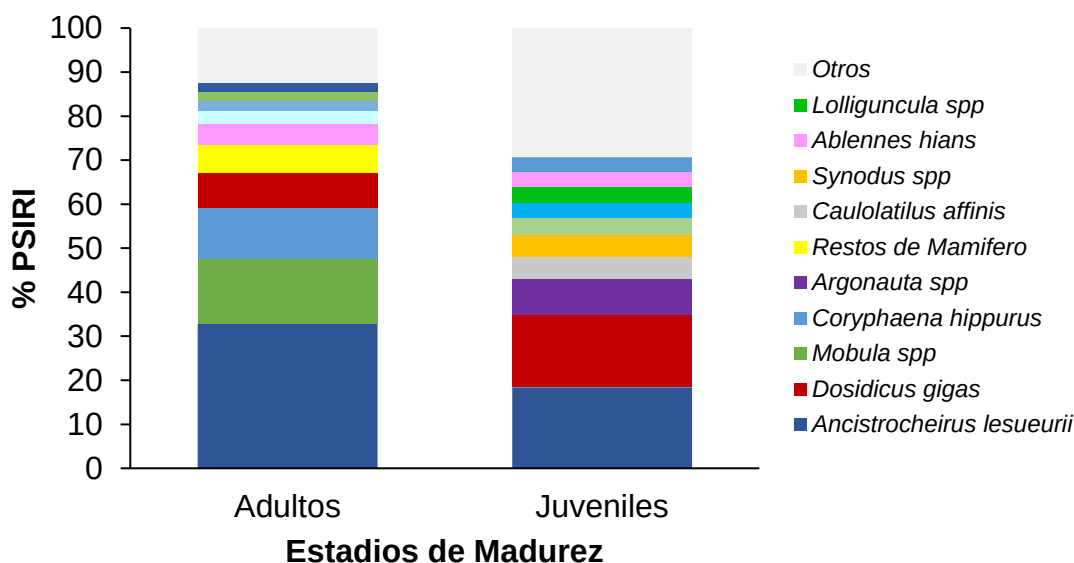


Figura 12. Gráfico acumulado de %PSIRI mostrando la importancia de las 10 presas principales para adultos y juveniles de *Sphyrna zygaena* en la zona de Punta Lobos.

Isótopos estables

Análisis isotópico de nitrógeno y carbono en músculos.

Se analizaron 88 biopsias de músculo obtenidas de la parte dorsal de tiburones de *Sphyrna zygaena* realizándose una selección por zonas, sexos y estadios de madurez. La razón C:N se encontró por encima de 2.5 para todas las muestras lo que confirma la ausencia de urea. Por otro lado, se encontró que todas las muestras tenían una razón C:N mayor a 3.5, lo cual indica la presencia de lípidos (Post *et al.* 2007) por lo que se procedió a realizar la corrección aritmética propuesta por Post *et al.* (2007). Los valores isotópicos de manera general presentaron un valor promedio de $\delta^{13}\text{C} = 16.57 \pm 0.63 \text{ ‰}$ y para $\delta^{15}\text{N} = 17.96 \pm 1.67 \text{ ‰}$.

En la siguiente tabla III se resumen los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ por categorías:

Tabla III. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en músculo de *Sphyrna zygaena* por categorías: zonas, sexos y estadios de madurez.

		$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$		$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰}$	
Categoría	n	Promedio	SD	Promedio	SD
General	88	-16.57	0.63	17.96	1.67
Bahía Tortugas	34	-16.81	0.64	17.65	1.18
BT Hembras	15	-16.68	0.73	17.29	1.05
BT Machos	19	-16.82	0.56	17.93	1.22
Punta Lobos	54	-16.42	0.58	18.16	1.91
PL Hembras	39	-16.41	0.63	17.86	1.97
PL Machos	15	-16.42	0.56	18.95	1.22
PL Adultos	26	16.44	0.57	16.95	1.95
PL Juveniles	28	-16.4	0.61	19.28	0.95

Análisis isotópico por zonas

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en Bahía Tortugas presentaron un promedio de $-16.81 \pm 0.64\text{‰}$ y para Punta Lobos de $-16.42 \pm 0.58\text{‰}$. Se encontraron diferencias significativas para $\delta^{13}\text{C}$ entre zonas ($W= 1125$, $p= 0.001$). Para el $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo un promedio de $17.65 \pm 1.18\text{‰}$ para Bahía Tortugas y de $18.16 \pm 1.91\text{‰}$ para Punta Lobos encontrándose diferencias significativas entre ambas zonas para $\delta^{15}\text{N}$ ($W=1244$, $p= 0.021$) (Fig.13)

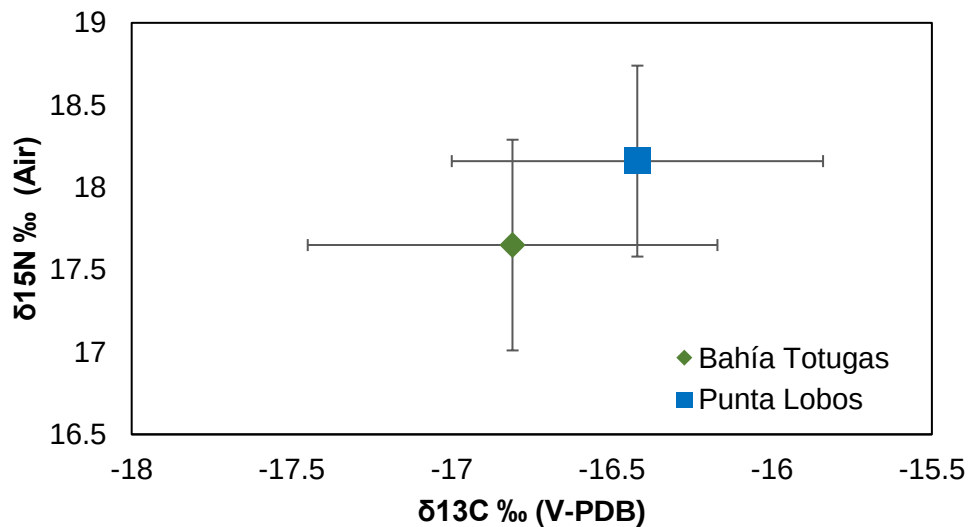


Figura 13. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de *Sphyrna zygaena* para las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos.

En cuanto a la amplitud de la dieta por medio del programa SIBER, se obtuvo el área de las elipses corregidas, así en Bahía Tortugas fue más reducido ($SEAc = 1.40\text{‰}^2$) con respecto al de Punta Lobos ($SEAc = 3.37\text{‰}^2$), a pesar de que la elipse de Bahía Tortugas quedo comprendida gran parte dentro de la de Punta Lobos, la probabilidad de traslape fue baja con un 29% lo que sugiere un uso diferente de recursos y hábitat (Fig.14)

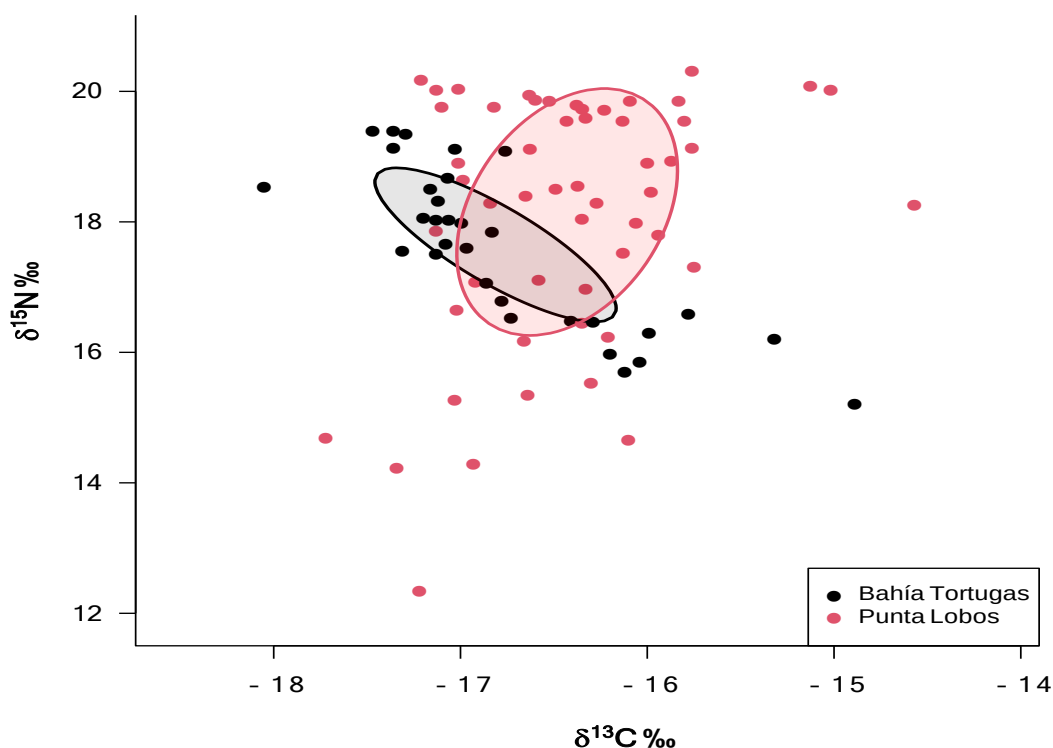


Figura 14. Amplitud y traslape trófico entre zonas de tiburones de *Sphyrna zygaena*.

Al utilizar los valores de la varianza entre zonas, se pudo categorizar tanto a los tiburones de Bahía Tortugas ($\delta^{15}\text{N} = \pm 1.35$) como de Punta Lobos ($\delta^{15}\text{N} = \pm 3.58$) como depredadores generalistas.

Bahía Tortugas por sexos

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para las hembras en la zona de Bahía Tortugas presentaron un promedio de $-16.68 \pm 0.73\text{‰}$ y para machos de $-16.82 \pm 0.56\text{‰}$. Para el caso de $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo un promedio de $17.29 \pm 1.05\text{‰}$ para hembras y de $17.93 \pm 1.22\text{‰}$ para machos (Fig.15).

Se realizó la comparación estadística entre sexos para esta zona, no se encontraron diferencias significativas tanto para $\delta^{13}\text{C}$ ($W= 313$, $p=0.083$) y $\delta^{15}\text{N}$ ($t=0.0601$, $p= 0.120$).

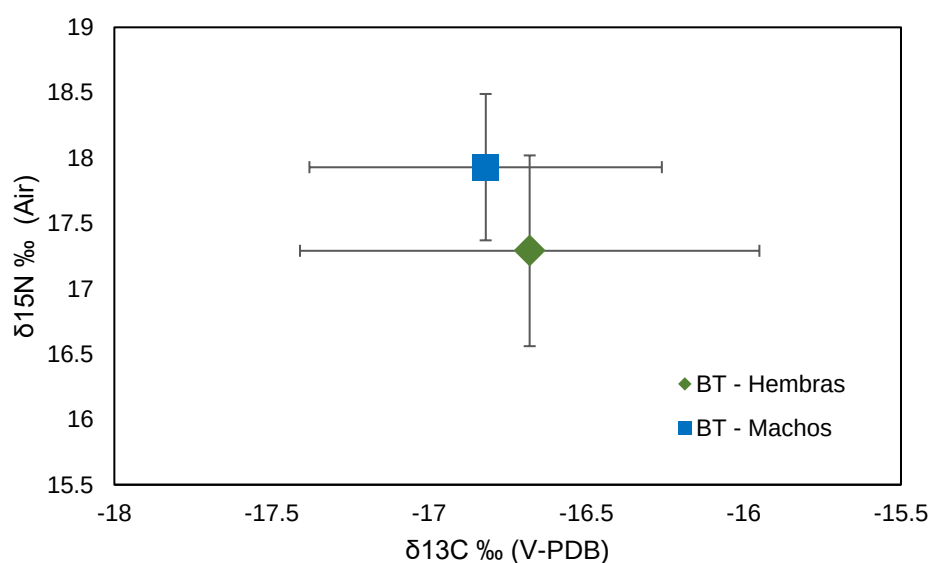


Figura 15. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de *Sphyrna zygaena* para hembras y machos de Bahía tortugas.

La prueba SIBER mostro nichos isotópicos de forma y tamaño similares. Las hembras presentaron un área de elipse ($SEAc$) de 1.62‰^2 , mientras que los machos un área de 1.11‰^2 , una probabilidad de traslapeo media del 47%, indicando que tanto las hembras como los machos tienen una dieta muy similar dentro de la zona de Bahía Tortugas (Fig.16).

Al analizar los valores de la varianza entre sexos para esta zona, se pudo categorizar tanto a hembras ($\delta^{15}\text{N} = \pm 1.04$) como machos ($\delta^{15}\text{N} = \pm 1.41$) como depredadores generalistas.

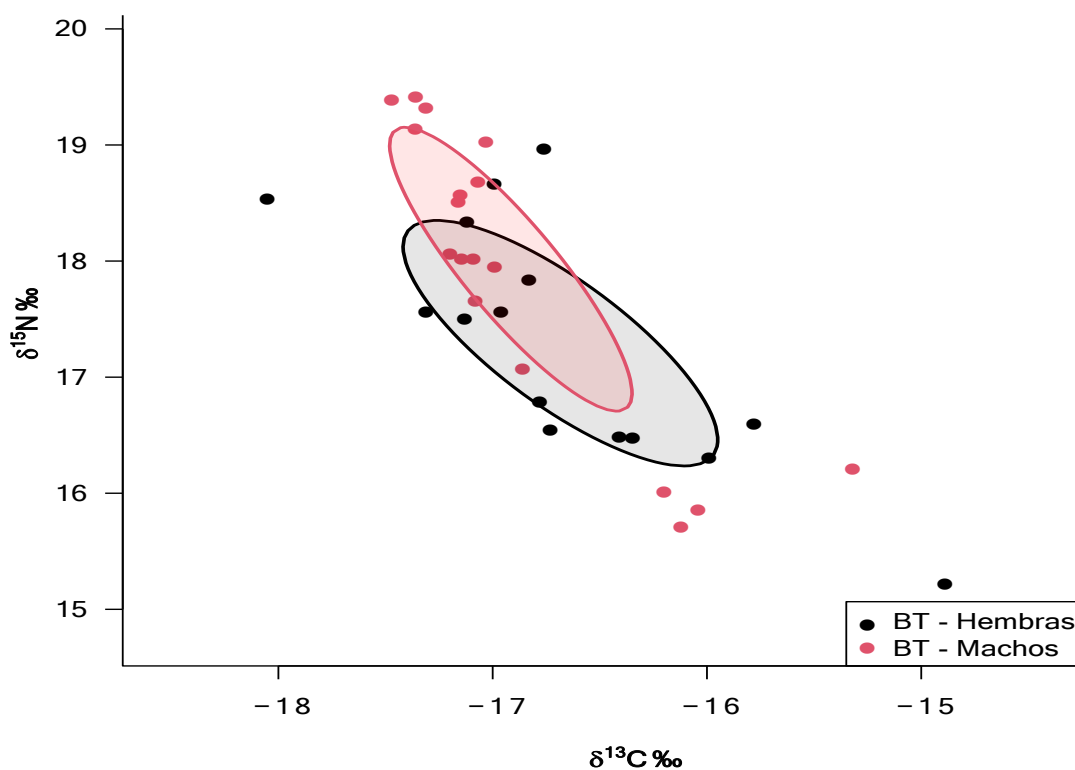


Figura 16. Amplitud y traslapo trófico de hembras y machos de *Sphyrna zygaena* en Bahía Tortugas.

Punta Lobos por sexos

El promedio de los valores isotópicos para hembras en la zona de Punta Lobos fue de $\delta^{13}\text{C} -16.41 \pm 0.63$ y para $\delta^{15}\text{N}$ de 17.86 ± 1.97 , en el caso de los machos fue $\delta^{13}\text{C} -16.42 \pm 0.56$ mientras que para $\delta^{15}\text{N}$ 18.95 ± 1.22 (Fig.17).

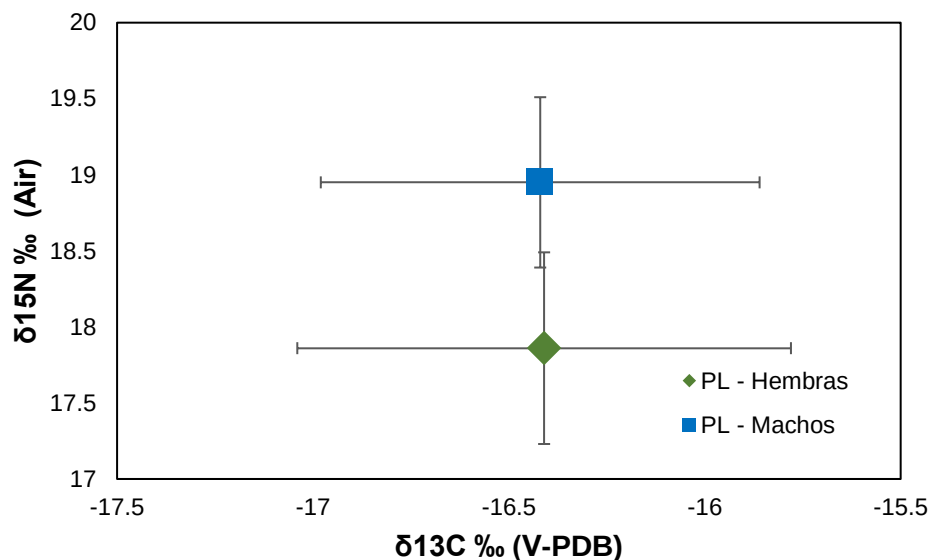


Figura 17. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de *Sphyrna zygaena* para hembras y machos de Punta Lobos.

Se compararon los valores isotópicos entre ambos sexos encontrando que no hay diferencias significativas para $\delta^{13}\text{C}$ ($t=0.475$, $p= 0.950$) mientras que para los valores de nitrógeno se encontraron diferencias significativas $\delta^{15}\text{N}$ ($W= 525$, $p=0.031$).

En cuanto a la amplitud de la dieta por medio del análisis SIBER, se obtuvo que el área de las elipses corregidas (SEAc) para hembras fue de 3.5‰^2 mientras que para los machos el área fue más reducida con un tamaño de 2.28‰^2 (Fig.18). El traslape fue del 44%, considerándose traslape medio.

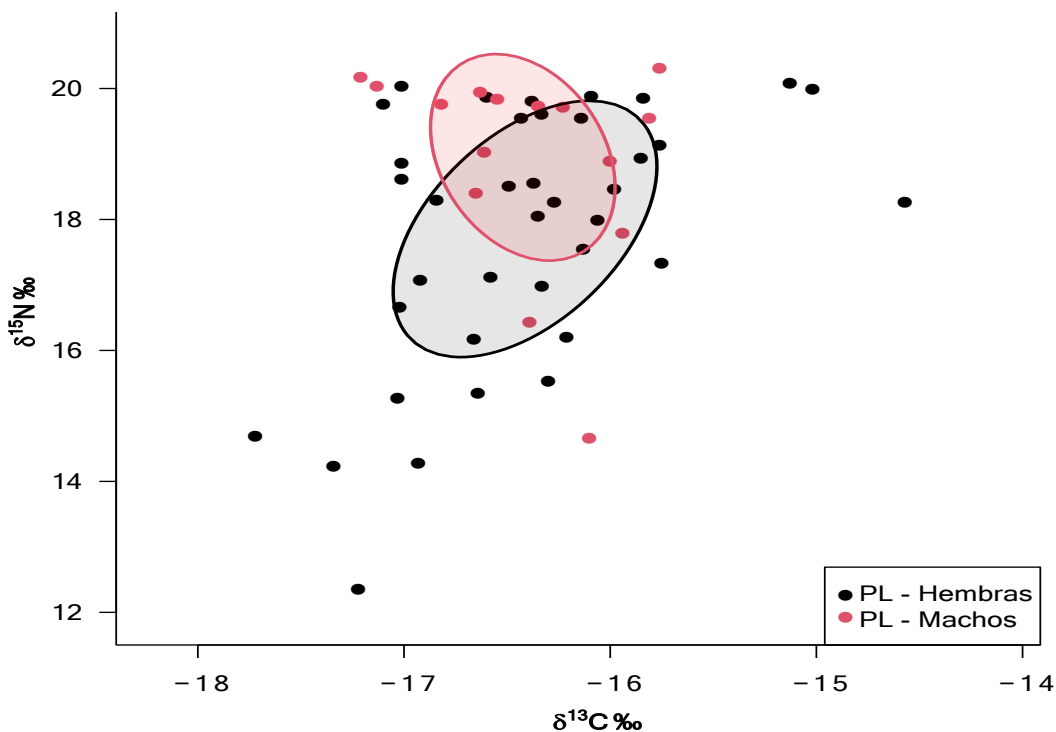


Figura 18. Amplitud y traslapo trófico entre hembras y machos de tiburones de *Sphyrna zygaena* en la zona de Punta Lobos.

Al analizar los valores de la varianza entre sexos para esta zona, se pudo categorizar tanto a hembras ($\delta^{15}\text{N} = \pm 3.73$) como machos ($\delta^{15}\text{N} = \pm 2.32$) como depredadores generalistas.

Punta Lobos por estadios de madurez

Debido a que solo se obtuvieron juveniles para la zona de Bahía Tortugas, para las comparaciones de estadios de madurez solo se utilizaron los valores isotópicos para la zona de Punta Lobos. En el análisis de isótopos estables se encontró que los adultos presentaron un valor promedio de $\delta^{13}\text{C} = -16.44 \pm 0.57$ y $\delta^{15}\text{N} = 16.95 \pm 1.95$, en el caso de los juveniles presentaron un valor medio de $\delta^{13}\text{C} = -16.4 \pm 0.61$ y para $\delta^{15}\text{N} = 19.28 \pm 0.95$ (Fig.19). Se realizó la comparación estadística

entre juveniles y adultos encontrando diferencias significativas en el $\delta^{15}\text{N}$ ($W= 448$, $p= 0.001$) pero no en el $\delta^{13}\text{C}$ ($t= 0.399$, $p= 0.798$).

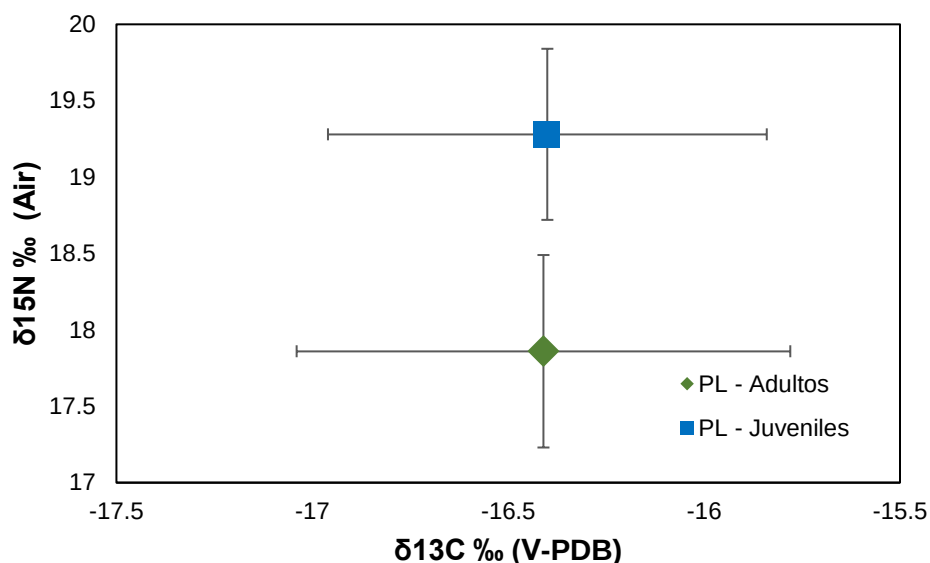


Figura 19. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio $\pm$ SD) de *Sphyrna zygaena* para adultos y juveniles de Punta Lobos.

En cuanto a la amplitud de la dieta por medio del análisis SIBER, se obtuvo que el área de las elipses corregidas (SEAc) para adultos fue de 2.7‰^2 mientras que para los juveniles el área fue más reducida con un tamaño de 1.90‰^2 (Fig.20). El traslapo fue del 32%, considerándose un traslapo bajo, lo que sugirió un uso diferente de recursos y hábitat.

Al analizar los valores de la varianza entre estadios de madurez en la zona de Punta Lobos se categorizó que los adultos ($\delta^{15}\text{N} = \pm 3.68$) presentaron un tipo de estrategia generalista, por el contrario, los juveniles mostraron valores ($\delta^{15}\text{N} = \pm 0.87$) que los cataloga como depredadores especialistas.

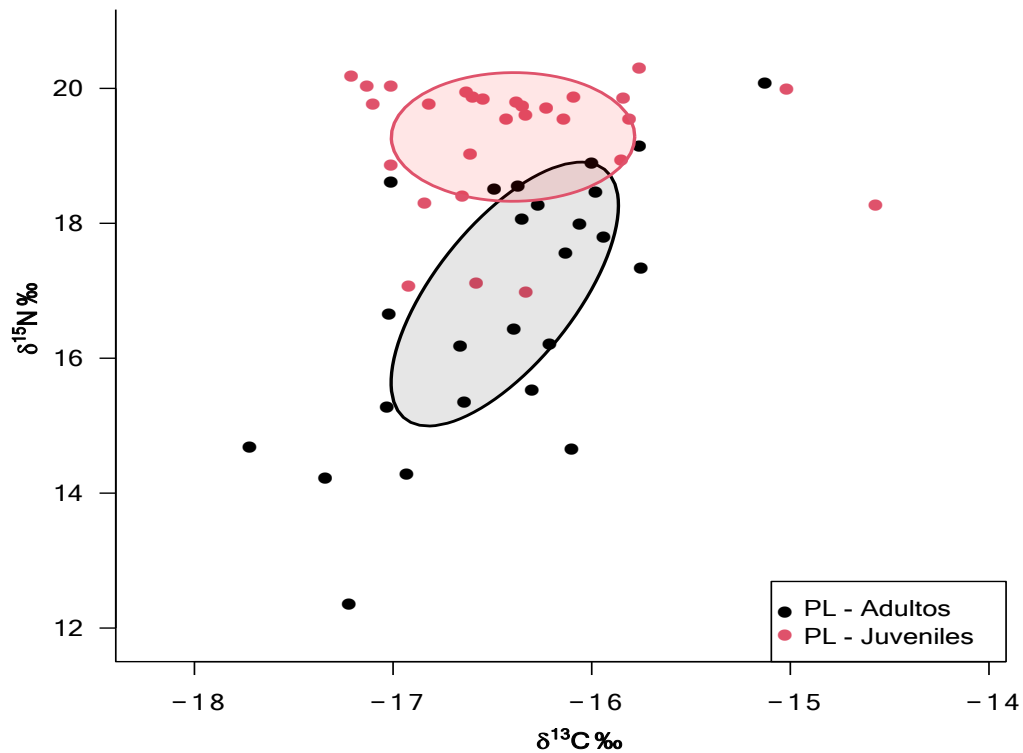


Figura 20. Amplitud y traslapo trófico entre adultos y juveniles de tiburones de *Sphyrna zygaena* en la zona de Punta Lobos.

Modelo de mezcla (SIMMR)

Con la finalidad de conocer que presas contribuyeron más a la dieta de este tiburón, se utilizó el modelo de mezcla SIMMR en R. Así se emplearon los valores isotópicos de 6 ítems presa encontradas dentro de los estómagos del depredador (Tabla IV). Estas presas fueron seleccionadas a partir del PSIRI, teniendo 3 especies de peces y 3 especies de cefalópodos.

Tabla IV. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en presas obtenidas en contenidos estomacales.

	n	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
Chordata: Osteichthyes			
Coryphaenidae			
<i>Coryphaena hippurus</i>	3	-17.52 ± 0.59	15.63 ± 1.55
Synodontidae			
<i>Synodus</i> spp	1	-18.71	16.32
Chordata: Elasmobranchii			
Myliobatidae			
<i>Mobula</i> spp	2	-16.83 ± 0.70	16.74 ± 1.85
Mollusca: Cephalopoda			
Ancistrocheiridae			
<i>Ancistrocheirus lesueurii</i>	1	-16.01	15.1
Argonautidae			
<i>Argonauta</i> spp.	2	-18.80 ± 0.62	16.59 ± 0.82
Ommastrephidae			
<i>Dosidicus gigas</i>	2	-17.82 ± 1.58	14.75 ± 1.77

El modelo de mezcla evidenció que la dieta del tiburón *S. zygaena* se basó en un 78.5% de la dieta en los calamares *Ancistrocheirus lesueurii* y *Dosidicus gigas* (Fig. 21).

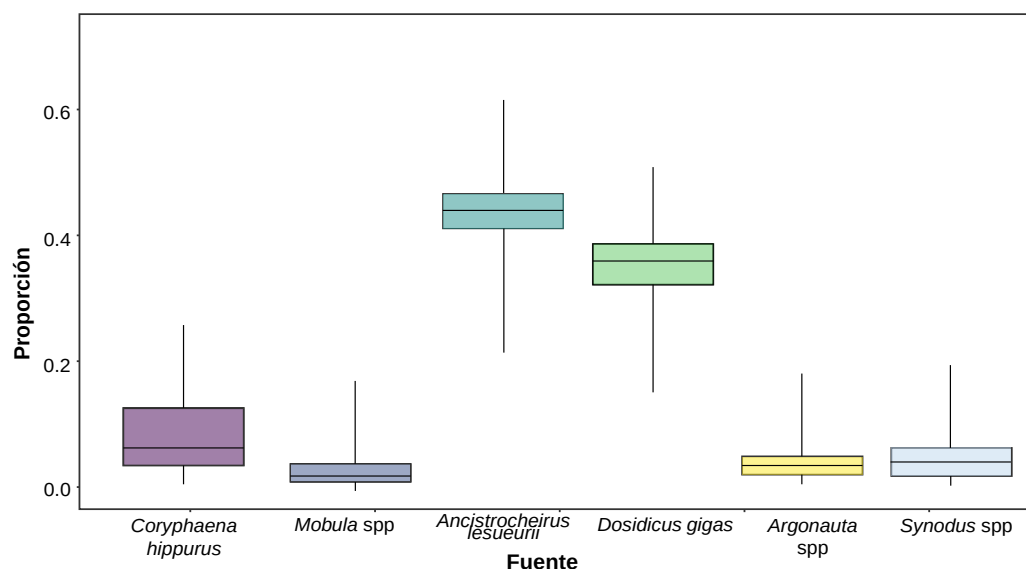


Figura 21. Boxplot que muestra la proporción de aporte de cada una de las presas a la dieta de *Sphyrna zygaena* a partir del modelo de mezcla para la costa occidental de B.C.S. México.

En las categorías de zonas y estadios de madurez fue donde se observaron más variaciones en el porcentaje de contribución de las presas. Entre zonas se observó que la presa con mayor porcentaje de contribución fue el calamar *A. lesueurii*

(36.1%) para Bahía Tortugas mientras que, para la zona de Punta Lobos este valor aumentó a más de la mitad del porcentaje total de la dieta (50.8%). Por otra parte, para ambas localidades el calamar gigante *D. gigas* también tuvo un papel importante en la contribución a la dieta siendo este un poco menor para la zona de Punta Lobos. De manera general, se evidencia el papel importante que tienen los cefalópodos dentro de la dieta de este tiburón (Fig. 22). También podemos observar una contribución a la dieta por parte de peces como lo es *C. hippurus* (Tabla 5). Por otro lado, para la categoría de sexos para la zona de Bahía Tortugas, así como para Punta Lobos no se encontraron variaciones en el porcentaje de contribución de las fuentes presa.

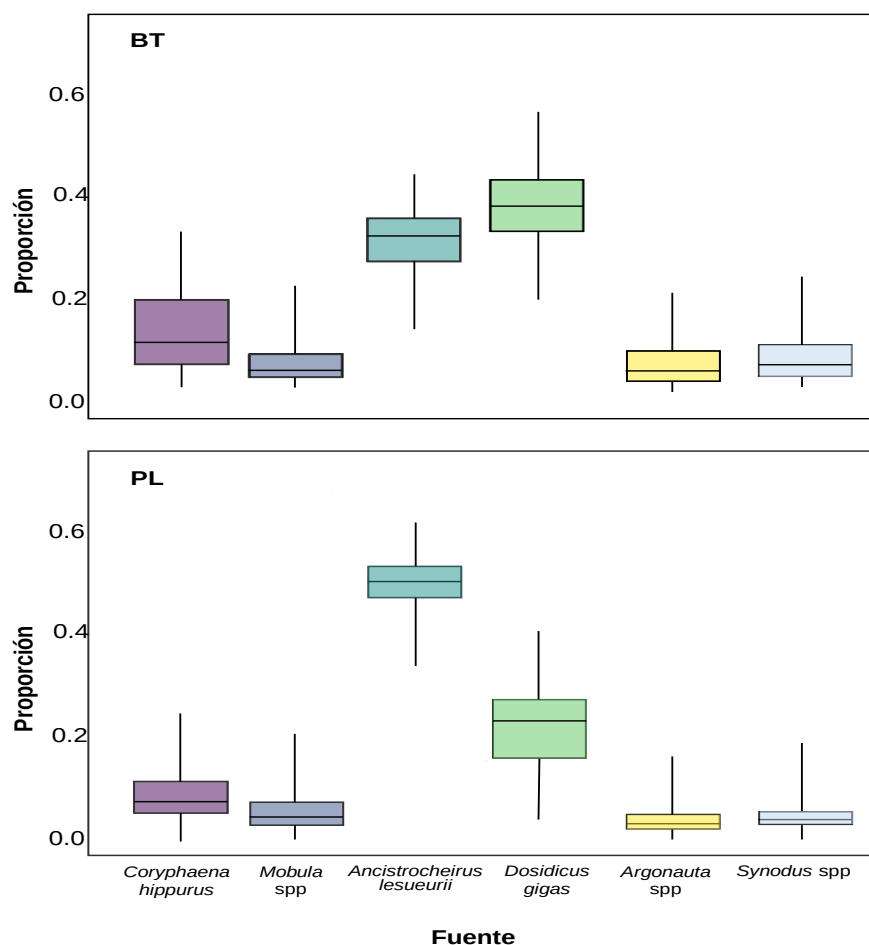


Figura 22. Proporción de la contribución de las principales fuentes presa al tiburón *Sphyrna zygaena* a partir del modelo de mezcla para las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos.

El análisis por categorías de estadios de madurez, solo se realizó para la zona de Punta Lobos debido al bajo número de muestras obtenido para Bahía Tortugas. En esta categoría se observaron cambios en la contribución de las presas entre los estadios, siendo para los adultos de Punta Lobos: los cefalópodos *A. lesueurii* (44.8%) y *D. gigas* (22%) y el pez *C. hippurus* (15.6%). Para la categoría de juveniles encontramos de nueva cuenta a los cefalópodos *A. lesueurii* y *D. gigas* (40.1% y 14.5%) respectivamente y las rayas del género *Mobula* (19.1%) fueron las de mayor importancia (Fig. 23) (Tabla 6). En ambas categorías se registró la importancia de los cefalópodos como fuente principal de aporte para la dieta de *S. zygaena*.

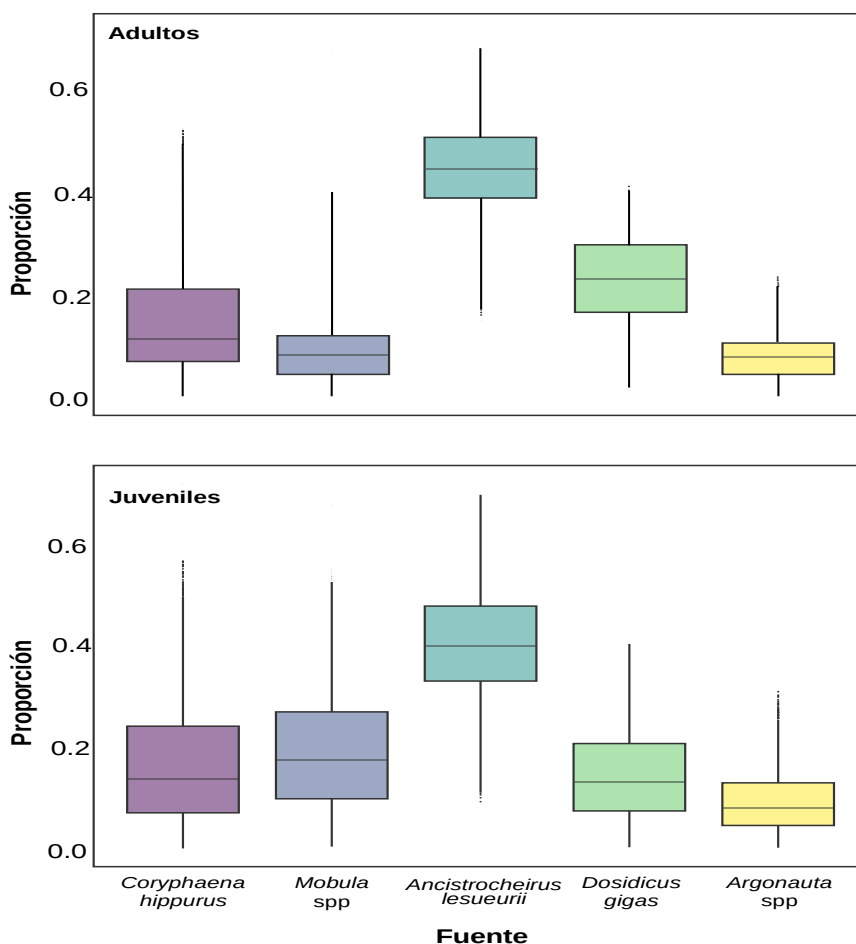


Figura 23. Proporción de la contribución de las principales fuentes presa al tiburón *Sphyrna zygaena* por estadios de madurez en la zona de Punta Lobos

Posición trófica

A partir de los valores de obtenidos de los músculos se calculó la posición trófica de manera general y por zonas, utilizando la ecuación propuesta por Post (2002). No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las categorías. En la tabla V se resume el promedio de las posiciones tróficas general y por categorías (Tabla V)

Tabla V. Niveles tróficos a partir del $\delta^{15}\text{N}$ en músculos de *Sphyrna zygaena* por categorías.

Espece	Categoría	Posición trófica
	General	4.65 ± 0.39
	Bahía tortugas	4.69 ± 0.31
	Punta Lobos	4.62 ± 0.43

7. Discusión

Con respecto a los resultados obtenidos en este trabajo, se encontró con el problema de que las muestras no fueron uniformes en los diferentes grupos de organismos estudiados, esto está sujeto a diversos factores, uno de ellos deriva de que las muestras están sujetas a las capturas provenientes de la pesca artesanal donde los organismos reclutados en su mayoría son juveniles y subadultos. Así mismo, las migraciones que realizan los tiburones costa afuera conforme aumentan la talla puede explicar el motivo por el cual la pesca artesanal de elasmobranquios se encuentre capturando organismos juveniles (Márquez-Farias, 2000, Guerrero-Maldonado, 2002). Esto concuerda con lo reportado por Acuña *et al.*, (2001) quien reporto que los individuos de tres diferentes especies de elasmobranquios capturados por la pesca artesanal poseen longitudes menores además de una menor variabilidad entre las tallas comparados con individuos capturados en alta mar, lo que podría indicar una posible segregación por tallas en la zona de Bahía Tortugas donde no se obtuvieron individuos adultos.

Contenidos estomacales

Espectro trófico

De acuerdo con los diferentes índices estimados en este trabajo: porcentaje de la frecuencia de ocurrencia (%FO), porcentaje numérico de la presa (%N), porcentaje gravimétrico de la presa (%W) e índice de importancia relativa presa específica de la presa (PSIRI), se evidencia que el espectro trófico del tiburón *S. zygaena* para la costa occidental de Baja California Sur se conforma principalmente de cefalópodos como el calamar *Ancistrocheirus lesueurii* y el calamar gigante *Dosidicus gigas* y algunas especies de peces incluidas dentro del género *Synodus*.

Estos resultados son consistentes con investigaciones realizadas anteriormente (Galván *et al.*, 1989; Smale, 1991; Smale y Cliff, 1998) en donde se registra que el alimento que predomina en la dieta de *S. zygaena* son los cefalópodos. En el

pacífico ecuatoriano, Castañeda-Suárez y Sandoval-Londoño (2004) también han encontrado que la alimentación de *S. zygaena* se basa principalmente en especies de cefalópodos como *D. gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis*, *Mastigoteuthis dentata* y *A. lesueurii*, lo cual también ha sido soportado por trabajos más recientes como el de Estupiñán - Montaña y Cedeño (2005), Bolaño (2006) y Ochoa-Díaz (2009).

Cabe resaltar que los cefalópodos constituyen una fuente de alimento importante para diferentes depredadores como los tiburones, peces y algunos mamíferos marinos, debido en gran parte a que ocupan una gran variedad de hábitats en todos los océanos, desde las zonas costeras hasta grandes profundidades, mientras que algunas especies son frecuentemente muy abundantes por lo que resultan ser un objetivo importante para los depredadores (Clarke, 1977; Clarke 1985a, 1985b; Teicher, 1988). Asimismo muchas especies de cefalópodos realizan migraciones verticales durante la noche y se localizan aproximadamente por encima de los 200 m lo que los vuelve vulnerables a la depredación (Clarke y Lu, 1975; Roper y Young, 1975; Roper *et al.*, 1995)

Espectro trófico por zonas

La costa occidental de Baja California Sur se caracteriza por ser una zona de pesca que se encuentra bajo la afluencia del sistema de la corriente de California, la cual está caracterizada por tener una elevada productividad (Davis *et al.*, 2008).

De acuerdo con los análisis estadísticos realizados a la dieta, no se encontraron diferencias significativas entre las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos, esto podría ser debido a la alta demanda hacia la dieta por el calamar *D. gigas* que se encontró en ambas zonas, sin embargo, encontramos que para Bahía Tortugas la zona que se encuentra al norte de la península destaca también como presas principales peces del género *Synodus* y *Scomber japonicus*. El hábitat de las presas más importantes como lo es *Synodus* spp están asociados a la zona demersal o fondos marinos, excepto por *D. gigas* y *S. japonicus* los cuales están más asociados a zonas oceánicas. En la zona de Punta Lobos la cual se encuentra hacia el extremo sur de la península se tuvo una alta preferencia por el calamar *A. lesueurii*, presa que se vuelve vulnerable debido a su comportamiento

de hábitat vertical al alimentarse en la superficie, por lo que podemos inferir que los tiburones de esta zona tienen hábitos mesopélagicos y realizan migraciones verticales para alimentarse (Clarke y Luke, 1975, Roper y Young, 1975, Galván - Magaña, 1999, Jereb y Roper, 2010)

Este tipo de cambio de presas lo podemos ver reportado en trabajos como el de Ochoa-Díaz (2009) quien encontró que para la zona de Punta Lobos *S. zygaena* se alimentaba principalmente de peces (*Mugil cephalus*, *Sardinops caeruleus*, *Brotula spp*) y de una especie de cefalópodo (*Pholidoteuthis boschmai*) mientras que para el área central de la costa occidental de Baja California Sur *S. zygaena* tuvo preferencias principalmente por cefalópodos (*O.banksii*, *S. oualaniensis*, *A. lesueurii* y *D. gigas*). En ambos trabajos podemos considerar que *S. zygaena* comparte algunas presas similares, las cuales están integradas principalmente por algunas especies de cefalópodos.

Espectro trófico por sexos

La segregación sexual es muy común en animales como los elasmobranquios y está muy relacionada con las preferencias de alimentación y uso de hábitat (Springer, 1967). De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio se encontró que no hay diferencias significativas en la dieta entre hembras y machos para ambas zonas de la costa occidental de B.C.S y mantienen una amplitud de la dieta indistinta alimentándose de presas similares pero en diferentes valores porcentuales.

Bolaño-Martínez (2009) en aguas ecuatorianas reportó que no existen diferencias significativas entre sexos para *S. zygaena* indicando una falta de segregación sexual y una alimentación en la misma zona lo que coincide con lo encontrado en el presente estudio. Asimismo, Peña-Moreno (2020) no encontró diferencias significativas entre la dieta de juveniles de tiburón mako, posiblemente se deba a que esta especie tenga una segregación sexual en adultos (Stillwell y Kohler, 1982; Conde-Moreno y Galván-Magaña, 2006), sin embargo al no haber obtenido individuos adultos para dicho estudio, esta segregación no se evidenció.

Se considera que no existe algún tipo de segregación sexual entre sexos debido a que las presas principales son las mismas, aunque en diferente proporción tanto para hembras y machos indicándonos que no existe un requisito especial en la dieta o se encuentran el mismo tipo de presas en diferentes ambientes (Baró Camarasa, 2016).

Espectro trófico por estadios de madurez

En el presente estudio se analizaron un total de 34 adultos y 86 tiburones juveniles, lo cual nos indica una mayor explotación pesquera sobre los juveniles esto es probable debido al tipo de arte de pesca utilizado por parte de la pesca artesanal enfocada a la captura de tiburón las cuales comúnmente es el palangre y las redes de enmalle las que cumplen esta función. Mientras que el palangre se forma de una línea principal con diferentes tamaños de anzuelos destinado a la captura peces pelágicos y semi – pelágicos de amplia distribución (Matsuda, 1998) las redes de enmalle se mantienen cerca de la superficie o debajo de ella mediante numerosos flotadores y se dejan a la deriva a la merced de las corrientes capturando diferentes especies de tiburones sin discriminación de las tallas de los mismos mediante el enredo del cuerpo o las agallas y no existe una discriminación hacia ciertas tallas por lo que es común encontrar tiburones juveniles en este tipo de redes así como especies no objetivo como aves, cetáceos y tortugas (Nédélec y Prado, 1990, Jefferson y Curry, 1994, Caretta *et al.*, 2003).

En el análisis por estadios de madurez se encontró que los adultos se alimentan principalmente del cefalópodo *A. lesueurii*, rayas del género *Mobula* y peces como *Coryphaena hippurus*; mientras que los juveniles tuvieron preferencia por cefalópodos como *A. lesueurii*, *D. gigas* y *Argonauta* spp. En el estudio trófico realizado por Castañeda-Suárez y Sandoval-Londoño (2004) se encontró que los tiburones adultos de *S. zygaena* se alimentaron principalmente de especies de cefalópodos como *D. gigas*, *S. oualaniensis* y *A. lesueurii* lo cual coincide con los resultados obtenidos. Estos resultados pueden atribuirse a que los cefalópodos constituyen un recurso alimenticio importante para diversos depredadores ya que

conducen eficientemente la energía de presas mesopelágicas de las cuales se alimenta a niveles tróficos más altos como los tiburones (Stillwel y Kohler, 1982, Field *et al.* 2007). Otra posible explicación se deba a la biología misma de los cefalópodos los cuales presentan un rápido crecimiento, una alta tasa de reproducción y ciclos de vida cortos que les permite una alta capacidad de recuperación de sus poblaciones con respecto a la de ciertos peces, por lo tanto *S. zygaena* podría estar consumiendo cefalópodos en grandes cantidades en ausencia de algunas otras especies principales (Stillwel y Kohler, 1982, Rodhouse, 2008).

Con base en el hábitat de las presas y en el evidente aumento en el consumo de presas como *A. lesueurii* se puede concluir que los tiburones adultos de Punta Lobos se están alimentando en aguas más profundas, lo que nos indica que a medida que los tiburones aumentan de talla, aumenta la eficacia para obtener presas más grandes y/o en otros hábitats como lo son las zonas profundas (Lowe *et al.*, 1996).

Posición trófica

La posición trófica estimada para *S. zygaena* fue alrededor de $P.T = 4.6$, concuerda con lo reportado por Ochoa-Díaz (2009) quien obtuvo valores de $P.T = 4.0$ a partir del contenido estomacal y $P.T = 4.1$ por medio de los isótopos estables para esta misma especie; mientras que Bolaño – Martínez (2009) en aguas ecuatorianas reporta valores mayores a 4. Por lo que podemos inferir que la posición trófica a partir del análisis de contenido estomacal y de las señales isotópicas a partir del $\delta^{15}N$ se mantiene en varias regiones a lo largo del océano Pacífico. Estas similitudes en los valores de posición trófica pueden derivar principalmente a que tanto en ambos estudios pasados como en el presente estudio, esta especie es de hábitos teutófagos complementando su dieta con algunas especies de peces que se encuentran a su alcance.

La mayoría de los elasmobranquios ocupan posiciones tróficas mayores a 4, lugar que comparten con otros grupos de organismos como mamíferos marinos y algunos peces óseos (Pauly *et al.*, 1998, Cortés, 1999). Los resultados obtenidos

a partir del método convencional del CE y lo reportado mediante el AIE ubican a *S. zygaena* como un depredador tope con una posición trófica mayor a 4.

Traslapo y amplitud de nicho por zonas

A partir de los valores isotópicos, se ha propuesto la idea de medir el traslapo y la amplitud de nicho a partir de los valores del área de las elipses generadas a partir del paquete SIBER (Jackson *et al.*, 2011). Al realizar el SIBER entre las zonas de Bahía Tortugas y Punta Lobos se obtuvo un traslapo bajo (0.29), sugiriendo un uso diferente de recursos y de hábitat.

La amplitud de nicho fue mayor para Punta Lobos con respecto a Bahía Tortugas, esto coincide con lo reportado a partir de los contenidos estomacales encontrando un número mayor de presas (46) en Punta Lobos con lo obtenido para la zona de Bahía Tortugas (29), lo que nos está sugiriendo que los tiburones que se están alimentando en la zona de Punta Lobos están utilizando distintas fuentes de alimento y/o hábitats. Estas diferencias se pueden atribuir a las diferentes batimetrías de las zonas, así como a la disponibilidad de nutrientes en cada área de estudio. A lo largo de la costa occidental de la Península podemos encontrar dos zonas un tanto marcadas, la zona más al norte de la península con características templadas y la zona más al sur donde encontramos zonas de transición templado-tropical (Hernandez-Vázquez, 1987).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Ochoa-Díaz (2009) al analizar de igual manera dos áreas de estudio diferentes, el Golfo de California con una alta salinidad y aguas más cálidas (Torres-Orozco, 1993) y la costa occidental de B.C.S con influencia de dos grandes corrientes, la Corriente de California y la Corriente Norecuatorial con aguas más frías y salinidades intermedias (Alvarez-Borrego, 1983).

Varios autores catalogan al tiburón *S. zygaena* como depredador especialista (Castañeda-Suárez y Sandoval-Londoño, 2004; Bolaño-Martínez, 2009; Ochoa-Díaz 2009) lo cual concuerda con lo obtenido en el presente estudio a partir del índice de Levin generado a partir del contenido estomacal. Sin embargo, al realizar

el análisis de isótopos estables y analizar las varianzas de la señal isotópica del $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo como resultado que la estrategia de este tiburón bien podría ser del tipo generalista lo que sugiere un uso de múltiples recursos sin tener algún tipo de preferencia (Krebs 1999).

Traslapo y amplitud de nicho por sexos

Entre sexos se obtuvo un traslape catalogado como medio-alto lo que nos sugiere que tanto para hembras y machos de ambas zonas se encuentran utilizando los recursos alimenticios y/o hábitats de manera relativamente similar. Este mismo resultado se puede evidenciar de acuerdo con lo obtenido por los contenidos estomacales donde encontramos que se están alimentando principalmente de cefalópodos. En cuanto a la amplitud de la dieta se encontró que las hembras tienen una ligera mayor amplitud de nicho isotópico en ambas zonas (Bahía Tortugas y Punta Lobos) lo que nos sugiere que las hembras se encuentran utilizando probablemente un mayor número de recursos disponibles para alimentarse, siendo más generalistas; mientras que los machos están siendo más selectivos a la hora de alimentarse buscando presas más específicas como lo son los cefalópodos *Ancistrocheirus lesueurii* y *Dosidicus gigas* para ambas zonas. Estos mismos resultados fueron reportados por Peña-Moreno (2020) para juveniles de tiburón Mako donde las amplitudes de nicho fueron mayores para las hembras de manera general, así como dentro de cada zona de estudio. Estas posibles diferencias en la alimentación entre hembras y machos puede ser un reflejo del requerimiento energético para el desarrollo ontogénico de estos organismos, donde se utilizan diferentes estrategias de consumo relacionadas con el tamaño, ocupación de hábitat, crecimiento o con algunas fases en el ciclo de reproducción de las hembras (Calow y Tytler, 1985, Gerking, 1994, Carrier, 2004). Otra posible explicación de los valores ligeramente más altos de $\delta^{15}\text{N}$ en las hembras es que éstas podrían estarse alimentando en zonas cercanas a la costa donde existe un mayor enriquecimiento de carbono y nitrógeno, además existe un mayor número de recursos y las cadenas tróficas son más largas respecto a los hábitats oceánicos (Link, 2002, Dewar *et al.*, 2004)

Traslapo y amplitud de nicho por estadios de madurez

Aguilar (2003) reportó valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos en organismos juveniles respecto a los adultos. Algo similar ocurrió en el estudio realizado por García-Fernández (2018) al analizar los estadios ontogénicos de *S. lewini* a partir del análisis de isotopos estables en vertebras donde estadios ontogénicos iniciales (neonatos y juveniles) presentaron valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos en ambos sexos y conforme avanzaba el desarrollo ontogénico estos valores decrecían. En este estudio se encontró algo similar al obtener valores de $\delta^{15}\text{N}$ en juveniles por arriba de individuos adultos sugiriendo que la dieta difiere entre juveniles y adultos.

De acuerdo con la amplitud de nicho entre juveniles y adultos que se obtuvo mediante la rutina de SIBER, se encontró que el área de las elipses fue mayor en organismos adultos en comparación a los juveniles, por otro lado, el traslapo trófico entre ambas categorías fue de apenas el 32% considerado como un traslapo bajo.

En el presente estudio se pueden observar cambios ontogénicos principalmente en el aprovechamiento de los recursos en cada estadio de madurez donde encontramos un mayor número de especies presas consumidas por parte de los juveniles respecto a los adultos. Se ha reportado que a medida que un organismo consume más presas, puede presentar valores isotópicos más altos; mientras que los que consumen menos presas presentan valores de $\delta^{15}\text{N}$ más bajos (Vander Zanden *et al.*, 1999).

Mientras que los adultos tienen la capacidad de seleccionar a sus presas y podrían estar realizando migraciones verticales en zonas oceánicas que coinciden con movimientos de algunas de sus presas como el calamar *A. lesueurii*, los juveniles tienden a consumir lo que esté a su alcance debido a su poca movilidad, velocidad de nado y/o tamaño de mandíbula (Gerking, 1994, Castañeda-Suárez y Sandoval-Londoño 2004; Ochoa-Díaz, 2009).

Modelos de Mezcla

De manera general encontramos que a partir del modelo de mezcla las fuentes/presas que más aportaron a la dieta del tiburón martillo *S. zygaena* fueron

los calamares (*A. lesueurii* y *D. gigas*). Este mismo patrón se observó para ambas zonas de la costa occidental de B.C.S, y dentro de la categoría de sexos en el área de Punta Lobos lo cual coincide con lo encontrado mediante el análisis del contenido estomacal.

Se evidenció que los cefalópodos juegan un papel muy importante en la dieta de estos tiburones, lo mismo que sucede en otros organismos que tienden a consumir presas de zonas oceánicas (Kim *et al.*, 2012). Esta misma preferencia en la asimilación de cefalópodos fue encontrada por Llor-Andrade (2013) la cual identificó a *Ommastrephes bartramii* y a *D. gigas* como dos de las especies más asimiladas por este tiburón en aguas de Ecuador.

8. Conclusiones

1. El espectro trófico de la cornuda prieta *Sphyrna zygaena* en la costa occidental de Baja California Sur está constituido por 53 especies presa, las cuales de mayor abundancia son los calamares *Ancistrocheirus lesueurii* y *Dosidicus gigas* y los peces *Scomber japonicus*, *Synodus* spp. y *Coryphaena hippurus*.
2. *S. zygaena* presentó una posición trófica de $PT = 4.36 \pm 0.39$ a partir del contenido estomacal, mientras que a partir del análisis de isótopos estables se obtuvo un valor de $PT = 4.65 \pm 0.39$, lo cual en ambos casos ubican a esta especie como un depredador terciario dentro de la red trófica.
3. Los valores de $\delta^{15}N$ que presentaron los tiburones juveniles fueron mayores que los adultos, indicando una dieta o un hábitat diferente por profundidad. Los adultos consumen presas mesopelágicas como los cefalópodos; mientras que los juveniles consumen presas demersales como peces.
4. La amplitud de nicho trófico obtenidos para ambas zonas de estudio de la costa occidental de Baja California Sur nos indica que esta especie se está alimentando tanto en zonas costeras como zonas oceánicas, esto se evidenció respecto a los valores isotópicos, como también a partir de los contenidos estomacales.
5. Se evidenció que en la mayoría de las categorías se obtuvieron valores de traslape bajos a medios, lo que sugiere que están haciendo un uso medianamente similar entre los recursos.

9. Literatura citada.

- Álvarez, A. A. 1987. Aspectos oceanográficos del Golfo de California. Serie didáctica. A.4. UABCS. 37 pp.
- Amundsen, P. A., Gabler, H. M., & Staldvik, F. J. 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data - modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology*, 48: 607–614pp.
- Bearhop, S., Adams, C. E., Waldron, S., Fuller, R. A., & MacLeod, H. (2004). Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of animal ecology*, 73(5), 1007-1012.
- Bernal-Pérez, S. 2017. Biología reproductiva del tiburón *Cephaloscyllium ventriosum* (Carcharriniformes: Scyliorhinidae) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Tesis maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 141 p.
- Bolaño-Martínez, N. 2006. Hábitos alimenticios en juveniles de *Sphyrna zygaena* Linnaeus 1758 (Chondrichthyes: Sphyrnidae) en el Puerto Pesquero de Santa Rosa de Salinas, Guayas, Durante mayo - diciembre 2004. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil, Ecuador. 24- 56 p.
- Bonfil, R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. *FAO. Fish Tech. Pap.* 341:1-119.
- Brown, S. C., Bizzarro, J. J., Cailliet, G. M., y Ebert, D. A. 2012. Breaking with tradition: Redefining measures for diet description with a case study of the Aleutian skate *Bathyraja aleutica* (Gilbert 1896). *Environmental Biology of Fishes*, 95: 3–20.
- Brusca, R.C. 1980. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. The University of Arizona Press. 513 p.
- Calow, P. y P. Tytler. 1985. Fish energetic, news perspectives. The Jonh Hopkins University Press. Gran Bretain. 349 pp.
- Carrera-Fernández, M., J. Martínez-Ortiz y F. Galván-Magaña. 2008. Composición de tallas de *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en aguas del

Ecuador. III Simposium Nacional de Tiburones y Rayas (resúmenes del III foro). Facultad de Ciencias, UNAM, México. pp. 84-86.

- Carrier, J. C., Musick, J. A., & Heithaus, M. R. (Eds.). (2012). Biology of sharks and their relatives. CRC press.
- Castañeda, J; Sandoval, L. 2004. Hábitos alimentarios de los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1838) y *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en el Pacífico Ecuatoriano. Bogotá, Colombia. Tesis de Grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano. 83 p.
- Castillo, G. J.L. & Márquez, F.F. 1993. La Pesquería del Tiburón en México: Una Revisión Histórica del Golfo de México. Instituto Nacional de la Pesca. México. 24 pp.
- Camhi M., S.L. Fowler, J.A. Musick, A. Bräutigam & S.V. Fordham. 1998. Sharks and their Relatives – Ecology and Conservation. Gland, Suiza & Cambridge, Reino Unido: IUCN/SSC (Grupo Especialista de Tiburones).
- Carretta, J.V., T. Price, D. Petersen, y R. Read, 2003. Estimates of Marine Mammal, Sea Turtle and Seabird Mortality in the California Drift Gillnet Fishery for Swordfish and Thresher Shark 1996-2002.
- Marine Fisheries Review 66 (2): 21-25.
- Christensen V. & Pauly D. 1992. ECOPATH II - a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecological Modelling 61: 169-185.
- Clarke, M. R. & C. C. Lu. 1975. Vertical distribution of cephalopods at 18 °N 25 °W in the North Atlantic. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 59 (2): 259-276.
- Clarke, M. R. 1985 a. Cephalopods in the diet of Cetacean and seals. Rapp. Comm. Int. Mer. Médit. 29 : 311-218
- Clarke, M. R. 1985 b. Cephalopod biomass-estimation from predation. Pp., 221 – 237. In: Cephalopod life cycles. P. R. Boyle (Eds). Academic Press.
- Clarke, M.R. 1986. A handbook for the identification of cephalopod beaks. Clarendon Press. Oxford. 273 pp.

- Clothier, C., 1950. A key to some southern California Fishes based on vertebral characters. Calif. Dep. Fish. Game. Fishery Bulletin. 79: 1-83 pp.
- Colwell, R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User's Guide and application.
- Compagno, L.J. 1984. Sharks of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Sharks Species Known to Date. Part II, Carcharhiniformes FAO Fish Synop. (125) 4: 251-663.
- Compagno, L. J. V. 1990. Alternative life-history styles of cartilaginous fishes in time and space. Environmental Biology of Fishes. 28 (1-4): 33-75.
- Compagno, L.J., F. Krupp y W. Schneider. 1995. Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro Oriental. FAO. Vol. 2. (1): 646-1200.
- Cortés, E. 1999. Standardized diet compositions and trophic levels of sharks. Journal of Marine Science, 56: 707–717.
- Dambacher, J. M., Young, J. W., Olson, R. J., Allain, V., Galván-Magaña, F., Lansdell, M. J., Bocanegra-Castillo, N., *et al.* 2010. Analyzing pelagic food webs leading to top predators in the Pacific Ocean: A graph-theoretic approach. Progress in Oceanography, 86: 152–165. Elsevier Ltd.
- Davis, R. E., Ohman, M. D., Rudnick, D. L., Sherman, J. T., and Hodges, B. 2008. Glider surveillance of physics and biology in the southern California Current System. American
- Society of Limnology and Oceanography, 53: 2151–2168.
- Díaz-Murillo, B. P. 2006. Catálogo de otolitos de peces marinos de las costas adyacentes a Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. 167 pp.
- Durazo, R. 2015. Seasonality of the transitional región of the California Current System off Baja California. Journal of geophysical Research: Oceans, 120: 1173-1196.
- Estupiñán, M. C. y Cedeño, F.L. 2005. Estudio de los hábitos alimenticios mediante el análisis del contenido estomacal del tollo mico *Carcharhinus*

falciformis (Bibron, 1839) y los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) y *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758), en el área de Manta – Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad Laica Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador. 133 p.

- Ferrari, A y A. Ferrari. 2001. Escualos. Grijalvo. España. 256 pp.
- Fisher, W., F. Krupp, W. Scheneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Niem, (Red.) 1995. Pacífico Centro-Oriental: Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. FAO., Roma. (Vol-I-II-III) 1-1813 pp.
- Froese, R. & Pauly, D. 2017. FishBase. Publicación electrónica de la World Wide Web. www.fishbase.org, versión (02/2017).
- Galván, M. F., H.J. Nienhuis and A. P. Klimley. 1989. Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, México. California Fish and Game. 75(2): 74-84.
- Galván, M. F. 1999. Relaciones tróficas interespecíficas de la comunidad de depredadores epipelágicos del Océano Pacífico Oriental. Tesis de Doctorado. CICESE. Ensenada, Baja California, México. 212 pp.
- García Núñez, N.E. 2008. Sharks: Conservation, Fishing and International Trade. Bilingual edition. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid. 111 pp.
- Garth, J. & W. Stephenson. 1969. Brachyura of the Pacific coast America. Brachyura: Portunidae. Marine Biology Monography. 1: 154 pp.
- Gerking, S. D. (1994). Feeding ecology of fish—Academic Press Inc. San Diego, 416.
- Guerrero Maldonado, L.A. 2002. Captura comercial de elasmobranchios en la costa suroccidental del Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. UABCS. La Paz, Baja California Sur. 54pp.
- Hussey, N. E., Brush, J., McCarthy, I. D., and Fisk, A. T. (2010). $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ diet–tissue discrimination factors for large sharks under semicontrolled conditions. Comparative Biochemistry and Physiology A, 155, 445–453.

- Jackson, A. L., R. Inger, A. C. Parnell & S. Bearhop. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *Journal of Animal Ecology*, 80: 595–602.
- Jaeger I, Hop H, Gabrielsen GW (2009) Biomagnification of mercury in selected species from an Arctic marine food web in Svalbard. *Sci Total Environ* 407:4744–4751.
- Jefferson, T.A. y Curry, B. (1994). A global review of porpoise mortality in gillnets. *Biological Conservation* 67(2):167-183
- Jereb, P. & C. F. E. Roper. (eds.). 2010. *Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date. Volume 2. Myopsid and Oegopsid Squids.* FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 4, Vol. 2. Rome, FAO. 605 p.
- Kim, S. L., Tinker, M. T., Estes, J. A., and Koch, P. L. 2012. Ontogenetic and among individual variation in foraging strategies of northeast Pacific white sharks based on stable isotope analysis. *PLoS One*, 7(9).
- Kim, S. L., Casper, D. R., Galván-Magaña, F., Ochoa-Díaz, R., Hernández-Aguilar, S. B., & Koch, P. L. (2012a). Carbon and nitrogen discrimination factors for elasmobranch soft tissues based on a long-term controlled feeding study. *Environmental Biology of Fishes*, 95, 37–52.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological methodology.* Addison Wesley Longman. E. U. A. 620 pp.
- Lack, M. y G. Sant. 2006b. *World Shark Catch, Production and Trade 1990-2003.* TRAFFIC Oceania. 29 pp.
- Langton, R. W. 1982. Diet overlap between Atlantic cod, *Gadus morhua*, silver hake, *Merluccius bilinearis*, and fifteen other northwest Atlantic finfish. *Fish. Bull.*, 80:745– 759.
- Looor-Andrade, P. J. (2013). *Ecología trófica de los tiburones martillo *Sphyrna lewini* y *Sphyrna zygaena* en el Pacífico ecuatoriano basada en isótopos estables.* Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México. 82 p.

- Martínez Ayala, J.C. 2018. Ecología trófica del cazón mamón *Mustelus lunulatus* (Jordan y Gilbert, 1882) en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 106 p.
- Nava, N. P. y J. F. Márquez-Farías. 2014. Talla de madurez del tiburón martillo, *Sphyrna zygaena*, capturado en el Golfo de California. Hidrobiológica. pp 24.
- Ochoa Díaz, M. R. (2009). Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur: aplicación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 90 p.
- Parnell, A. C., Inger, R., Bearhop, S. & Jackson, A. L. (2010). Source partitioning using stable isotopes: Coping with too much variation. PLoS One 5, e9672.
- Pauly, D., Trites, A., Capuli, E. y Christensen, V. 1998a. Diet composition and trophic levels of marine mammals. ICES Journal of Marine Science. 55: 467-481.
- Polo-Silva, C. L. (2013). Ontogenia alimentaria del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) a partir de análisis isotópicos en tejidos diferentes. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma De México, México. 99 p.
- Post, D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumption. Ecology, 83: 703–718.
- Post, D. M., Layman, C. A., Arrington, D. A., Takimoto, G., Quattrochi, J., & Montaña, C. G. (2007). Getting to the fat of the matter: Models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. Oecologia, 152, 179–189.
- Rago, P. J., K. A. Sosebee, J. K. T. Brodziak, S. A. Murawski & E. D. Anderson. 1998. Implications of recent increases in catches on the dynamics of Northwest Atlantic spiny dogfish (*Squalus acanthias*). Fisheries Research 39: 165-181.
- Ramírez-Amaro SR, Cartamil D, Galván-Magaña F, González-Barba G, Graham JB, Carrera-Fernández M, Escobar-Sánchez O, Sosa Nishizaki O,

Rochin-Alamillo A (2013) The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications. *Sci Mar* 77(3):473–487

- Roper, C.F.E., M.J. Sweeney and F.G. Hochberg 1995 Cefalopodos. p. 305-354. In Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V.H. Niem 1995. Guia FAO para la identificacion de especies para los fines de la pesca. Pacifico Centro-Oriental Vol. 1 Plantas e Invertebrados
- Rodhouse, P. 2008. Large-scale range expansion and variability in ommastrephid squid populations: a review of environmental links. *CalCOFI Rep.* 49: 83-89.
- Rueda, S. F. 1983. 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, México. 125 p.
- Sánchez Cota, B. J. 2013. Catálogo de esqueletos de peces óseos marinos de importancia comercial en Baja California Sur, México. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 272 p.
- Smale, M.J. 1991. Occurrence and Feeding of Three Shark Species, *Carcharhinus brachyurus*, *C. obscurus* and *Sphyrna zygaena*, on the Eastern Cape Coast of South Africa. *S. Afr. J. Mar. Sci.* 11: 31-42.
- Soto Segoviano, J. 2014. Colección osteológica de peces teleósteos marinos de Baja California Sur. Tesis licenciatura. Universidad de Baja California Sur. México. 319 p.
- Springer, S. 1967. Social Organization of shark population. pp. 149–174. In: P.W. Gilbert, R.F. Matheson & D.P. Rall (ed.) *Sharks, Skates, and Rays*, John Hopkins Press, Baltimore.
- Stevens, J.D. 1984. Biological observations on sharks caught by sport fisherman of New South Wales. *Marine and Freshwater Research*, 35(5), 573-590.
- Tricas, T.C., K. Deacon, P. Last, J.E. Mccosker, T.I. Walker y L. Taylor. 1998. *Tiburones y Rayas*. Ediciones Omega. España. 288 pp.

- Vannuccini, S. 1999. Shark Utilization, Marketing and Trade. FAO Fisheries Technical Paper. No.389. Roma. 470 pp.
- Teicher C. 1988. Main features of Cephalopoda. En: Paleontology and neontology of Cephalopoda, The Mollusca, Vol. 12. Clarke M.R. y E.R. Trueman (eds.). Academic Press Inc. San Diego, California: 11-79.
- Turrubiates Morales J.R. 1989. Edad, crecimiento y reproducción de *Haliotis fulgens* (Philppi, 1845) (Mollusca; Gastropoda), en Bahía Tortugas B.C.S. México. Manuscrito sin publicar. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 56 p.
- Walker T. I. 1998. Can Shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. Marine and Freshwater Research. 49:553-572.
- Wolff, G., 1982. A beak key for eight eastern tropical Pacific cephalopods species, with relationship between their beak dimensions and size. Fishery Bulletin. 80(2): 357-370 pp.
- Wolff, G., 1984. Identification and estimation of size from the beaks of eighteen species of cephalopods from the Pacific Ocean. NOAA Technical Report NMFS. 17: 50 pp.